

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Biochar – ekologické a environmentální dopady

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.
Bakalant: Martina Malíková

Bakalářská práce 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martina Malíková

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

BIOCHAR – ekologické a environmentální dopady

Název anglicky

BIOCHAR – environmental and environmental impacts

Cíle práce

Práce je zaměřena na sumarizaci dostupných poznatků o vlivu vstupního substrátu technologie výroby biocharu na hydrofilní/hydrofobní vlastnosti finálního produktu ve vazbě na jeho využití jako půdního aditiva.

Práce bude shrnovat jeho základní ekologické a environmentální využití na zemědělské půdě.

Metodika

Práce bude zpracovaná formou literární rešerše, která vychází z odborných článků a publikací, zaměřující se na chemické složení, výrobu a použití Biocharu, následně jeho ekologický a environmentální dopad – tedy procesy v půdě a jeho vliv na rostliny a živočichy. Práce bude doplněna o názorné fotografie, chemické vzorce a schémata koloběhu Biocharu v půdě.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

Biochar, biouhel, půdní aditiva, rostliny, životní prostředí, uhlík, biomasa

Doporučené zdroje informací

BŘENDO VÁ, Kateřina, TLUSTOŠ, Pavel, SZÁKOVÁ, Jiřina, BOHUNĚK, Martin: Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností. Biom.cz [online]. 2015-02-02 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>>. ISSN: 1801-2655.

EMRICH, W.: Handbook of biochar Making. The Traditional and Industrial Methods.: Reidel Publishing Company, 1985

GOLBERG, E.: Black carbon in the environment. : Wiley and Sons, New York, NY, 1985. 5473087

JOSEPH, S. – LEHMANN, J. *Biochar for environmental management : science and technology*. London ; Sterling: Earthscan, 2009. ISBN 978-1-84407-658-1.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Biochar - ekologické a environmentální dopady 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 bakalářskou 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 bakalářské 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 verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDP.

V Praze dne

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za odborné vedení, za poskytování cenných rad a ochotu, se kterou se mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za trpělivost a podporu.

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na sumarizaci dostupných poznatků o vlivu vstupního substrátu technologie výroby biocharu a na hydrofilní/hydrofobní vlastnosti finálního produktu ve vazbě na jeho využití jako půdního aditiva. Práce shrnuje jeho základní ekologické a environmentální využití na zemědělské půdě.

Bakalářská práce je zpracována formou literární rešerše, která vychází z odborných článků a publikací, zaměřující se na chemické složení, výrobu a použití biocharu, následně jeho ekologický a environmentální dopad - tedy procesy v půdě a jeho vliv na rostliny a živočichy. Práce je doplněna o názorné fotografie, chemické vzorce a schémata koloběhu biocharu v půdě.

Klíčová slova: biochar, půdní aditiva, rostliny, životní prostředí, uhlík, biomasa

ABSTRACT

This Thesis provides a summarisation of available findings on an influence of the input substrate of the biochar production technology and on the hydrophilic / hydrophobic properties of the final product in relation to its use as a soil additive. The Thesis provides an overview of its basic ecological and environmental utilisation on the agricultural soil.

This Bachelor Thesis is created in the form of a literary review, based on the scientific articles and publications, focusing on chemical composition, production and usage of the biochar, followed by its ecological and environmental impact – the processes in the soil and its impact on the plants and animals. Thesis is enriched with supportive photography, chemical formulas and biochar soil cycle diagrams.

Key words: biochar, soil additives, plants, environment, carbon, biomass

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Hliník
As	Arsen
BBCH	Makrofenologická stupnice pro obilniny
BC	Biochar
BET	(Brunauer, Emmett, Teller) - cílem teorie je vysvětlit fyzikální adsorpci molekul plynu na pevném povrchu a slouží jako základ pro důležitou analytickou techniku pro měření specifické povrchové plochy materiálů
C	Uhlík
°C	Stupeň Celsia
Ca	Vápník
CaO	Oxid vápenatý
C=C	Alken (nenasycený uhlovodík)
Cd	Kadmium
CEC	Kapacita výměny kationtů
CM	Kravský hnůj
CMB	Kravský hnůj s biocharem
Co	Oxid uhličitý
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
- COOH	Karboxylová skupina
C=O	Karbonylová skupina
Cr	Chrom

Cu	Měď
DOC	Rozpuštěný organický uhlík
Fe	Železo
Gt C	Gigaton uhlíku
H ₂ O	Voda
H	Vodík
Hg	Rtut'
CH ₄	Metan
NH ₄	Amoniak
IBI	Mezinárodní iniciativa pro biochar
K	Draslík
K ₂ O	Oxid draselný
Mg	Hořčík
MgO	Oxid hořečnatý
Mn	Mangan
Mo	Molybden
N	Dusík
Na	Sodík
Ni	Nikl
NO ₃	Dusičnan amonný
O	Kyslík
- OH	Hydroxylová skupina
P	Fosfor
Pb	Olovo
PCBs	Polychlorované bifenily

PAH	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
pH	Ukazatel zásaditosti a kyselosti
PMB	Drůbeží hnůj s biocharem
POPs	Persistentní organické polutanty
P ₂ O ₅	Oxid fosforečný
S	Síra
SČK	Stabilizovaný čistírenský kal
Se	Selen
VOC	Těkavé organické sloučeniny
Zn	Zinek
μm	Mikrometr
π-π	Pí

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	METODIKA	3
4	BIOCHAR	4
4.1	CO JE BIOCHAR.....	4
4.2	HISTORIE BIOCHARU	5
4.2.1	Terra Preta	6
4.3	CHEMICKÉ SLOŽENÍ BIOCHARU	7
4.3.1	Uhlík.....	9
5	VLASTNOSTI BIOCHARU	12
5.1	SORBČNÍ SCHOPNOSTI BIOCHARU	12
5.2	HYDROFILNÍ/ HYDROFOBNÍ VLASTNOSTI BIOCHARU	14
5.3	NEGATIVNÍ VLASTNOSTI BIOCHARU – TOXICITA	18
5.3.1	Vliv biocharu na degradaci POPs v půdě.....	18
6	VSTUPNÍ SUBSTRÁTY	21
6.1	SUROVINY PRO VÝROBU BICHARU	21
6.2	BIOMASA	23
6.3	ZDROJE BIOMASY	23
6.3.1	Zemědělská biomasa	23
6.3.2	Lesní biomasa.....	24
6.3.3	Zbytková odpadní biomasa	24
6.3.3.1	Čistírenský kal	25
6.3.3.2	Biochar vyrobený z čistírenských kalů.....	25
6.4	TERMOCHEMICKÉ ZPRACOVÁNÍ BIOMASY	27
7	VÝROBA BIOCHARU	29
7.1	PYROLÝZA.....	29
7.1.1	Pyrolýza pomalá.....	30
7.1.2	Pyrolýza rychlá.....	32
7.1.3	Pyrolýza blesková	33
7.1.4	Zplyňování	33
8	TECHNOLOGIE KARBOTECH	35
9	VYUŽITÍ BIOCHARU A DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, ROSTLINY A ŽIVOČICHY	37
9.1	VYUŽITÍ BIOCHARU	37
9.1.1	V zemědělství.....	37
9.1.1.1	Využití biocharu při kompostování	38
9.1.1.2	Chov hospodářských zvířat.....	40
9.1.2	Ve stavebnictví.....	40

9.2	DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	41
9.2.1	Účinky biocharu na půdní mesofaunu.....	41
9.2.2	Účinky biocharu v půdě kontaminované kovem.....	43
9.2.3	Emise skleníkových plynů pomocí aplikace biocharu do půdy.....	46
10	DISKUZE A ZÁVĚR.....	47
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
12	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
13	SEZNAM TABULEK A SCHÉMAT.....	62
14	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

1 ÚVOD

Biochar se globálně hodnotí jako prostředek ke zlepšení kvality zemědělské půdy. Vzhledem k ochraně životního prostředí má rozsáhlé využití a to především díky jeho sorpčním schopnostem, zejména zadržováním uhlíku. Jeho použití přispívá ke snížení emisí skleníkových plynů, rovněž má pozitivní dopad na zemědělskou půdu či kontaminovanou vodu kovem.

Lehmann a kolektiv charakterizoval biochar jako jemnozrný, dřevěnému uhlí podobný materiál vyrobený pyrolýzou. Má vysoce porézní strukturu, která přispívá ke zlepšení půdních vlastností. Výchozí surovina se během pyrolýzy chemicky přemění na struktury, jež jsou mnohem odolnější vůči mikrobiálnímu rozkladu. Od přírodních organických materiálů, které v půdách slouží jako zdroj živin pro rostliny a půdní organismy, se biochary liší svou schopností zvyšovat příjem vody a živin a eliminováním mobility těžkých kovů (Lehmann a kol, 2009).

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je sumarizace dostupných poznatků o vlivu vstupního substrátu na technologie výroby biocharu, na hydrofilní a hydrofobní vlastnosti finálního produktu ve vazbě jeho využití jako půdního aditiva. Dále shrnuje základní ekologické a environmentální využití biocharu v zemědělské půdě.

3 METODIKA

Bakalářská práce je vypracována formou literární rešerše. Vychází z českých a zahraničních odborných článků a publikací, které se zaměřují na výrobu a použití biocharu, jeho chemické složení, fyzikální vlastnosti, následně jeho ekologický a environmentální dopad - tedy procesy v půdě a jeho vliv na rostliny a živočichy.

4 BIOCHAR

4.1 CO JE BIOCHAR

V souladu s definicí stanovenou mezinárodní organizací Biochar Initiative (IBI) je biochar jemnozrnný produkt karbonizace. V praxi je biochar považován za odpad, zatímco v odborné literatuře je nejčastěji popisován jako vedlejší produkt pyrolýzy. Přesto, že by se mělo s produkty karbonizace nakládat jako s odpadem, není biochar uveden v Katalogu odpadů (Saletník a kol., 2019).

Biochar je bohatý na uhlík, který se získává tím, že se biomasa (Lehmann a kol., 2009), jako je dřevo, listí, sláma, odpady biologického, rostlinného nebo živočišného původu (Klusák, 2014), zahřívá v uzavřené nádobě bez přístupu vzduchu. Z technického hlediska se biochar vyrábí tzv. tepelným rozkladem organického materiálu při omezeném přísunu kyslíku a při relativně nízkých teplotách $<700^{\circ}\text{C}$ (Lehmann a kol., 2009). S výjimkou toho, že je vynikajícím materiálem pro energetické účely, byl biochar popsán jako možný prostředek ke zlepšení úrodnosti půdy a sekvestrací uhlíku ke zmírnění změny klimatu. Přeměnění zemědělských odpadů na biochar může nejen zachránit přírodní zdroje, ale také chránit životní prostředí (Yang a Sheng, 2012).



Obrázek č. 1: Směs obsahující biochar

(<https://www.theguardian.com/environment/2010/sep/30/biochar-production-climate-change>).

4.2 HISTORIE BIOCHARU

Přidávat do půdy uhlí k jejímu zkvalitnění není žádnou novinkou. Převážně ve vlhkých tropech se tak vytvořily tzv. černé půdy, které jsou po dobu několika let trvale úrodné i po jejich odlesnění (Klusák a Hollan, 2009).

Příklady úspěšného využití biocharu pro vylepšování půdy sahají od jeho přirozeného výskytu ve stepních černozemích přes půdy zvané Terra Preta (portugalsky „černá zem“), které vytvořili lidé v Amazonii dávno před příchodem Kryštofa Kolumba (Klusák, 2014). V několika zemích se začal využívat znovu vlivem rozvoje výzkumu v této oblasti, a to např. před čtvrt stoletím v Japonsku (Klusák a Hollan, 2009). Tam je biochar využíván tradičně a od 80. let minulého století je i oficiálně uznávaným prostředkem pro vylepšování půdy (Klusák, 2014).

Již v roce 1929 John Morley zmiňuje v časopise *The National Greenkeeper* pozitiva aplikace hnědého uhlí a popisuje následné zlepšení půdní struktury.

Dále v roce 1948 ve své disertační práci zmiňuje Tryon myšlenku, že by hnědé uhlí mělo mít schopnost poutat znečišťující látky v půdě.

Např. američtí vědci ve své studii vypočetli, že by bylo možné pyrolýzou biomasy, kde by se získával plyn a olej pro energetické účely a biochar by byl použit pro půdní aplikace, dosáhnout sekvestrace až 10 % ročních emisí z fosilních paliv v USA.

Především v posledním desetiletí bylo v tomto směru napsáno mnoho publikací (Libra a kol., 2011).

4.2.1 Terra Preta

Terra Preta se nachází převážně v Amazonii a jedná se o velmi úrodné a tmavé půdy. V roce 1871 na ně upozornil Hartt a nazval je Terra Cota. Jedná se o vysoce humózní půdy s vysokým obsahem živin jako je vápník, fosfor, dusík a síra (Pokorný, 2009). Černé půdy s vysokým obsahem živin jsou hluboké téměř 2 m a vznikly činností člověka. Aby byla udržena trvalá úrodnost, je zřejmé, že byla do půdy aplikována biomasa ve formě uhlí (Urbánková, 2015). Zemědělské plodiny, které jsou zde pěstovány, vykazují až trojnásobnou úrodu (Pokorný, 2009).

Terra Preta se vyznačuje jako latosol s vysokým obsahem uhlíku díky nálezům na daném území, a to:

- zvířecí hnůj a lidské výkaly,
- zbytky z kuchyní,
- popel,
- biomasa suchozemských a vodních rostlin.

Latosol označuje půdu vyskytující se v tropických deštných pralesích s relativně vysokým obsahem oxidů železa a hliníku.

V důsledku spálení části biomasy dřeva a listí za nedostatku kyslíku a nízké teploty došlo k přeměně na uhlí (Pokorný, 2009).

4.3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ BIOCHARU

Mezi nejdůležitější vlastnosti biocharu patří jeho chemické složení, stabilita, specifický povrch a pórovitost. Důležité je, že chemické složení biocharu závisí hlavně na chemickém složení substrátů použitých při výrobě biocharu. Biochar obsahuje stabilní organické látky, uhlík, aromatické sloučeniny, alifatické sloučeniny a popel. Obsah uhlíku v biocharu může být v rozmezí 50 – 90 %, voda 1 - 15 %, těkavé látky do 40 % a minerální látky do 5% (Satelnik a kol., 2019). Základem biocharu je chemicky stabilní uhlík, který nepodléhá další oxidaci či rozkladu. Pokud ano, jen velmi pozvolným tempem. Rovněž jsou uvolňovány i živiny (zejména fosfor a alkalické látky), jejichž obsah je pak v biocharu stejný jako v původní biomase (Urbánková, 2015).

Tabulka č. 1 ukazuje minimální, maximální a průměrné chemické hodnoty biocharu (Allaire a kol., 2015).

Složení	Jednotka	Min	Max	Průměr
Vlastnosti vůči kyselosti				
pH _{H2O}		4,8	10,4	7,79
PT _{pH4}	meq	0,02	2,2	0,58
PT _{pH7}	meq	0,01	0,74	0,14
Základní prvky				
N _{celkem}	%	0,2	5,1	1,2
P _{celkem}	mg kg ⁻¹	4,58	207	42,5
S _{celkem}	%	0	5,8	3,3
Výměna živin				
K	cmol ⁺ kg ⁻¹	0,4	138	22,9
Ca	cmol ⁺ kg ⁻¹	0,39	63,5	16,1
Mg	cmol ⁺ kg ⁻¹	0,03	11,1	2,14
Na	cmol ⁺ kg ⁻¹	0,16	33,5	3,25
Echg celkem	cmol ⁺ kg ⁻¹	6,43	185	44,4
Rozpustné živiny				
K	mg kg ⁻¹	34	42 508	51 112
Ca	mg kg ⁻¹	2,95	9938	926
Mg	mg kg ⁻¹	1,16	579	119
Na	mg kg ⁻¹	3,3	5589	508
Mn	mg kg ⁻¹	0,03	31	4,7
Fe	mg kg ⁻¹	0,16	41,6	4,26
Al	mg kg ⁻¹	nezjištěno	264	14,7
Cu	mg kg ⁻¹	0,04	4,25	0,51
Zn	mg kg ⁻¹	0,006	5,76	0,4
Ostatní prvky				
As	mg kg ⁻¹	nezjištěno	72,1	6,53
Cd	mg kg ⁻¹	nezjištěno	5,33	0,63
Co	mg kg ⁻¹	nezjištěno	15,9	2,42
Cr	mg kg ⁻¹	nezjištěno	33	6,96
Cu	mg kg ⁻¹	3,42	556	41,7
Mo	mg kg ⁻¹	nezjištěno	3,28	0,21
Ni	mg kg ⁻¹	nezjištěno	67,8	16,2
Pb	mg kg ⁻¹	nezjištěno	207	23,2
Se	mg kg ⁻¹	nezjištěno	27,5	4,02
Zn	mg kg ⁻¹	nezjištěno	455	120

Tabulka č. 1: Souhrn chemických vlastností biocharu (Allaire a kol., 2015).

