

Biochar – výroba, vlastnosti, certifikace, použití

Michael POHOŘELÝ^{a,b}, Anežka SEDMIHRADSKÁ^{a,b}, Lukáš TRAKAL^c, Petr JEVÍČ^d

^a Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Rozvojová 135/1, 165 02 Praha 6, Česká republika, e-mail: pohorely@icpf.cas.cz

^b Ústav energetiky, VŠCHT v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika, e-mail: michael.pohorely@vscht.cz

^c Katedra geoenvironmentálních věd, ČZU Praha, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6, Česká republika, e-mail: trakal@fzp.czu.cz

^d Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Drnovská 507, 161 01 Praha 6, Česká republika

Souhrn

V přehledném článku jsou shrnuty základní znalosti o biocharu, který patří dle české legislativy mezi pomocné půdní látky. Díky jeho vlastnostem je biocharu v dnešní době věnována velká pozornost – může totiž pozitivně ovlivnit kvalitu půdy a změny klimatu. V druhé kapitole článku jsou představeny přední evropské firmy vyrábějící technologické linky na výrobu biocharu. V článku jsou též shrnuty relevantní fyzikálně-chemické a texturní vlastnosti biocharu s důrazem na „praktické“ kvalitativní parametry, mezi které patří stabilita biocharu, vodní kapacita, respektive nasákavost, a schopnost reverzibilní retence živin. Pátá kapitola článku se věnuje certifikaci biocharu, představuje jak českou legislativu, tak i dobrovolné iniciativy, které vydávají certifikáty kvality biocharu – European Biochar Certificate (EBC) a International Biochar Initiative (IBI). V práci jsou též popsány metody a způsoby využití biocharu v zemědělství.

Klíčová slova: biochar, biouhlí, biomasa, termochemická konverze, karbonizace, pyrolýza, zplyňování

Úvod

Biochar (biouhlí) je pevný materiál získaný termochemickou přeměnou biomasy v prostředí s omezeným obsahem kyslíku. Proces výroby biocharu je u tradičních (jednodušších) technologií podobný výrobě dřevěného uhlí, což je možná nejstarší průmyslová technologie vyvinutá lidstvem¹. Biochar je možné považovat za dřevěné uhlí, tj. porézní látku bohatou na uhlík.

Vlastnosti biocharu vyrobeného z biomasy v pyrolýzních či zplyňovacích reaktorech jsou shrnuty v níže uvedených bodech:

- Biochar obsahuje cca 10 – 30 % hmotnosti sušiny biomasy.
- Hlavní stavební složkou biocharu je chemicky stabilní uhlík (50 – 95 hm. %), který nepodléhá dalšímu rozkladu a oxidaci (v půdě). Jedná se o jednu z metod ukládání (sekvestrace) uhlíku.
- Biochar je porézní. Specifický povrch je 150 – 1200 m²/g. Biochar zvyšuje zadrž vodu a výživových látek v půdě.

Největší vliv na kvalitu biocharu má kromě samotného zařízení teplota v pyrolýzní zóně generátoru, rychlost ohřevu vstupního materiálu, čas zdržení v aktivní zóně reaktoru a typ použité biomasy. S rostoucí teplotou pyrolýzy se snižuje výtěžek (produkce). Schopnost zadržování vody a živin v půdě se zvětšuje do kritické teploty pyrolýzy v závislosti na typu zařízení. Zvyšování teploty pyrolýzy má též silný vliv na rozklad a volatilitu (těkavost) organických látek vzniklých procesem pyrolýzy a organických látek

přítomných v biomase. Prodlužování doby zdržení biomasy/biocharu v pyrolýzní, případně v sekundární redukční zóně reaktoru, a pomalá rychlost ohřevu biomasy má celkově pozitivní vliv na kvalitu biocharu.

Díky jeho vlastnostem je biocharu v dnešní době věnována velká pozornost – může totiž pozitivně ovlivnit kvalitu půdy a mírnit nepříznivé změny klimatu. V nadcházejících, čím dál delších obdobích sucha pomáhá jako porézní látka v zemi zadržovat vláhu i živiny a také uzamyká (sekvestruje) v půdě velké množství uhlíku, které se pak dále neuvolňuje do atmosféry. Každá zmiňovaná vlastnost biocharu převažuje za jiných výrobních podmínek, a proto je nutné určit jejich optimální kombinaci.

Výroba biocharu

Pyrolýza a/či zplyňování biomasy za cílem produkce biocharu využitelného v zemědělství se dá provádět pomocí mnoha technologií. Biochar tak vzniká v zařízeních založených na využití fluidní vrstvy, nehybné či pomalu se sunoucí vrstvy částic biomasy, ve vertikálních etážových pecích s prohrabováním etáží, ve vyhřívaných zařízeních s jedním či dvěma šneky ve žlabu, ve žlabu s dutým šnekem (spirálou), s vyhřívaným žlabem i vyhřívanou vnitřní trubkou, dále v rotační peci, v centrifugálně fungujícím pyrolýzéro, vícestupňovém generátoru a v dalších typech pyrolýzních a zplyňovacích zařízení různých velikostí a způsobů provozu²⁻⁴.

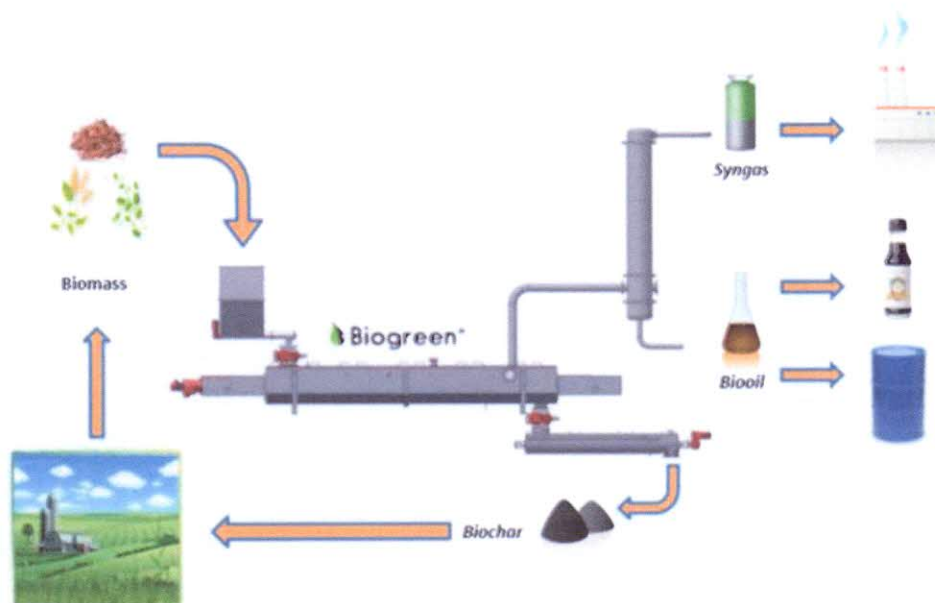
Výběr vhodného pyrolýzéro, respektive zplyňovače, a jeho uspořádání závisí do značné míry na povaze vstupní suroviny, na potřebné teplotě pyrolýzy (nízko-teplotní, středně-teplotní, nebo vysoko-teplotní pyrolýza), na rychlosti ohřevu, na čase zdržení a pracovním tlaku (podtlak, normální tlak nebo přetlak). Pro pyrolýzu velmi vlhké biomasy je často potřeba předsušit vstupní biomasu (upravenou na vhodnou velikost) v prvním stupni technologické linky (např. nízkoteplotní sušárnou).

