

CIRKUS C
UMÍME UHLÍK

BIOUHEL

ZÁKLADNÍ PŘÍRUČKA

VILÉM ŘIHÁČEK • TOMÁŠ BLAHA

VERZE 1.0, LISTOPAD 2023

© Biouhlírna, s. r. o.
© Cirkus C
© Karolína Poláčková



Vznik publikace byl podpořen z veřejné sbírky dobročinných obchodů
Nadace Veronica.

ISBN 978-80-11-04213-4 (brožováno)

OBSAH

1/ PŘEDMLUVA	S. 05
2/ AMAZONSKÉ ČERNÉ PŮDY ANEB ŠPETKA HISTORIE	S. 07
3/ CO JE TO BIOUHEL A CO UMÍ	S. 11
DEFINICE A VLASTNOSTI	S. 12
JAK BIOUHEL FUNGUJE V PŮDĚ	S. 16
„PANELÁK“ PRO MIKROORGANISMY	S. 16
ZÁSOBÁRNA VODY A ŽIVIN	S. 17
INFORMAČNÍ DÁLNICE	S. 18
S BIOUHLEM PROTI KLIMATICKÉ ZMĚNĚ	S. 20
4/JAK SE BIOUHEL VYRÁBÍ A KDE SE POUŽÍVÁ	S. 23
VÝROBA DOMA I VE VELKÉM	S. 24
PECE S OTEVŘENÝM PLAMENEM	S. 24
UZAVŘENÉ PECE	S. 25
PRŮMYSLOVÁ VÝROBA	S. 27
NENÍ UHEL JAKO UHEL	S. 28
BIOUHEL V ZEMĚDĚLSTVÍ	S. 29
PROČ PATŘÍ BIOUHEL NA POLE?	S. 29
ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ BIOUHLU NA ORNÉ PŮDĚ	S. 32
BIOUHEL V ULICÍCH – MODROZELENÁ INFRASTRUKTURA	S. 34
PRŮMYSLOVÁ A DALŠÍ VYUŽITÍ	S. 37
5/ PRAKTICKÁ ČÁST ANEB PÁR TIPŮ A TRIKŮ	S. 41
PĚSTUJEME S BIOUHLEM – KDY, JAKÝ, KOLIK, KAM	S. 42
JAK „NABÍT“ BIOUHEL	S. 44
RIZIKA SPOJENÁ S BIOUHLEM	S. 47
6/ ZÁVĚR?	S. 49

1/



PŘEDMLUVA

Zuhelnatělá biomasa neboli biouhel (někdy též *biochar*) dokáže zlepšit vlastnosti půdy, podporovat mikrobiální život, hospodařit s vodou i živinami, zneškodňuje toxické látky, podporuje vzájemnou komunikaci mezi různými organismy. K tomu všemu také ukládá a fixuje atmosférický uhlík tam, kde je potřeba, tedy v půdě. Dá se vyrobit z biologického odpadu, jako jsou odřezky dřeva nebo běžné zahradní zbytky. Můžete si jej dokonce vyrobit sami s minimálními náklady a téměř kdekoliv.

Zní to až příliš dobře na to, aby to byla pravda?

Skutečnost je ale ještě o hodně pestřejší. Biouhel je předmětem intenzivního výzkumu a ukazuje se, že je perspektivním materiálem i ve stavebnictví jako příměs do betonů a malt. Přidává se do zasakovacích prvků a substrátů zelených střech, slouží k filtraci vody či destilátů. Uplatňuje se jako aditivum při výrobě plastů, v metalurgii, jako příměs v konstrukčních vrstvách vozovek, používá se v kosmetice, a dokonce jako doplněk stravy zvířat i lidí.

O biouhlu se v poslední době dost mluví, hodně se zkoumá, zároveň se ale o něm šíří různé spekulace, a občas i fámy.

Najít relevantní a ověřitelné informace bývá oříšek. Proto je tu tato příručka.

Strávili jsme stovky hodin studiem článků a knih, vlastními experimenty i rozhovory s odborníky a odbornicemi. Rozhodli jsme se přenést alespoň část těchto informací v přehledné formě na papír a dát k dispozici široké veřejnosti. Nedržte ale v ruce vyčerpávající monografii, jde o stručnou příručku, která má za cíl vnést světlo do základních otázek, ujasnit pojmy, a zejména vzbudit u čtenářstva zvědavost a zájem.

A protože vědomosti o biouhlu se neustále prohlubují, budeme tuto příručku dále doplňovat. Proto sledujte náš blog www.cirkusc.cz/blog nebo se přihlaste k odběru newsletteru.

Děkujeme Nadaci Veronica, která vznik této příručky podpořila.

2/



AMAZONSKÉ ČERNÉ PŮDY ANEB ŠPETKA HISTORIE

Dvacátého čtvrtého srpna 1542 dosáhl Španěl Francisco de Orellana ostrova Marajó v deltě Amazonky a stal se tak prvním Evropanem, který tento veletok splul. De Orellana byl především conquistador a na své expedici byl poháněn hlavně touhou najít bájně Eldorado a získat pro sebe a španělskou korunu co nejvíce zlata. To se mu sice nepodařilo, ale jeho cesta přinesla jiné a zcela nečekané plody. De Orellana v popisu své cesty užasle vyjmenovává velké vesnice, a dokonce celá města, jejichž populace měla dalece převyšovat osídlení povodí Amazonky, jak jej známe dnes.

De Orellana nebyl pedolog, a proto si neuvědomil paradox, na který narazil. Amazonští indiáni totiž hospodařili na pohádkově úrodných černých půdách. Skutečné černozemě jsou ale typické pro oblasti s nízkými srážkami a hlavně vznikají pouze v mírném klimatickém pásmu – zejména ve stepích Ukrajiny nebo préríjích amerického středozápadu. Ve vlhkém a teplém klimatu Amazonského pralesa dochází k rychlému rozkladu odumřelé organické hmoty, svrchní půdní profil je vymývaný deštěm, a proto tropické půdy trpí nedostatkem humusové složky. Při obdělávání rychle ztrácejí úrodnost, a je tedy nutné se po



Amazonský prales, foto: archiv fotobanky.

pár letích tropického zemědělství posunout zase na další pole vzniklé vypálením pralesa. Kvůli rychlé devastaci prostředí a neustálým přesunům tento způsob hospodaření v podstatě vylučuje existenci větších stálých sídel, nebo dokonce měst. I přestože se původní obyvatelé



Francisco
de Orellana



postupně naučili zpracovávat do půdy hnůj, kosti nebo kameninové střepy, skutečná revoluce nastala teprve tehdy, když přidali jednu magickou ingredienci. Dřevěné uhlí neboli biouhel. Když De Orellana psal o žrňných polích a stotisícových kvetoucích městech propojených silnicemi, bylo to dlouho považováno za povídačky. Dnes víme, že nepřeháněl. Za rozvojem takto vysoce organizované civilizace stál právě biouhel, který umožnil amazonským zemědělcům zúrodnit chudé půdy o rozloze neuvěřitelného půl milionu čtverečních kilometrů a uživit na nich celé národy. Výzkumy z poslední doby ukazují, že podobný objev učinili i polabští Slované v Dolním Sasku,¹ kde v 10. století vznikly úrodné antropogenní půdy zvané Plaggenesch.

Příjezd Evropanů znamenal pro původní obyvatele povodí Amazonky katastrofu. Některé kmeny byly poraženy vojensky, nicméně naprostá většina místních lidí nepřežila

1 — Wiedner, K., Schneeweiß, J., Dippold, M., A., Glaser, B. (2015): Anthropogenic Dark Earth in Northern Germany — The Nordic Analogue to terra preta de Índio in Amazonia, CATENA, Volume 132, Pages 114–125, ISSN 0341-8162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.024>.



De Orellana na španělské poštovní známce, zdroj: Encyclopædia Britannica.

setkání s neštovicemi. Z pěti milionů v roce 1450 klesl počet původních obyvatel na dnešních 200 tisíc a tento rozvrst vedl k návratu „do pralesa“ a ke vzniku malých a víceméně izolovaných skupin lovců a sběračů. Pokročilá zemědělská praxe byla zapomenuta a s ní i tajemství používání biouhlu.

Když ovšem 500 let po De Orellanově objevu vědci rozluštili toto tajemství mimořádné úrodnosti amazonských černých půd (portugalsky Terra preta de índio), užasli ještě více. Díky obrovskému množství uhlíku, které do půdy předkolumbovští osadníci nasypali, totiž terra preta do dnešních dní neztratila nic ze svojí úrodnosti, odolnosti a pestrosti života. Když se to vezme kolem a kolem, tak španělský dobyvatel možná ono bájně Eldorado nevědomky objevil, jen nepoznal, že jeho barva není zlatá, nýbrž černá.



Porovnání černých půd terra preta a běžných tropických půd,
zdroj: www.allpowerlabs.com/terra-preta.

3/



CO JE TO BIOUHEL A CO UMÍ

”

Když jsme začali s experimentální výrobou biouhle, logicky jsem nejprve testoval jeho použití na vlastní zahradě v bývalém kamenolomu. Červený permský pískovec, který jsme od devadesátých let úporně tahali ze záhonků, byl doprovázený mazlavým červeným jílem. Prostě sen každého zahradníka. Navzdory pravidelnému dodávání kompostu a nárazovým dávkám hnoje se stav půdy příliš nezlepšoval, stále to byla červená mazlanice, která se lepí na boty. Změna nastala až po aplikaci našeho biouhle z klášterních sadů. Nepostupovali jsme tehdy moc systematicky, takže jsme neměli možnost kontrolní plochy k posouzení vlivu na vodní režim. Na první pohled i omak bylo ale možné vidět, jak se půda na našich záhonech provzdušnila a „zlehčila“. Ocenili jsme to taky při sklizni, kořenová zelenina šla vytahovat skoro bez námahy. Od té doby pravidelně dodávám na naše záhony kompost, který zraje s biouhlem.