4.3.1 Uhlík

Uhlík je základním prvkem organické chemie a biologických procesů, kterým jsme vděční za existenci života na naší planetě. V přírodě se uhlík vyskytuje zejména v karbonátových usazeninách, naftě a uhlí, a to jako směs grafitu amorfní formy C (Kratochvíl a kol., 2005).

Ukazuje se, že jeho vlastnosti vykazují značnou proměnlivost a odpovídají charakteru výchozích materiálů a procesu jeho tvorby (Blažek a kol., 2014).

V půdě a sedimentech se vyskytuje:

- a) organický uhlík vzniklý biogeneticky či ve fázi diagenese sedimentárních hornin,
- b) biochar či jiná forma uhlíku vzniklá teplotní degradací fosilních paliv nebo biomasy, které na sebe sorbují hydrofobní organické sloučeniny, např. polycyklické aromatické uhlovodíky (Blažek a kol., 2014).

Půdní organická hmota představuje největší světový zdroj uhlíku na souši.

Obsah organického uhlíku se v našich zemědělských půdách pohybuje od 1,5 – 7 %, (průměrně 2 – 3 %) (Jeřábková, 2019).

Rozklad chemicky stabilního uhlíku v půdě trvá několik staletí až tisíciletí. Z důvodu neustálého sledování skleníkových plynů – tedy i obsahu atmosférického CO₂, zájem o biochar stoupá. Uhlík, který je zachycen v biomase ve formě biocharu, se totiž při fotosyntetických procesech neuvolňuje zpět do ovzduší, ale bezpečně se ukládá v půdě. Tento jev - ukládání látek mimo atmosféru - pak označujeme pojmem sekvestrace (Urbánková, 2015).

Biochar je vysoce stabilní a obsahuje více než 65% uhlíku. Chemické složení je závislé na vstupních surovinách a teplotě pyrolýzy. Po procesu pyrolýzy lze snadno rozložitelný uhlík v půdní biomase skladovat trvale v podobě biocharu. Vysoké teploty pyrolýzy vedou k disociaci organických aromatických vazeb uhlíku, což vede k produkci amorfního uhlíku. Uhlík se v biocharu vyskytuje většinou ve formě amorfního uhlíku, ve kterém jsou atomy uhlíku spojeny v aromatických kruzích.

Stabilita biocharu je považována za velký přínos pro půdu, plodiny a vodní zdroje. Právě kvůli této stabilitě může být biochar používán pro sekvenci uhlíku a zmírňovat změnu klimatu tím, že v podstatě uzamkne uhlík v půdě (Saowanee a Preamsuda, 2019). Biochar je skutečně životaschopnou možností sekvence uhlíku pro planetu jako celek. Zdá se, že celkové rezervy biomasy jsou dostatečné k uspokojení potřeby sekvence a stále poskytují jiné náhrady za využití fosilních paliv. Pokud se 10% světové biomasy přemění na uhlí, při 50% výtěžku a 30% energii z těkavých látek, bude sekvestrovat 4,8 Gt C / rok. O 20% více než současné roční zvýšení atmosférického uhlíku při 4,1 Gt C / rok (Matovic, 2011).

Tabulky č. 2 a č. 3 znázorňují studii, kdy bylo cílem analyzovat základní složení a vlastnosti surovin a biocharů získaných z různých typů surovin jako prostředku pro zlepšení kvality půdy, zvýšení produktivity plodin a ukládání uhlíku v půdě.

Vstupní biomasa před přeměnou na biochar uvedená v tabulce č. 2 odhalila, že kukuřice obsahovala nejvyšší množství uhlíku 41,66%, zatímco kořeny manioku obsahovaly nejnižší 37,60% (Saowanee a Preamsuda, 2019).

	Kukuřice	Maniok (kořeny)	Maniok (stonky)
C (hm%)	41.66 a ± 1.12	37.60 a ± 2.22	41.55 a ± 0.92
H (hm%)	6.84 a ± 0.36	6.15 a ± 0.58	6.04 a ± 0.13
N (hm%)	0.74 b ± 0.02	0.88 b ± 0.04	1.27 a ± 0.14
O (hm%)	50.76 a ± 0.89	55.37 a ± 1.64	51.14 a ± 1.18
H/C poměr	1.97 a ± 0.17	1.96 a ± 0.27	1.74 a ± 0.06
O/C poměr	0.91 a ± 0.05	1.10 a ± 0.09	0.92 a ± 0.05
C/N poměr	65.63 a ± 1.89	50.16 b ± 3.86	39.30 b ± 3.53
Molekulární vzorec	CH1.97O0.91	CH1.96O1.10	CH1.74O0.92
Plocha povrchu (m ² /g)	2.54 b ± 0.41	2.78 b ± 0.23	2.51 a ± 0.03
Celkový objem pórů (cm ³ /g)	0.0034 b ± 0.0007	0.0043 b ± 0.0004	0.0058 a ± 0.0006
Průměr pórů (Å)	31.05 c ± 0.75	69.57 b ± 5.58	83.34 a ± 1.79

Tabulka č. 2: Chemické analýzy biomasy vstupní suroviny před přeměnou na biochar (Saowanee a Preamsuda, 2019).

Výsledky analýzy po transformaci surovin na biochar uvedené v tabulce č. 3 odhalily, že biochar z kukuřice obsahoval nejvyšší hladiny uhlíku a vodíku (81,35% a 2,42%), biochar z kořenu manioku (64,25% a 2,73%) a biochar ze stonku manioku (62,95% a 2,24%).

	Kukuřice	Maniok (kořeny)	Maniok (stonky)
C (hm%)	81.35 a ± 1.42	64.25 b ± 1.53	62.95 b ± 3.71
H (hm%)	2.42 a ± 0.17	2.73 a ± 0.17	2.24 a ± 0.12
N (hm%)	1.22 b ± 0.14	1.65 a ± 0.08	1.37 ab ± 0.06
O (hm%)	15.23 b ± 1.27	31.80 a ± 1.27	33.44 a ± 3.81
H/C poměr	0.36 a ± 0.02	0.43 a ± 0.12	0.42 a ± 0.01
O/C poměr	0.14 b ± 0.015	0.37 a ± 0.02	0.39 a ± 0.08
C/N poměr	80.60 a ± 8.41	45.72 b ± 2.34	54.08 b ± 4.51
Molekulární vzorec	CH0.36O0.14	CH0.51O0.37	CH0.43O0.40
Plocha povrchu (m ² /g)	56.35 b ± 0.79	18.38 b ± 2.21	200.46 a ± 26.18
Celkový objem pórů (cm ³ /g)	0.0405 b ± 0.0041	0.0284 b ± 0.0029	0.1219 a ± 0.01
Průměr pórů (Å)	28.72 b ± 2.29	61.69 a ± 1.64	24.35 b ± 1.82

Tabulka č. 3: Chemické analýzy po transformaci surovin na biochar (Saowanee a Preamsuda, 2019).

Porovnáním chemického složení jednotlivých druhů surovin s biochemickým produktem analýzy všech tří vzorků potvrdily zvýšení podílu C v biocharu ve srovnání s původní biomasou. Množství C v kukuřici vzrostlo o 39,69 %, v kořenu manioku o 26,65 % a ve stonku manioku o 21,40 %. Biomasa prošla pomalou pyrolýzou, která dosáhla maximálních teplot v rozmezí 500 - 600 °C. Výsledky ukazují, že biochary získané z uvedených surovin se významně lišily svým elementárním složením a morfologickými strukturami, přičemž kukuřice měla nejvyšší množství uhlíku ve srovnání s jinými surovinami pro biomasu (Saowanee a Preamsuda, 2019).

5 VLASTNOSTI BIOCHARU

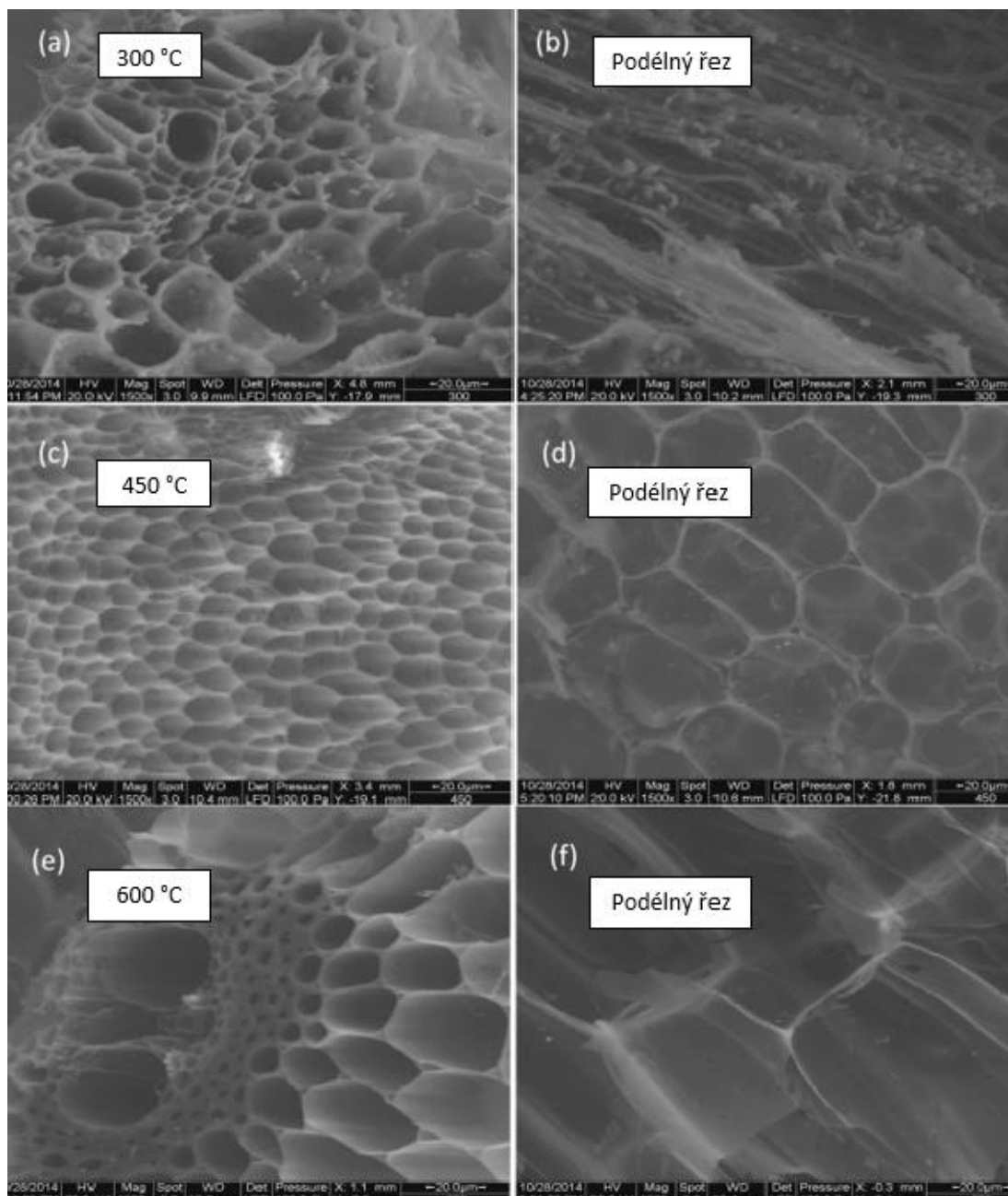
5.1 SORBČNÍ SCHOPNOSTI BIOCHARU

Jak již bylo zmíněno, velmi významnou vlastností biocharu je jeho sorbční schopnost (Gembalová a kol., 2016), kterou má obvykle vyšší, než přírodní organická hmota, protože má větší měrný povrch, větší hustotu náboje a větší negativní povrchový náboj (McLaughlin a kol., 2012).

Biochar může nejen absorbovat velké množství kationtů, jako amonné ionty a ionty kovů, ale také účinně odstranit fosforečnany z vodných roztoků. Adsorbuje jak anorganické látky, tak organické kontaminanty ve vodním prostředí i v půdě. Čímž omezuje vstup nežádoucích látek do rostlin. Adsorbční kinetika biocharu, je ovlivňována jeho fyzikálně chemickými vlastnostmi. Hlavní parametry, jako je velikost a funkční skupiny povrchu biocharu a jeho pórovitost, jsou ovlivněny vlastnostmi použité výchozí biomasy, teplotou a délkou pyrolýzy, stupněm karbonizace, pH roztoku (ve kterém probíhá sorpce), koexistence kationtů, koncentrace biocharu jako adsorbentu apod. Mezi další výchozí mechanismy se řadí elektrostatická přitažlivost, chemická vazba, interkalace, vodíkové vazby, π - π interakce, fixace v pórech, hydrofobní interakce (Gembalová a kol., 2016).

Obrázek č. 2 ukazuje vizuální změny pórové struktury biocharu vyrobeného z kukuřičného klasu při teplotě pyrolýzy 300 °C, 450 °C a 600 °C.

Na řezu biocharu vyrobeného při teplotě pyrolýzy 300 °C (snímek a, b) je vidět válcovitá struktura pórů. Biochar vyrobený při teplotě 450 °C a 600 °C (snímek c, d, e, f) má hladký povrch. Velký průměr pórů lze pozorovat na biocharu, který byl vyroben o teplotě 600 °C. Biochar vyrobený o teplotě 450 °C poskytuje více místa pro adsorpci a větší prostor pro živiny, tudíž se jeví jako nejvhodnější (Wang a kol., 2015).



Obrázek č. 2: Pórovitost biocharu z kukuřičného klasu vyrobeného při teplotě pyrolýzy 300 °C, 450 °C a 600 °C (Wang a kol., 2015).

5.2 HYDROFILNÍ/ HYDROFOBNI VLASTNOSTI BIOCHARU

Zda je biochar hydrofilní nebo hydrofobní, je ovlivněno velikostí částic, povrchovým napětím, vnitřní a vnější porozitou (Allaire a kol., 2015). Povrch, který k sobě váže vodu, nazýváme hydrofilní a ten, který naopak vodu odpuzuje, hydrofobní.

Hydrofilní vlastnosti jsou závislé na dvou hlavních procesech během pyrolýzy:

- na poklesu funkčních skupin, měnících afinitu materiálu k vodě,
- na nárůstu porozity, která mění množství adsorbované vody.

Hydrofobicita je dána přítomností funkčních skupin: -OH, C=O, -COOH, laktonů a chinonů (Tan a kol., 2015). Kapacita zadržované vody pak souvisí s porozitou povrchu biocharu. Tyto vlastnosti mohou být protikladné, nebo se překrývat. Proto někdy nejsou jasně rozlišeny. Pórovitost biocharu se mění v důsledku unikajících pyrolýzních plynů během pyrolýzy (Weber a Quicker, 2018). Složení těchto plynů se odvíjí především od vlastností pyrolyzovaného materiálu a teploty pyrolýzy. Hlavními složkami plynu jsou CH₄, H₂, CO₂ a CO. (Jílková a kol., 2012). Velká povrchová plocha je pak dána výměnou kationtů a množstvím zadržované vody v biocharu. Tuto plochu lze stanovit pomocí analýzy BET, kdy je vzorek vystaven plyné atmosféře a měří se množství absorbovaného plynu (Weber a Quicker, 2018).

Schopnost zadržovat vodu je pak závislá nejen na pórovitosti, ale i na propojenosti pórů (Gray a kol., 2014).

Póry biocharu můžeme rozdělit dle velikosti na makropóry (s průměrem pórů 1000 – 0,05 μm), mesopóry (0,05 – 0,002 μm) a mikropóry (0,05 – 0,0001 μm). Póry velikosti řádu nanometrů, nemají význam pro rostliny. Z takto malých pórů nejsou schopny využít zadrženou vodu. Celkový objem pórů v biocharu je podmíněn teplotou pyrolýzy (Brewer a kol., 2014).

Hydrofilní látky jsou polární a jejich vodíkové vazby způsobují silnou interakci s vodou. Oproti tomu hydrofobní látky jsou nepolární, které vykazují pouze slabou interakci, ale mohou silně integrovat s nepolárními tekutinami.

Předpokládá se, že k vyšší hydrofobitě může dojít zvýšením teploty pyrolýzy, čímž se odstraní více funkčních skupin s polárním povrchem a zvýší se obsah aromatických látek. Tím dojde ke snížení poměru O/C (Weber a Quicker, 2018).