Pro pyrolýzu biomasy za účelem výroby biocharu využívají zahraniční evropské firmy obvykle pyrolýzér s jedním nebo dvěma šneky. Jedněmi z lídrů na evropském trhu jsou firmy PYREG⁵ a ETIA s produkty řady BIOGREEN⁶ využívající dutých šneků ve žlabu pro pyrolýzu i chlazení vyrobeného biocharu. Popis technologie firmy PYREG v českém jazyce, včetně technologického schématu, je v naší předcházející publikaci⁷ a na stránkách českého zástupce firmy PYREG⁸.

Hlavní výhodou produktů firmy PYREG je aloterní ohřev pyrolýzéro spaliny vzniklémi spálením primárního pyrolýzního plynu, oproti pyrolýzéro firmy ETIA, který je ohříván elektricky. Výhodou pyrolýzéro od firmy ETIA je možnost nastavení optimální karbonizační teploty a vhodného teplotního gradientu pro výrobu vysoce kvalitního biocharu.

Finálním produktem pyrolýzy je v případě pyrolýzéro od firmy PYREG biochar a užité teplo, v případě pyrolýzéro od firmy ETIA biochar, pyrolýzní olej, užité teplo a případně i elektrická energie. Pyrolýzní olej z pyrolýzéro BIOGREEN je podle firemních prezentací využitelný v potravinářském průmyslu pro výrobu potravinářských aromat, dřevního octa a dalších produktů (biomolekul).

Referenčním vstupním materiálem největšího komerčního zařízení (BGR750) jsou dřevěné piliny o velikosti částic do 3 mm, sypané hmotnosti cca 250 kg/m³ a vstupní vlhkosti do 10 hm. %. Jmenovitý hmotnostní tok paliva je 1 t/h a vhodná pracovní teplota je 550 °C. Výtěžek biocharu je cca 25 hm. %, kondenzujícího podílu (organická i vodní fáze) 35 hm. % a pyrolýzního plynu 40 hm. %. Schéma technologické linky Biogreen na výrobu biocharu je na obrázku 1.



Obrázek 1: Schéma technologické linky Biogreen na výrobu biocharu⁶ (biomass – biomasa, syngas – plyný produkt pyrolýzy, biooil – kondenzující produkt pyrolýzy)

Typy biocharu podle pyrolýzní teploty

Biochary můžeme pro zjednodušení rozdělit do tří kategorií podle pyrolýzní teploty použité při jejich výrobě. Každá kategorie má své specifické vlastnosti, svoje výhody a nevýhody. Jedná se o nízko-teplotní, středně-teplotní a vysoko-teplotní biochary.

Nízko-teplotní biochar je vyráběn při teplotách do 400 °C. Vyznačuje se malou stálostí v půdě, nízkým povrchem, vysokým KVK (kationtová výměnná kapacita), nižším pH, vyšším výtěžkem a silnou hydrofobicitou. Ta je způsobena vysokým podílem (alifatických) funkčních skupin. Póry bývají zaneseny primárními dehty, které se za těchto nižších teplot ještě netransformují na terciární a kvarterní dehty. Dehty tvoří tzv. dostupný (rozpuštěný) uhlík, který podporuje růst mikroorganismů v půdě⁹.

Středně-teplotní biochar býval v minulé dekádě diskutován jako kompromisní varianta. V současné době lze však konstatovat, že tzv. středně-teplotní biochar v sobě nenese žádnou zásadní výhodu nízko-teplotního biocharu (jednoduchá výroba, velká KVK a dostupný (rozpuštěný) uhlík pro bakterie), ani vysokoteplotního biocharu (dlouhodobá stálost, velký povrch, tj. velká vodní kapacita).

Vysoko-teplotní biochar je vyráběn při teplotách nad 600 °C. Má dlouhodobou stálost v půdě, velký specifický povrch s otevřenými póry, vyšší pH a nižší hydrofobicitu. Na jeho povrchu se vyskytuje méně funkčních skupin.

Fyzikálně-chemické vlastnosti biocharu

Fyzikálně-chemickými vlastnostmi je míněn souhrn vlastností plynoucích z technického (základního, hrubého) rozboru, prvkového (elementárního) rozboru, texturní analýzy a dalších specifických analýz. Jak je zdůrazněno v úvodu článku, hlavní vliv na výtěžek a kvalitu biocharu má, kromě samotného zařízení, teplota v pyrolýzní zóně generátoru, rychlost ohřevu vstupního materiálu, čas zdržení v aktivní zóně reaktoru a typ použité biomasy.

S rostoucí teplotou a časem zdržení biomasy/biocharu v aktivní zóně reaktoru do teploty 700 °C¹⁰:

- klesá hmotnostní i energetický výtěžek biocharu¹¹⁻¹⁴,
- v pyrolyzním zbytku klesá obsah přednostně v pořadí celulózy, hemicelulózy a ligninu¹⁵⁻¹⁶,
- stoupá obsah popela^{11-14, 17-24},
- stoupá obsah fixního uhlíku^{12, 14, 17-19, 21, 23-25},
- klesá obsah prchavé hořlaviny^{11-12, 14, 17-19, 21-25},
- stoupá výhřevnost i spalné teplo do teploty 500 – 600 °C^{12, 14},
- stoupá obsah uhlíku^{11-12, 14, 17, 19-20, 23-27},
- klesá obsah kyslíku^{11, 14, 17, 23-25, 27},
- klesá obsah vodíku^{11-12, 14, 17, 19-20, 23-25, 27},
- je přibližně konstantní obsah dusíku^{11, 14, 17, 19-20, 23-25, 27},
- klesají molární poměry H/C_{org} (H/C) a O/C – obrázek 2^{11-12, 14, 17, 19-20, 23-25, 27},
- stoupá aromaticita²⁸,
- stoupá hydrofobicita do kritické teploty a pak slabě klesá²⁹,
- je přibližně konstantní sypaná hmotnost (váha, hustota)²⁹⁻³⁰,
- klesá zdánlivá (objemová, rtuťová) hustota³¹⁻³²,
- stoupá skutečná (skeletární, heliová) hustota³¹⁻³²,
- stoupá porozita částice³¹⁻³³,
- stoupá specifický povrch (BET povrch) – obrázek 3 a obrázek 4^{11-14, 20-22, 24, 28, 31, 34-35, 45-46},
- stoupá celkový objem pórů^{14, 31, 35},
- stoupá celkový objem mikropórů¹⁴,
- stoupá vodní kapacita (WHC)/nasákavost do kritické teploty^{24, 36},
- stoupá pH vodního výluhu – obrázek 5^{10-13, 20-21, 25-26, 35},
- od kritické teploty klesá kationtová výměnná kapacita (KVK) i aniontová výměnná kapacita (AVK) – obrázek 6^{10, 13, 20-21, 25-26}.