Tomáš Blaha / Cirkus C



DEFINICE A VLASTNOSTI

Biouhel bývá definován různě a jeho definice (zatím) není v žádném předpise. Respektovaná Evropská nadace pro biouhel (European Biochar Foundation) definovala biouhel takto: **Biouhel je porézní uhlíkatá látka vyrobená tepelným rozkladem organické hmoty a využitá tak, že obsažený uhlík zůstává dlouhodobě uložen nebo v průmyslové výrobě nahrazuje fosilní uhlík. Biouhel není určen jako palivo.**²

Zde je výčet klíčových vlastností, které biouhel odlišují od jiných produktů podobného vzhledu či složení:

- **obsah uhlíku** — většinou se za biouhel považují látky s více než 50% obsahem organického uhlíku, ovšem některé definice připouštějí obsah uhlíku alespoň 35 % (EBC 2022).
- **velký aktivní povrch** — toto je zcela klíčová vlastnost, získat údaje o velikosti aktivního povrchu je ovšem obtížné. Předpokládá se, že biouhel má aktivní povrch v rozsahu 150 až 600 m² na gram suché hmoty.³ Největší

aktivní povrch má biouhel vyrobený při teplotách mezi 450 a 700 °C ze dřeva. U biouhlu vyrobeného z jiných látek (např. slepičího trusu, slámy) a za nízkých, nebo naopak velmi vysokých teplot klesá aktivní povrch až na úroveň několika málo m²/g.

- **pórovitost** — když se na biouhel podíváte pod mikroskopem, s překvapením zjistíte, že má stejnou strukturu jako zdrojový materiál (dřevo, sláma). Rozdíl je v tom, že namísto původních roztoků a organel je v dutinách prázdko, protože díky vysoké teplotě se většina látek odpařila. Je to, asi jako když vyfouknete velikonoční vejce a zůstane dutina. Pórovitost tedy udává objem dutinek v jednom gramu biouhlu. Tato „dutost“ biouhlu roste spolu s aktivním povrchem a je ovlivňována stejnými parametry (viz výše), udává se ale na rozdíl od aktivního povrchu v prostorových jednotkách. Pórovitost má typicky hodnotu mezi 0,2 a 0,4 cm³/g.
- **objemová hmotnost** — biouhel má hmotnost 10–30 % váhy sušiny původní zdrojové biomasy, přičemž výrobou biouhlu se materiál smršťuje zhruba o 20 %. Ve výsledku tedy 1 m³ suchého biouhlu váží podle zdrojové

2 — EBC [2012–2022] ‘European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.’ European, Biochar Foundation [EBC], Arbaz, Switzerland. Dostupné z: european-biochar.org. Verze 10.0 z 1. 1. 2022.

3 — R. S. Kookana et al. [2011]: Biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences, *Advances in Agronomy*, Volume 112, Elsevier.



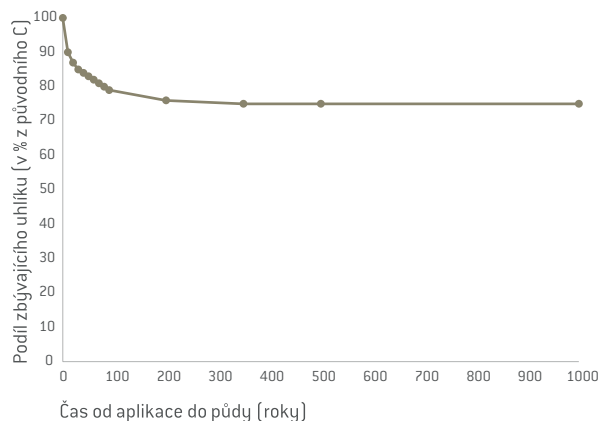
biomasy a procesu výroby mezi 90 a 500 kilogramy⁴, typickou hodnotou pro „běžný“ dřevní biouhel je 150 kg/m³. V praxi ovšem může biouhel vážit i násobně více, pokud je nasycen vodou.

- **stabilita** — biouhel má poločas rozpadu mezi 150 a 5000 lety⁵, typicky 700–1500 let. To znamená, že za 700–1500 let bude v půdě stále minimálně 50 % původního biouhlu. Rozklad ale neprobíhá stále stejně rychle – během prvních zhruba pěti let je celkem rychlý a lze očekávat mineralizaci (rozklad) všech nestabilních součástí biouhlu, ale ty u většiny dřevních biouhlů tvoří více než 10 % hmotnosti. Proces rozkladu se postupně zpomaluje a po několika letech téměř ustává. To je klíčem k pochopení vzniku oněch tajemných „indiánských černozemí“, jak se dočtete na jiném místě této publikace. Díky této své neobvyklé stabilitě se biouhel považuje za trvalou formu uložení uhlíku.

4 — Chia, H. Ch., Downie A., Munroe P. [2015]: Characteristics of biochar: physical and structural properties. In: Lehmann J., Joseph S.: Biochar for environmental management, science, technology and implementation [2015], Routledge, New York.

5 — Fransson, Ann-Mari [2020]: The Biochar handbook for users. Dostupné na: <https://biokol.org/publikationer/pdf/biochar-handbook-for-users>.

GRAF ÚBYTKU BIOUHLU V PŮDĚ



- **vodní kapacita** — schopnost zadržovat vodu bývá uváděna jako jedna ze „superschopností“ biouhlu. Je ovšem nutné říci, že tato vlastnost se odvíjí od zdrojového materiálu a způsobu pyrolýzy. Čím poréznější je vstupní surovina, tím větší bude vododržnost biouhlu. Proto největší vodní kapacitu mají dřevní biouhly, zatímco biouhel například z čistírenských kalů

v tomto zaostává. Pokud jde o teplotu při výrobě, bývá nejlepších výsledků dosaženo v rozmezí 400–600 °C. Z vlastních experimentů víme, že jeden krychlový metr takto vyrobeného dřevního biouhlu dokáže zadržet až 750 litrů vody. Čerstvě vypálený biouhel zpravidla obsahuje hydrofilní i hydrofobní místa v různém poměru. Časem, jak se biouhel zabydluje v půdě a částečně oxiduje, vodoodpudivá místa mizejí a vodní kapacita uhlu stoupá.

- **zadržování (retence) živin** – tato vlastnost závisí na tzv. kationtové výměnné kapacitě (KVK). Jde o četnost negativně nabitých míst na povrchu biouhlu, které přitahují kationty (ionty živin jako je amoniak, draslík, hořčík, vápník nebo sodík) a za určitých okolností je opět uvolňují. Zjednodušeně lze říci, že čím větší je KVK, tím větší je půdní úrodnost. Výzkumy⁶ ukazují, že největší kationtovou výměnnou kapacitu mají biouhly vyrobené ze dřeva při teplotách kolem 400 °C. Takto aktivní biouhel je tedy rezervoárem živin, které postupně

uvolňuje pro rostliny. Hnojení a výživa rostlin je pak efektivnější a zároveň se snižují nežádoucí průsaky hnojiv do podzemní vody. Uživatelům biouhlu navíc hraje do karet fakt, že povrch uhlu pomalu reaguje

BIOUHEL V PŘÍRODĚ

Dřevěné uhlí s podobnými vlastnostmi, jako má biouhel, vzniká i samovolně v přírodě. Lesní nebo stepní požáry za sebou zanechávají velkou spoustu nedokonale spálených (zuhelnatělých) zbytků. Po běžných požárech většinou následuje rychlé období obnovy, kdy z neshořelých semen a oddenků bují nová generace rostlin a na tenkou vrstvu uhelnatých zbytků se pak ukládá opad listů plný živin a mikroorganismů. Jakkoliv nám požáry v krajině způsobují problémy, lesní i stepní ekosystémy jsou jim dobře přizpůsobeny a v některých případech je oheň dokonce nezbytným činitelem pro správné fungování přírodního koloběhu. Někdy (třeba na chráněných lokalitách) se přirozený výskyt požárů snažíme napodobit řízeným vypalováním.

6 — Wu W., Yang M., Feng Q., McGrouther K., Wang H., Lu H., Chen Y. (2012): Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment, *Biomass and Bioenergy* 47, 268. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.034>.



s atmosférickým kyslíkem a tím stoupá počet negativně nabitých místec. Dá se tedy říci, že biouhel časem „zraje“ a jeho kationtová výměnná kapacita a schopnost hospodařit s živinami se postupně zvyšuje.

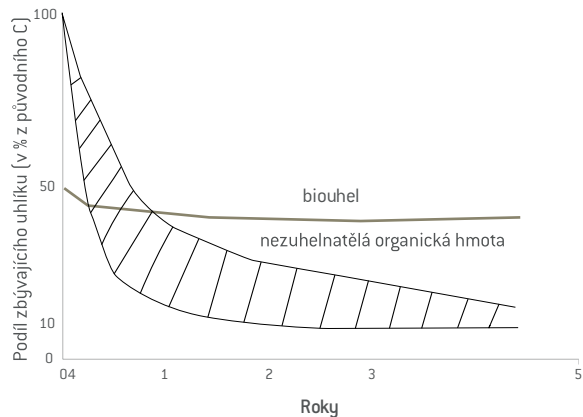
Z uvedeného vyplývá, že není jeden biouhel – namísto toho existuje nespočet variant biouhlu, které se výrazně liší svými vlastnostmi. A od toho se také odvíjí vhodnost použití různých biouhlů. Je dobré taky zmínit, že se různé biouhly od sebe liší velikostí částic, což zásadním způsobem ovlivňuje jeho využití. Tato velikost částic se může pohybovat od mikrometrů až po více než deset centimetrů.

Již tedy víme, co biouhel je. Zkusíme si ještě stanovit, co biouhlem rozhodně není. Biouhlem nelze nazývat:

- látky s obsahem uhlíku menším než 50 (podle některých 35) procent hmotnosti v sušině,
- materiály určené k energetickému využití, jako je například grilovací či kovářské uhlí,
- látky vzniklé jinak než pyrolýzou v rozmezí teplot 350–1 000 °C (např. hydrotermální karbonizací nebo koksováním),

- materiály vzniklé environmentálně nepříznivým způsobem, vyrobené z nevhodných surovin nebo materiály nejasného složení.

