

Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností

Kateřina Břendová, Pavel Tlustoš, Jiřina Száková, Martin Bohuněk

Článek vyšel v publikaci kolektivu autorů, „Sborník z 20. mezinárodní konference, Racionální využití hnojiv zaměřené na zdroje živin a využití odpadních látek v zemědělství konané 27. 11. 2014 na ČZU v Praze“, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2014.

Úvod

Biouhel, běžně nazývaný anglickým termínem „biochar“, je, stručně řečeno, na **uhlík** bohatý produkt získaný tepelným rozkladem organického materiálu, například dřevní nebo rostlinné **biomasy**, ale i **hnoje**, či **digestátu** [1], bez přístupu vzduchu, za vysokých teplot.

Termochemický proces rozkladu různých typů organických materiálů se nazývá **pyrolýza**. Do reaktoru je vkládán vstupní materiál, ten je následně zahříván a rozkládán na menší a jednodušší molekuly plynu, oleje a pevného zbytku - biouhlu. Tyto produkty se dále využívají jako hodnotná **biopaliva**, přičemž biouhel díky svým specifickým vlastnostem nachází využití jako půdní aditivum.

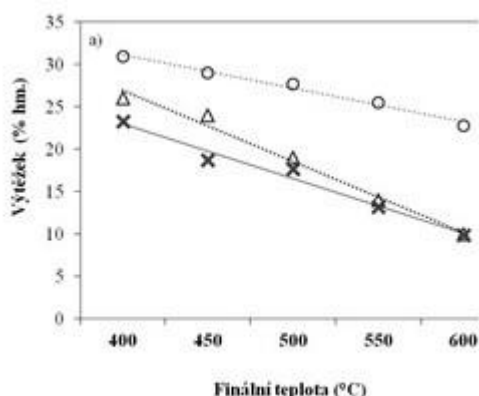
Využívání zuhelnatělé **biomasy** pro agronomické účely není záležitostí a trendem posledních desetiletí. Již v roce 1929 John Morley zmiňuje v časopise The National Greenkeeper pozitiva aplikace hnědého uhlí a popisuje následné zlepšení půdní struktury [2]. V šedesátých letech byla pak popsána území v Amazonii, kde spolupůsobení spálené **biomasy** a dalších organických materiálů vedlo k vytvoření velmi úrodných půd a ty nesou dnes již zažité označení terra preta [3]. V důsledku neustálého zvyšování koncentrace CO₂ v **atmosféře** se novodobě začalo uvažovat, že aplikací materiálu s vysokým obsahem **uhlíku** jakým biouhel je, se část **uhlíku** bude dlouhodobě ukládat v půdě. Američtí vědci ve své studii vypočetli, že by bylo možné **pyrolýzou biomasy**, kde by se získával plyn a olej pro energetické účely a biouhel by byl použit pro půdní aplikace, dosáhnout sekvestrace až 10 % ročních emisí z **fosilních paliv** v USA [4].

Příprava biouhlu a jeho vlastnosti

Dle rychlosti ohřevu a finální teploty procesu, rozeznáváme dva základní typy **pyrolýzy**: rychlou a pomalou. **Rychlá pyrolýza** se vyznačuje rychlým teplotním nárůstem, krátkou dobou zdržení v reaktoru (v řádech sekund) a vysokou finální teplotou (1200 °C), vzniká při ní vyšší podíl pyrolytického oleje (60 – 75 % hm., biouhlu 15 – 25 % hm.; pyrolýzního plynu 10 – 20 % hm.). Naopak při pomalé **pyrolýze** je vzrůstající teplota pozvolná a finální teplota se pohybuje do 800 °C, vzniká 30 % hm. oleje, 30 % hm. plynu, a 35 % hm. biouhlu [5]. Vlastnosti, chemické i fyzikální, vzniklých produktů jsou silně ovlivněny vstupním materiálem a zvolenými podmínkami **pyrolýzy**, zejména finální teplotou procesu, a tak biouhel nelze přesně definovat. Lze zobecnit, že je to materiál, jenž obsahuje až 90 % **uhlíku** a skládá se z aromatických sloučenin charakterizovaných šesti atomy **uhlíku**. Toto aromatické uspořádání struktury biouhlu inhibuje rozklad v půdě, protože **mikroorganismy** takto složité sloučeniny dokážou využít jen s obtížemi [6]. Jako spolehlivým měřítkem udávající rozsah **pyrolýzy** daného materiálu a také následnou náchylnost biouhlu na oxidativní změny v půdě se ukázaly poměry **kyslíku**, **vodíku** a **uhlíku** (O:H, O:C, C:H). Tyto prvky jsou běžně stanovitelné elementární analýzou. Životnost biouhlu je odhadována na základě poměru **kyslíku** a **uhlíku** (0,008) obsaženého v tomto materiálu až na 51000 let [7].