Od 700 °C výše je vliv teploty na většinu uvedených parametrů obvykle nevýznamný.

Jednou z nejdůležitějších vlastností biocharu je, že zvyšuje při vhodné aplikaci jakost půdy. Aby bylo možné uvedeného efektu dosáhnout, je nutné aplikovat příslušné množství kvalitního biocharu. Mezi nejdůležitější „praktické“ kvalitativní parametry patří:

- stabilita,
- vodní kapacita/nasákavost,
- reverzibilní retence (zádrž) živin (měřenými veličinami jsou KVK/AVK).

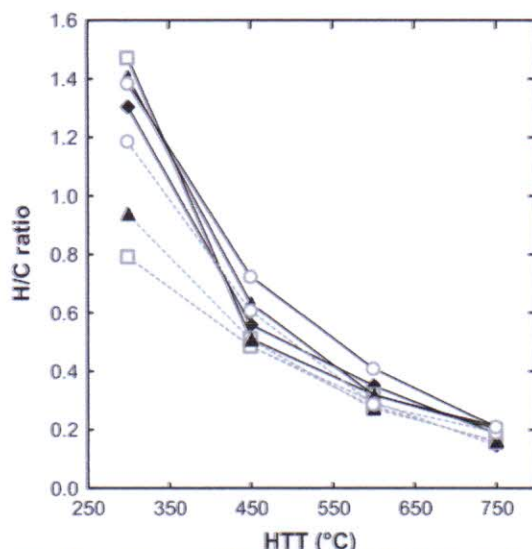
Stabilita biocharu

Stabilita biocharu má zásadní význam při jeho použití do půdy ze dvou hlavních důvodů: za prvé, stabilita určuje, jak dlouho uhlík obsažený v biocharu zůstane sekvestrovaný v půdě, čímž pomáhá zmírnit změnu klimatu, a za druhé, pomocí stability můžeme stanovit, jak dlouho bude biochar přispívat kvalitě půdy, rostlin a vody³⁷.

S rostoucí teplotou pyrolyzy a časem zdržení v aktivní zóně generátoru se stabilita biocharu zvyšuje z důvodu zvyšující se aromaticity.

Podle IBI se rozdělují testy stanovující stabilitu biocharu do tří skupin³⁸: (1) alfa metody – nízkonákladové rutinní odhady stability; (2) beta metody, které přímo kvantifikují stabilitu biocharu a mohou být použity pro kalibraci alfa metod; (3) gama metody, které mohou poskytovat teoretické fyzikálně-chemické základy pro metody alfa a beta.

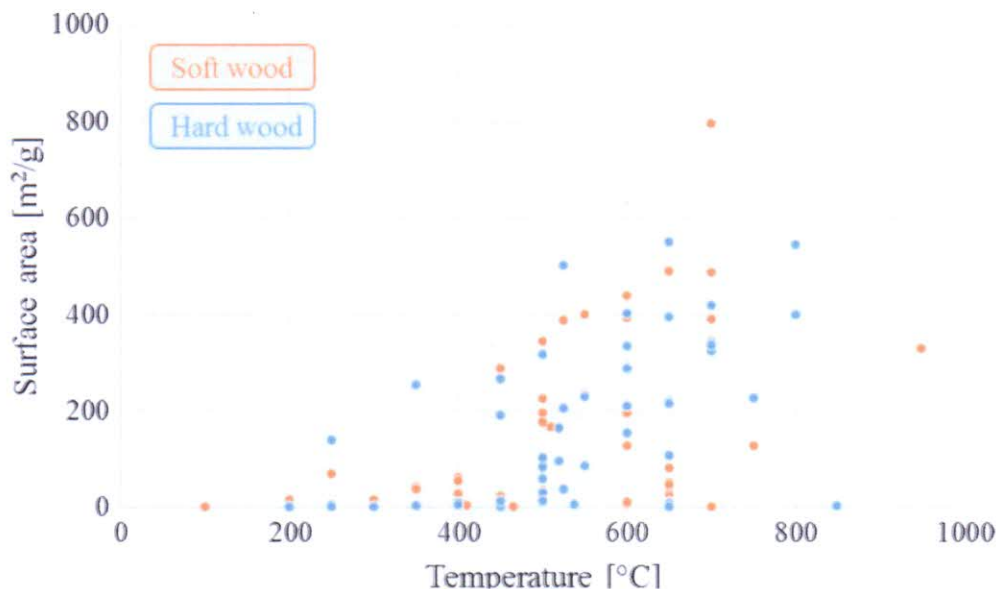
Alfa metody jsou definovány jako metody umožňující jednoduchá a spolehlivá měření relativní stability uhlíku v biocharu, která jsou snadno dostupná za cenu nižší než 100 USD a proveditelná v časovém rámci minut nebo hodin, maximálně několika dní. Mezi alfa metody patří stanovení molárního poměru vodíku k organickému uhlíku (H:C_{org})^{25, 39} a molárního poměru kyslíku k uhlíku (O:C)⁴⁰. Oba poměry odrážejí fyzikálně-chemické vlastnosti biocharu spjaté s jeho stabilitou – čím nižší poměr, tím je biochar stálejší (viz obrázek 3)⁴¹.



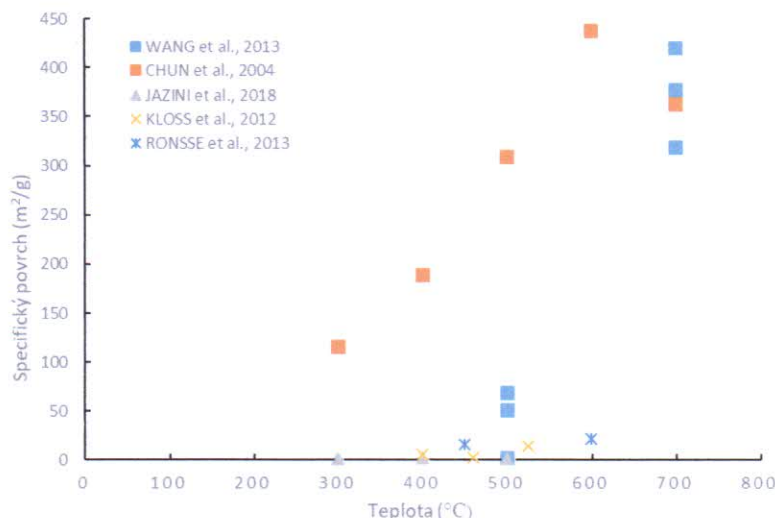
Obrázek 2: Závislost H/C poměru na pyrolýzní teplotě¹² (H/C ratio – H/C poměr; HTT – nejvyšší dosažená pyrolýzní teplota)

Vodní kapacita biocharu

Vodní kapacita, respektive schopnost zadržovat vodu, se dá měřit buď přímo, nebo nepřímo. Přímé měření je popsáno v normě ČSN EN ISO 14238 a probíhá následovně: určené množství biocharu namočíme na předem určenou dobu do vody a zvážíme, kolik vody do sebe nasákl^{24, 42}. Tato metoda je sice jednoduchá, ale má nízké vypovídací vlastnosti. Proto se vodní kapacita určuje i nepřímo, a to měřením objemu pórů a specifického povrchu. Celkový objem pórů, porozita a specifický povrch biocharu pozitivně ovlivňují afinitu biocharu k vodě. Hydrofobicita (na kterou mají vliv hlavně alifatické skupiny na povrchu biocharu) také hraje roli při určování vodní kapacity^{24, 29, 43-44}.