GRAF POROVNÁNÍ RYCHLOSTI ROZKLADU ORGANICKÉ HMOTY A BIOUHLU



JAK BIOUHEL FUNGUJE V PŮDĚ

Z výše uvedeného možná není na první pohled jasné, v čem spočívá „kouzlo“ biouhlu v půdě. Uhel neobsahuje (skoro) žádné živiny, nerozpouští se ve vodě. Navíc se téměř nerozkládá na jiné látky. Uhlíky jsou dokonce tak stabilní, že se s jejich pomocí datují pravěké vykopávky. Takže proč si biouhlu máme všimnout a jak ovlivní vlastnosti půdy?

„PANELÁK“ PRO MIKROORGANISMY

Vztahy mezi organismy v půdě jsou nesmírně bohaté a tvoří celé složité sítě – od jednobuněčných bakterií a sinic přes houby, prvoky, želvušky nebo roztoče až po žížaly nebo mravence. Ovšem v ochuzené půdě s narušenou strukturou mají prospěšné mikroorganismy velký problém najít úkryt před dravými půdními predátory a rádi využívají právě dutinek v biouhlu. Jednak je tam dostupná voda i vzduch, jednak si mohou vybrat z celé škály velikostí pórů a tam se namnožit. Z kousků uhlí se tak stávají ostrůvky půdní biodiverzity.⁷

7 — Pietikäinen, J., Kiikkilä, O., Fritze, H. [2000]: Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus, *oikos* 89[2], Copenhagen.



Nejjemnější kořínky rostlin,
zdroj: ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=30557.

ZÁSOBÁRNA VODY A ŽIVIN

Biouhel je známý svou schopností nasát a zadržet vodu. Přítomnost biouhlu navíc stimuluje půdní život, což vede k dalšímu zlepšení půdní struktury a zvýšení zásaku. Proto se odává, že poškozené a chudé půdy ošetřené biouhlem získávají po čase i několikanásobně vyšší schopnost zadržovat vodu. Tento efekt je nejlépe popsáný na písčitých půdách a zcela zjevný je při déle trvajících obdobích sucha, jaká stále častěji postihují naši krajinu. Pokusy na pšenici ukázaly při stresu z nedostatku vody o 14 % větší ekonomické výnosy na půdě s přídatkem biouhlu oproti kontrole⁸, jiné studie prokázaly o 30 % lepší výsledky⁹.

Podobně jako vodu dokáže biouhel zadržet i hnojiva rozpuštěná ve vodě.

8 — Haider, I. et al. [2020]: Potential effects of biochar application on mitigating the drought stress implications on wheat (*Triticum aestivum* L.) under various growth stages, *Journal of Saudi Chemical Society*. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.10.005>.

9 — Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F., 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Eur. J. Agron.* 34, 231–238. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006>.

Půda obohacená o biouhel zkrátka dokáže lépe hospodařit s vodou i živinami. Přidávání biouhlu do půdy se tak ukazuje jako vhodná strategie pro zvyšování odolnosti našich polí proti výkyvům počasí.

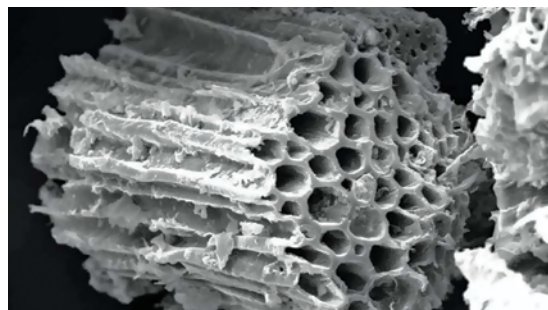


Půda ošetřená biouhlem dokáže lépe vzdorovat vodní erozi,
foto: Karolína Poláčková.

INFORMAČNÍ DÁLNIČE

Dnes už není pochyb o tom, že zdravá půda je složitý systém, ve kterém spolu neustále komunikují všechny složky od hub nebo řas přes bakterie až po mnohobuněčné organismy a kořeny rostlin. V jistém smyslu se komunikace účastní i neživé složky jako horniny nebo půdní roztoky. Důležitým komunikačním médiem jsou určité signální molekuly, a zejména elektrony. Mimochodem, volné elektrony jsou pro mikroorganismy zcela zásadní a účastní se nesčetného množství biogeochemických reakcí. Elektrony se pohybují po takzvaných „uhlíkových drahách“, a proto je také důležitým indikátorem zdraví půd obsah organického uhlíku. Nějaký uhlík je v téměř každé půdě, ale biouhel je uhlík v téměř čisté podobě a přelomová práce z roku 2017¹⁰ ukázala, že díky svému silnému povrchovému náboji slouží v půdě jako urychlovač přenosu elektronů. Tento výzkum totiž ukázal, že biouhel je schopen ztrojnásobit rychlost a prodloužit vzdálenost elektronového transferu oproti běžnému „humusovému“

uhlíku. Jednotlivé elektrony jsou díky tomu schopny urazit dráhy v řádu až centimetrů, což je pro mikroorganismy obrovská vzdálenost. S trochou nadsázky lze říci, že uhel slouží jako půdní internet a dálnice zároveň.



Pórovitá struktura biouhlu zobrazená elektronovým mikroskopem.
Zdroj: www.researchgate.net/publication/320410420_Application_of_the_Biochar-Based_Technologies_as_the_Way_of_Realization_of_the_Sustainable_Development_Strategy

10 — Sun, T., Levin, B., Guzman, J. et al. [2017]: Rapid electron transfer by the carbon matrix in natural pyrogenic carbon. *Nat Commun* 8, 14873. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/hcomms14873>.

”

Naši přátelé ze spolku Rezekvítek stáli v roce 2022 před složitou otázkou – jak osázet protihlukový val v Brně-Černovicích. Val měl sklon skoro 45° a bylo jasné, že se zde nebude zavlažovat v průběhu roku. Bylo vysazeno 2500 lesních sazenic. Na základě předchozích zkušeností z podobných lokalit počítali s propadem a úhynem cca 30–50 %. Běžně se tedy na takovéto lokality musejí vracet a dosazovat i v dalších letech. Rozhodli se na této lokalitě otestovat náš biouhel a při výsadbě dodali ke každé sazenici malé množství biouhlu. Navzdory velmi horkému a suchému roku 2023 se úhyn na dané lokalitě pohybuje kolem 5–10 %, což je výborný výsledek.



S BIOUHLEM PROTI KLIMATICKÉ ZMĚNĚ

Biouhel je skvělý pomocník v zemědělství, při výsadbě stromů i ve zlepšování malého vodního koloběhu. Má ale i další úžasnou vlastnost, díky které mu věnují pozornost vědecké týmy od počátku 21. století. Dokáže totiž rychle a efektivně snižovat koncentraci skleníkových plynů v atmosféře a tím nám pomáhat v řešení klimatické krize. Kanonickým textem, který problematiku v českém prostředí uvedl, je článek *Biouhel – naše poslední stéblo naděje*, který v roce 2009 napsali pánové Hollan a Klusák a otiskl jej časopis Veronica.¹¹

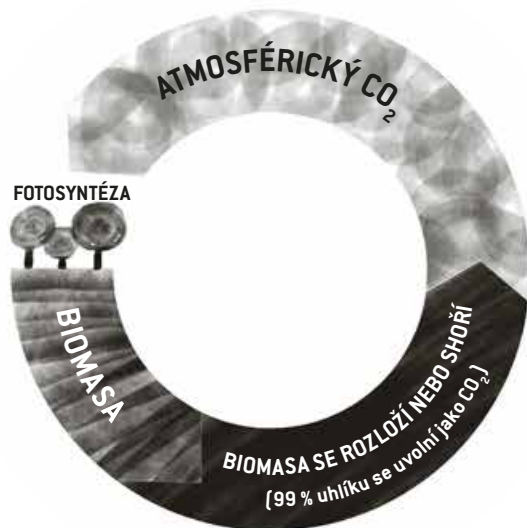
Uhlíkový cyklus je přirozený jev, během něhož zelené rostliny do svých pletiv pomocí fotosyntézy zabudovávají vzdušný uhlík. Těla rostlin se v přírodě většinou rozloží nebo, méně často, shoří. V obou případech se tím většina uhlíku dostává zpět do atmosféry ve formě oxidu uhličitého nebo metanu. Uhlíkový cyklus fungoval miliony let a byl vlastně zárukou života na Zemi. Problém nastal, když lidstvo v 18. století začalo spalovat obrovské zásoby fosilních paliv, zejména uhlí. Ty vznikly v časově velmi

dlouhém období rozkladem biomasy bez přístupu vzduchu, tedy jevem, který je ve výsledku podobný pyrolýze. Toto velké množství uhlíku bylo bohužel spáleno (tedy zoxidováno a vypuštěno do atmosféry) v geologicky velmi krátkém období, takže si s ním zelené rostliny v rámci uhlíkového cyklu nedokázaly poradit a on se začal hromadit ve formě skleníkových plynů v atmosféře. Čímž si lidstvo zadělalo na obrovský průšvih s názvem „globální klimatická změna“.