Tuto skutečnost potvrzuje experiment s absorpcí vody karbonizované biomasy, kdy bylo zjištěno, že vyšší teplota zpracování způsobuje menší schopnost biocharu adsorbovat vodu (Chun a kol., 2004).

Jiné experimenty však ukázali, že ošetření při vyšší teplotě může tento hydrofobní charakter opět snížit. Zornoza a kol. 2016 produkovali biochar ze zbytků plodin a vepřového hnoje při 300 °C, které byly klasifikovány jako vysoce hydrofobní. Avšak při ošetření za teploty vyšší než 500 °C nevykazovaly již žádnou hydrofobitu.

Podobné nálezy, které jsou uvedeny v tabulce č. 4, byly provedeny pomocí testu molárnosti s kapkou etanolu na uhlí připraveném ze dřeva, listů a zbytků plodin, při teplotách pohybujících se mezi 300 a 600 °C. Zatímco nízkoteplotní biochary byly extrémně hydrofobní, autoři charakterizovali uhlí produkované při více než 500 °C jako méně hydrofobní, některé dokonce jako hydrofilní (Kinneyem a kol., 2012).

Vstupní surovina	Pyrolýza °C	Fixní uhlík	Hydrofobita (MED index)	Sřední plocha píku C – H	Plocha píku	C=C, C=O poměr
Kukuřičný klas	300	1,11	9	3,18	0,44	1,05
Kukuřičný klas	400	10,1	1	2,04	0,46	2,35
Kukuřičný klas	500	11,03	0	0	0	9,17
Kukuřičný klas	600	8,98	0	0	0	0
List Magnolie	300	1,47	17	4,89	0,5	3,33
List Magnolie	400	1,61	7	2,94	0,71	6,77
List Magnolie	500	5,63	1	0,17	0,12	7,36
List Magnolie	600	5,64	1	0	0	0
Jabloň	300	1,36	11	1,47	0,27	0
Jabloň	400	7,62	0	0,95	0,17	0
Jabloň	500	7,73	0	0,07	0,02	0
Jabloň	600	5,19	0	0	0	0

Tabulka č. 4: Produkce suroviny, kapacita pole, hydrofobita, průměrná plocha píku a údaje o poměru C=C:C=O (Kinneyem a kol., 2012).

Test MED – pokud má absorbovaná kapka index MED 0, je vzorek považován za hydrofilní. Vzorky s indexy MED >1 jsou hodnoceny jako hydrofobní (Kinneyem a kol., 2012).

Hydrofobita biocharů je spojena se zbývajícími alifatickými funkčními skupinami. Jsou zničeny při teplotách mezi 400 °C a 500 °C. Toto vysvětluje, proč torefakce (obvykle do 300 °C) přeměňuje hydrofilní biomasu na hydrofobní biochar, ale další zvýšení teploty na více než 500 °C může vést ke ztrátě této hydrofobicity.

Biochar se nestává hydrofilním při vyšších teplotách, protože se netvoří žádné polární funkční skupiny. Jednoduše se stává méně hydrofobní v důsledku absence nepolárních funkčních skupin. Kromě toho se účinek rostoucí poréznosti při vyšších teplotách stává dominantnějším a biochar může absorbovat více vody (Weber a Quicker, 2018).

Tabulka č. 5 představuje experimenty adsorpce vody a etanolu, které přinesly zásadně odlišné výsledky. Adsorpce vody byla závislá jak na vstupní surovině, tak na teplotě pyrolýzy, zatímco adsorpce etanolu však byla závislá pouze na surovině. Biochary byly vyrobeny ze skořápek lískových oříšků a jedle Douglas. U obou vstupních surovin spotřebovaly biochary s nízkou teplotou méně vody než biochary s vysokou teplotou, ale stejné množství etanolu, což ukazuje, že rozdíly v adsorpci vody založené na produkční teplotě odrážejí rozdíly v povrchové hydrofobitě, nikoli porositě (Gray a kol., 2014).

Vstupní surovina	Výrobní teplota	Absorbce par	Absorbce vody	Střední příjem vody	Střední příjem etanolu	Střední nasycení vodou	Průměrná pórovitost naplněná vzduchem
	°C	Objemový podíl (%)	Objemový podíl (%)	Objemový podíl (%)	Objemový podíl (%)	Objemový podíl (%)	Objemový podíl (%)
Jedle Douglas	370	2,32 ± 0,10	28,3 ± 6,4	71,5d	86,3b	86,1a	11,5b
	500	2,55 ± 0,16	33,8 ± 10,5	76,9e	88,2b	90,6 ab	8,0 ab
	620	2,94 ± 0,23	51,5 ± 1,6	78,8e	86,7b	92,6b	6,3a
Lísková skořápka	370	3,90 ± 0,03	28,2 ± 2,6	53,8a	66,6a	86,0a	8,7 ab
	500	5,33 ± 0,15	34,1 ± 1,4	59,4b	65,4a	92,1b	5,1a
	620	6,26 ± 0,09	39,0 ± 1,6	64,1c	68,0a	92,7b	5,1a

Tabulka č. 5: Adsorpce vody a etanolu v závislosti na biocharu z jedle Douglas a lískové skořápky (Gray a kol., 2014).

Po začlenění do půdy prochází biochar fyzikálními a biochemickými změnami. Poměr mezi alifatickými sloučeninami a stabilnějšími aromatickými sloučeninami se může v průběhu času měnit v důsledku degračních procesů.

Po přidání do půdy mohou hydrofobní vlastnosti čerstvých biocharů negativně ovlivnit distribuci živin v půdě a retenční kapacitu. Biochary bývají během stárnutí více

hydrofilní, což umožňuje větší interakci s půdním prostředím (Rechberger a kol., 2017).

Biochary vyrobené ze surovin s nízkou velikostí částic bohatých na uhlík vyráběných při vysokých výrobních teplotách s dlouhou dobou zadržení pravděpodobně poskytnou optimální vlastnosti pro zadržování vody (Gray a kol., 2014).

Některé hydrofobní biochary se chovají podobně jako rašelina v suchých podmínkách. Sorpce vodní páry ze vzduchu se liší od sorpce kapalné vody ze země. Velikost částic je důležitá pro sorpci vody, ale mnohem méně pro vodní páru, kde je povrch důležitější (Allaire a kol., 2015).

5.3 NEGATIVNÍ VLASTNOSTI BIOCHARU – TOXICITA

Toxicita je schopnost látky způsobovat poškození nebo smrt živých organismů (Holoubek a kol., 2019). Jedním z hlavních problémů aplikace biocharu do půdy je možná kontaminace těžkými kovy a polycyklickými aromatickými uhlovodíky. Těžké kovy jsou však také charakteristické pro biochar vzniklý za pomalé pyrolýzy. Teploty dosahující až do 500 °C mohou vést k maximálním koncentracím PAU (polycyklickými aromatickými uhlovodíky) v biocharu. Ve studii o vlivu teploty pyrolýzy na potenciální toxicitu biocharů byly PAU většinou produkovány při teplotách od 300 do 400 °C a různé druhy dioxinů byly nalezeny v biocharech produkovaných při teplotách již od 250 do 900 °C (Gruss a kol., 2019). Rovněž může být kontaminován kondenzovanými pyrolýzními parami. Pomocí elektronové paramagnetické rezonance byly prokázány v biocharu i persistentní volné radikály, které jsou schopné inhibovat růst rostlin. Protože hlavním uplatněním biocharu má být jeho aplikace zpět do půdy, je nutné provádět pravidelný environmentální monitoring. Jedná se o testy fyto toxicity – tedy klíčení semen, elongace kořene, růst rostliny, testy únikového chování půdních kroužkoveců, vliv na půdní mikroflóru, chování biocharu vůči půdní organické hmotě apod. (Lehmann a kol., 2011). Studie prokázaly, že technologie pyrolýzy zvyšují potenciální koncentraci znečišťujících látek původní suroviny v důsledku ztráty její hmotnosti (Gruss a kol., 2019).

5.3.1 Vliv biocharu na degradaci POPs v půdě

Protokol o persistentních organických látkách (POPs) připravený orgány Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přecházející hranice států a podepsaný na evropské konferenci o životním prostředí v Aarhusu, v Dánsku, v červnu 1998 a Stockholmská konvence o persistentních organických polutantech podepsaná 23. května 2001 definují tyto látky jako organické látky, které:

- vykazují toxické vlastnosti,
- jsou persistentní,
- se bioakumulují,
- u nichž dochází k dálkovému přenosu v ovzduší přesahujícímu hranice států a k depozicím,

- u nichž je pravděpodobný významný škodlivý vliv na lidské zdraví nebo škodlivé účinky na životní prostředí (Holoubek a kol., 2001).

Využití biocharu v půdách kontaminovaných persistentními organickými látkami je opatření šetrné k životnímu prostředí. Biochar se široce používá ke snížení mobility a biologické dostupnosti POPs v prostředí.

Kromě toho, že v půdě izoluje uhlík, snižuje emise skleníkových plynů, snižuje navíc environmentální riziko přenosu POPs ze zemědělské půdy na plodiny. Sorpční schopnost biocharu na POPs ovlivňuje mnoho faktorů. Většina studií zjistila, že vysokoteplotní biochar s velkou sorpční kapacitou může zajistit rychlou sorpci POPs v půdě a naopak nízkoteplotní biochar bohatý na živiny může stimulovat půdní mikroby v biotě (NI a kol., 2020).

Druh rostliny	Počáteční koncentrace (POPs)	Typ biocharu	Účinnost	Studie
Hlávkový salát	16 PAHs (20.2 mg/kg)	2–10% kalový biochar 500°C (pyrolýza)	Koncentrace v jedlých částech byla snížena o 56–67%	Khan et al. (2013)
Čínské zelí a mrkev	Polychlorované bifenyly, PCBs (9.0 mg/kg)	2% Biochar vyrobený z pšenice a jehličí 550°C (pyrolýza)	Koncentrace v kořenové části u zelí a mrkve byla snížena o 61.5%–93.7% a 12.7%–62.4%	Wang et al. (2013)
Kukuřice	13 PAHs (3–6 ring) (68.6 mg/kg)	3% Biochar vyrobený z borovice a kukuřičné slámy 450°C (pyrolýza)	Koncentrace v půdní vodě a jedlých částech byla snížena o 6–44% a 31–68%	Brennan et al. (2014)
Orurka	16 PAHs (9.9 mg/kg)	2–10% kalový biochar 500°C (pyrolýza)	Koncentrace v půdě a jedlých částech byla snížena o 31–43% a 44–57%	Waqas et al. (2014)
Rajče	16 PAHs (9.9 mg/kg)	2–10% kalový biochar 550°C (pyrolýza)	Koncentrace v jedlých částech byla snížena o 3–84%	Waqas et al. (2015)
Řepka	16 PAHs (10.2 mg/kg)	2–5% Biochar vyrobený ze sojových bobů, rýžové slámy a arašídových slupek 500°C (pyrolýza)	Koncentrace v jedlých částech byla snížena o 27–80%	Khan et al. (2015)
Jílek vytrvalý	Hexachlorbenzen (3.8 mg/kg)	1% biochar z pšeničné slámy 500°C (pyrolýza)	Koncentrace v kořenech byla snížena o 93%	Song et al. (2016)
Rýže	Fenylalanin (Phe) a Pyren (Pyr) (1.00 a 0.1 mg/kg)	1% Biochar z borovice 300, 400, and 700°C (pyrolýza)	Koncentrace byla snížena o 88.61%–91.58%	Zhu et al. (2018)
Vrba	10 PAHs (700 µg/kg)	2.5% biochar z pšeničné slámy 600–700°C (pyrolýza)	Koncentrace byla snížena o 12–26%	Oleszczuk et al. (2017)

Tabulka č. 6: Účinky biocharů na biologickou dostupnost a migraci POPs v různých systémech půda - rostlina (NI a kol., 2020).

6 VSTUPNÍ SUBSTRÁTY

6.1 SUROVINY PRO VÝROBU BICHARU

Biochar lze vyrobit z celé řady přírodních materiálů včetně zbytků zemědělského a lesního hospodaření, chovu zvířat nebo takzvaných zelených odpadů ze zahrad. Systémy produkce biocharů by měly k jeho výrobě upřednostňovat využívání zbytků biomasy (Okimori a kol., 2003). Jedná se například o zpracování živočišných hnojiv pyrolýzní cestou, s cílem zamezit eutrofizaci vodních ploch v oblastech s vysokým obsahem fosforu a dusíku ve vodě a půdě. Při pyrolýze dochází ke změně struktury výchozí použité suroviny tak, že se stává odolnější vůči mikrobiálnímu rozkladu (Lehmann a kol., 2009).

Zjednodušeně můžeme vstupní suroviny pro výrobu biocharu rozdělit do dvou hlavních kategorií. První kategorii zaujímají přírodní složky biomasy - celulóza, hemicelulóza či lignin, které získáváme z trvalých travin a různých druhů stromů a řas. Druhou kategorii zastupují převážně odpady - a to z lesní výroby, rostlinné zbytky a zemědělské odpady, hnůj, biologicky rozložitelný komunální dopad či kaly z čistíren odpadních vod (Brick a kol., 2010).

Na výsledné vlastnosti biocharu mají vliv dvě klíčové veličiny: výchozí surovina, jež je klíčovým faktorem určujícím fyzikálně-chemické vlastnosti, a teplota pyrolýzy. Teplota pyrolýzy je nejdůležitějším parametrem procesu. Ovlivňuje zejména výtěžek a obsah C v biocharu, ale také velikost jeho povrchu (Okimori a kol., 2003). Teplota pyrolýzního procesu dokáže neutralizovat řadu organických toxinů (např. aflatoxin) a patogenů v surovinách (Yu a kol., 2006).

Složení výchozích surovin má značný vliv na kvalitu a složení získaného biocharu.

Při použití v zemědělství je zásadní, aby výchozí suroviny neobsahovaly nepřijatelnou hodnotu toxinů, jako jsou těžké kovy. Lze je nalézt např. v kalu z čistíren odpadních vod a v průmyslových nebo skládkových odpadech. Teplota pyrolýzního procesu dokáže neutralizovat řadu organických toxinů a patogenů v surovinách (Yu a kol., 2006).

Tabulka č. 7 popisuje základní složení vstupních surovin pro výrobu biocharu a tabulka č. 8 uvádí složení biocharů z biomasy vyrobených při 450, 500 a 550 °C pyrolýzy.

Typ biomasy	Elementární složení (% w/w) - hodnoty vlhkosti a popela					
	C	H	O	N	S	Popel
Směs dřeva	50,43	6,16	42,68	0,7	0,03	3,71
Kukuřice	48,15	6,37	43,83	1,57	0,08	6,69
Luční tráva	48,99	6,14	43,49	1,33	0,06	6,54

Tabulka č. 7: Elementární složení a obsah popela ve vstupní biomase (Břendová a kol., 2012).

Elementární analýza byla provedena na všech typech biocharů uvedených v tabulce č. 7. Bylo zjištěno, že travní biomasa má vyšší obsah popela z důvodu vyššího množství živin během vegetačního období. Nejnižší obsah dusíku byl v této studii naměřen v dřevní biomase, jak uvádí tabulka č. 8. Obsah uhlíku v biocharu vyrobeného z dřevní biomasy při nižších teplotách pyrolýzy (450 °C) je vyšší než biochar vyrobený z kukuřice při teplotě pyrolýzy (500 °C). Výtěžek uhlíku z luční trávy byl nižší než výtěžek z dřevní biomasy.

Typ biocharu	Teplota pyrolýzy °C	Elementární složení (% w/w) - hodnoty vlhkosti a popela				
		C	H	O	N	Popel
Biochar ze směsy dřeva	450	63,58	2,35	20,16	1,17	12,74
	500	63,84	2,21	19,04	1,11	13,8
	550	62,83	1,97	19,27	1,01	14,92
Biochar z kukuřice	450	58,82	2,15	14,17	1,88	22,98
	500	54,97	2,05	13,75	1,95	27,28
	550	44,19	1,56	22,73	1,79	29,73
Biochar z luční trávy	450	59,38	2,44	16,67	1,78	19,73
	500	57,93	2,21	17,34	1,72	20,8
	550	55,24	1,83	17,63	1,66	23,64

Tabulka č. 8: Elementární složení biocharů z různé biomasy za různých teplot pyrolýzy (Břendová a kol., 2012).

Z této studie vyplývá, že nejlepším vstupním substrátem pro výrobu biocharu je dřevní směs. Vzniklý biochar totiž vykazuje nejvyšší hodnoty specifického měrného povrchu ($369 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) a ve výsledku obsahuje vyšší podíl uhlíku a zároveň nižší obsah popela a dusíku (Břendová a kol., 2012).