Obrázek 3: Závislost specifického povrchu dřevní biomasy na teplotě¹⁰ (surface area – specifický povrch; temperature – pyrolýzní teplota; soft wood – měkké dřevo; hard wood – tvrdé dřevo)



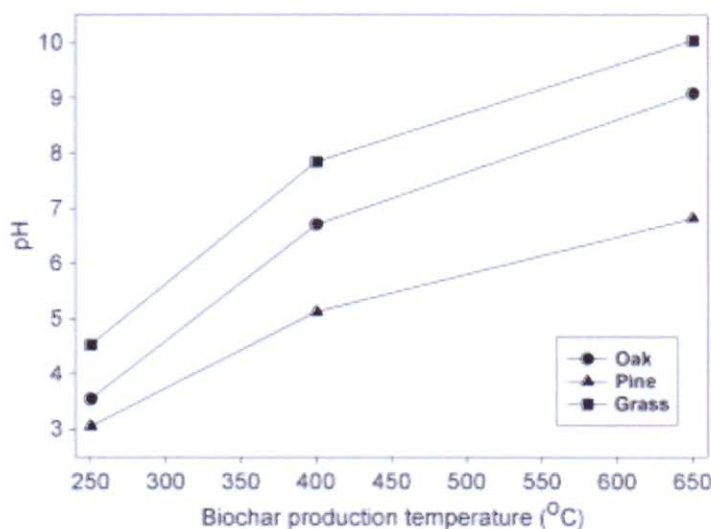
Obrázek 4: Závislost specifického povrchu agrobiomasy (pšeničné a ječmenné slámy) na pyrolýzní teplotě^{12-13, 20, 45-46}

Reverzibilní retence (zádrž) živin

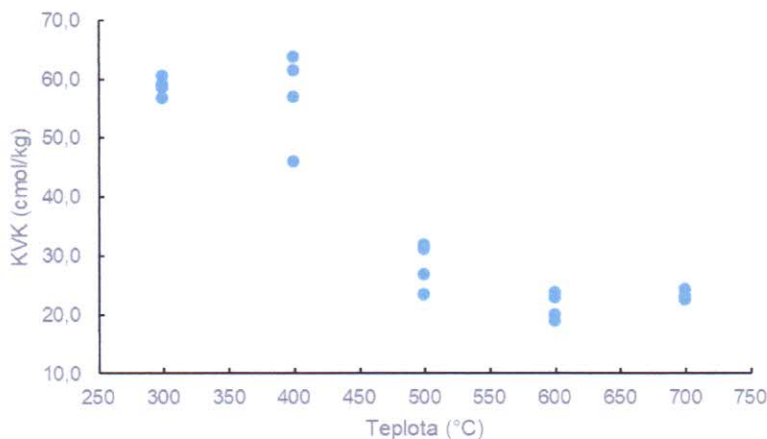
Zádrž živin se určuje podle schopnosti (kapacity) vázat kationty a anionty hlavních makronutrientů rostlin. K tomu slouží veličiny nazvané kationtová výměnná kapacita (KVK) a aniontová výměnná kapacita (AVK). V podstatě jde o počet záporně, resp. kladně nabitých míst na povrchu biocharu, která fungují jako příjemce a zároveň donor kationtů, resp. aniontů. Tím biochar rostlinám usnadňuje zachycování živin a současně je schopen živiny z půdy/hnojiva déle udržet v blízkosti kořenů²².

S rostoucí teplotou se zvyšuje hodnota pH výluhu biocharu z důvodu většího podílu popelotvorných látek vůči látkám těkavým¹⁰. Se zvyšujícím se pH výluhu biocharu stoupá KVK a AVK, tudíž i zádrž živin v půdě⁴⁷⁻⁴⁸.

S rostoucí teplotou a časem zdržení biomasy/biocharu v aktivní zóně reaktoru však klesá KVK z důvodu stoupající aromaticity, respektive klesajícího podílu alifatických skupin^{10, 20-21, 25}.



Obrázek 5: Závislost pH na pyrolýzní teplotě²² (Biochar production temperature – pyrolýzní teplota, oak – dub, pine – borovice, grass – tráva)



Obrázek 6: Závislost KVK na pyrolyzní teplotě⁴⁹

Na závěr kapitoly o fyzikálně-chemických vlastnostech biocharu si autoři dovoluují popsat jeden praktický test jak poznat „špatný“ biochar, tj. biochar obsahující dehet. Do litrové zavařovačky dejte přibližně 100 ml biocharu a 500 ml teplé vody, protřepejte a nechte cca půl hodiny stát. Otevřete víčko sklenice a čichněte si. Pokud vzorek nezapáchá, mohl by být biochar pro Vaši zahrádku/pole užitečný, za předpokladu, že ho budete řádně aplikovat, že je dlouhodobě stabilní a má reálnou schopnost retence vody či/a živin.

Certifikace biocharu

Kvalitu biocharu, který se používá jako půdní aditivum, sleduje mnoho národních i nadnárodních institucí. V České republice registruje biochar Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Dále existují organizace, od kterých může výrobce biocharu po splnění určitých podmínek získat certifikát. Tyto certifikáty bývají dobrovolné a náročnější na splnění, protože kontrolují více oblastí než národní legislativa (tabulka 1). Na našem území jde například o European Biochar Certificate (EBC) nebo International Biochar Initiative (IBI). Cílem těchto iniciativ je zajistit bezpečný produkt pro životní prostředí a vytvořit jednotný a spolehlivý znak pro spotřebitele.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ)

Tento český úřad v dnešní době kontroluje pouze nezávadnost biocharu, nikoli jeho kvalitu. Zaměřuje se tedy na obsah toxických látek a těžkých kovů, ale nijak nezaručuje, že vyrobený biochar bude opravdu zlepšovat kvalitu půdy. Certifikace je platná v celé EU.

European Biochar Certificate (EBC)

EBC je, jak už napovídá název, evropská iniciativa, která zavádí kontrolní mechanismus založený na nejnovějším výzkumu a praxi. Pravidla EBC se aktualizují každý rok a poskytují podklady pro tvorbu legislativy. Tento certifikát cílí na umožnění a garantování udržitelné produkce biocharu. Je určen zákazníkům, kterým dává záruku kvality, ale i výrobcům, kterým dává možnost dokázat, že jejich výrobek splňuje definovaná kritéria. Iniciativa si dává za cíl předcházet nebezpečí a zabránit zneužití výroby biocharu od samého počátku.