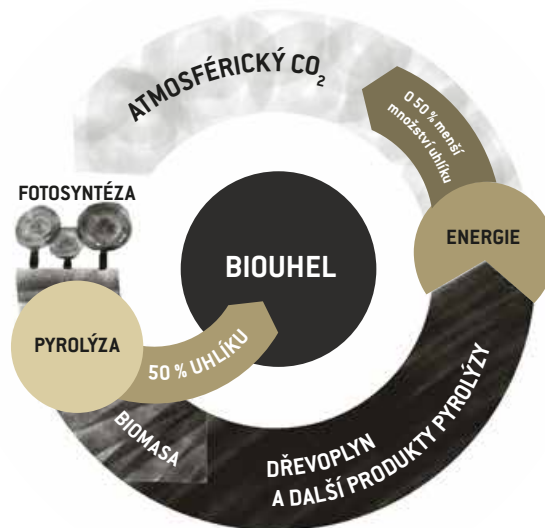
Mezivládní panel pro klimatickou změnu doporučuje různá opatření pro aktivní snižování koncentrace skleníkových plynů a právě biouhel se zdá být velmi slibnou metodou CCS (carbon capture and storage). Uložení uhlí totiž dojde jednak k přímému uložení uhlíku z atmosféry, jednak biouhel stimuluje půdní život a ten pomáhá vázat další uhlík.

11 — Hollan, J., Klusák, V. [2009]: Biouhel, naše stéblo naděje, časopis Veronica. 5/2009, str. 9. Dostupné na <http://www.casopisveronica.cz/clanek.php?id=477>

UHLÍKOVÝ CYKLUS



UHLÍKOVÝ CYKLUS S BIOUHLEM



Schématické porovnání uhlíkového cyklu s biouhlem a bez něj, nejsou zahrnuty vstupy fosilního uhlíku, volně podle: Biochar Solutions, Inc., www.biocharsolutions.com.

4/



JAK SE BIOUHEL VYRÁBÍ A KDE SE POUŽÍVÁ

”

Na podzim 2018 jsme se s dobrovolníky vrhli do čištění starých vysokokmenných sadů kláštera Porta coeli v Předklášteří u Tišnova. Sadům nebyla přes dvacet let věnována žádná péče, a začaly se tak postupně ztrácet v záplavě náletových dřevin a křovin – babyk, akátů, šípků a hlohů. Po prvotním nadšení při vyřezávání jsme stáli před složitou otázkou – co s obrovskou hromadou vyřezaných křovin? Místo nebylo snadno dostupné pro techniku, takže nepřicházelo moc v úvahu, že by si je někdo vzal na topení ve výtopně, pro domácí topení byly zase dřeviny moc tenké. Přišlo nám škoda větve jen tak spálit na hromadách, a tak jsme zkusili vyrobit biouhel na základě instruktážního videa Prauhlíře Martina Pospíšila. Objevili jsme tím skvělé řešení pro zpracování odpadních větví.

Tomáš Blaha / Cirkus C



VÝROBA DOMA I VE VELKÉM

Biouhel vzniká pyrolýzou – tepelným rozkladem biomasy bez přístupu kyslíku. Jde o tzv. nedokonalé spalování. Nedokonalost spočívá v tom, že biomasa nemá při hoření dostatek kyslíku, takže v ní obsažený uhlík nemůže být zoxidován a dokonale spálen na popel. V principu se dá říct, že každému dokonalému spálení předchází nedokonalá fáze. Tedy i když si děláte doma v létě táborák, dřevo nejprve musí projít fází zuhelnatění, kdy se z něj uvolní voda a dřevní plyny, a až následně je uhel oxysličený a dokonale spálený na popel.

Pokud zabráníme tomu, aby se k uhlí dostal kyslík, získáme stabilní formu uhlíku, která nepodléhá dalšímu rozkladu – hmyz, mikroorganismy ani houby už tam nemají žádnou potravu, takže se pak uhel rozkládá jen velmi pozvolna. I struktura na molekulární úrovni je pyrolýzou změněna a vzniklé uhlíkové kruhy jsou velmi stabilní.

PECE S OTEVŘENÝM PLAMENEM

Pro nejjednodušší způsob výroby biouhlu vám bude stačit pouze kónická (trychtýřovitá) jáma v zemi, v podstatě jen

zahlobenější ohniště. To vyplníte biomasou, ze které chcete vyrábět biouhel. Od vrchu pak hromadu větvi zapálíte. Svrchní zapálení je důležité kvůli správnému komínovému efektu a čistému hoření za vysokých teplot. Materiál pro výrobu biouhle by měl být suchý a dřevoplyn, který se vlivem vysokých teplot začne uvolňovat a odcházet směrem vzhůru, je v horní hořící části spálen a dále pomáhá tepelnému rozkladu biomasy. Tím, že se do ohniště stále přikládá další a další biomasa, zabraňuje tomu, aby přešla ze stavu zuhelnatění do stavu dokonalého spálení na popel. Jistě, nějaké množství popela vznikne. To nám ovlivňuje několik faktorů: jak suchý materiál do procesu vstupuje, jak je tvarované ohniště a v jakém intervalu se na něj přikládá další materiál. Pyrolýzou s otevřeným plamenem dokážeme zafixovat něco mezi 30–50 % uhlíku obsaženého v biomase. To se může zdát jako celkem málo, ovšem je to stále dobrý výsledek s ohledem na to, že by uhlík jinak, při dokonalém spalování na popel, zoxidoval zcela. Případně by se biomasa rozložila a uhlík by opět unikl ve formě CO_2 .

Na podobném principu jako tato primitivní kónická jáma fungují všechny další otevřené pece – jednoduchou



formou je třeba stará plechová vana, sofistikovanější pak pec Kon-tiki, která je ideálně tvarovaná tak, aby dobře využívala spalovanou biomasu a dosahovala ideálního výtěžku biouhlu.


Na závěr výpalu v otevřených pecích je nutné materiál dokonale uhasit. Pokud bychom to neudělali, hrozí, že by se žhavý uhel dostal do kontaktu s kyslíkem a celá hromada by pak prohořela na popel jako dřevěné uhlí.

UZAVŘENÉ PECE

Sofistikovanější metodou výroby jsou pak uzavřené pece. Ty většinou fungují na principu dvouplášťových nádob. Vnitřní nádoba se naplní materiálem určeným k zuhelnatění a uzavře se tak, aby do ní nemohl vstupovat kyslík. Ovšem vznikající dřevoplyn musí mít možnost uniknout, jinak by došlo k explozi. Vnitřní nádoba s materiálem se

JAK OTESTOVAT KVALITU BIOUHLU

Jak během chvilky poznat, jestli je biouhel kvalitní a můžeme jej použít na záhon? Základní orientaci nám poskytnou naše smysly – zrak, chuť a čich. Vezměte kousek biouhlu do prstů a rozemněte jej. Pokud ucítíte vůni kouře, uzenin nebo jakýkoliv jiný pach, pak biouhel zřejmě obsahuje dehet. Podobně pokud uhel ochutnáte, neměli byste cítit žádnou chuť. Je ovšem v pořádku, pokud vám bude uhel připadat velmi mírně nasládlý, to je někdy způsobeno větším obsahem sloučenin vápníku. A do třetice – pokud čistý uhel dáte do sklenice s vodou a zatřepete, měly by se po několika minutách oddělit pevné částice (některé budou plavat, jiné klesnou ke dnu). Voda by ale měla zůstat čirá nebo jen mírně našedlá, pokud byl v biouhlu popel. Hnědá nebo jakákoliv jiná barva signalizuje nežádoucí látky. Ovšem pozor – těmito metodami nepoznáte třeba přítomnost těžkých kovů. Není zkratka nad laboratoř...



následně zahřívá, je totiž nutné pyrolýzní reakci nastartovat. Dosažením teplot přes 250 °C začne ve vnitřní nádobě docházet k tepelnému rozkladu biomasy a začne se uvolňovat dřevoplyn. Ten pak může být spalován nebo jímán a energeticky využíván jinde. Výhodou uzavřených dvouplášťových pecí je i to, že se dají lépe využívat vedlejší produkty pyrolýzy, jako je teplo, nebo deriváty biomasy, jako je dehet nebo dřevní olej. Nevýhodou uzavřených pecí jsou řádově vyšší pořizovací náklady, které se vyplátí, pouze pokud máte stabilní přísun materiálu, který můžete pyrolyzovat.



Velkokapacitní pyrolýzní zařízení poblíž švédského Helsingborgu,
foto: Vilém Řiháček.



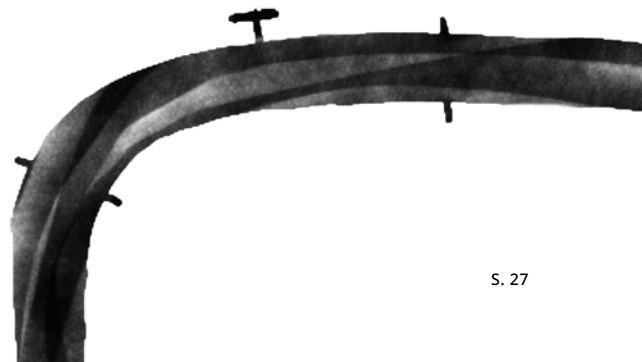
Dvouplášťový dávkový systém na výrobu biouhlí,
foto: Karolína Poláčková.

PRŮMYSLOVÁ VÝROBA

Na podobném principu fungují i velké průmyslové pro-vozy, pracující s kontinuálním přísunem pyrolyzované bio-masy. První vlašťovky už se začínají objevovat i v České re-publice. Výhodou těchto továrních zařízení je, že dokážou pyrolyzovat i materiály, které malé a střední pece prostě nezvládnou, například čistírenské kaly. Rovněž dokážou efektivně využívat odpadní teplo a vyrábět z něj například „zelenou“ elektřinu. Jedná se o high-tech zařízení, která precizně kontrolují pyrolýzní proces a díky tomu dosáh-nou různých forem a typů biouhle. S tím souvisí ale i jejich nevýhoda, a tou jsou pořizovací náklady ve výši desítek až stovek milionů korun. Slabým místem může být i jejich „hladovost“. Potřebují totiž neustálý přísun biomasy, což s sebou nese potřebu centralizace, a můžou tak být ve střetu s „demokratickým duchem“ výroby biouhlu.