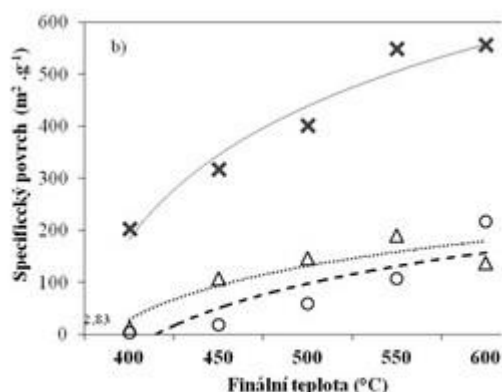
Mikropóry hrají důležitou roli v adsorpci molekul na sorpční povrch biouhlu. Rozmezí objemu mikropórů se pohybuje od 0,2 do 0,5 cm³.g⁻¹, makropórů od 0,6 do 1,0 cm³.g⁻¹ [8]. Specifický povrch biouhlu je vyšší než u písčitých půd a je srovnatelný nebo vyšší než u **minerálů**. Proto přídavek biouhlu do půdy zvyšuje specifický povrch půd [9]. Na základě těchto vlastností bylo následně zjištěno, že biouhel má schopnost zadržovat vodu v půdách [10].

V našem experimentu jsme zjišťovali vlastnosti biouhlu v závislosti na finální teplotě **pyrolýzy** a původu vstupní **biomasy**. Pyrolyzována byla **sláma pšenice**, odkorněné **dřevo** topolu a celá rostlina **kukuřice**. Tyto typy **biomasy** byly pyrolyzovány za 5 různých finálních teplot, při atmosférickém tlaku, době zdržení 30 minut a jako nosný plyn byl použit **dusík**. Bylo zjištěno, že se vzrůstající teplotou se lineárně snižuje výtěžek biouhlu a logaritmicky se zvyšuje hodnota specifického povrchu. Nejvyšší hodnoty specifického povrchu vykazoval biouhel z **biomasy** dřevní směsi: až $556 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny u biouhlu ze **slámy pšenice** (graf 1.). Naše zjištění odpovídají výsledkům jiných autorů, kteří uvádějí, že specifický povrch biouhlu připraveného ze **dřeva** je vyšší než u biouhlu z travní **biomasy** [11].



○ pšenice sláma, × topol, △ kukuřice

Graf 1A: Porovnání výtěžku (%hm.) a specifického povrchu biouhlu

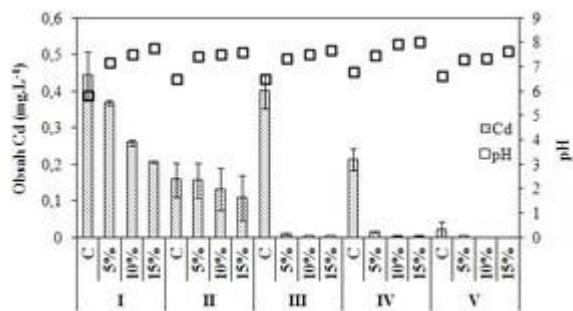


○ pšenice sláma, × topol, △ kukuřice

Graf 1B: Porovnání výtěžku (%hm.) a specifického povrchu biouhlu

Specifický povrch se u **kukuřice** při nejvyšší finální teplotě snížil, jelikož již při této teplotě pravděpodobně došlo k tavení popelovin, v důsledku čehož se velikost povrchu snížila. Výtěžek biouhlu se se vzrůstající teplotou snižoval. Byl vyšší za použití pšeničné **slámy** a nejnižší byl pozorován u biouhlu ze **dřeva**.

Další analytické metody, jako je Fourierova transformační spektrometrie (FTIR), X - ray fotoelektronová spektrometrie (XPS) nebo energiově disperzní spektroskopie (EDX), určují specifika povrchu biouhlu a napomáhají odhadnout jeho funkčnosti v půdě. Pomocí FTIR se zjišťují přítomné funkční skupiny na povrchu biouhlu, ty hrají velmi důležitou roli při poutání jak živin, tak rizikových prvků na tento materiál [12].



Graf 2: Obsah kadmia a hodnota pH perkolátu odebraném v průběhu vegetace

Biouhel a živiny

Zmíněné vlastnosti předurčují biouhel k zlepšení půdních vlastností a zvýšení úrodnosti půd, a to primárně z hlediska fyzikálních vlastností. Liang a kol. [13] uvádějí, že zvýšený specifický povrch půdy za přítomnosti černého uhlí přispívá k vyšší kationové výměnné kapacitě (KVK), ta omezuje nebezpečí vyplavování živin.