Organizace je nezávislá, a tudíž neupřednostňuje žádné partikulární zájmy. Díky této nezájatosti a transparentnosti z něj mají prospěch jak výrobci, tak spotřebitelé. Pro stanovení chemických a fyzikálních vlastností biocharu se používá již platných ISO a DIN norem⁵⁰.

International Biochar Initiative (IBI)

Jediná organizace, která se snaží uplatnit po celém světě, je IBI. IBI poskytuje platformu, kde se mohou navazovat nové spolupráce mezi zainteresovanými subjekty, vyvíjet kvalitní průmyslové technologie a nastavovat environmentální a etická měřítka tak, aby vznikal bezpečný a udržitelný biochar. Její vizí je zvýšit výrobu biocharu na 1 miliardu tun ročně do 50 let, což se snaží splnit následujícími způsoby:

- podporou mezinárodní spolupráce mezi vědou, průmyslem, zemědělstvím, vládními a nevládními organizacemi tak, aby se propagovalo a demonstrovalo použití biocharu a aby se vyvíjely snahy o zavedení kontrol kvality,
- spoluprací s průmyslem, aby se našla ekonomicky výhodná použití pro biochar,
- podporou výzkumu,
- poskytováním jasných, nezaujatých a spolehlivých informací o vlastnostech biocharu,
- tvorbou standardů a metod práce tak, aby veřejnost důvěřovala organizacím zabývajícím se biocharem, a aby byla přesvědčena, že biochar vyvinutý těmito organizacemi je bezpečný a vhodný pro doporučené použití.

IBI je organizace založená v USA a používá mezinárodně známé ASTM normy¹.

Použití biocharu

Hlavním smyslem výroby biocharu je jeho aplikace do zemědělské půdy. Před vpravením do zeminy může biochar projít řadou jiných úprav, při kterých se mění jeho vlastnosti.

Biochar lze využít následujícími způsoby:

- přímé využití aktivovaného (navlhčeného) biocharu do zemědělské půdy,
- aditivum pro výrobu kompostu,
- krmná surovina,
- podestýlka pod zvířata,
- katalyzátor pro výrobu bioplynu.

Přímé použití biocharu na zemědělskou půdu

Pro využití biocharu do půdy je nutné získat certifikaci od ÚKZÚZ. Biochar vyrobený z chemicky neošetřené biomasy je zařazen do skupiny pomocná půdní látka.

Aplikaci biocharu do zemědělské půdy lze zabezpečit standardními zemědělskými stroji, např. rozmetadlem – navlhčený biochar či secím strojem – granulovaný biochar. Množství dávkovaného biocharu do zemědělské půdy se pohybuje v širokém rozmezí: 1 – 50 t/ha (obvykle 5 – 10 t/ha), v závislosti zejména na sorpčních vlastnostech biocharu, vlastnostech půdy, pěstované plodině a obsahu Ca. Využívá se jak sypaného biocharu (po/bez odstranění prachové frakce v závislosti na způsobu předúpravy), tak i granulovaného biocharu o velikosti granulí (pelet) obdobných, jako má komerční kombinované hnojivo. Nejčastěji se jedná o pelety průměru 2, 3, či 4 mm. Do půdy se pak aplikuje biochar přímo po jeho navlhčení (aktivaci), která též snižuje jeho prašnost nebo ve směsi s kompostem, hnojem, či podestýlkou s hnojem a s digestátem, či fugátem apod, což je jiná metoda aktivace. Po aplikaci biocharu do zemědělské půdy zůstává biochar v půdě několik desítek/stovek let a plní níže uvedené funkce.

Hlavním důvodem aplikace biocharu do zemědělské půdy je, že **zvyšuje kvalitu půdy**. Přítomnost biocharu vyvolává níže uvedené procesy:

- zvyšuje zadrž vody v půdě,
- zlepšuje využití biogenních prvků z hnojiv – zadržuje je a pomalu uvolňuje,
- snižuje průnik výživových látek do podzemních vod,
- kypří (zlehčuje) půdu,
- v prvních měsících po aplikaci upravuje pH půdy z důvodu vyšších koncentrací Ca, vhodné pro kyselé půdy^{41, 51}.

Tabulka 1: Seznam sledovaných parametrů biocharu dle ÚKZÚZ, EBC a IBI (r – původní vzorek)

Parametr	Veličina	Kritérium ÚKZÚZ	Kritérium EBC		Kritérium IBI
			Základní	Prémium	
Základní					
Sypná hmotnost	kg/m ³	-	deklarace		-
Popel, A ^d	% hm. v sušině	-	deklarace		deklarace
Vlhkost, W	% hm. v sušině	-	deklarace		deklarace
Prchavá hořlavina, V ^d	% hm. v sušině	-	deklarace		volitelná deklarace
pH		-	deklarace		deklarace
Distribuce velikosti částic	% < 0,5 mm;	-	-	-	deklarace
	% 0,5 – 1 mm;				
	% 1 – 2 mm;				
	% 2 – 4 mm;				
	% 4 – 8 mm;				
	% 8 – 16 mm;				
% 16 – 25 mm;					
% 25 – 50 mm;					
% > 50 mm					
Elementární					
Obsah uhlíku, C ^d	% hm. v sušině	-	> 50%		pro výpočet C _{org} 10% minimum
Obsah organického uhlíku, C _{org} ^d	% hm. v sušině	-	výpočtem		třída 1: ≥60% třída 2: ≥30% a <60% třída 3: ≥10% a <30%
Obsah vodíku, H ^d	% hm. v sušině	-	pro výpočet H/C _{org}		pro výpočet H/C _{org}
Obsah dusíku, N ^d	% hm. v sušině	-	deklarace		deklarace
Obsah kyslíku, O ^d	% hm. v sušině	-	výpočtem		-
Molární poměr H/C _{org}	-	-	< 0,7		< 0,7
Molární poměr O/C	-	-	< 0,4		-
Obsah síry, S	mg/kg sušiny	-	-		volitelná deklarace
Obsah fosforu, P	g/kg sušiny	-	deklarace		volitelná deklarace
Obsah draslíku, K	g/kg sušiny	-	deklarace		volitelná deklarace
Obsah vápníku, Ca	g/kg sušiny	-	deklarace		volitelná deklarace
Obsah hořčíku, Mg	g/kg sušiny	-	deklarace		volitelná deklarace
Toxické látky, těžké kovy					
Ekotoxická - inhibice klíčivosti	-	-	-		splnil
Obsah arsenu, As	mg/kg sušiny	20	13 ^r	13 ^r	13 – 100
Obsah kadmia, Cd	mg/kg sušiny	1	1,5	1	1,4 – 39
Obsah chromu, Cr	mg/kg sušiny	50	90	80	93 – 1200
Obsah kobaltu, Co	mg/kg sušiny	-	-	-	34 – 100
Obsah mědi, Cu	mg/kg sušiny	100	100	100	143 – 6000
Obsah rtuť, Hg	mg/kg sušiny	1	1	1	1 – 17
Obsah molybdenu, Mo	mg/kg sušiny	-	-	-	5 – 75
Obsah niklu, Ni	mg/kg sušiny	50	50	30	47 – 420
Obsah olova, Pb	mg/kg sušiny	150	150	120	121 – 300
Obsah selenu, Se	mg/kg sušiny	-	-	-	2 – 200
Obsah zinku, Zn	mg/kg sušiny	400	400	400	416 – 7400
Obsah boru, B	mg/kg sušiny	-	-	-	deklarace
Obsah chlóru, Cl	mg/kg sušiny	-	-	-	deklarace
Obsah sodíku, Na	mg/kg sušiny	-	-	-	deklarace
Suma 12 PAH	mg/kg sušiny	20	-	-	-
Suma 16 PAH	mg/kg sušiny	-	12	4	6 – 300
Obsah dioxinů/furanů, PCDD/Fs	ng/kg sušiny	-	20 (I-TEQ OMS)		17 (WHO-TEQ)
Obsah bifenylů, PCBs	mg/kg sušiny	-	0,2		0,2 – 1
Funkční					
Specifický povrch	m ² /g	-	deklarace, nejlépe > 150 m ² /g		volitelná deklarace
Elektrická vodivost	μS/cm	-	deklarace		deklarace
Vápnový ekvivalent	% CaCO ₃	-	-		deklarace, pokud je pH > 7
Vodní kapacita		-	volitelná deklarace		-