BIOUHEL JE DEMOKRATICKÝ

Kouzlo biouhlu spočívá i v tom, že si jej snadno může každý připravit sám doma. A to někdy, aniž byste chtěli. Biouhel vám může vzniknout i při letním táboráku, kdy prostě jen na závěr ohniště zalijete vodou a nenecháte shořet všechno dřevo na popel. Biouhel tak lze vyrábět kdekoliv a prakticky z jakékoliv odpadní biomasy. Díky tomu přináší naději, že bude snadno dostupný každému, a nehrozí tak jeho monopolizace v rukou pár lidí nebo firem.



NENÍ UHEL JAKO UHEL

Pro každý způsob využití je nutné najít vhodný biouhel. Nebo také naopak – každému druhu biouhlu hledáme to správné místo. Biouhlu je totiž spousta druhů a žádný z nich není univerzální. Vlastnosti biouhlu ovlivňuje zdrojový materiál, pyrolyzní teplota a vůbec způsob výroby, velikost částic, obsah uhlíku a dalších prvků, obsah rizikových látek atd. Biouhel vzniklý z dřevního odpadu bude mít úplně jiné vlastnosti než pyrolyzované čistírenské kaly nebo třeba zuhelnatělé kosti. Vždy si tedy zjišťujeme, z čeho byl daný biouhel vyroben a jaké má charakteristiky. Znalosti ohledně vhodnosti různých biouhlů se rychle posouvají kupředu.



”

Jako každé slibné odvětví je i téma biouhlu předmětem živého výzkumu a výměny informací. A nebyla by to správná věda, kdyby se na dané téma nekonaly mezinárodní konference. Navštívili jsme například Biochar Summit v Helsingborgu a byla to skutečně mimořádná příležitost popovídat si s manažery německého Pyregu, dát si kafe s vědci z Edinburghu a večer zajít na pizzu s průkopníky biouhlu v Indii a konstruktéry pecí z Kolumbie. Jak říká kolega Tomáš – biouhel nezná hranic.

BIOUHEL V ZEMĚDĚLSTVÍ

PROČ PATŘÍ BIOUHEL NA POLE?

Zemědělské hospodaření může naplno využít velkou část výhod, které biouhel přináší. Proto se čím dál častěji používá jako tzv. pomocná půdní látka. Půdy s přidavkem biouhlu lépe odolávají suchu, mají bohatší mikrobiální život a větší podíl organické hmoty, a díky tomu si půda drží svou přirozenou strukturu a je odolnější vůči erozi. Půda má díky biouhlu větší kationtovou výměnnou kapacitu a rostliny proto dokážou lépe využít dostupné živiny.

Výsledky studií se samozřejmě liší podle místních podmínek, ale např. vědci ve státě Washington po rozsáhlých polních pokusech¹² konstatovali řadu pozoruhodných přínosů používání biouhlu:

- obsah uhlíku v půdě se zvyšuje o více než 30 % oproti kontrole,
- zlepšuje se využitelnost dusíkatých hnojiv – využitelnost amonného kationtu stoupla o 45–54 % a celkový mineralizovatelný dusík o 48 až 110 %,
- množství dostupného fosforu stoupá o 29 %,

12 — S. Gao, K. Hoffman-Krull, A. L. Bidwell, T. H. DeLuca (2016): Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.028>.

- důležitým parametrem při hnojení je retence živin v kořenové zóně rostlin, zde přidavek biouhlu zlepšuje hodnoty o 33 % u dusičnanů, 53 % u amonného iontu a 39 % v případě fosforu, a zadržené živiny tak zůstávají tam, kde jsou potřeba, a neznečišťují zdroje povrchových a podzemních vod,
- bez zájímavosti není ani to, že lepší výživa rostlin vede k větší koncentraci živin v plodech (v tomto případě ve fazolích).

V podmínkách ČR je dostupných informací méně, ale např. Brtnický¹³ uvádí až o 34 % vyšší hektarové výnosy pšenice a o 21 % vyšší výnosy řepky při použití aktivovaného biouhlu oproti kontrole s použitím běžného minerálního NPK hnojiva. Vzhledem ke stabilní povaze biouhlu lze jeho účinky považovat za dlouhodobé.

V podmínkách intenzivního hospodaření ve sklenících nebo při pěstování květin může biouhel nahradit problematické nebo neobnovitelné materiály, jako je rašelina, vermikulit, perlit a podobně.

13 — Brtnický, M., Hammerschmiedt, T., Holátko, J., Kobzová, E., Látal, O., Kintl, A. (2022): Metodika aktivace stabilní organické hmoty pomocí nativní mikroflóry, Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Mendelova univerzita v Brně.



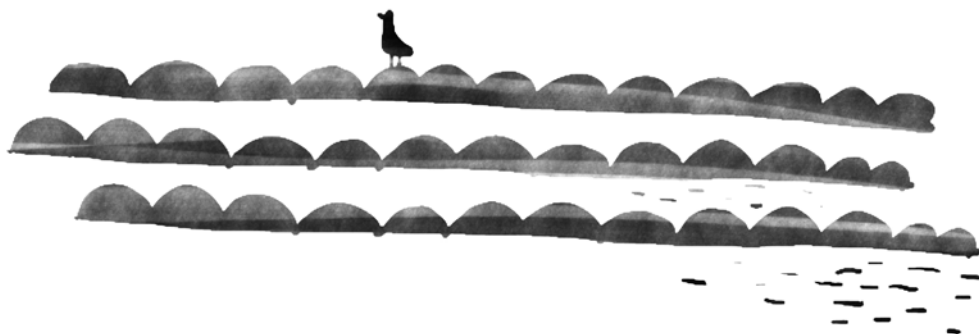
PŘEDPISY V ZEMĚDĚLSTVÍ

Biouhel určený na ornou půdu musí být podle zákona 156/1998 Sb. registrovaný jako pomocná půdní látka. Tomu předchází schvalovací proces, jehož součástí jsou podrobné laboratorní testy [podrobněji viz vyhláška č. 474/200 Sb., příloha č. 1]. Biouhel, který není registrovaný podle předpisů, nesmí být na zemědělské půdě používán.

”

Dlouhá léta jsem projektoval protierozní a protipovodňová opatření v krajině. Není zase tak těžké vymyslet nějaký ten příkop, průleh, poldr nebo ochrannou hráz. Dobře se to kreslí, lidé tomu rozumí a většinou se na to najdou i peníze. Bohužel to ale neřeší podstatu problému. Tou podstatou je, že naše zemědělská krajina (rozuměj pole) není schopná pojmout vodu. Déšť se prostě nevsakuje a z polí za bouřky odtéká v lepším případě voda, v horším případě i cenná ornice a hnojiva. Začal jsem tedy zemědělcům doporučovat, aby používali biouhel. Někdy následovaly udivené pohledy, jindy pragmatická otázka – kde ho mám vzít? Pochopil jsem, že tato cesta bude dlouhá a klikatá.

Vilém Řiháček / Cirkus C



ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ BIOUHLU NA ORNÉ PŮDĚ

Oproti zahradnímu využití má velkoplošné orbné hospodaření s biouhlem určitá specifika. Některá z nich jsou dokonce určena předpisy a je nezbytné je respektovat. Zde jsou tedy ty nejdůležitější zásady pro používání biouhlu na polích.

Správné množství – pro využití na orné půdě je maximální dávka biouhlu předepsaná v rámci registrace pomocné půdní látky. Obvykle jsou to nejvýše 3 tuny na hektar 1x za 3 roky (1 tuna biouhlu v závislosti na vlhkosti odpovídá 3–5 m³). Celková horní hranice obsahu biouhlu v orné půdě není v předpisech stanovena.

Vhodná doba – teoreticky je možné biouhel přidat kdykoliv, samozřejmě pokud není půda zmrzlá. Z hlediska úspory času a peněz je ale aplikace uhlu zpravidla spojena s jinými agrotechnickými úkony, např. s podmítkou nebo diskováním před setím meziplodin, se zaoráním hnoje nebo kompostu a podobně.

Správné místo – platí pravidlo, že největší efekt bude biouhel mít na půdách se zhoršenými vlastnostmi, typicky

na půdách příliš písčitých, s nedostatkem organické hmoty, s nízkým pH nebo na půdách utužených a celkově ochuzených. Naopak půdy dobře zásobené živinami s bohatým půdním životem, vysokou kationtovou výměnnou kapacitou a vyšším pH budou z přidavku biouhlu benefitovat podstatně méně.¹⁴ Před aplikací biouhlu je tedy vhodné zohlednit kvalitu půdy a tomu přizpůsobit rozsah použití a dávkování.

Aktivace biouhlu – biouhel ve své surové podobě je „hladový“ a má tendenci na svůj povrch vázat vodu a nejruznější sloučeniny včetně hnojiv. Pokud je biouhel před aplikací nasycen živinami a naočkován mikroorganismy, může být v půdě prospěšný od prvního okamžiku. V opačném případě hrozí tzv. živinová deprese, kdy surový biouhel váže na svůj povrch dostupné živiny, které pak dočasně nejsou k dispozici rostlinám. Tento jev může odeznít již v prvním roce po aplikaci (Brtnický, 2022). Aktivace biouhlu může mít nejruznější podoby – naočkování

14 — Dokoohaki, H., Míguez, F. E., Laird, D., Dumortier, J. [2019]: Where should we apply biochar? Environ. Res. Lett. 14 044005. Dostupné na <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aafcf0>.

aktivními mikroorganismy, smíchání se zralým kompostem nebo průběžné kompostování, nasycení žížalím čajem či močůvkou. V praxi se nejčastěji uplatňuje prosté smíchání se statkovými hnojivy. Toto „nabíjení“ neboli aktivace biouhlu by mělo alespoň 1–3 týdny¹⁵, ale prospěšná je i souběžná aplikace biouhlu např. s hnojem bez předchozího zrání.

HYDROPONIE

Hydroponie je způsob pěstování rostlin bez půdy přímo v živných roztocích. Roli půdy plní kořenící substráty neboli pěstební médium. Vzhledem k chemické a fyzikální stálosti, velkému aktivnímu povrchu a ekologickému původu se jako pěstební médium někdy používá biouhel. Může tak nahradit běžně používané neobnovitelné materiály, jako je keramzit, sklo a skelná vata, rašelina nebo vermikulit.