6.2 BIOMASA

Podle nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, je biomasou „rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví.“ (Nařízení vlády č. 352/2002 Sb.).

Biomasu lze rozdělit na suchou a mokrou. Suchá biomasa se vyznačuje obsahem vlhkosti do 40% (Murtinger, 2007) a představuje zejména suchý rostlinný materiál a její odpad (Pastorek a kol., 2004). Mokrý biomasa obsahuje více jak 40% vlhkosti (Murtinger, 2007) a představuje tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat (Pastorek a kol., 2004).

6.3 ZDROJE BIOMASY

K energetickému využití se až na výjimky využívá fytomasa. Dále můžeme rozlišit biomasu cíleně pěstovanou, biomasu volně se nacházející v přírodě a biomasu odpadní. Pro energetické využití dělíme biomasu na zemědělskou, lesní a zbytkovou odpadní (kapitoly č. 6.3.1; 6.3.2; 6.3.3) (Studeník a kol., 2016).

6.3.1 Zemědělská biomasa

Tvoří ji biomasa cíleně pěstovaná v agroekosystémech, jejíž hlavní produkt je primárně určen k energetickým účelům. Zahrnuje biomasu obilovin, olejnin, trvalé travní porosty, rychle rostoucí dřeviny pěstované na zemědělské půdě, rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny. Patří sem také fytomasa ze zahrad, sadů, vinic, chmelnic atd. (Studeník a kol., 2016).

Biomasa ze zbytků zemědělských plodin je rozdělena do dvou hlavních kategorií. První kategorie se získává jako vedlejší produkt zemědělských posklizňových činností. Obvykle jde o zpracování základních plodin pro domácí spotřebu.

Druhá kategorie je vytvořena průmyslovým zpracováním zemědělských plodin (Mohammed a kol., 2013).

6.3.2 Lesní biomasa

Biomasa v každém lesním porostu se liší podle struktury a ovlivňuje nejen biomasu na jednotku plochy, ale také její distribuci v prostoru a čase (Goncalves, 2018). Lesní biomasa zahrnuje palivové dřevo, zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, prořezávek a probírek a lesní těžařské zbytky. Při energetickém využívání je nutno přihlídnout k nákladům na těžbu a transport, jelikož lesní ekosystémy mohou být značně nedostupné (Studeník a kol., 2016). Lesní biomasa je obnovitelné domácí palivo, které lze použít k výrobě energie. Udržitelné využívání lesní biomasy trvale nezvyšuje množství uhlíku v biosférickém cyklu na rozdíl od fosilních paliv, protože uhlík v lesní biomase pochází z atmosféry, nikoli z litosféry. Rozdíl mezi mírami sekvestrace uhlíku růstem stromů (obvykle pomalý proces) a mírami uvolňování uhlíku spalováním biomasy (rychlý proces) však znamená, že musí být provedeno pečlivé plánování, aby se zabránilo „uhlíkovému dluhu“, tj. zvýšení uhlíku v atmosféře (Blanco a kol., 2018). Současně je důležité dodržet princip šetrné těžby, aby nedošlo k rozsáhlejší destrukci nižších pater lesního ekosystému. Pro udržení potravních vztahů je důležité provádět těžbu postupně a promyšleně, dbát na to, aby část odumřelých stromů a větví v lese zůstala, neboť mají ochrannou i vyživovací funkci (cca 5 vzrostlých kmenů nekromasy na 1 ha lesa). Lesní biomasu představuje palivové dřevo a zbytková lesní biomasa (Studeník a kol., 2016).

6.3.3 Zbytková odpadní biomasa

Je považována za cenný zdroj energie. Obsahuje vedlejší produkty a zbytky z papírenského, dřevozpracujícího, kožedělného, potravinářského a farmaceutického průmyslu. Dále sem patří odpady z jatek, lihovarů, cukrovarů, moštáren. Jedná se o biomasu, která vzniká sekundárně při zpracování primárních zdrojů.

V posledních letech se sem výraznou měrou zařadily čistírenské kaly – odpadní složka z čistíren odpadních vod (Studeník a kol., 2016).

6.3.3.1 Čistírenský kal

Kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Kaly představují přibližně 1-2% objemu čištěných vod, je v nich však zkoncentrováno až 50 - 80% původního znečištění a také náklady na provoz kalového hospodářství představují až 50% celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod.

Způsoby zpracování kalů závisí na místních podmínkách dané lokality, na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a na možnosti konečného řešení kam s nimi. V současné době přicházejí v úvahu dva způsoby konečného zpracování kalů:

- využití v zemědělství a na rekultivace,
- termické zpracování (Dohányos, 2006).

6.3.3.2 Biochar vyrobený z čistírenských kalů

Biochar obsahuje cca 60 % hmotnosti sušiny SČK a hlavní složkou je stabilní uhlík, který nepodléhá dalšímu rozkladu a oxidaci v půdě.

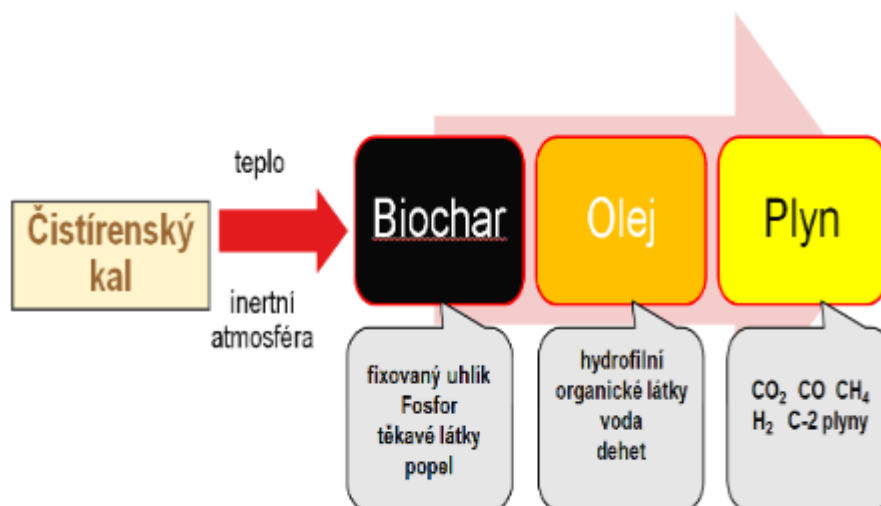
Biochar je porézní (25–150 m²/g). Porozita biocharu je závislá na typu reaktoru, pyrolýzní teplotě a délce pyrolýzy. Biochar zvyšuje zádrž vody v půdě a nachází se v něm velký obsah živin (P, N, Ca). S rostoucí teplotou pyrolýzy se množství nutričních prvků snižuje. Obsah P v biocharu vyrobeného za teploty 600 °C je 6 - 8 hm % a N je 2 – 2,5 hm %.

S rostoucí teplotou pyrolýzy se v biocharu zvyšuje stabilita těžkých kovů. Biochar je kombinované hnojivo, které obsahuje vápenato - hořečnatou složku (Pohořelý a kol., 2017).

Biochar vyrobený pyrolýzou čistírenských kalů jako doplněk půdy pro pěstování rostlin bere zřetel na sorpční vlastnosti biocharu, obsah biogenních prvků a obsah těžkých kovů (Song a kol., 2014).

Biochar se do zemědělské půdy aplikuje zejména zemědělskými stroji. Nejčastěji se používá rozmetadlo a secí stroj. Rozmetadlo umožňuje velkoobjemové plošné dávkování biocharu na půdu. Secí stroj umožňuje řízené dávkování biocharu spolu s granulovanými hnojivy do těsné blízkosti semen rostlin.

Množství dávkovaného biocharu do zemědělské půdy se pohybuje v širokém rozmezí: 1–50 t/ha (obvykle 5t/ha). Používá se jak sypaný biochar, tak granulovaný biochar o průměru 2,3 či 4 mm. Biochar zůstává v půdě několik desítek let. Je vhodné biochar aplikovat na jaře (Pohořelý a kol., 2017).



Obrázek č. 3: Pyrolýza sušených čistírenských kalů (<https://docplayer.cz/32878139-Pouziti-pyrolyzy-k-produkci-hnojiva-z-cistirenskych-kalu-miroslav-kos.html>).

6.4 TERMOCHEMICKÉ ZPRACOVÁNÍ BIOMASY

Existuje mnoho různých postupů úpravy biomasy prostřednictvím zahřívání, kde energie je cílovým produktem většiny z nich. Obecně platí, že všechny procesy zahrnují teploty nad 50 °C během proměnné doby zdržení (Novotny a kol., 2015).

Termochemické přeměny patří mezi tzv. suché procesy. Spalování je nejznámější a nejčastější způsob termochemické přeměny biomasy. Při procesu spalování nastávají postupně čtyři fáze:

- sušení, při kterém probíhá postupné zahřívání biomasy a dochází ke snížení obsahu vody v důsledku vypařování,
- pyrolýza, u které musí být zabezpečen dostatečný přísun kyslíku. V této fázi dochází k tomu, že se biomasa rozkládá na plyny, kapalné destilační produkty a zuhelnatělé zbytky a uvolňuje se spalné teplo,
- spalování vzniklých plynných složek,
- spalování pevných látek, kdy proces probíhá na roštu, čímž se zabezpečí dostatečný přísun kyslíku (Cenek, 2001).

Mohou být prováděny se suchou nebo mokrou biomasou, jejíž obsah vlhkosti je rozhodující pro definování nejlepšího postupu pro danou surovinu (Pastorek a kol., 2004).

Hlavním produktem jsou kapaliny (dehet, biopalivo), pevné látky (uhlí, popel) nebo plyn (oxidy H, C, H, lehké uhlovodíky) (Novotny a kol., 2015).

Schéma č. 1 poskytuje přehled hlavních termochemických procesů výroby biomasy s ohledem na teplotní rozsah.

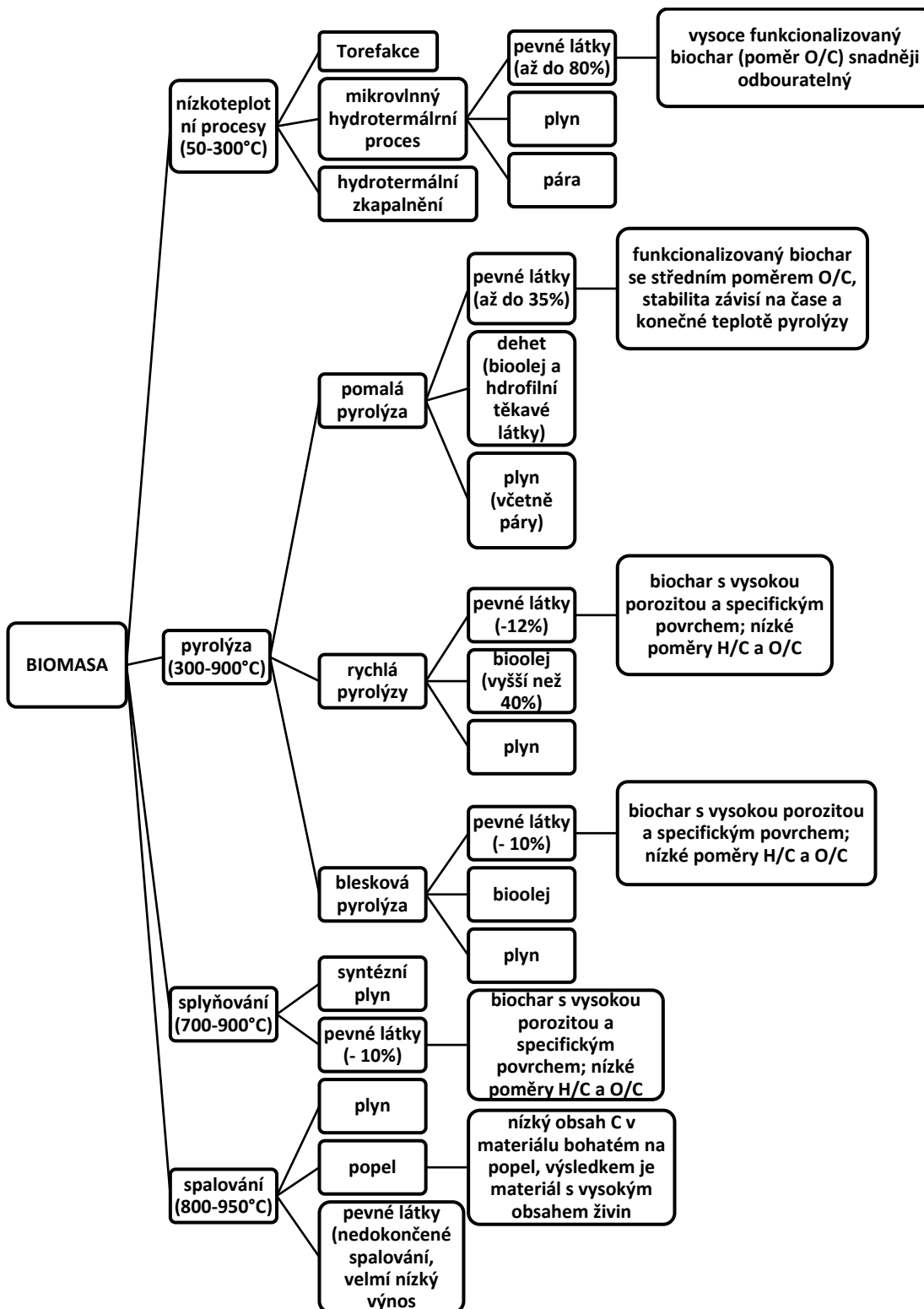


Schéma č. 1: Termochemické procesy výroby biomasy podle teplotního rozsahu a převládajících charakteristik biocharu (Novotny a kol., 2015).

7 VÝROBA BIOCHARU

7.1 PYROLÝZA

Termín pyrolýza vznikl spojením řeckých slov pýr - oheň a lysis - rozpustit (Basu, 2010). Mezi různými procesy, které byly navrženy pro energetické využití biomasy, zůstává pyrolýza jedním z nejslibnějších. Pyrolýza je definována jako tepelné zpracování biomasy za malého nebo žádného přístupu kyslíku, což má za následek produkci pevné látky (biochar), kapaliny (dehtu a vodného roztoku organických látek) a plynných produktů (Maschio a kol., 1992). Pyrolýza probíhá za relativně nízkých teplot, které se pohybují od 300 do 800°C. Nejčastěji se však provádí při teplotě od 300 do 650°C (Basu, 2010) a je zajímavá nejen jako nezávislý proces vedoucí k výrobě energeticky bohatých produktů, ale také jako mezistupeň v procesu zplyňování nebo spalování (Maschio a kol., 1992).

Sorbční vlastnosti biocharu jsou ovlivňovány zejména teplotou pyrolýzy (pohybuje se od 200 do 800 °C), ale rovněž vstupními surovinami což má vliv na uvolňování těkavých látek z biocharu (Ding a kol., 2017).

Pyrolýza biomasy, prováděná při vyšších teplotách, může vést ke zvýšenému pH biocharu (Saletnik a kol., 2019). Právě teplota úzce souvisí s chemickým složením biocharu a jeho mikrobiologické stabilitě. Čím vyšší teplota, tím menší je obsah vodíku, kyslíku a polárních funkčních skupin (tj. hydroxylová, karboxylová). Bylo zjištěno, že biochar, který vznikl za nižší teploty, se snadněji rozkládá, avšak vzniklý za vyšší teploty je odolnější proti biodegradaci (Ding a kol., 2017).

Procesy pyrolýzy se mezi sebou liší v tom, jak rychle se teplo přenáší na částice suroviny, teplotou a dobou zdržení. Hlavní pyrolytické procesy jsou popsány níže (Libra a kol., 2011).

Tabulka č. 9 shrnuje vliv teploty na výtěžek biocharu z různých typů biomasy. Nízká teplota pyrolýzy je vhodná pro vysoký výtěžek biocharu, protože vysoká teplota podporuje uvolňování těkavých složek biomasy ve formě plynů a kapalin, což má za následek nižší výtěžek biocharu (Tripathi a kol., 2016).

Autoři	Biomasa	Teplotní rozsah pyrolýzy (°C)	Výtěžek biocharu (%)
Williams a Nugranad	Rýžová tráva	400 - 600	33 - 22,5
Aysu a Kusuk	Ferula orientalis	350 - 600	40,26 - 26,29
Zhang a kol.	Kukuřičný klas	400 - 700	34,2 - 20,2
Sanchez a kol.	Splašky	350 - 950	52 - 39
Ayhan Demirbas	Olivy	450 - 1250	44,5 - 19,4
Ayhan Demirbas	Kukuřičný klas	450 - 1250	30,6 - 5,7
Shabangu a kol.	Borovice	300 - 450	58 - 26

Tabulka č. 9: Porovnání vlivu teploty pyrolýzy na výnos biocharu (Tripathi a kol., 2016).