Biochar mohou jako půdní kondicionér používat i zahrádkáři, stačí ho navlhčený (aktivovaný) přidat ke kořenům rostlin při přesazování, nebo ho zapravit do vrchní vrstvy zeminy záhonu a dobře promíchat.

Biochar se může aplikovat i ke stromům, a to různými způsoby. Ideální je aplikace okolo kmenu v průměru koruny dospělého stromu. Biochar se může zapravit povrchově do půdy v okolí stromu, nebo lokálně vsypáváním do sazebních jamek a zákopů postupně vzdalujících se od kmene stromu nebo tzv. svislým mulčováním (vsypáváním biocharu do děr vyhloubených v různých vzdálenostech od kmene stromu). Lokální aplikace zlepšuje rovnoměrný růst kořenů a tím i stabilitu stromu^{41, 51}.

Aditivum pro výrobu kompostu

Důvodem přidavku biocharu k biologicky rozložitelnému odpadu (BRO) pro výrobu kompostu je:

- zkrácení doby kompostování,
- snížení zápachu,
- zvýšení záchytu nutričních prvků v kompostu,
- zvýšení pH kompostu.

Při kompostování se střídavě vrství bioodpad a biochar, přičemž se musí dbát, aby byla vrchní vrstva biocharu dobře zakryta bioodpadem, popř. směsí zeminy a bioodpadu, a aby se zamezilo ztrátám prášením. Přidanou hodnotou je aktivace (navlhčení) biocharu během procesu kompostování a sorpce dusičnanů. Těto nezbytné aktivace je dosaženo tím, že neaktivovaný (suchý) biochar, který má vysokou nasákavost, sorbuje velké množství vody (uvolňované z kompostované biomasy), která je bohatá na různé živiny⁵²⁻⁵⁴.

Krmná surovina

V případě, že biochar dosahuje vysoké kvality a vykazuje konstantní vlastnosti, lze biochar certifikovat jako krmnou surovinu u ÚKZÚZ. Biochar může být podáván zvířatům samostatně, nebo může být neoddělitelnou součástí krmiva.

Již mnoho studií ukázalo^{1, 55-60}, že přidavek biocharu do krmiva hospodářských zvířat má pozitivní (v některých případech pouze neutrální) účinky:

- zvýšení příjmu krmiva,
- zvýšení hmotnosti zvířat,
- zvýšení účinnosti krmiv,
- zvýšení produkce a kvality vajec u drůbeže,
- posílení imunitního systému zvířat,
- zlepšení kvality masa a mléka,
- snížení zápachu,
- snížení veterinárních nákladů,
- snížení úmrtnosti,
- stabilizace poporodního stavu u dobytka,
- celkové zlepšení zdraví a vzhledu.

Na proces trávení krmiva ve zvířeti lze pohlížet jako na elektrochemickou reakci, kterou biochar svou elektrickou vodivostí ulehčuje, a proto může zvyšovat účinek (zvláště vysokoenergetických) krmiv a tím i hmotnostní růst zvířete. V ideálním případě, kdy má biochar vhodné vlastnosti, může úplně nahradit antibiotika. Prasata z korejské studie⁶⁰ měla stejný přírůstek hmotnosti jako ta krmená antibiotiky, ale bez jejich negativních vedlejších účinků. Různé studie také potvrzovaly vyšší obsah proteinů v mase či více kolagenu ve vejcích⁶¹⁻⁶².

V bacheru skotu se potrava může rozkládat na dále nerozložitelný metan, čímž nejenže vzniká energetická ztráta, ale i jeden z neaktivnějších skleníkových plynů. Přídavek samotného biocharu produkci metanu snižuje jen minimálně, výzkum však ukazuje, že pokud se do krmiva přidají i dusičnany, emise metanu mohou být sníženy až o 40 – 49 %^{55, 59}.

Diskutovaný postup použití biocharu je přirozený způsob jeho aktivace (navlhčení) s inkorporací živin. Je tudíž environmentálně i agronomicky výhodnější, než prosté vlhčení biocharu, nebo jeho míchání s hnojem, podestýlkou, či jiným nutričně bohatým materiálem před jeho aplikací na půdu.

Podestýlka pod zvířata

Biochar je jako porézní materiál schopen nasáknout velké množství vody a s ním i další látky. Pokud se přidá do podestýlky, snižuje její vlhkost a obsah amoniaku. Právě voda a amoniak jsou jedny z příčin zánětu kopyt/pařátů u hospodářských zvířat. Biochar tedy nejen předchází vzniku těchto nemocí, ale i napomáhá léčit již postižená zvířata. Použití biocharu také umožňuje snížit množství vápna ve stelivu, čímž se sníží pH a emise amoniaku. U drůbeže mohou tyto nemoci a záněty způsobovat úbytek hmotnosti, kanibalismus, sníženou kvalitu masa a dokonce smrt zvířat.

Do podestýlky by se mělo přidávat 5 – 10 obj. % biocharu v závislosti na typu. Biochar může být předem navlhčen, aby se zabránilo prášení. Biochar se také může přidávat do siláže⁶³.

Katalyzátor pro výrobu bioplynu

Přidání biocharu do vstupní směsné suroviny pro výrobu bioplynu může zvýšit výtěžek metanu, pokud se dodrží doporučené provozní podmínky⁶³. Detailní chemismus není zcela objasněn. Při aplikaci digestátu i fugátu na zemědělskou půdu jsou živiny vázány i na biochar, což zvyšuje jejich využití⁶⁴⁻⁶⁸.

Závěr

Biochar je pevný materiál získaný termochemickou přeměnou biomasy v prostředí s omezeným obsahem kyslíku plnící zákonné a kvalitativní parametry. V České republice registruje biochar Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). V mezinárodním kontextu jsou nejdůležitější dvě dobrovolné iniciativy vydávající certifikáty kvality biocharu: European Biochar Certificate (EBC) a International Biochar Initiative (IBI).