15 — Aller, D., Trippe, K., Smith, B., Seman-Varner, R., Delaney, M., Miles, T. (2023): Biochar Guidelines for Agricultural Applications: Practical insights for applying biochar to annual and perennial crops. United States Biochar Initiative.



Biouhlem obohacená půda v zeleninovém záhonu,
foto: Karolína Poláčková.



Velký přínos může mít biouhel na velkých polích v suchých oblastech,
foto: Karolína Poláčková.



BIOUHEL V ULICÍCH – MODROZELENÁ INFRASTRUKTURA

Podobné vlastnosti, které jsou výhodou v zemědělství, představují přínos i v městském prostředí. Nejčastější oblasti, kde se dnes uplatňuje biouhel ve městech, jsou: Výsadby dřevin – při výsadbách dřevin se biouhel uplatňuje jako příměs substrátu ve výsadbové jámě. Uhel pak slouží jako prostředek pro absorpci vody, zvyšuje propustnost zeminy pro plyny a umožňuje tak kořenům dýchat, zlepšuje podmínky pro půdní život včetně mykorrhizních bakterií a hub a zvyšuje schopnost zasakovat vodu. Pokud vysazujeme dřeviny do běžné zeminy, mělo by být do výsadbové jámy rovnoměrně zamícháno 10–15 objemových procent biouhlu (uvádí se rozsah 5–25 %¹⁶). Uhel je velmi vhodný před aplikací aktivovat (viz výše), nebo alespoň na několik hodin namočit do vody. O stále častěji uplatňované výsadbě do štěrkových substrátů hovoříme níže.

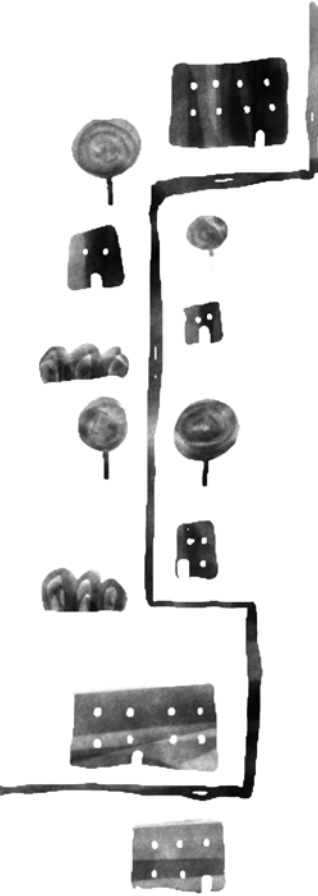
Strukturální (strukturální) substráty — jedná se o směs drčeného kameniva (štěrku) a dalších složek, jako

16 — Allaire, S. E., Lange, S. F. [2017]. Report: Horticultural substrates containing biochar: Performance and economy. CRMR-2017-SA-3. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval, Québec, Canada, 40 p.

je biouhel, písek, kompost, pemza a podobně, v závislosti na účelu a umístění substrátu. Typicky jsou tyto substráty dostupné pro vodu a plyny, umožňují rozvoj vegetace včetně kořenových systémů stromů a zároveň jsou schopny přenášet zatížení. Biouhel hraje v těchto substrátech roli absorpce vody a zadržování živin a také podpory půdního života při zachování propustnosti. Oproti materiálům jako pemza lze o biouhlu tvrdit, že přímo snižuje uhlíkovou stopu staveb. Není v možnostech této příručky podrobně rozebírat různé varianty složení substrátů, ale například pro výsadbu stromů do strukturálních substrátů v uličních stromořadích lze za osvědčenou a nej-univerzálnější považovat směs 6/8 drčeného kameniva + 1/8 biouhlu + 1/8 kompostu.¹⁷ Vždy je ale potřeba posoudit místní podmínky.

Záhony — podobně jako u použití v zemědělství lze při použití biouhlu v uličních záhonech očekávat větší odolnost vůči teplotním extrémům, vyšší schopnost zadržování a zasakovat dešťovou vodu a dlouhodobější využitelnost hnojiv. Zde se poměry míchání budou přímo odvíjet od

17 — Fridell, K., Thynell, A., Bruhn, F., Fors, J., Vysoký, M. [2022]: Živé ulice – příručka k Bluegreengrey systémům, verze 2.1, Edge.



stanoviště, předepsané péče a především od použitých taxonů. Množství biouhlu se bude pravděpodobně pohybovat v rozmezí 5–15 objemových procent.

Na začátku parného léta 2023 jsme dodali biouhel do trvalkových záhonů v Lelekovicích. Lokalita nebyla pro výsadby zrovna optimální – okraj silnice, jižní expozice a jalová půda bez humusové složky. Na osmi čtverečních metrech pracovníci údržby zapravili 200 litrů dřevního biouhlu předem nasyceného vodou. Na sklonku léta jsme dostali nadšenou zpětnou vazbu. Rostliny skvěle prosperovaly, při minimální zálivce (zřejmě jen 3x za prázdniny) nebyl prakticky žádný úhyn sazenic a nebyla nutná dosadba.

Vilém Řiháček / Cirkus C



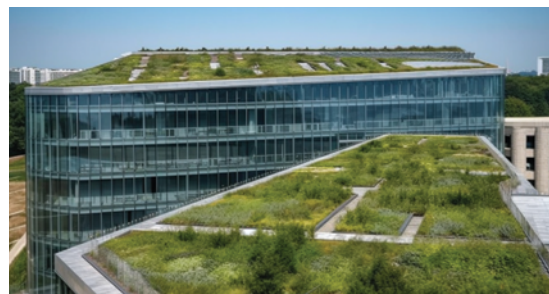
Zelená fasáda na administrativní budově ve švédském Malmö,
foto: Vilém Řiháček.

Zelené střechy a fasády — zde se naplno uplatňuje schopnost biouhlu zadržovat vodu a živiny a dlouhodobá stabilita biouhlu. Důležitá je přitom jeho relativně nízká objemová hmotnost. Tato vlastnost je sice výhodou z hlediska malého zatěžování konstrukcí, ale u exponovaných střech hrozí riziko odnosu drobných a lehkých částic

biouhlu větrem. Tomu by mohlo zabránit použití granulovaného nebo peletovaného biouhlu¹⁸, což ale zvyšuje náklady.

Filtrace vody — uliční vody mohou obsahovat množství znečištění nejrůznějšího druhu, od těžkých kovů, olejů či ropných látek až po fekálie, soli nebo čisticí prostředky. Všechny tyto látky putují do kanalizační sítě nebo (v horším případě) rovnou do povrchových či podzemních vod. Proto se stále častěji pro prvotní přečištění dešťových vod využívají biofiltry nebo půdní filtry, jejichž účinnou a relativně levnou součástí může být biouhel. Pro filtraci pomalu proudící vody o malých objemech budou účinné filtry s obsahem biouhlu velikosti 1–3 mm, u větších rychlostí a objemů vody je lepší použít hrubší frakce až do 2 cm. Vždy je třeba použít biouhel vysoké kvality a před použitím je dobré ověřit vhodnost laboratorními testy. Biouhel pro filtraci by měl pocházet ze dřeva, měl by mít aktivní povrch alespoň 150 m²/g a obsah popela do 5 %.

18 — Wenxi Liao, Melanie A. Sifton, Sean C. Thomas [2022]: Biochar granulation reduces substrate erosion on green roofs, Institute of Forestry and Conservation, Faculty of Architecture Landscape and Design, University of Toronto.



Vegetační střechy mohou v létě účinně chladit městské prostředí, foto: Freepik.com.



Mocnější vegetační souvrství může na střeše zadržet velké množství vody, foto: Freepik.com.

PRŮMYSLOVÁ A DALŠÍ VYUŽITÍ

Měl by mít také přiměřenou odolnost proti otěru, což umožní manipulaci a zamezí drolení a vyplavování částic. Velmi dobře je popsán vysoký (až přes 90 %) efekt těchto uhlíkových filtrů na vychytávání a imobilizaci těžkých kovů, jako je kadmium, olovo, zinek a další, mechanismus fungování je zde stejný jako při remediaci půd (viz níže).¹⁹ Zvláště vhodné pro sorpci těžkých kovů jsou biouhly vzniklé pyrolýzou za nižších teplot (300–500 °C), naproti tomu pro zachytávání organického znečištění nebo ropných látek jsou optimální vysokoteplotní biouhly (nad 500 °C).²⁰

19 — G. Fellet, L. Marchiol, G. Delle Vedove, A. Peressotti [2011]: Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.053>.

20 — Sizmur, T., Quilliam, R., Puga, A., P., Moreno-Jiménez, E., Beesley, L., Gomez-Eyles, J. [2015]: Application of Biochar for Soil Remediation, SSSA Special Publications. Dostupné na: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub63.2014.0046.5>.

Polymery a vlákna — slibným směrem vývoje je používání biouhlu jako plniva nebo nosiče při výrobě polymerních kompozitů. Experimentálně bylo úspěšně odzkoušeno použití v polyamidech, polyolefinech nebo bioplastech založených na škrobu. Například po přidání 24 % práškového dřevního biouhlu byly zjištěny podstatně větší tahové i ohybové pevnosti polyamidovo-dřevních biokompozitů.²¹ Jiné receptury zase vedly k vyšší tažnosti nebo teplotní stálosti kompozitů. Další výzkum se vede ohledně využití biouhlu při výrobě syntetických pryskyřic nebo jako substituce tzv. černého uhlíku („carbon black“) při výrobě gumy. Výzkum na tomto poli je v začátcích a zatím existují pouze pilotní realizace.