7.1.1 Pyrolýza pomalá

Nejjednodušší a energeticky nejméně náročná pomalá pyrolýza je běžně nazývána jako karbonizace, jejímž hlavním produktem je dřevěné uhlí. Probíhá při teplotě přibližně 450 °C. Jde o nejstarší metodu zpracování biomasy. Rychlost zahřívání je velmi nízká a fáze sušení probíhá delší dobu (Bínek, 2013). Pravděpodobně se jedná o nejběžnější způsob výroby biocharu při nízké rychlosti zahřívání, za relativně nízké teploty (od 300 do 600 °C) a dlouhé době zdržení (hodiny až dny). Pomalá pyrolýza se doporučuje pro výrobu pevných látek (20 - 40% aktivního uhlí nebo biopaliva) za předpokladu snížení frakcí, jako je plyn a ropa. Pro produkci jedné třetiny každé frakce je typické, když se surovina pomalu pyrolyzuje a čím vyšší je teplota, tím nižší je výtěžek uhlí. Při nízkých teplotách je lignin částečně degradován a stále může být přítomna zbytková celulóza. Krátká doba zdržení může vést ke stejnému výsledku, což je neúplná karbonizace, a také zbytky dehtu impregnují výsledné uhlí. Z energetického hlediska je kvalita aktivního uhlí při pomalé pyrolýze nízká, ale v případě biocharu závisí na požadované funkci konečného produktu. Obecně platí, že nízká teplota a doba zdržení vedou k vysoce funkcionalizovanému biocharu, protože neúplná degradace a nedostatečné vypouštění dehtu zachovávají část původní struktury uhlohydrátů a fenolů a zachovávají vysoký obsah hydroxylových a karboxylových skupin. Tyto vlastnosti jsou žádoucí, pokud je hlavní zamýšlenou funkcí biocharu zvýšení kapacity kationtové výměny půdy (Novotny a kol., 2015).

Studie	Surovina	Pyrolýza	pH	C	N	O	CEC	BET povrch	Fixovaný C	Těkavá látka
		°C		%	%	%	cmolc kg ⁻¹	m ² g ⁻¹	%	%
Baronti a spol. (2014)	Prořezávání sadů	500	9,80	77,81	0,91		101	410		
Méndez a spol. (2013)	Kaly z ČOV	400	7,76				30	33	4,64	23,34
Kim a spol. (2013)	Ozdobnice čínská	300	8,28	68,48	0,31	25,71		0,56	53,84	41,87
	Ozdobnice cukrová	400	8,68	81,20	0,42	14,29		2,41	68,73	25,70
Zhao a spol. (2013)	Kravský hnůj	500	10,2	43,7			149	21,9	14,7	17,2
	Prasečí hnůj	500	10,5	42,7			82,8	47,4	40,2	11,0
	Krevetí skelet	500	10,3	52,1			389	13,3	18,9	26,6
Genesio a spol. (2015)	Kaly z ČOV	400	7,7	22,6	3,5			0,1	26,7	21,3
		450	8,2	18,6	2,4			2,9	27,1	17,3
		500	9,0	17,7	2,3			3,2	28,2	14,2
Hale a spol. (2013)	Kakaové skořápky	350	10,42	70	1,4		37	18,6		
	Kukuřičný klas	350	8,97	66	0,6		34	36,4		
Chen a spol. (2014)	Kaly z ČOV	500	8,81	17,46	1,54	10,449	76,75	25,424		
Zhao a spol. (2013)	Kostní zbytky	500	9,57	24,2			87,9	113	10,5	11,0
	Kaly z ČOV	500	8,82	26,6			168	71,6	20,6	15,8
	Papír	500	9,88	16,4			516	133	16,4	30,0
Méndez a spol. (2012)	Kaly z ČOV	500	9,54				2,36	32,24	5,7	24,1
Liu X a spol. (2014)	Kukuřičný klas	300	8,1	67,21	0,67	27,63		61,8	49,1	43,6
		400	9,1	79,65	0,67	15,72		180,1	71,7	20,8
		500	9,3	83,27	0,78	12,62		212,6	81,6	8,6
	Piliny	500	9,5	87,61	0,93	9,31		243,1	80,6	13,1
	Stéblo kukuřice	500	10,1	77,34	2,79	17,23		201,3	76,6	8,9
Lee a spol. (2013)	Cukrová křtina	500	9,3	85,59	1,11	10,48		202	80,97	9,17
	Ořech z palmy	500	10,3	84,44	1,02	11,67		13,7	67,25	14,30
	Sláma	500	10,5	86,28	3,25	7,35		45,8	39,10	6,46
	Dřevěná kůra	500	9,6	84,84	1,83	10,20		13,6	68,66	18,14
Zhao a spol. (2013)	Arašídové skořápky	500	10,5	73,7			44,5	43,5	72,9	16,0
	Chlorella	500	10,8	39,3			562	2,78	17,4	29,3
	Vodní řasy	500	10,3	25,6			509	3,78	3,84	32,4
Ahmad a spol. (2012)	Sojové boby	300	7,27	68,81	1,88	24,99		5,61		
	Arašídové skořápky	300	7,76	68,27	1,91	25,89		3,14		
Zhao a spol. (2013)	Piliny	500	10,5	75,8			41,7	203	72,0	17,5
	Tráva	500	10,2	62,1			84,0	3,33	59,2	18,9
	Pšeničná sláma	500	10,2	62,9			95,5	33,2	63,7	17,6

Tabulka č. 10: Vlastnosti biocharu ovlivněných vstupními surovinami a pomalou pyrolýzou (Ding a kol., 2017).

7.1.2 Pyrolýza rychlá

Při rychlé pyrolýze se biomasa zahřívá na teplotu 850 - 1250 °C s rychlostí zahřívání 10 - 200 °C na krátkou dobu v rozmezí 1 až 10s (Tripathi a kol., 2014). Rychlá pyrolýza je hlavním procesem používaným při výrobě bio-oleje. Za správných podmínek se může výtěžek kapaliny zvýšit až o 75%. K dosažení vysokých výtěžků je nutná dobrá homogenizace suroviny, rozemletá asi na 2 mm a sušení na méně než 10% vlhkosti (Libra a kol., 2011). I přes svůj zvláštní význam pro bio-olej vytváří rychlá pyrolýza 10 až 15% pevných látek, které lze použít jako biochar, surové nebo granulované uhlí. Protože rychlá pyrolýza se obvykle provádí při vysokých teplotách (nad 500 °C), je aromaticita výsledného biocharu obecně vyšší a atomový poměr O/C nižší než pomalá pyrolýza po stejnou dobu pobytu. Poměr O/C je důležitým ukazatelem stability a funkčnosti biocharu a může se pohybovat od 0,2 (vysoce stabilní) do 0,6 (vysoce funkční) (Novotny a kol., 2015).

Studie	Surovina	Pyrolýza	pH	C	N	O	CEC	BET povrch	Fixovaný C	Těkává látka
		°C		%	%	%	cmolc kg ⁻¹	m ² g ⁻¹	%	%
Méndez a spol. (2013)	Kaly z ČOV	600	8,72				12	37	4,77	16,70
Kim a spol. (2013)	Kravský hnůj	600	10,05	90,71	0,33	6,70		381,5	88,60	7,70
Chen a spol. (2014)	Kaly z ČOV	600	9,54	18,40	1,38	7,353	30,81	20,268		
		700	11,11	16,92	0,95	6,860	50,34	32,167		
		800	12,18	16,20	0,50	3,641	126,62	48,499		
		900	12,15	15,92	0,53	2,439	247,51	67,603		
Liu a spol. (2013)	Borové dřevo	700	6,60	95,30	0,12	3,76		29	57,05	3,20
Liu X a spol. (2014)	Kukuřičný klas	600	10,4	84,31	0,76	12,52		192,9	82,4	7,2
Inyang a spol. (2010)	Nestrávená bagasa	600	7,7	76,45	0,79	19,83	4,19	14,07		
Inyang a spol. (2010)	Strávená bagasa	600	10,9	73,55		24,04	14,30	17,66		
Ahmad a spol. (2012)	Sojové boby	700	11,32	81,98	1,30	15,45		420,3		
Ahmad a spol. (2012)	Arašídové skořápky	700	10,57	83,76	1,14	13,34		448,2		

Tabulka č. 11: Vlastnosti biocharu ovlivněných vstupními surovinami a rychlou pyrolýzou (Ding a kol., 2017).

7.1.3 Pyrolýza blesková

Bleskovou pyrolýzu lze považovat za vylepšenou a modifikovanou formu rychlé pyrolýzy (Tripathi a kol., 2016). Tento proces je jedním z nejnovějších a stále se vyvíjí. Blesková pyrolýza se provádí v ještě kratší reakční době (jen několik sekund) než rychlá pyrolýza, takže rychlost ohřevu je velmi vysoká (Novotny a kol., 2015). Bleskovou pyrolýzou jsme schopni vyprodukovat vyšší procento kapalných složek (Ochodek a kol. 2007). Tento proces vyžaduje speciální konfiguraci reaktoru (například paralelní šnekový reaktor) a pro příjem suroviny musí být přítomen tepelný vodič (jako fluidní lože). Jemné částice suroviny se spálí bleskovým ohněm. Tento proces se používá hlavně k výrobě bio-oleje. Teploty v rozmezí 400 až 950 °C podporují rychlou depolymeraci a krakování surovin, což vede k biologickému oleji s viskozitou srovnatelnou s naftou. Příklady tohoto procesu jsou blesková hydro-pyrolýza, která zahrnuje vodíkovou atmosféru při tlacích až 20 MPa a vakuová blesková pyrolýza, ke které dochází za podtlaku, aby se odstranily kondenzovatelné produkty z horké reakční zóny (Novotny a kol., 2015). Proces bleskové pyrolýzy je jedním z nejnovějších a stále se vyvíjí (Ochodek a kol. 2007).

7.1.4 Zplyňování

Zplyňování je z chemického hlediska velmi složitý proces, při kterém dochází k termickému rozkladu organické hmoty za vzniku plynu, par a uhlí, tzv. pyrolýzou (Ochodek a kol. 2007).

Metody zplyňování můžeme rozdělit na nízkoteplotní a vysokoteplotní.

V případě nízkoteplotního procesu při teplotě kolem 500 °C vznikají kondenzující uhlovodíky, jako jsou dehet a fenoly, které nejsou žádoucí, neboť mohou zanášet zařízení, v nichž získaný plyn vzniká. Tato metoda je investičně a energeticky méně náročná, ale nemusí být 100 % účinná.

V případě vysokoteplotního procesu při teplotě 850 - 950 °C mohou problémy způsobit minerální látky, obsažené v biomase, které se při teplotách nad 850 °C spékají. Je nutné zajistit odvod uvedených látek po roztavení v tekuté formě.

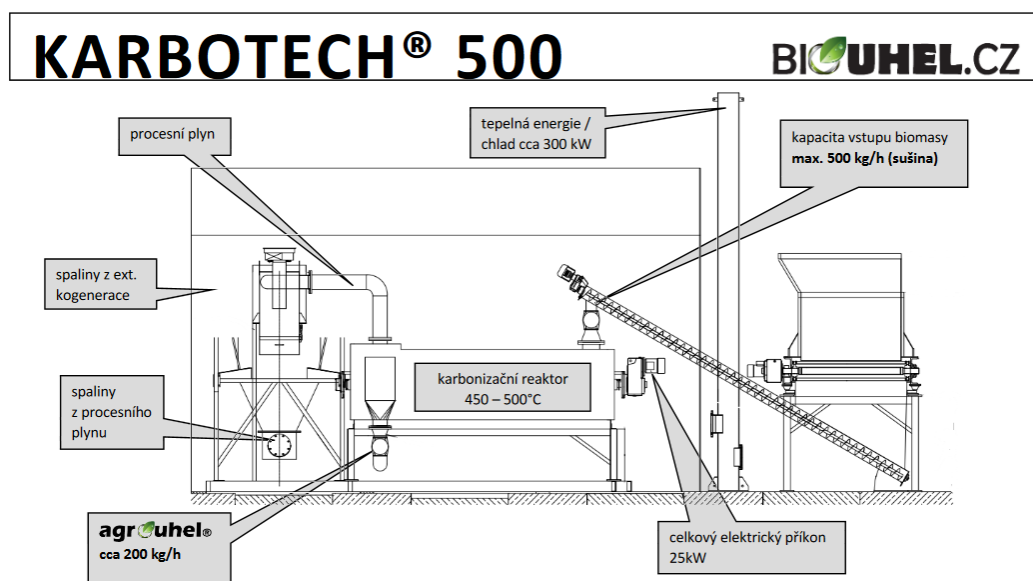
Plyn je následně pročištěn a zbaven dusíku, alkalických kovů, chloru a síry (Badeau a kol., 2009).

Biochar vzniklý zplyňováním, se jeví jako vhodný materiál pokud jde o stabilitu C, avšak měl by se dát zřetel např. na obsah popela. Zplyňování se používá k výrobě biocharu s vysokou koncentrací aromatických struktur. Srovnáním chemických vlastností biocharu vzniklého různými metodami se ukázalo, že biochar vzniklý zplyňováním má podobnou aromaticčnost jako biochar získaný pomalou pyrolýzou, ale větší velikost shluků fúzovaných kruhových systémů. Tato skutečnost zvyšuje riziko přítomnosti polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), proto je nutné sledovat obsah aromatických kontaminantů. Jedním posledním aspektem biochemických látek produkovaných při vysoké teplotě, jako je zplyňování, je měrná povrchová plocha a pórovitost, které jsou obvykle za těchto podmínek vyšší než u biocharu vzniklého pomalou pyrolýzou (Brewer a kol., 2009).

8 TECHNOLOGIE KARBOTECH

Technologie KARBOTECH pracuje na principu nízkoteplotní pyrolýzy, což je reduktivní proces, při kterém je biomasa rozkládána na pyrolýzní plyny a pevný zbytek (biochar), obsahující až 95% uhlíku ve stabilní formě. Hlavní předností technologie KARBOTECH je využití odpadního nebo zbytkového tepla z jiných provozů, zejména spaliny z motorů kogeneračních jednotek. Ty jsou provozovány zpravidla na bioplynových stanicích, čistírnách odpadních vod nebo u odplyňovaných skládek. Spaliny z motorů jsou vedeny do technologie, kde se dále dohřejí spalováním pyrolýzních plynů. Díky tomu je možné zpracovat větší množství biomasy, a to i s nižším obsahem spalitelných látek. Za procesem karbonizace tak zůstává dostatek zbytkové tepelné energie pro předsušení (BIOUHEL.CZ s.r.o.).

Technologie je chráněna užitným vzorem 30970 *Zařízení pro využití organického materiálu a odpadního tepla.*



Obrázek č. 4: Základní schéma technologie KARBOTECH (<https://biouhel.cz/wp-content/uploads/2017/02/KARBOTECH-500-P.pdf>).

Technologie KARBOTECH je technické zařízení pro karbonizaci (termickou konverzi) drobnozrnné biomasy rostlinného původu. Skládá se z dávkovacího zásobníku s vynášením, reaktoru termické konverze s dávkováním a vynášením a spalovací komory pro spalování procesního (generátorového) plynu. Reaktor je řešen jako ležatá retorta, kdy je biomasa posouvána vnitřním prostorem a kolem něj je mezi pláštěm veden proud spalin, který vnitřní prostor nepřímo ohřívá. Spaliny vznikají spalováním procesního plynu, který je odváděn z vnitřního prostoru reaktoru do spalovací komory. Vnitřní prostor reaktoru je na straně dávkování a vynášení uzavřen, aby byl omezen přístup vzduchu. Teplota ve vnitřním prostoru reaktoru se pohybuje kolem 450 °C, spaliny ze spalování procesního plynu mají teplotu 700 - 800 °C. Doba zdržení biomasy v reaktoru se řídí mezi 20 a 30 minutami.

Účelem technologie je termická konverze původní suché biomasy do formy stabilního uhlíku, označované jako biochar. Firma BIOUHEL.CZ vyrábí biochar pod obchodním názvem Agrouhel®, který je vyroben z rostlinné biomasy a dřevního odpadu procesem pyrolýzy. Jedná se o pomocnou půdní látku, která je určena pro zlepšení půdních vlastností. Rozhodnutí o registraci Agrouhel® jako pomocné půdní látky je přiloženo v příloze č. 1.

Vstupní biomasa se ohřívá bez přístupu vzduchu, přičemž se vyvíjí karpoblyn (obdoba dřevoplynu) a stabilní části se zuhelňují (BIOUHEL.CZ s.r.o.).