Největší vliv na kvalitu biocharu má, vedle samotného zařízení, teplota v pyrolýzní zóně generátoru, rychlost ohřevu vstupního materiálu, čas zdržení v aktivní zóně reaktoru a typ použité biomasy. Z rešerše vyplynulo, že mezi nejdůležitější „praktické“ kvalitativní parametry patří stabilita biocharu, vodní kapacita biocharu, respektive nasákavost a reverzibilní retence (zádrž) živin (měřená signifikantní veličina je kationtová výměnná kapacita – KVK a aniontová výměnná kapacita – AVK).

Hlavním smyslem výroby biocharu je jeho aplikace do zemědělské půdy. Před použitím biocharu do zemědělské půdy je biochar nutné aktivovat (navlhčit). Před vpravením do zeminy může biochar projít řadou jiných aplikací, při kterých se mění jeho vlastnosti – aditivum pro výrobu kompostu, krmná surovina, podestýlka pro zvířata, či katalyzátor pro výrobu bioplynu.

Důvodem aplikace biocharu do zemědělské půdy je, že zvyšuje kvalitu půdy. Zvyšování kvality půdy je způsobeno zejména zvyšováním zádrže vody v půdě a zvýšeným stupněm využití biogenních prvků z hnojiva. Mezi lídry na evropském trhu vyrábějící technologické linky na výrobu biocharu jsou firmy PYREG a ETIA s produkty řady BIOGREEN.

Seznam symbolů

- AVK – aniontová výměnná kapacita
- EBC – European Biochar Certificate
- KVK – kationtová výměnná kapacita
- IBI – International Biochar Initiative
- ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Poděkování

Tato práce vznikla díky finanční podpoře projektů QK1820175 a QK1910056 Ministerstva zemědělství ČR, projektu AV21 – Účinná přeměna a skladování energie a z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT 20-21-SVV/2010-2019.

Literatura

1. International Biochar Initiative: <https://biochar-international.org>, staženo 3.6.2019.
2. Jahirul M., Rasul M., Chowdhury A., Ashwath N.: *Energies* 5, 4952 (2012). doi: 10.3390/en5124952.
3. Nsamba H. K., Hale S. E., Cornelissen G., Bachmann R. T.: *J. Sustainable Bioenergy Syst.* 05, 10 (2015). doi: 10.4236/jsbs.2015.51002.
4. Garcia-Perez M., Lewis T., Kruger C. E.: *Methods for Producing Biochar and advanced bio-fuels in Washington state – Literature Review of Pyrolysis Reactors*, Washington State University (2010).
5. Pyreg GmbH: www.pyreg.de, staženo 3.6.2019.
6. E.T.I.A.: <http://www.biogreen-energy.com/>, staženo 3.6.2019.
7. Pohořelý M. a 13 spoluautorů: *Waste Forum* 2017 2, 42 (2017).
8. HST Hydrosystémy s.r.o.: <http://www.hydrosystemy.cz/>, staženo 3.6.2019.
9. Feng Z., Sheng Y., Cai F., Wang W., Zhu L.: *Sci. Total. Environ.* 645, 887 (2018). doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.224.
10. Weber K., Quicker P.: *Fuel* 217, 240 (2018). doi: 10.1016/j.fuel.2017.12.054.
11. Jindo K., Mizumoto H., Sawada Y., Sanchez-Monedero M. A., Sonoki T.: *Biogeosciences* 11, 6613 (2014). doi: 10.5194/bg-11-6613-2014.
12. Ronsse F., van Hecke S., Dickinson D., Prins W.: *GCB Bioenergy* 5, 104 (2013). doi: 10.1111/gcbb.12018.
13. Wang Y., Hu Y., Zhao X., Wang S., Xing G.: *Energy Fuels* 27, 5890 (2013). doi: 10.1021/ef400972z.
14. Angin D.: *Bioresour. Technol.* 128, 593 (2013). doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.150.
15. Burhenne L., Messmer J., Aicher T., Laborie M.-P.: *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 101, 177 (2013). doi: 10.1016/j.jaap.2013.01.012.
16. Gani A., Naruse I.: *Renewable Energy* 32, 649 (2007). doi: 10.1016/j.renene.2006.02.017.
17. Crombie K., Mašek O., Sohi S. P., Brownsort P., Cross A.: *GCB Bioenergy* 5, 122 (2013). doi: 10.1111/gcbb.12030.
18. Fisher E. M., Dupont C., Darvell L. I., Commandre J. M., Saddawi A., Jones J. M., Grateau M., Nocquet T., Salvador S.: *Bioresour. Technol.* 119, 157 (2012). doi: 10.1016/j.biortech.2012.05.109.
19. Cheah S., Malone S. C., Feik C. J.: *Environ. Sci. Technol.* 48, 8474 (2014). doi: 10.1021/es500073r.
20. Kloss S., Zehetner F., Dellantonio A., Hamid R., Ottner F., Liedtke V., Schwanninger M., Gerzabek M. H., Soja G.: *J. Environ. Qual.* 41, 990 (2012). doi: 10.2134/jeq2011.0070.
21. Lehmann J., Rillig M. C., Thies J., Masiello C. A., Hockaday W. C., Crowley D.: *Soil Biol. Biochem.* 43, 1812 (2011). doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022.
22. Mukherjee A., Zimmerman A. R., Harris W.: *Geoderma* 163, 247 (2011). doi: 10.1016/j.geoderma.2011.04.021.
23. Park S.-W., Jang C.-H., Baek K.-R., Yang J.-K.: *Energy* 45, 676 (2012). doi: 10.1016/j.energy.2012.07.024.
24. Zhang J., You C.: *Energy Fuels* 27, 2643 (2013). doi: 10.1021/ef4000769.
25. Enders A., Hanley K., Whitman T., Joseph S., Lehmann J.: *Bioresour. Technol.* 114, 644 (2012). doi: 10.1016/j.biortech.2012.03.022.