Novak a kol. [14] aplikovali do chudé písčité půdy biouhel připravený za vysokých teplot. Po dvouměsíčním inkubačním experimentu nezjistili zvýšení KVK půdy vlivem přidavku biouhlu, byl však pozorován zvýšený obsah prvků Ca, K a P a vyšší hodnota pH v půdě s přidavkem biouhlu. Autoři uvádějí, že pro zvýšení KVK biouhlu je třeba jeho úprava - oxidace povrchu. Ale jak Gaskin a kol. [15] uvádějí, se zvyšující se pyrolýzní teplotou se snižuje KVK biouhlu, je třeba uvažovat, jak byl biouhel, který chceme do půdy aplikovat, připraven. Nelissen a kol. [16] aplikovali biouhel do půdy a pozorovali výrazné snížení výnosu ředkviček a jarního ječmene v důsledku této aplikace. Snížení výnosu bylo způsobeno snížením obsahu nitrátového dusíku na variantách s biouhlem. Gaskin a kol. [15] ve své studii popisují konzervaci živin v biouhlu a uvádějí, že dusík v něm obsažený je rostlinám nepřístupný, ale živiny, jako vápník, draslík a fosfor, byly slabě kyselými extraktanty uvolnitelné. Příklady obsahu živin ve vybraných typech biouhlu uvádí tabulka I.

Tabulka I. Obsah vybraných prvků v různých typech biouhlu, připraveném při 500°C [15]

Vstupní biomasa	C	N	P	K	S	Ca	Mg
	g.kg ⁻¹						
Drůbeží trus	392	31	36	59	14	50	13
Arašídové slupky	804	25	2,0	16	0,6	5	3
Štěpka borovice	817	2,2	0,1	1,5	0,1	1,9	0,6

Biouhel obsahuje vysoká množství alkalických kovů (Ca, Mg, K), což přispívá k neutralizaci půdní kyselosti [14]. Všeobecně se udává, že hodnota pH se pohybuje v rozmezí 8,2 - 13.

Další možností využití biouhlu se zabývají Phuong-Thi a kol. [17] a ve své studii popisují směsi biouhlu s kompostem, vermikompostem a hnojem. Zjistili, že přítomnost biouhlu v těchto maticích chrání organickou hmotu před oxidací, a tak mění jejich náchylnost k biodegradaci, a tudíž podporuje sekvestraci uhlíku v těchto maticích.

Biouhel pro remediaci

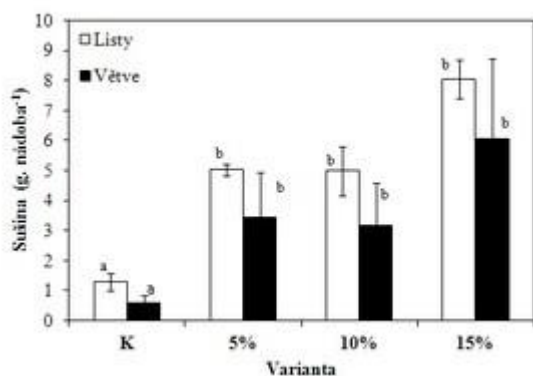
Již v roce 1948 ve své disertační práci zmiňuje Tryon [18] myšlenku, že by hnědé uhlí mělo mít schopnost poutat znečišťující látky v půdě. Především v posledním desetiletí bylo v tomto směru napsáno mnoho publikací. Tabulka II. udává příklady látek, které byly na biouhlu sorbovány.

Tabulka II. Výběr znečišťujících látek, u nichž byla pozorována sorpce na různé typy biouhlu

Látka	Vstupní biomasa pro biochar		citace
Organické polutanty	simazine	tvrdé dřevo	[19]
	atrazine	kravský hnůj	[20]
	naftalen, nitrobenzen	jedlové jehličí	[21]
Rizikové prvky	kadmium	blahovičnick, pšenice	[22]
	měď, nikl, olovo	bavlník	[12]

Řada autorů potvrzuje hypotézu omezení mobility rizikových prvků. Například Gomez–Eyles a kol. [23] pozorovali v inkubačním experimentu průkazné snížení přijatelného kadmia a mědi a zvýšení pH po aplikaci biouhlu v průběhu 1 – 2 měsíců.