Vlastnosti	Hodnota
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 45,0
Sušina v %	min. 60,0
Celkový uhlík jako C v sušině v %	min. 45,0
Celkový dusík jako N v sušině v %	min. 1,0
Celkový fosfor jako P ₂ O ₅ v sušině v %	16
Celkový draslík jako K ₂ O v sušině v %	17
Vápník jako CaO v sušině v %	56,3
Hořčík jako MgO v sušině v %	6,6
Hodnota pH	9 - 11,0
Částice pod 2mm v %	min. 40,0
Částice pod 10mm v %	max. 10,0

Tabulka č. 12: Chemické a fyzikální vlastnosti Agrouhlu® (https://www.agrouhel.cz/wp-content/uploads/2017/09/agrouhel_pribal_letak.pdf)

9 VYUŽITÍ BIOCHARU A DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, ROSTLINY A ŽIVOČICHY

9.1 VYUŽITÍ BIOCHARU

Využití biocharu se nevztahuje pouze pro zemědělství. Je příliš cenný na to, aby byl pohřben v zemi, aniž by se použil pouze jednou nebo v lepším případě vícekrát k jiným účelům jak půdní aditivum. Biochar nachází své uplatnění ve stále v nových oblastech, ať už jde o stavebnictví, textilní průmysl, potravinářský průmysl a vodohospodářství. Kdekoliv se v průmyslu používá biochar, lze uhlík, který byl extrahován z atmosféry ve formě CO₂, dlouhodobě skladovat nebo nahradit fosilní zdroje uhlíku. Biochar je nepochybně jedním z nejzajímavějších oborů výzkumu desetiletí (Schmidt, 2012).

9.1.1 V zemědělství

Biochar pozitivně ovlivňuje kvalitu půdy a úrodnost zejména svými fyzikálními vlastnostmi. Svou strukturou zvyšuje provzdušnění půdy a její retenční schopnost a zpracovatelnost. Dochází k chemickému vázání minerálních látek na povrchu biocharu, které se rozpouštějí v půdním roztoku (Schmidt, 2012).

Biochar je schopen vázat kladně nabité ionty tím, že povrch biocharu nese negativní náboj. Jedná se zejména o vápník Ca²⁺, draslík K⁺, hořčík Mg²⁺, které jsou blahodárnými živinami pro pěstované rostliny. Vzhledem k tomu, že má biochar členitou strukturu, můžou jeho póry posloužit mikroorganismům mikrobiální osídlení a účinný úkryt před predátory (Urbánková, 2015).

Vyšší kvality půdy můžeme docílit tzv. kompostováním uhlí. Do biomasy, která má být kompostována, se přidá 10 až 30% biocharu, čímž se vyprodukují účinné náhražky rašeliny pro skleníky, školky, hnízdiště atd. (Schmidt, 2012).

Aplikace biocharu do půdy má také za cíl snížit náklady na umělá hnojiva, které představují v zemědělství finančně náročnou položku (Urbánková, 2015).

9.1.1.1 Využití biocharu při kompostování

Kompostování je široce přijímána technologie recyklace organického odpadu v zemědělství, která zajišťuje stabilizaci organických látek. Tato technologie zpracování odpadu je založena na biologické přeměně organických odpadů za aerobních podmínek a za účasti široké škály mikrobionálních skupin. Přidáním biocharu v počátečních fázích procesu kompostování vyvolává změny v mikrobiální komunitě, jak bylo pozorováno v půdách pozměněných biocharu, lesích postižených ohněm (Jindo a kol., 2012) a půdách kontaminovaných kovem (Teodoro a kol., 2020).

Ze studií, kdy byla biomasa kompostována spolu s biocharu, vychází, že hlavní význam biocharu při kompostování spočívá v urychlení průběhu kompostování, zamezení ztráty živin, snížení zápachu, neutrálnímu pH a zvýšenou retenci vlhkosti.

Kompost kombinovaný s biocharu může mít také přidanou hodnotu pro další zlepšení celkové půdy C, N a P, stabilizaci půdních agregátů a stimulaci aktivity mikroorganismů v půdě.

Výhody použití biocharu jako doplněk kompostu jsou:

- zvýšení mikrobiální aktivity potenciálním zvýšením aerace,
- snížení objemové hmotnosti půdy,
- zvýšení teploty kompostu,
- snížení odpařování amoniaku,
- zvýšení schopnosti zadržovat vodu,
- snižování ztrát živin vyluhováním,
- snižování emisí skleníkových plynů a zápachu,
- zvyšování stupně zvlhčování (Teodoro a kol., 2020).

Přidání biocharu do kompostu pozitivně ovlivňuje proces a kvalitu konečného produktu. Biochar zlepšuje provzdušňování díky své vysoké porozitě a velké ploše a zadržuje vodu v půdě.

Tabulka č. 13 uvádí, jak byl obsah uhlíku, dusíku, pH, organické hmoty a hustoty významně ovlivněn dobou kompostování. Relativně vysoký poměr C/N všech počátečních kompostovacích směsí odráží lignocelulóзовou povahu výchozích materiálů.

U obou ošetření se poměr C/N během kompostování snížil v důsledku stabilizace organické hmoty. Teplota, která se pohybovala od 20 – 63 ° C, byla klíčový parametr pro sledování procesu kompostování (Jindo a kol., 2012).

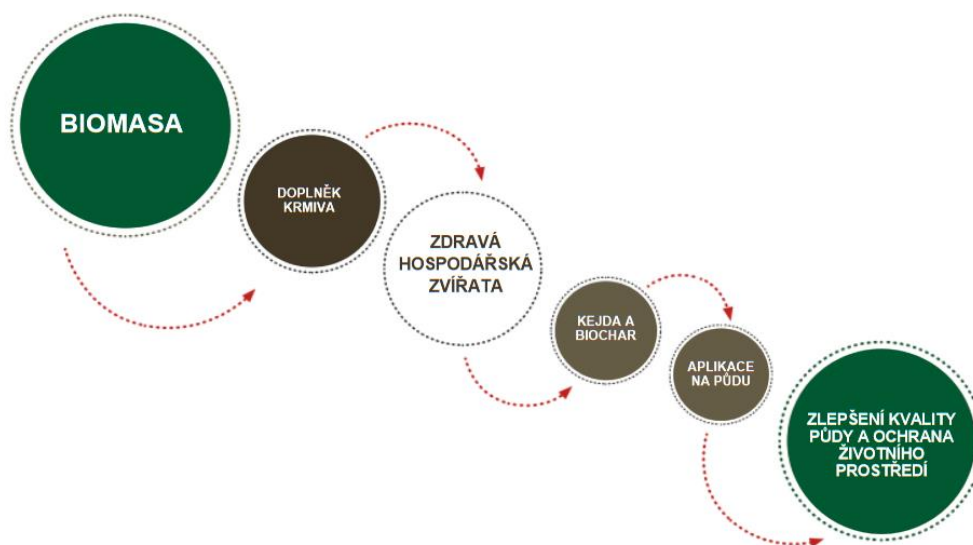
Kompostovací čas	Dusík (g kg ⁻¹)	Uhlík (g kg ⁻¹)	uhlík/dusík	Teplota (°C)	pH	Organická hmota (%)	Hustota (g cm ⁻³)
1 týden							
Odpoledne	0,22d	3,82b	17,7a	57,5	5,8b	79,9b	0,49c
Drůběží hnůj s biocharem (PMB)	0,18b	5,01d	28,6c	62,0	5,8c	84,9c	0,41a
Kravský hnůj (CM)	0,19c	3,65a	18,8b	60,7	6,6c	75,9a	0,47c
Kravský hnůj s biocharem (CMB)	0,16a	4,82c	30,0d	57,9	7,0a	79,7b	0,42b
6 týdnů							
Odpoledne	0,33c	3,00a	9,1a	31,3	8,0b	60,2a	0,72c
Drůběží hnůj s biocharem (PMB)	0,25b	4,81c	19,4c	31,0	8,3c	74,4d	0,56a
Kravský hnůj (CM)	0,25b	3,00a	12,1b	30,5	7,7a	61,9b	0,60b
Kravský hnůj s biocharem (CMB)	0,21a	4,40b	21,0d	31,1	7,8a	71,4c	0,57a
12 týdnů							
Odpoledne	0,35c	2,88a	8,3a	21,2	8,2c	55,2a	0,81d
Drůběží hnůj s biocharem (PMB)	0,20a	3,92c	19,7c	21,8	7,8b	73,0d	0,57b
Kravský hnůj (CM)	0,26b	2,86a	10,9b	20,5	7,7b	59,7b	0,65c
Kravský hnůj s biocharem (CMB)	0,20a	3,80b	19,0c	21,8	7,6a	68,8c	0,55a

Tabulka č. 13: Chemické vlastnosti směsí v různých dobách kompostování (Jindo a kol., 2012).

Všechny 4 hromady kompostu vykazovaly typický trend. Termofilní fáze nastala čtvrtým dnem o teplotě 60 °C a trvala po dobu dvou týdnů. Během následujících pěti týdnů došlo ke stabilizaci (3 týdny 50 - 40°C a 2 týdny 40 - 30°C). Mezofilní teploty se snížily na hodnotu podobnou okolnímu prostředí (zralý kompost). Použití biocharu neovlivnilo teplotu CMB a PMB hromad během termofilní fáze (tabulka č. 13). Nicméně poměr grampozitivních a gramnegativních bakterií po 12 týdnech kompostování byl přítomností biocharu zvýšen. Výsledky naznačují pozoruhodnou roli grampozitivních bakterií na konci kompostování s biocharem (Jindo a kol., 2012).

9.1.1.2 Chov hospodářských zvířat

V současné době se biochar používá k chovu hospodářských zvířat. Přínos pro zemědělce je patrný po několika dnech od aplikace. Biochar výrazně snižuje zápach krmiv, steliva a kejdy. Při použití jako doplněk stravy léčí průjemová onemocnění, snižuje se alergie a zvířata se zklidňují (Schmidt, 2012).



Obrázek č. 5: Příklad posloupnosti využití biomasy formou biochar jako doplněk stravy hospodářských zvířat (Lehmann a kol., 2010).

9.1.2 Ve stavebnictví

Biochar má extrémně nízkou tepelnou vodivost a může absorbovat vodu až šestkrát oproti vlastní hmotnosti. Díky těmto vlastnostem je ideální pro izolaci a regulaci vnitřní vlhkosti. Ve spojení s hlínou, ale také s vápennou a cementovou maltou, lze biochar smíchat s pískem. To vytváří vynikající prodyšné vnitřní omítky, které udržují vlhkost místností v ideálním rozmezí 45 – 70% v létě i v zimě. Pokud jsou domy jednou demolovány (Schmidt, 2012), lze cementovou omítku s příměsí biocharu použít jako kompostovatelný materiál (Grupta a kol., 2018) a podpořit tak recyklaci odpadu. Kromě obytných budov jsou omítky z hlíny a biocharu vhodné pro sklady, průmyslové budovy, nebo školy, kde se zdržuje mnoho lidí. Biochar účinně pohlcuje elektromagnetické záření (Schmidt, 2012).

9.2 DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Biochar vzhledem k ochraně životního prostředí má rozsáhlé využití. Spadá do oblasti sanace znečištěných půd, výroby energie, aspektů změny klimatu, nakládání s odpady a otázek udržitelného rozvoje (Saletnik a kol., 2019). Biochar je využíván k odstraňování nečistot z vodných systémů, dále jako médium pro sorpci fosforu, antibiotik a těžkých kovů, kdy dochází k integraci biocharu s kovem díky elektrostatických interakcí, iontové výměny, sorpce prostřednictvím výměny protonů nebo specifické vazby (Ippolito, 2012). Výroba biocharu je jednou z metod řešení, jak snížit potřebu likvidace živočišného a rostlinného materiálu. Biologicky rozložitelný živočišný odpad, zemědělská biomasa a splaškové kaly mohou být účinně využity pro výrobu energie pyrolýzou (Saletnik a kol., 2019).

Ukládání biocharu se globálně hodnotí jako prostředek ke zlepšení úrodnosti půdy, a tím i zmírnění klimatických změn. Účinkům biocharu na půdní biotu se však věnuje mnohem menší pozornost než na chemické vlastnosti půdy (Lehmann a kol., 2010).

9.2.1 Účinky biocharu na půdní mesofaunu

Z 95% je půdní mesofauna tvořena bezobratlými členovci a roztoči (Lehmann a kol., 2010), kteří ovlivňují fyzikální, chemické a biologické procesy a regulují mikrobiální společenstva, která zase ovlivňuje množství živin dostupné pro rostliny. (Marks a kol., 2014). Většina jejich zástupců žije převážně ve vrstvě povrchové půdy do 10 cm.

Obě skupiny jsou poměrně citlivé na jakékoliv změny v půdním prostředí (Lehmann a kol., 2010) a z tohoto důvodu se běžně používají k hodnocení kvality půdy a její ekotoxicity (Marks a kol., 2014). Půdní členovci mohou být ovlivňováni biocharem v souvislosti se změnou biomasy mikroorganismů.

Z toho vyplývá, že mesofauna může být ovlivňována fyzikálními vlastnostmi půdy modifikované biocharem. Pro zjištění negativního dopadu biocharu se nejčastěji využívá exotoxikologická bioanalýza (Lehmann a kol., 2010).

Pro určení vlivu biocharu na půdní mesofaunu byla provedena studie v polních podmínkách. Jednalo se o zhodnocení environmetálního dopadu biocharu jako doplňku půdy v podmínkách otevřeného pole.

Terénní experiment byl zahájen v polovině dubna 2014 v oblasti předměstí Opole na chudých zemědělských půdách a pokračoval do října 2016. Jednalo se o oblast mírného klimatu s průměrnou roční teplotou 8,4 °C a průměrnou roční srážkou 30 cm (Gruss a kol., 2019).

Pro tuto studii byla vybrána kukuřice a řepka olejná, jelikož se jedná o běžně používané zemědělské plodiny v Evropě. Biochar, jakožto produkt nízkoteplotní bleskové pyrolýzy (300 °C) borovice a smrku, se aplikoval do hloubky 30 cm (50t/ha) na experimentálním pozemku o rozloze 3x3 m. Před aplikací byly vybrané vlastnosti biocharu (pH, obsah organického uhlíku) testovány podle standardů IBI (Gruss a kol., 2019).

	Naměřené hodnoty	Mezní hodnoty
pH H ₂ O	8,2	
CEC (cmol/kg)	30,53	
Obsah uhlíku (%)	52,3	>50
H/C org poměr	0,026	<0,7
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,04	
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,08	
Na ⁺ (cmol/kg)	2,09	
K ⁺ (cmol/kg)	5,10	
Mg ²⁺ (cmol/kg)	1,80	
Ca ²⁺ (cmol/kg)	30,5	
Pb (g/t DM)	1,57	<150
Mn (g/t DM)	29,7	
Cu (g/t DM)	0,5	<100
Hg (g/t DM)	0,32	<1
Zn (g/t DM)	13,04	<400
Cd (g/t DM)	2,0	<40
Celkový PAH (g/t DM)	<0,001	<6
Pb _{H₂O} (g/t DM)	<0,001	
Mn _{H₂O} (g/t DM)	7,63	
Cu _{H₂O} (g/t DM)	0,05	
Hg _{H₂O} (g/t DM)		
Zn _{H₂O} (g/t DM)	3,5	

Tabulka č. 14: Chemická charakteristika biocharu použitého v experimentu podle IBI 2014 (Gruss a kol., 2019).

Třikrát ročně, od května do července, proběhlo měření hlavních fyzikálně - chemických vlastností půdy (pH, obsah organického uhlíku, kapacita kationtové výměny). Jednalo se o 5 vzorků z každého pokusného pozemku během růstu rostlin z hloubky 10 cm. Během vzorkování půdy v letech 2015 - 2016 byla kukuřice sledována v růstových stádiích podle stupnice BBCH (Makrofenologická stupnice pro obilniny): 10 - 15, 32 - 37 a 61 - 67 a řepka olejná ve fázích 60 - 69, 72 - 79 a 83 - 89. Objem jednoho vzorku činil 196 cm². Kromě členovců a roztočů se ve vzorcích vyskytovali další zástupci mesofauny: hlavně hlístice, pavouci a larvy hmyzu. Průměrná četnost těchto skupin ve vzorcích byla menší než 5% (Gruss a kol., 2019).

9.2.2 Účinky biocharu v půdě kontaminované kovem

Existují tři možnosti vstupu kovů do půd:

1. přirozený – primární (nerosty, horninami, ložisky),
2. přirozený – druhotný (prachové bouře s vysokým obsahem organické hmoty, sopečná činnost a atmosférické srážky),
3. antropogenní (hnojiva, pesticidy, popílky, kaly) (Beneš, 1993).