26. Gaskin J. W., Steiner C., Harris K., Das K. C., Bibens B.: Transactions of the ASABE 51, 2061 (2008). doi: 10.13031/2013.25409.
27. Klupfel L., Keiluweit M., Kleber M., Sander M.: Environ. Sci. Technol. 48, 5601 (2014). doi: 10.1021/es500906d.
28. Ahmad M., Lee S. S., Dou X., Mohan D., Sung J. K., Yang J. E., Ok Y. S.: Bioresour. Technol. 118, 536 (2012). doi: 10.1016/j.biortech.2012.05.042.
29. Gray M., Johnson M. G., Dragila M. I., Kleber M.: Biomass Bioenergy 61, 196 (2014). doi: 10.1016/j.biombioe.2013.12.010.
30. Abdullah H., Wu H.: Energy Fuels 23, 4174 (2009). doi: 10.1021/ef900494t.
31. Brewer C. E., Chuang V. J., Masiello C. A., Gonnermann H., Gao X., Dugan B., Driver L. E., Panzacchi P., Zygourakis K., Davies C. A.: Biomass Bioenergy 66, 176 (2014). doi: 10.1016/j.biombioe.2014.03.059.
32. Somerville M., Jahanshahi S.: Renewable Energy 80, 471 (2015). doi: 10.1016/j.renene.2015.02.013.
33. Plötze M., Niemz P.: Eur. J. Wood Wood Prod. 69, 649 (2010). doi: 10.1007/s00107-010-0504-0.
34. Kasozi G. N., Zimmerman A. R., Nkedi-Kizza P., Gao B.: Environ. Sci. Technol. 44, 6189 (2010). doi: 10.1021/es1014423.
35. Suliman W., Harsh J. B., Abu-Lail N. I., Fortuna A.-M., Dallmeyer I., Garcia-Perez M.: Biomass Bioenergy 84, 37 (2016). doi: 10.1016/j.biombioe.2015.11.010.
36. Song W., Guo M.: J. Anal. Appl. Pyrolysis 94, 138 (2012). doi: 10.1016/j.jaap.2011.11.018.
37. Lehmann J., Gaunt J., Rondon M.: Mitig Adapt Strat Glob Change 11, 403 (2006). doi: 10.1007/s11027-005-9006-5.
38. Budai A. a 13 spoluautorů: *Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability*; International Biochar Initiative, 2013.
39. IBI: *Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil 2012*. <https://biochar-international.org/characterizationstandard/>, staženo 3.6.2019
40. Spokas K. A.: Carbon Manage. 1, 289 (2014). doi: 10.4155/cmt.10.32.
41. Major J.: *Guidelines on Practical Aspects of Biochar Application to Field Soil in Various Soil Management Systems*; IBI, 2010.
42. Weil R., Brady N., *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education, 2016.
43. Batista E., Shultz J., Matos T. T. S., Fornari M. R., Ferreira T. M., Szpogancz B., de Freitas R. A., Mangrich A. S.: Sci. Rep. 8, 10677 (2018). doi: 10.1038/s41598-018-28794-z.
44. Das O., Sarmah A. K.: Sci. Total. Environ. 512-513, 682 (2015). doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.061.
45. Chun Y., Sheng G., Chiou C. T., Xing B.: Environ. Sci. Technol. 38, 4649 (2004). doi: 10.1021/es035034w.
46. Jazini R., Soleimani M., Mirghaffari N.: Water and Environment Journal 32, 125 (2018). doi: 10.1111/wej.12307.
47. Cha J. S., Park S. H., Jung S.-C., Ryu C., Jeon J.-K., Shin M.-C., Park Y.-K.: J. Ind. Eng. Chem. 40, 1 (2016). doi: 10.1016/j.jiec.2016.06.002.
48. Lee J. W., Kidder M., Evans B. R., Paik S., Buchanan A. C., 3rd, Garten C. T., Brown R. C.: Environ. Sci. Technol. 44, 7970 (2010). doi: 10.1021/es101337x.
49. Wu W., Yang M., Feng Q., McGrouther K., Wang H., Lu H., Chen Y.: Biomass Bioenergy 47, 268 (2012). doi: 10.1016/j.biombioe.2012.09.034.
50. European Biochar Certificate: <http://www.european-biochar.org/en/objectives>, staženo 3.6.2019.
51. Yarrow D.: Acres U.S.A. magazine, May 2013.
52. Hagemann N., Kammann C. I., Schmidt H. P., Kappler A., Behrens S.: Plos One 12, (2017). doi: 10.1371/journal.pone.0171214.

53. Kammann C. I., Schmidt H. P., Messerschmidt N., Linsel S., Steffens D., Muller C., Koyro H. W., Conte P., Joseph S.: *Sci. Rep.* 5, 11080 (2015). doi: 10.1038/srep11080.
54. Agegnehu G., Bass A. M., Nelson P. N., Bird M. I.: *Sci. Total. Environ.* 543, 295 (2016). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>.
55. Gerlach A., Schmidt H.-P.: *Journal for terrior-wine and biodiversity*, (2008).
56. Leng R., Preston T., Inthapanya S.: *Livestock Research for Rural Development* 24, (2012).
57. McHenry M. P.: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90, 183 (2010). doi: 10.1002/jsfa.3818.
58. Van D. T. T., Mui N. T., Ledin I.: *Anim. Feed Sci. Technol.* 130, 242 (2006). doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.01.008.
59. Schmidt H.-P., Kammann C., Gerlach A., Gerlach H.: *Ithaka-Journal*, 364 (2016).
60. Chu G. M. a 11 spoluatorů: *Anim. Sci. J.* 84, 113 (2013). doi: 10.1111/j.1740-0929.2012.01045.x.
61. Yamauchi K., Manabe N., Matsumoto Y., Yamauchi K.-e.: *Connect. Tissue Res.* 54, 416 (2013). doi: 10.3109/03008207.2013.834895.
62. Lee J.-J., Park S.-H., Jung D.-S., Choi Y.-I., Choi J.-S.: *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 31, 296 (2011). doi: 10.5851/kosfa.2011.31.2.296.
63. Gerlach H., Schmidt H.-P.: *Ithaka-Journal* 1, 262 (2012).
64. Meyer-Kohlstock D., Haupt T., Heldt E., Heldt N., Kraft E.: *Energies* 9, (2016). doi: 10.3390/en9040247.
65. Kumar S., Jain M. C., Chhonkar P. K.: *Biol. Wastes* 20, 209 (1987). doi: 10.1016/0269-7483(87)90155-8.
66. Inthapanya S., Preston T. R., Leng R. A.: *Livestock Research for Rural Development* 24, (2012).
67. Rodger J.-M., Ganagin W., Krieg A., Roth C., Loewen A.: *Müll und Abfall* 9, 476 (2013).
68. Mumme J., Srocke F., Heeg K., Werner M.: *Bioresour. Technol.* 164, 189 (2014). doi: 10.1016/j.biortech.2014.05.008.

Biochar – production, properties, certification, and utilization

Michael POHOŘELÝ^{a, b}, Anežka SEDMIHRADSKÁ^{a, b}, Lukáš TRAKAL^c, Petr JEVÍČ^d

^a Institute of Chemical Process Fundamentals of the Czech Academy of Sciences, v. v. i., Rozvojová 135/1, 165 02 Prague 6, Czech Republic, e-mail: pohorely@icpf.cas.cz

^b Department of Power Engineering, University of Chemistry and Technology Prague, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic, e-mail: michael.pohorely@vscht.cz

^c Department of Environmental Geosciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6, Czech Republic, e-mail: trakal@fzp.czu.cz

^d Research Institute of Agricultural Engineering, v. v. i., Drnovská 507, 161 01 Prague 6, Czech Republic

Summary

This review article summarizes fundamental knowledge about biochar. Biochar is getting paid a lot of attention recently for its ability to enhance crop yield and mitigate climate change. Main European furnace producers for generating biochar are introduced. Relevant physicochemical and textural properties are reviewed with emphasis on a stability of biochar, pH, water holding, and nutrient retention capacity. Czech legislation, where biochar is classified as a supplementary soil substance and voluntary certification initiatives such as European Biochar Certificate (EBC) and International Biochar Initiative (IBI) are discussed. The methods of application of biochar in agriculture are described as well.

Keywords: Biochar, Biomass, Thermochemical conversion, Carbonization, Pyrolysis, Gasification