V našem experimentu byl sledován vliv biouhlu na transport kadmia půdním profilem. Hodnotil se vliv aplikace 5 %, 10 % a 15 % biouhlu do extrémně kontaminované půdy a dopad této aplikace na růst rostlin a transport prvků půdním profilem. Pro sledování těchto parametrů byly použity lyzimetrické nádoby, v nichž byly pěstovány vrby. Každý pátý týden v průběhu vegetace byl odebírán perkolát. Již při třetím odběru se projevil pozitivní vliv biouhlu na imobilizaci kadmia. V porovnání s kontrolní variantou, byl zjištěn významně nižší obsah kadmia, ale nebyl zjištěn rozdíl mezi variantami s aplikovaným biouhlem. Dále byla pozorována zvyšující se hodnota pH odebíraného roztoku se vzrůstající dávkou biouhlu.



Graf 3: Výnos biomasy vrby pěstovaných na extrémně kontaminované půdě bez (K) a s aplikovaným biouhlem (5, 10 a 15 %)

Graf 3 ukazuje významně vyšší výnos **biomasy** na variantách, kde byl aplikován biouhel ve srovnání s kontrolou. Mezi variantami s přidavkem biouhlu se neprojevil rozdíl. Na základě našich výsledků můžeme uvést závěrem, že aplikace biouhlu do kontaminované půdy omezila pohyb **kadmia**, a byl tak podpořen růst pěstovaných **vrb**.

Další možností využití **pyrolýzy** ve směru remediací je nakládání s **biomasou** z fytoextrakčních technologií. **Pyrolýzou** kontaminované **biomasy** se zabývali Stals a kol. [24]. Pyrolyzovali kontaminovanou **biomasu vrb** a zjistili, že při finální teplotě 350 a 450 °C lze získat pyrolýzní olej pro energetické účely s přijatelným obsahem rizikových prvků.

Závěr

Používání biouhlu jako půdního aditiva je velmi atraktivní ve smyslu sekvestrace **uhlíku**. Ač byl popsán jeho pozitivní vliv na půdní úrodnost, je třeba přesně definovat podmínky přípravy biouhlu a jeho vlastnosti a následně popsat vhodnost tohoto materiálu pro dané typy půd. Využívání biouhlu na kontaminovaných půdách má potenciál, ale platí zde opět potřeba získat přesně definovaný materiál pro konkrétní účely. Při **pyrolýze** kontaminované **biomasy** je potřeba dalšího výzkumu následného využití tohoto materiálu buď pro energetické účely, nebo pro účely aplikace do půdy.

Článek vyšel v publikaci kolektivu autorů, „Sborník z 20. mezinárodní konference, Racionální využití hnojiv zaměřené na zdroje živin a využití odpadních látek v zemědělství konané 27. 11. 2014 na ČZU v Praze“, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2014.

Reference

- [1] R. Marchetti and F. Castelli, J. Environ. Qual. 2013, 42 (3), 893.
- [2] J. Morley, The National Greenkeeper 1929, 3, 8.
- [3] W. Sombroek, Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966.
- [4] J. Lehmann et al., Mitig. Adapt. Strategies Glob. Chang. 2006, 11, 403.
- [5] D. Mohan et al., Energy Fuels 2006, 20, 848.
- [6] J. Rosa et al., Soil. Sci. Soc. Am. J. 2007, 72, 258.
- [7] K. A. Spokas, Carbon Manag. 2010, 1(2), 289.
- [8] J. Lehmann et J. Joseph, Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London 2009.
- [9] K. Y. Chan et al., Aust. J. Soil Res. 2007, 45, 629.
- [10] B. Glaser et al., Biol. Fert. Soils 2002, 35, 219.
- [11] M. Keiluweit et al., Environ. Sci. Technol. 2010, 44 (4), 1247.
- [12] M. Uchimyia et al., Chemosphere 2011, 82, 1438.
- [13] B. Liang et al., Soil. Sci. Soc. Am. J. 2006, 70, 1719.
- [14] J. M. Novak et al., Soil. Sci. 2009, 174, 105.
- [15] J.W. Gaskin et al., Transaction of the ASABE, 2008, 51(6), 2061.
- [16] V. Nelissen et al., Agronomy 2014, 4 (1), 52.
- [17] N. Phuong-Thi et al., Bioresour. Technol. 2013, 148, 401.
- [18] E. H. Tryon, Ecol. Monogr. 1948, 18, 81.
- [19] D. L. Jones et al., Soil Biol. Biochem. 2011, 43, 804.
- [20] X. Cao et al., Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 3285.
- [21] B. Chen et al., Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 5137.
- [22] Z. Zhang et al., J. Soils Sediments 2012, 13(1), 140.

- [23] J. L. Gomez et al. *Environ. Pollut.* 2011, 159 (2), 616.
- [24] M. Stals et al., *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2010, 89, 22.