V oblasti škodlivých cizorodých látek anorganického původu představují největší problém těžké kovy. Hromadění těžkých kovů jako je As, Pb, Ni, Cd, Cr, Zn a Cu v rostlinách představuje zdravotní ohrožení pro obyvatelstvo (Song a kol., 2014).

Těžké kovy jsou definovány jako skupina prvků mezi mědí a olovem v periodické tabulce prvků s hustotou větší než 5 g.cm⁻³ (Herčík a kol., 1995). Obvykle se považují za nejnebezpečnější kadmium, dále olovo, rtuť a chrom. Problémy však mohou působit i měď, zinek, molybden a nikl. Některé publikace uvádějí toto pořadí škodlivosti kovů v půdě:

- rostlinná výroba: Hg, Cu, Ni, Pb, Cd, Co,
- živočišná výroba: Cd, Hg, Pb, As (Cibulka, 1991).

Koncentrace kovů v kontaminovaných půdách může být minimalizována biologickými a stabilizačními metodami za použití řady organických sloučenin, jako je biochar (Trakal a kol., 2011).

Začlenění biocharu může ovlivnit strukturu půdy, pórovitost, velikost částic a hustotu, a tím potenciálně změnit obsah kyslíku ve vzduchu a mikrobionální a nutriční stav půdy v kořenové zóně rostliny. Dále biochar ovlivňuje chemické vlastnosti půdy, jako jsou změny pH, elektrická vodivost, výměnu kationtu (CEC), hladinu živin a účinnost sorpce kovů (Amonette a Jospheh, 2009).

Vstupní suroviny a teplota pyrolýzy jsou klíčové pro fyzikální a chemické vlastnosti biocharu. Mnoho studií popisuje účinné odstraňování kovů z půdy pomocí biocharů pocházející z různých organických odpadů. Schopnost biocharu absorbovat Cd a Pb je uvedeno v tabulce č. 15 (Trakal a kol., 2019).

Studie	Surovina	Pyrolýza °C	Cd (mmol kg ⁻¹) maximální absorpce kovu	Pb (mmol kg ⁻¹) maximální absorpce kovu
Trakal a spol. (2014)	Hroznové stonky	450	450	2872
Zhang a spol. (2017)	Celer	500		1467
	Celer	350		1390
Trakal a spol. (2014)	Pšenice	600	400,00	1322
Ding a spol. (2014)	Cukrová třina	250		1240,00
Kolodinska a spol. (2012)	Prasečí hnůj	600	1041,00	1110
	Kravský hnůj	600	1050,00	1062
	Kravský hnůj	400	1023,0	1028
Park a spol. (2015)	Kuřecí kosti	600	967,0	
Kolodinska a spol. (2012)	Prasečí kosti	400	951,0	839,8
Zhang a spol. (2017)	Celerové listy	500		907,3
Trakal a spol. (2014)	Hroznové slupky	600	259,8	859,1
	Hroznové slupky	500	9,0	17,7
	Hroznové slupky	550	9,9	19,6
Hale a spol. (2013)	Kakaové skořápky	350	10,42	70
	Kukuřičný klas	350	8,97	66
Ding a spol. (2014)	Cukrová třina	500		830,1
Idrees a spol. (2016)	Drůbeží hnůj	450	801,40	
Park a spol. (2015)	Sezamová sláma	700	765,10	492,3
Idrees a spol. (2016)	Hnůj ze statku	450	681,70	
Bogusz a spol. (2017)	Zbytky z výroby bioplynu	600	679,10	
Abdelhafez and Li (2016)	Cukrová třina	500		419,7
Han a spol. (2013)	Rýže	400	299,80	
Moyo a spol. (2016)	Kukuřice	600	293,60	
Bogusz a spol. (2017)	Pšenice	700	289,70	
Ho a spol. (2017)	Anaerobní kal	600		260,4
Wang a spol. (2015)	Arašídové slupky	400		240,8
	Arašídové slupky	350		254,8
Inyang a spol. (2012)	Živočišný odpad	600	30,3	250
Trakal a spol. (2014)	Ořechové slupky	600	40,03	150,1
	Švestkové pecky	600	40,03	110
Melo a spol. (2013)	Cukrová třina	400	40,03	
Saletnik a spol. (2017)	Smrk	600	25,44	38,51
	Modřín	500	21,26	37,69
	Smrk	500	20,02	38,42
	Modřín	600	7,206	36,58
Zhou a spol. (2013)	Bambus	600	20,02	9,990
Frišták a spol. (2015)	Buková štěpka	500	17,70	
Zama a spol. (2017)	Morušové dřevo	550	8,086	12,55
	Morušové dřevo	450	6,352	12,06
	Morušové dřevo	350	3,416	12,07
	Drůbeží hnůj	650	2,695	12,01
	Arašídové slupky	450	11,12	9,778
	Kukuřičné klasy	450	5,231	8,137
	Kukuřičné klasy	650	4,679	7,703
	Kukuřičné klasy	550	3,701	6,892
	Kukuřičné klasy	350	2,865	5,314
	Pohanka	550	3,558	9,653
Saletnik a spol. (2017)	Modřín	500	21,26	37,69
	Modřín	600		30,02
Frišták a spol. (2015)	Odpad ze zahrad	500	69,39	

Tabulka č. 15: Schopnost biocharu absorbovat Cd a Pb (Trakal a kol., 2019).

9.2.3 Emise skleníkových plynů pomocí aplikace biocharu do půdy

Rostoucí množství skleníkových plynů v atmosféře způsobuje změny klimatu. Produkce biopaliva a obnovitelné energie za pomoci pyrolýzy je považována za jednu z perspektivní strategie, která by mohla vést ke snížení globálních koncentrací oxidu uhličitého (Troy a kol., 2013). Rostliny získávají výživu z organických látek a minerálů obsažených v půdách. Obhospodařování půdy a zemědělský proces však narušuje přírodní půdní systémy včetně cyklování, uvolňování a absorpci živin. Nejvíce rozsáhlým řešením tohoto vyčerpání je aplikace úpravy půdy ve formě hnojiv obsahujících tři hlavní živiny dusík (N), fosfor (P) a draslík (K). Anorganická nebo komerční hnojiva však přispívají k nárůstu skleníkových plynů. Díky své struktuře je biochar vysoce stabilní formou C v půdě, čímž přispívá zlepšení fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půdy a zvyšuje její produktivitu v důsledku zlepšení vlastností půdy a využití živin. Biochar může také hrát velkou roli při snižování skleníkových plynů (Dume, 2016).

Oxid uhličitý (CO_2), Metan (CH_4) a Oxid Dusný (N_2O) jsou plyny, vyskytující se v atmosféře Země, které nejvíce přispívají k tzv. skleníkovému jevu. Emise skleníkových plynů z půd upravených biocharem závisí na typech biomasy, podmínkách pyrolýzy (teplota, doba), typu půdy, klimatických podmínkách a fyzických vlastnostech půdy. Použití biocharu nemusí mít žádný účinek nebo může zvýšit emise skleníkových plynů (Mukherjee a Lal, 2013).

10 DISKUZE A ZÁVĚR

Vzhledem k vysokému nárůstu populace v posledních letech je třeba se zamyslet nad tím, že se produkce potravin bude muset zvýšit. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby byla většina potravin vypěstovaná na úrodných půdách, které v současné době pokrývají jen 11% globálního zemského povrchu. Až několik miliónů akrů orné půdy je v současné době degradováno vlivem člověka. Jednou ze základních surovin civilizace bylo po tisíce let uhlí a následně biochar. Ve své práci se věnuji historii biocharu, jeho vlastnostem, využití v zemědělství a dopadem na životní prostředí.

Biochar se jeví jako vhodný prostředek pro zkvalitnění úrodnosti půdy a zmírnění změny klimatu.

Biochar v zemědělské půdě ovlivňuje:

- zadržování vody v půdě,
- zadržuje a pomalu uvolňuje biogenní prvky,
- snižuje průnik výživových látek do podzemních vod,
- kypří půdu,
- upravuje pH půdy,
- zvyšuje mikrobiální aktivitu v půdě,
- sekvestruje velké množství uhlíku v půdě,
- zvyšuje kvalitu půdy a podporuje růst rostlin,
- stabilizuje půdní kontaminanty a zabraňuje jejich vstupu do rostlin.

Jedná se o produkt pyrolýzy biomasy, při němž jsou organické látky transformovány při teplotách v rozsahu od 350 do 1000 °C bez nebo s minimálním množstvím přístupu kyslíku. Je určen pro použití v zemědělství environmentálně udržitelným způsobem. Mezi nejdůležitější vlastnosti biocharu patří jeho chemické složení, stabilita, specifický povrch a pórovitost. Velký vliv na jeho výsledné vlastnosti mají vstupní suroviny a teplota pyrolýzy. Použitá biomasa pro výrobu biocharu by měla splňovat určitá kritéria, např. musí se jednat o organické odpady, materiál nesmí obsahovat neorganické kontaminanty a další.

Z mnoha studií bylo zjištěno, že kvalitnější biochar vzniká pomalou pyrolýzou při teplotě cca 500 °C a nejlepším vstupním substrátem se jeví dřevní biomasa.

Biochar vyrobený ze směsi dřeva totiž obsahuje nejvyšší množství uhlíku a nejnižší množství popela. Teplota pyrolýzy je také klíčová pro jeho hydrofilní/hydrofobní vlastnosti, které jsou důležité pro jeho další využití. Laicky o biocharu můžeme říci, že funguje na principu houby, která je schopna nasát a udržet v sobě vodu a živiny (dusík, fosfor a draslík), které postupně uvolňuje rostlinám a živočichům. Vše závisí na velikosti pórů, s čímž je právě spojená hydrofilita/hydrofobita biocharu. Póry jsou dle velikosti rozděleny na makropóry (1000 – 0,05 μm), mesopóry (0,05 – 0,002 μm) a mikropóry (0,05 – 0,0001 μm). Studiemi bylo prokázáno, že velikost póru musí být taková, aby došlo v adsorpci vody a živin a zároveň k zadržení škodlivých látek (uhlík, PoPs). Rostliny nejsou schopny využít živiny z pórů v řádech nanometrů. Naopak makro póry nejsou schopny zadržet škodlivé látky v biocharu.

Důležitým přínosem biocharu je snižování emisí N_2O . Dusík je v půdě produkován skupinou mikroorganismů, které reagují na přidané množství dusíkatých hnojiv, což vede k jejich vyšší aktivitě, a tím vyšší produkci N_2O . Přidaný dusík se tedy z půd rychle ztrácí, čímž se snižuje účinek dusíkatých hnojiv, ty se pak musí přidávat ve větším množství. Tato skutečnost může vést k nežádoucímu vyplavování dusičnanů do povrchových a podzemních vod. Přidáním biocharu do půdy dochází k navázání dusičnanů na jeho povrch, čímž se zpomalí přeměna na N_2O a dojde k efektivnějšímu využití ostatními mikroorganismy a rostlinami.

V současné době je pro zemědělce využití biocharu na polích příliš nákladné, jelikož je ho potřeba velké množství (řádově tuny) a cena biocharu se pohybuje okolo 600 eur za tunu. Nároky na výrobu kvalitního biocharu zařizuje *Směrnice pro dlouhodobě udržitelnou produkci biocharu* (Guidelines European Biochar Certificate for a sustainable production of biochar). Bylo by přínosné, kdyby každé hospodářství bylo schopné si biochar samo vyrábět s cílem recyklace a využití zbytků zemědělské biomasy na jeho výrobu, a tím by došlo ke snížení nákladů na umělá hnojiva. Tato skutečnost však představuje vysoké náklady na pyrolýzní zařízení a dodržení všech mezních hodnot, kterým je třeba vyhovět zejména s ohledem na životní prostředí a deklarování všech technických vlastností důležitých pro zemědělské využití biocharu.

Vhodným řešením by byla možnost získat státní příspěvek ve formě dotace na pyrolýzní zařízení nebo na nákup biocharu, eventuálně finanční příspěvek na pokrytí nákladů spojených s průběžným testováním biocharu ke splnění požadavku dle směrnice v rámci zlepšení životního prostředí a snížení uhlíkové stopy. V současné době není vyhlášen žádný dotační program v rámci ČR.

V běžné domácnosti vidím potenciál využití biocharu zejména jako doplněk kompostování. Jeho přídavek představuje urychlení procesu, zamezení ztráty živin a snížení zápachu.

V obecném měřítku je půda jedním z hlavních přírodních zdrojů. Rostlinám umožňuje růst a stejně nezbytná je pro mnoho živočichů, kterým slouží jako životní prostředí, zdroj obživy či teritorium. Proto je potřeba ji chránit, zabránit kontaminaci a dalšímu znečišťování. Všichni se musíme snažit, aby byla zachována její úrodnost a dobrá kvalita.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Internetové zdroje:

BRICK S., 2010: *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy*. *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy* (online) [cit. 2019.12.02], dostupné z <http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf>.

DOHÁNYOS M., 2006: *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů*. *Biom.cz* (online) [cit. 2019.12.10], dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.

KLUSÁK V., 2014: *Biouhel - jak na něj prakticky*. *Jihomoravské Ekolisty I.* (online) [cit. 2019.10.08], dostupné z <<http://www.krjihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=228094&TypeID=7>>.

KLUSÁK V., HOLLAN, J., 2009: *Biouhel, alespoň stéblo naděje*. *Veronica: Časopis pro ochranu přírody a krajiny* (online), dostupné z <http://amper.ped.muni.cz/gw/uhel/biouhel_8stran.pdf>.

KLUSÁK V., 2014: *Biouhel, staronový pomocník při utváření úrodné půdy* (online) [cit. 2019.11.21], dostupné z <<https://www.permakulturacs.cz/article/18/biouhel-staronovy-pomocnik-pri-utvareni-urodne-pudy>>.

MCLAUGHLIN H., JAGIELLO J., THIELE G., 2012: *Analytical Options for Biochar Adsorption and Surface Area Biochar Conference session on Char characterization* (online), dostupné z <<https://www.particletesting.com/wpcontent/uploads/2018/07/PTA-Analytical-Options-for-Biochar-Adsorption-and-Surface-Area.pdf>>.

MURTINGER K., 2007: *Možnosti využití biomasy*. Biom.cz (online) [cit. 2020.06.10], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-biomasy>>. ISSN 1801-2655.

Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší (online) [cit 2019.10.16], dostupné z <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-352>>.

POHOŘELÝ M., MOŠKO J., ZACH B., ŠYC M., VÁCLAVKOVÁ Š., JEREMIÁŠ M., SVOBODA K., SKOBLIA S., BEŇO Z., BRYDA J., TRAKAL L., STRAKA P., BIČÁKOVÁ O., INNEMANOVÁ P., 2017: *Materiálové a energetické využití suchého stabilizovaného čistírenského kalu - výroba biocharu středně - teplotní pomalou pyrolýzou* (online) dostupné z <http://www.cpga.cz/files/prednasky/0317_Pohorely_a_kol_fulltext.pdf>.

TECHNOLOGIE KARBOTECH, BIOUHEL.CZ s.r.o. (online) [cit 2020.06.05], dostupné z <http://biouhel.cz/?page_id=238>.

URBÁNKOVÁ O., 2015: *Role uhlíku v půdě a biouhel jako možnost hospodářství v zemědělství*. (online), dostupné z <<https://www.asz.cz/cs/odborne-clanky-a-analyzy/role-uhliku-v-pude-a-biouhel-jako-moznost-hospodareni-v-zemedelstvi.html>>.

Odborné publikace:

ALLAIRE S. E., LANGE S. F., GONZALEZ M. Q., AUCLAIR I. K., GREFFARD L., 2015: *Analyses of biochar properties*.

AMONETTE J. E., JOSPEH S., 2009: *Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. Biochar for Environmental Management Science and Technology*. 33-43 s. ISBN 978-1-84407-658-1.

BADEAU J. P., LEVI A., 2009: *Biomass Gasification: Chemistry, Processes and Applications*. New York: Nova Science Publishers. 104 s. ISBN 978-1-60741-461-2.

BASU P., 2010: *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. 65-70 s. ISBN 978-0-12-374988-8.

BENEŠ S., 1993: *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 1, Obsahy, akumulace a kritérií hodnocení prvků v zemědělských půdách*. Praha: Agrospoj, 88 s. ISBN 80-7084-051-X.

BÍNEK, L., 2013: *Technika a technologie zpracování odpadní biomasy*. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Bc. Ing. Zdeněk Konrád Ph.D.