Stavební materiály — byly provedeny úspěšné testy betonů s přídavkem biouhlu (v literatuře se někdy výsledné materiály nazývají cementovými kompozity, aby se odlišily od „pravých“ betonů, jejichž složení je přísně stanoveno normami a dalšími předpisy). Tyto „betony“ s přídavkem

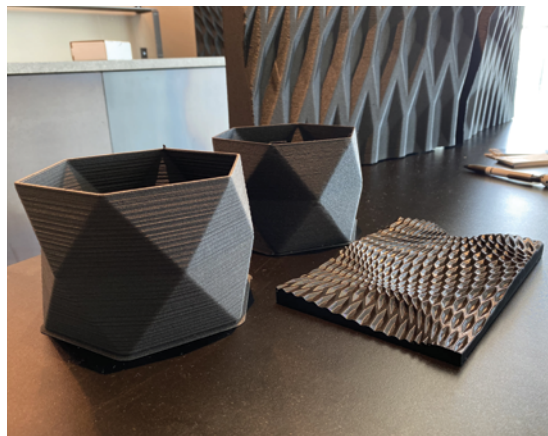
21 — Das, O., Sarmah, A. K., Bhattacharyya, D. [2015]: A novel approach in organic waste utilization through biochar addition in wood/polypropylene composites, Waste Management, Volume 38. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.015>.

0,5–2 % velmi jemně mletého biouhlu jako plniva vykazovaly menší smršťování a sníženou tvorbu mikrotrhlin, výsledkem je větší pevnost v tlaku i ohybu, houževnatost a celková trvanlivost cementových kompozitů s biouhlem.²² Výzkum je ovšem stále na začátku.

Filtry — význam aktivního uhlí pro filtraci vody nebo plynů je obecně známý. Biouhel má oproti aktivnímu uhlí menší měrný povrch (typicky mezi 300–400 m²/gram) a je měkčí. To omezuje použití biouhlu jako náhrady běžných uhlíkových filtrů. Existují však specifické metody, jak zvětšit aktivní povrch biouhlu a dosáhnout vyšší tvrdosti. Například pokud jde o absorpci těžkých kovů, může se biouhel aktivnímu uhlí zcela vyrovnat.²³ Biouhel je také daleko levnější než aktivní uhlí a na rozdíl od něj se vyrábí z obnovitelných zdrojů a dlouhodobě sequestruje uhlík.

22 — Zhang, Y., He, M., Wang, L. et al. [2022]: Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality. *Biochar* 4, 59. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00182-x>.

23 — Hashim A. Alhashimi, Can B. Aktas [2017]: Life cycle environmental and economic performance of biochar compared with activated carbon: A meta-analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 118, Pages 13–26. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.016>.



Nádoby a akustické panely vyrobené z plastu s přidavkem biouhlu,

foto: Vilém Řiháček.

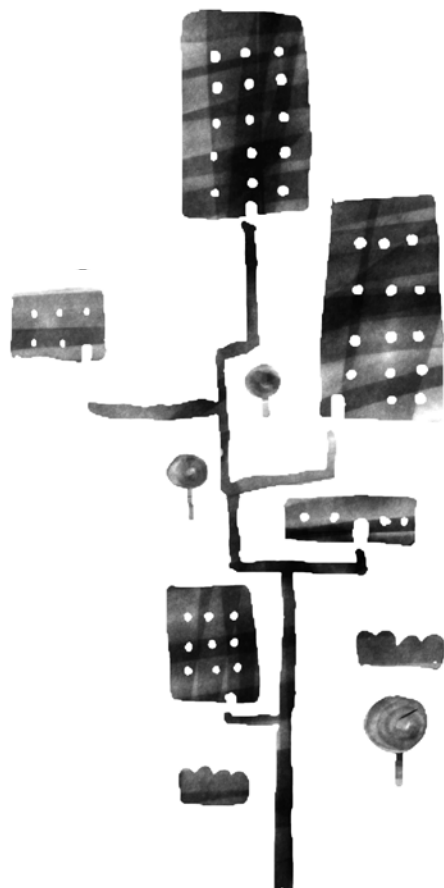
Řešení starých ekologických zátěží (remediace půd) —

jak bylo řečeno výše, biouhel může sloužit jako efektivní sorbent zejména pro těžké kovy, znečištění organického původu, ropné látky, polycyklické aromatické uhlovodíky nebo rezidua farmak. Ve srovnání s jinými sorbenty (zejm. s fosilním aktivním uhlím) vychází biouhel levněji a má

příznivější ekologické dopady.²⁴ Je ovšem nutné vybrat biouhel se správnými vlastnostmi (pH, aromaticita, hydrofobicitu) podle toho, jaké polutanty se v půdě nacházejí. Správně použitý biouhel nadto kromě imobilizace nebezpečných látek přispěje k celkové regeneraci poškozené půdy, zlepší schopnost zadržovat vodu a pomůže rozvoji půdního života.

Další — biouhel se kromě výše zmíněného používá v mnoha dalších odvětvích od potravinářství přes kosmetiku a farmaceutický průmysl až po metalurgii. Ukazuje se, že je velmi přínosný jako přísada v krmivech hospodářských zvířat. Bouřlivým vývojem také prochází výzkum v oblasti elektricky vodivých nebo magnetických aditiv na bázi biouhlu, uhlíkových baterií a podobně. Výčet jistě není kompletní a odborníci přinášejí stále nové a nové podněty a možnosti využití biouhlu.

24 — M. Sparrevik, T. Saloranta, G. Cornelissen, E. Eek, A.M. Fet, G.D. Breedveld, I. Linkov (2011): Use of life cycle assessments to evaluate the environmental footprint of contaminated sediment remediation Environ. Sci. Technol., 45.



5/

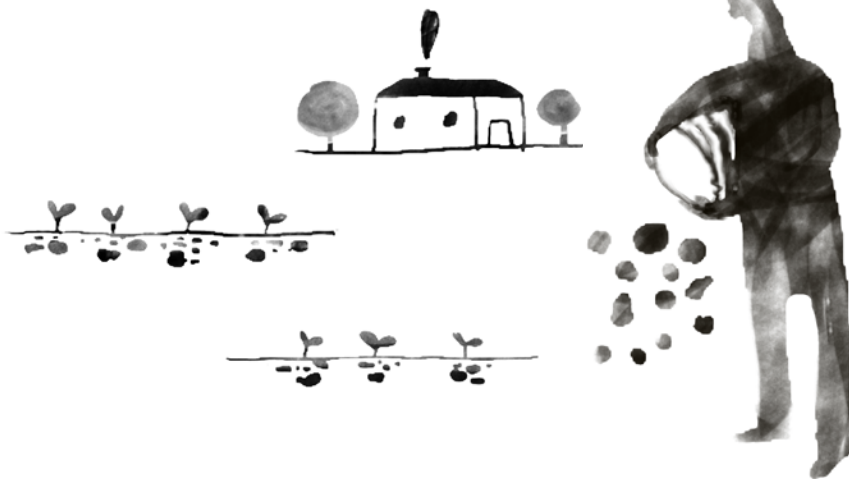


PRAKTICKÁ ČÁST ANEB PÁR TIPŮ A TRIKŮ

”

Jako každý, kdo topí dřevem, i já jsem přemýšlel, jak využít popel z kamen. Protože jsem věděl, že popel obsahuje živiny, sypal jsem ho střídavě na záhony a do kompostu. Zlobily mě však nedohořelé kousky, které v popelu občas byly. Uhlíky. Občas jsem je dokonce z popela vybíral a házel do popelnice. Kdo by stál o uhlíky? Když je nasypete do záhonu, máte je tam ještě za rok. Ani v kompostu se nerozloží. Šup s nimi pryč! Já hlupák!

Vilém Řiháček / Cirkus C



PĚSTUJEME S BIOUHLEM – KDY, JAKÝ, KOLIK, KAM

Všichni víme, že naše zahrada je právě tak dobrá, jak dobrá je půda v ní. A že za půdní úrodnost jsou zodpovědné především mikroorganismy. Biouhel pomáhá zlepšit podmínky pro život půdní havěti, zvyšuje dostupnost kyslíku a vody, vyrovnává pH. Sám o sobě ovšem biouhel neobsahuje skoro žádné dostupné živiny. Jak tedy dosáhnout maximálního efektu při používání biouhlu? Zkusíme si odpovédět na několik nejčastějších otázek ohledně praktického používání biouhlu na zahrádce, na malých polích nebo třeba ve skleníku.

• **kdy** — odpověď je jednoduchá. Biouhel můžete použít kdykoliv. Asi jej nebudete sypat do sněhu, ale pokud není půda zmrzlá do hloubky, můžete s biouhlem pracovat a přidávat jej na povrch půdy. Biouhel má největší smysl u kořenů rostlin, takže pokud se chystáte porýt záhon, rozprostřete biouhel rovnoměrně po povrchu a můžete začít obracet. Ideální je takto zapravovat „nabitý“ nebo též aktivovaný biouhel, který prošel kompostováním nebo je smíchaný s organickým hnojivem (kompost, hnůj). Více si o aktivaci biouhlu řekneme ve zvláštní kapitole. Pokud upřednostňujete nechat půdu bez obracení (což ostatně doporučujeme), přidávejte biouhel rovnoměrně do mulče na povrch, případně jej lehce zapravte kypřením.

• **jaký** — jak jste jistě pochopili z předchozích kapitol, není biouhel jako biouhel. Pro zahrádkářské využití asi nebudete zjišťovat velikost aktivního povrchu a elektrickou vodivost, ale alespoň základní vlastnosti biouhlu by měly být splněny. Předně – biouhel by měl být „čistý“, tedy vypálený za teplot minimálně přes 350 °C nebo lépe přes 450 °C. Musí pocházet z čistých surovin, jako jsou prořezávky z ovocných stromů nebo lesní klest. Abyste příliš radikálně neměnili reakci půdy neboli pH, měl by biouhel obsahovat jen minimum popela. Popel je fajn hnojivo, ale má silné zásaditou reakci, což nevyhovuje všem rostlinám, a už vůbec ne půdním mikroorganismům. Suma sumárum, pokud si biouhel vyrábíte sami, měli byste vědět, jak na to. A pokud si nejste při výrobě jisti postupem, raději si biouhel kupte od někoho, kdo vám bude schopen předložit laboratorní rozbor a prokázat, že si s biouhlem na záhon nenasypete třeba těžké kovy nebo dehet.