BLAŽEK J., SÝKOROVÁ I., HAVELCOVÁ M., 2014: „BLACK CARBON“ jako produkt nedokonalého spalování – vznik, vlastnosti, výskyt, stanovení. [cit. 2019.10.17]. Chemické listy 108. 861, 863 s.

BLANCO J. A., CANDEL – PERÉZ D., LO Y., 2018: *Determinants and Tools to Evaluate the Ecological Sustainability of Using Forest Biomass as an Alternative Energy Source*. FOREST BIOMASS AND CARBON. ISBN 978-1-78984-362-0.

BREWER C. E., SCHMIDT-ROHR K., SATRIO J. A., BROWN R. C., 2009: *Characterization of Biochar from Fast Pyrolysis and Gasification Systems*. Environmental Progress & Sustainable Energy. 386-396 s. ISSN 1944-7450.

BREWER C. E., CHUANG V. J., MASIELLO C. A., GONNERMANN H., GAO X., DUGAN B., DRIVER L. E., PANZACCHI P., ZYGOURAKIS K., DAVIES CH. A., 2014: *New approaches to measuring biochar density and porosity*. Biomass & Bioenergy 66. 176-185 s. ISSN 0961-9534.

BŘENDOVÁ K., TLUSTOŠ P., SLEZÁKOVÁ J., HABART J., 2012: *Biochar properties from different materials of plant origin*.

CENEK M., 2001: *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC Public. 141 s. ISBN 80-901985-8-9.

CIBULKA, J., 1991: *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře*. 1. vyd. Praha: Academia. 427 s. ISBN 80-200-0401-7.

DING Y., LIU Y., LIU S., HUANG Z. X., LI X. TAN, ZENG G., ZHOU L., 2017: *Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review*. Pedosphere. Elsevier. Sv. 27(4). 645-661 s. DOI 10.1016/S1002-0160(17)60375-8. ISSN 1002-0160.

DUME B., NEBIYU A., 2016: *Potential Agronomic Benefits and Carbon Sequestration Ability of Biochar: Review*. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 1689-1700 s. ISSN 1818-16769.

GEMBALOVÁ L., KLOUDA K., ROUCOVÁ P., RUSÍN J., PRYSZCZ A., WEISHEITELOVÁ M., 2016: *Biochar-ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí*. Sborník příspěvků z mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva – zdravotní záchranářství 2016. Ostrava: SPBI. 24-31 s. ISBN 978-80-73-85-171-2.

GONCALVES A., 2018: *Effects of Forest Stand Structure in Biomass and Carbon*. FOREST BIOMASS AND CARBON. ISBN 978-1-78984-362-0.

GRAY M., JOHNSON M. G., DRAGILA M. I., KLEBER M., 2014: *Water uptake in biochars: The roles of porosity and hydrophobicity*. Biomass and Bioenergy 61. 196-205 s. ISSN 0961-9534.

GRUSS I., TWARDOWSKI J. P., LATAWIEC A., MADYNSKA-JURASZEK A., KROLCZYK J., 2019: *Risk assessment of low-temperature biochar used as soil amendment on soil mesofauna*. Environmental Science and Pollution Research. ISSN 18230-19239.

GUPTA S., KUA H. W., LOW CH. Y., 2018: *Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar*. Cement and Concrete Composites. ISSN: 0958-9465.

HERČÍK, M., LAPČÍK, V., OBROUČKA, K., 1995: *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Ostrava: Vysoká škola báňská. 205 s. ISBN 80-7078-255-2.

HOLOUBEK I., KOČAN A., HOLOUBKOVÁ I., KOHOUTEK J., 2001: *Persistentní organické polutanty*. [cit. 2020.03.19]. EDICE PANETA. ISSN 1213-3396.

CHUN Y., SHENG G., CHIOU G. T., XING B., 2004: *Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars*. Environmental Science & Technology 38. 4649-4652 s. DOI 10.1021es035034w.

IPPOLITO J. A., LAIRD D. A., BUSSCHER W. J., 2012: *Environmental Benefits of Biochar*. Journal of environmental quality. ISSN 1537-2537.

JÍLKOVÁ L., CIAHOTNÝ K., ČERNÝ R., 2012: *Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů*. Paliva 4.[cit. 2020-06-11]. 75 s. Sv. 3. ISSN 1804-2058.

JINDO K., SÁNCHEZ - MONEDERO M., HERNÁNDEZ T., GARCÍA C., FURUKAWA T., MATSUMOTO K., SONOKI T., BASTIDA F., 2012: *Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes*. Science of the Total Environment. 476-481 s. ISSN 048-9697.

JEŘÁBKOVÁ J., 2019: *Proč je důležitá organická hmota v půdě*. [cit. 2019.10.15] Časopis Biom 1/2019. Půda a organická hmota. 2 s. MK ČR E 16224.

KINNEY T. J., MASIELLO C. A., DUGAN B., HOCKADAY W. C., DEAN M. R., ZYGOURAKIS L., BARNES R. T., 2012: *Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures*. Biomass and Bioenergy 41. 34-43 s. ISSN 0961-9534

KRATOCHVÍL B., ŠVORČÍK V., VOJTĚCH D., 2005: *Úvod do studia materiálů* [cit. 2019-10-16] 1.vyd.,Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. 111 s.

LEHMANN J., JOSEPH S., 2009: *Biochar for Environmental Management*. Science and technology. An Introduction. S. 449, ISBN: 978-1-84407-658-1.

LEHMANN J., RILLIG M. C., THIES J., MASIELLO C. A., HOCKADAY W. C., CROWLEY D., 2010: *Biochar effects on soil biota – A review*. Soil Biology and Biochemistry. 1812-1836 s. ISSN 0038-0717.

LIBRA J. A., RO K. S., KAMMANN C., FUNKE A., BERGE N. D., NEUBAUER Y., TITIRICI M. M., FÜHNER C., BENS O., KERN J., EMMERICH K. H., 2011: *Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis*. *Biofuels*. 71-78 s. ISSN 1759-7277.

MARKS E., MATTANA S., ALCANIZ J. M., DOMENE X., 2014: *Biochars provoke diverse soil mesofauna reproductive responses in laboratory bioassays*. *European Journal of Soil Biology*. ISSN 1164-5563.

MASCHIO G., KOUFOPANOS C., LUCCHESI A., 1992: *Pyrolysis, a Promising Route for Biomass Utilization*. *Bioresource Technology* 42. 219 s. ISSN 0960-8524

MATOVIC D., 2011: *Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective*. 2011 – 2016 s. ISSN 0360-5442.

MOHAMMED Y. S., MOKHTAR A.S., BASHIR N., SAIDUR R., 2013: *An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15-20 s. ISSN 1364-0321

MUKHERJEE A., LAL R., 2013: *Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions*. *Agronomy*. 313-339 s. ISSN 2073-4395.

NI N., KONG D., WU W., HE J., SHAN Z., LI J., DOU Y., ZHANG Y., SONG Y., JIANG X., 2020: *The Role of biochar in reducing the bioavailability and migration of persistent organic pollutants in soil – plant systems: A review*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 157-165 s.

NOVOTNY E. H., BRANCO DE FREITAS MAIA C. M., THAÍS DE MELO CARVALHO M., EMOKE MADARI B., 2015: *Biochar: Pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. ISSN 1806-9657.

OCHODEK T., KOLONIČNÝ J., BRANC M., 2007: *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 100 s. ISBN 978-80-248-1426-1.

OKIMORI Y., OGAWA W., TAKAHASHI F., 2003: *Potential of Co₂ emission reductions by carbonizing biomass waste from industrial tree plantation in South Sumatra, Indonesia*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 8. Sv. 3. 261-280 s. ISSN 1381-2386.

PASTOREK Z., KÁRA J., JEVÍČ P., 2004: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. 1. vydání. 288 s. ISBN 80865534065.

POKORNÝ E., 2009: *Terra Preta – naděje pro budoucnost*. Informační listy č. 32, ročník XV. Listopad 2009. Vydává VÚMOP, v.v.i., 4-7 s.

RECHBERGER M. V., KLOSS S., RENNHOFFER H., TINTNER J., WATZINGER A., SOJA G., LICHTENEGGER H., ZEHETNER F., 2017: *Changes in biochar physical and chemical properties: Accelerated biochar aging in an acidic soil*. *Carbon*. 209 – 219 s. ISSN 0008-6223.

SALETNIK B., ZAGULA G., BAJCAR M., TARAPATSKYY M., BOBULA G., PUCHALSKI C., 2019: *Biochar as a Multifunctional Component of the Environment – A Review*. 2-13 s. DOI 10.3390/app9061139.

SAOWANEE W., PREAMSUDA J.: *Elemental Composition of Biochar Obtained from Agricultural Waste for Soil Amendment and Carbon Sequestration*. Applied Sciences — Open Access Journal. 2019. EISSN 2076-3417.

SCHMIDT H. P., 2012: *55 Anwendungen von Pflanzenkohle*. Ithakajournal 1/2012. 99-100 s. ISSN 1663-0521.

SONG X. D., XUE X. Y., CHEN D. Z., HE P. J., DAI X. H., 2014: *Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation*. CHEMOSPHERE. 213-2020 s. ISSN 0045-6535.

STEPHEN J., KAMMANN C. J., SHEPHERD J. G., CONTE P., SCHMIDT H., HAGEMANN N., RICH A. M., MAJRO CH. E., ALLEN J., MUNROE P., MITCHELL D., DONNE S., SKOPAS K., GRABER E. R., 2018: *Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release*. Science of the Total Environment. 1210-1223 s. ISSN 0048-9697.

STUDENÍK J., SVITAVSKÝ M., 2016: *Energie větru, vody, biomasy* [cit. 2019.11.22] © Code Creator, s.r.o. distribuce publi.cz. Kap. 17, ISBN 978-80-88058-08-3.

TAN, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z., 2015: *Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions*. Chemoshere 125. 70-85 s. ISSN 0045-6535.

TEODORO M., TRAKAL L., GALLAGHER B. N., ŠIMEK P., SOUDEK P., POHOŘELÝ M., BEESLEY L., JAČKA L., KOVÁŘ M., SEYEDSADR S., MOHAN D., 2020: *Application of co-composted biochar significantly improved plant-growth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil*. CHEMOSPHERE. ISSN 0045-6535.

TRAKAL L., KOMÁREK M., SZÁKOVÁ J., ZEMANOVÁ V., TLUSTOŠ P., 2011: *Biochar application to metal – contaminated soil: Evaluating of Cd, Cu, Pb and Zn sorption behavior using single and multi-element sorption experiment*. PLANT SOIL ENVIRON. 372-380 s. ISSN 1214-1178.

TRAKAL L., VÍTKOVÁ M., HUDCOVÁ B., BEESLEY L., KOMÁREK M., 2019: *Biochar and Its Composites for Metal (loid) Removal From Aqueous Solutions*. Biochar from biomass and waste. ISBN 978-0-12-811729-3.

TRIPATHI M., SAHU J. N., GANESAN P., 2016: *Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ISSN 1364-0321.

TROY S. M., LAWLOR P. G., FLYNN C. J., HEALY M. G., 2013: *Impact of biochar addition to soil on greenhouse gas emissions following pig manure application*. Soil Biology and Biochemistry. ISSN 0038-0717.

WANG X., ZHOU W., LIANG G., SONG D., ZHANG X., 2015: *Characteristics of maize biochar with different pyrolysis temperatures and its effects on organic carbon, nitrogen and enzymatic activities after addition to fluvo-aquic soil*. Science of The Total Environment. 137-144 s. ISSN: 0048-9697.

WEBER K., QUICKER P., 2018: *Properties of biochar*. FUEL 2018. 240-251 s. ISSN 0016-2361.

YANG H., SHENG K., 2012: *Characterization of Biochar Properties affected by different pyrolysis temperatures using visible – near – infrared spectroscopy*. ISRN Spectroscopy. Article ID 712 837, 7 pp, doi 10.5402/2012/712 837.

YU X. Y, YING G., KOOKANA R. S., 2006: *Sorption and Desorption Behaviors of Diuron in Soils Amended with Charcoal*. Journal of agricultural and food chemistry. Sv. 54, 22.

ZORNOZA R., MORENO-BARRIGA F., ACOSTA J. A., MUNOZ M. A., FAZ A., 2016: *Stability, nutrient availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments*. Chemosphere 144. 122-130 s. ISSN 0045-6535.

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: *Směs obsahující biochar (How biochar production could help climate change fight (online) [cit. 2020.06.20], dostupné z <<https://www.theguardian.com/environment/2010/sep/30/biochar-production-climate-change>>.*

Obrázek č. 2: *Pórovitost biocharu z kukuřičného klasu vyrobeného při teplotě pyrolýzy 300 °C, 450 °C a 600 °C (Wang a kol., 2015).*

Obrázek č. 3: *Pyrolýza sušených čistírenských kalů (Kos M., Použití pyrolýzy k produkci hnojiva z čistírenských kalů (online) [cit. 2020.05.15], dostupné z <<https://docplayer.cz/32878139-Pouziti-pyrolyzy-k-produkci-hnojiva-z-cistirenskych-kalu-miroslav-kos.html>>.*

Obrázek č. 4: *Základní schéma technologie KARBOTECH (BIOUHEL.CZ (online) [cit. 2020.05.16], dostupné z <<https://biouhel.cz/wpcontent/uploads/2017/02/KARBOTECH-500-P.pdf>> .*

Obrázek č. 5: *Příklad posloupnosti využití biomasy formou biochar jako doplňku stravy hospodářských zvířat (Lehmann a kol., 2010).*

13 SEZNAM TABULEK A SCHÉMAT

Tabulka č. 1: *Souhrn chemických vlastností biocharů* (Allaire a kol., 2015).

Tabulka č. 2: *Chemické analýzy biomasy vstupní suroviny před přeměnou na biochar* (Saowanee a Premsuda, 2019).

Tabulka č. 3: *Chemické analýzy po transformaci surovin na biochar* (Saowanee a Premsuda, 2019).

Tabulka č. 4: *Produkce suroviny, kapacita pole, hydrofobita, průměrná plocha píku a údaje o poměru C=C:C=O* (Kinney a kol., 2012).

Tabulka č. 5: *Absorpce vody a etanolu v závislosti na biocharu z jedle Douglas a lískové skořápky* (Gray a kol., 2014).

Tabulka č. 6: *Účinky biocharů na biologickou dostupnost a migraci POPs v různých systémech půda-rostlina* (NI a kol., 2020).

Tabulka č. 7: *Elementární složení a obsah popela ve vstupní biomase* (Břendová a kol., 2012).

Tabulka č. 8: *Elementární složení biocharů z různé biomasy za různých teplot pyrolýzy* (Břendová a kol., 2012).

Tabulka č. 9: *Porovnání vlivu teploty pyrolýzy na výnos biocharu* (Tripathi a kol., 2016).

Tabulka č. 10: *Vlastnosti biocharu ovlivněných vstupními surovinami a pomalou pyrolýzou* (Ding a kol., 2017).

Tabulka č. 11: *Vlastnosti biocharu ovlivněných vstupními surovinami a rychlou pyrolýzou* (Ding a kol., 2017).

Tabulka č. 12: *Chemické a fyzikální vlastnosti Agrouhlu®* (BIOUHEL.CZ s.r.o.).

Tabulka č. 13: *Chemické vlastnosti směsí v různých dobách kompostování* (Jindo a kol., 2012).

Tabulka č. 14: *Chemická charakteristika biocharu použitého v experimentu podle IBI 2014* (Gruss a kol., 2019).

Tabulka č. 15: *Schopnost biocharu absorbovat Cd a Pb* (Trakal a kol., 2019).

Schéma č. 1: *Termochemické procesy výroby biomasy podle teplotního rozsahu a převládajících charakteristik biocharu* (Novotny a kol., 2015).

14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Rozhodnutí o registraci Agrouhel® jako pomocné půdní látky (online)

[cit. 2020.06.20], dostupné z: <<https://biouhel.cz/?p=602>>



ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ

ZERA - Zemědělská a ekologická
regionální agentura, z.s.
Olga Křížová
Podhradí 1022
67571 Náměšť nad Oslavou

Sp. zn.: 8646

Č.j.: UKZUZ 011846/2017

V Praze, dne: 13.02.2017

Vyřizuje: Ing. Jana Meitská

Tel.: +420 257 294 217

e-mail: jana.meitska@ukzuz.cz

Rozhodnutí o registraci pomocné látky

podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agronomickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.

Název pomocné látky: **Agrouhel, pomocná půdní látka**

Číslo rozhodnutí o registraci: **4445**

Žadatel: **BIOUHEL.CZ s.r.o., Zarámí 4077, 76001 Zlín, IČ: 02175134**

Výrobce: **BIOUHEL.CZ s.r.o., Zarámí 4077, 76001 Zlín, IČ: 02175134**

Datum vydání rozhodnutí: **13.02.2017**