• **kolik** — věčnou a věčnou otázkou je dávkování biouhlu. Největší efekt bude biouhel mít, když jej v prokořenitelné vrstvě půdy bude 10 až 15 %. Pokud uvažujeme o tloušťce této vrstvy nějakých 20 cm, vychází to na dávku kolem 20 až 30 litrů biouhlu na 1 m². To se zdá jako



poměrně velká dávka, a skutečně, pokud byste přidali toto množství naráz, nemuseli byste v prvním roce znamenat příliš dobrou odezvu. Doporučujeme proto přidávat zhruba 5 až 10 litrů na m² za rok. Tuto dávku pak můžete zopakovat několik sezón po sobě, dokud se nedostanete na těch 20 až 30 litrů na metr. Tím zajistíte plynulost při zvyšování obsahu půdního uhlíku, úpravě pH a nastartování ozdravných procesů v půdě.

• **kam** — platí jednoduchá poučka, že biouhel má největší efekt na půdách poškozených, živinově chudých, příliš písčítých nebo naopak jílovitých a na místech, kde hrozí delší období sucha. Výrazné zlepšení budete také pozorovat na půdách s nedostatečným obsahem půdního uhlíku, při velmi nízkém pH (kyselé půdy) a v případě chudého nebo žádného půdního života. Pokud ovšem hospodaříte na zdravých, skvěle zásobených, bohatých a hlubokých půdách s vyrovnanou křivkou zrnitosti, pak přídatkem biouhlu nejspíš nedosáhnete výrazného zlepšení, zvláště pokud nebude plocha trpět nedostatkem vody.

BIOUHEL VS. POPEL

Často se nám v naší biouhlířské praxi stává, že lidé zaměňují biouhel za popel. Mezi těmito dvěma materiály je ale zásadní rozdíl. Pokud chcete dělat biouhel a vznikne vám popel, tak jste někde něco udělali špatně (viz část Vůgoba doma i ve velkém). Zatímco popel je hnojivo, kterým do půdy můžeme rychle, ale jen dočasně dodat pro rostliny důležité prvky (vápník, draslík, fosfor, hořčík), biouhel je médium, které nám pomáhá dlouhodobě zlepšovat stav půdy a nastartovat procesy, které povedou k jejímu zdraví. Popel je silná alkálie s pH 12 i více, což nemusí sedět všem rostlinám (takto silná zásada umí i poleptat). Biouhel oproti popelu také pomáhá snižovat koncentraci skleníkových plynů v atmosféře.

	DŘEVO	POPEL	BIOUHEL
OBSAH UHLÍKU (%)	50	0	80–90
OBSAH POPELA (%)	1	100	5
PH	6	12	8–9
OBSAH ENERGIE (KJ/KG)	12000	0	30000

JAK „NABÍT“ BIOUHEL

Surový biouhel, který nebyl nijak obohacen, je „hladový“, protože všechny jeho dutinky a prostůrky jsou prázdné. Takový biouhel není pro půdu příliš prospěšný, popravdě může dokonce dočasně zhoršit půdní podmínky. Pokud se surový biouhel dostane do půdy, musí být totiž nejprve kolonizován mikroorganismy, nasycen vodou, jeho hydrofobní místa částečně zoxidují a začnou vázat vodu a také se uvolní malá část mineralizovatelného uhlíku. Teprve v průběhu těchto procesů se částice biouhlu „zabydlují“ v půdě, pH se srovnává směrem k neutralu, zvyšuje se kationtová výměnná kapacita a uhel začíná plnit všechny ty prospěšné funkce, o kterých byla řeč na jiných místech této publikace. Tento proces nicméně trvá několik měsíců až jeden rok, někdy i více. Do té doby si takový surový biouhel z půdy spíše bere a dočasně ji ochuzuje o živiny i vodu, která pak může dočasně chybět rostlinám a dalším organismům. Aby se tento proces adaptace biouhlu v půdě zkrátil a negativní účinky se odstranily, měli bychom provést takzvanou aktivaci biouhlu. Nabíjení neboli aktivace biouhlu je věda a znalosti se v tomto oboru neustále posouvají. Už se toho nicméně ví celkem dost, takže lze načrtnout základní možnosti:



Biouhel lze v malém vyrobít i v obyčejné plechovce,
foto: Karolína Poláčková.



Osvědčuje se používat biouhel jako zásyp v kompostovacích toaletách,
foto: Tomáš Blaha.

- **biouhel smícháme se substrátem bohatým na živiny a mikroorganismy** — nejlepším a také nejdostupnějším materiálem je v tomto ohledu živý kompost nebo zralý statkový hnůj přežvýkavců nebo koní. Smíchejte biouhel s hnojem nebo kompostem v poměru 1 : 1, směs řádně zvlhčete vodou a nechejte zrát alespoň 1 až 3 týdny,

- **nakupte komerčně dostupné mykorhizní houby, aktivní mikroorganismy nebo třeba extrakty z kompostu či žížalí čaj** — biouhel nechejte stát v takovém roz-toku opět zhruba dva týdny.

- **přidávejte biouhel do svého zahradního kompostu** — jde o zřejmě nejúčinnější způsob inokulace bio-uhlu. Správný kompost je skutečnou zásobárnou mikroorganismů a živin a průběžným přidáváním biouhlu z něj učiníte dokonalé hnojivo s dlouhodobým účinkem. Bio-uhel bude osídlený půdním životem a nasycený živinami.



Hasičskou přilbu při domácí výrobě biouhlu zrovna nosit nemusíte,
foto: Karolína Poláčková.



Přidávejte průběžně biouhel do svého kompostu,
foto: Karolína Poláčková.

RIZIKA SPOJENÁ S BIOUHLEM

- **využijte biouhel do podestýlky** — uhel můžete sypat do podestýlky slepicím, kravám, ovcím či kozám nebo i prasatům. Biouhel bude v podestýlce snižovat její zápach, naváže vlhkost a zvýší komfort zvířat. Hlavně se ale nasatí živinami a zejména u přežvýkavců bude okamžitě osídlen spoustou mikroorganismů. Možná si u toho všimnete, že zvířata biouhel příležitostně žerou. Nemusíte se obávat, má to dobrý důvod – podobně jako lidem i dobytku se díky uhlíku zlepšuje trávení. Navíc ze zvířat vychází uhlík již obohacený o živiny i biotu.

- **hodně much zabijete jednou ranou, když budete sypat biouhel do své kadiboudy nebo kompostovacího záchodu** — snížíte zápach, nabijete biouhel, urychlíte rozklad zbytků a omezíte koneckonců i ty mouchy.

- **minimalistickým a zároveň poměrně účinným způsobem aktivace biouhlu je prosté namočení do vody, ideálně dešťovky** — biouhel se nasatí vodou, čímž částečně ztratí svoji hydrofobicitu, a nastartuje se proces kolonizace mikroorganismy.

Jako každá věc na světě má také používání biouhlu své limity, specifika, nebo i rizika. Není těžké se jich vyvarovat, pojďme si říct pár základních zásad.

Bezpečnost při používání

Biouhel je netoxický. Pokud jste ale někdy s biouhlem přišli do styku, víte, že je to prašná a špinivá látka. Pro citlivé osoby může být vdechování jemného uhelného prachu nepříjemné nebo jim to může dokonce podráždit sliznice. Proto doporučujeme používat ochranu dýchacích cest a ideálně i očí. Samozřejmě je používání rukavic a běžného pracovního oblečení. Prašnost biouhlu můžete snížit například pokropením vodou.

Bezpečnost při skladování

Biouhel je skladovatelný neomezeně dlouho. Někteří výrobci dokonce přímo doporučují biouhel před použitím na dobu několika týdnů uskladnit, aby se uvolnily případné zbytky pyrolýzních plynů, aby pohltil vzdušnou vlhkost a některé látky na povrchu uhlu zoxidovaly.

Pokud je uhel skladován volně ložený a vystavený venkovnímu prostředí, dojde postupně k jeho nasycení

vodou, začne v něm bujet život a při dlouhodobém vystavení mrazovým cyklům se postupně rozpadá na menší kousky. Nic z toho nezhoršuje jeho vlastnosti (spíše naopak), ale je dobré s tím počítat.

Jak bylo řečeno výše, surový biouhel je „hladový“ a načerpává látky z okolního prostředí. Obzvláště to platí pro roztoky a plyny. Proto dávejte pozor, s jakými látkami přijde surový biouhel do styku. Pokud byste jej například skladovali v garáži, kde často startujete auto, může biouhel pohltit některé škodlivé látky z výfukových plynů.

Zvláštní kapitolou je efekt samovznícení biouhlu. Tento jev dosud nebyl uspokojivě popsán, ale zřejmě souvisí s pozvolnou oxidací reaktivních částí povrchu některých druhů biouhlu. Při reakci se vzdušným kyslíkem vzniká oxid uhličitý a oxid uhelnatý a uvolňuje se teplo. Protože je biouhel dobrý izolant, mohou se v extrémních případech vyskytnout ložiska o vysoké teplotě a může dojít k samovznícení. Je celkem intuitivní, že tento jev posiluje dobré proudění vzduchu, méně intuitivní ale je, že riziko samovznícení se zvyšuje také mírným navlhčením (nikoliv úplným namočením) biouhlu. Efekt samovznícení se

vyskytuje velmi zřídka a je zřejmě vázán na specifické typy biouhlu (roli hraje pyrolýzní teplota, zdrojový materiál, vlhkost a přístup vzduchu). Pokud se chceme tomuto riziku vyhnout, neskladujeme velká množství biouhlu na jedné hromadě (riziko představuje množství 20–30 m³) pod širým nebem. Lepší je skladovat jej v uzavřených a nepromokavých obalech (typ big-bag) a pod střechou.

Rizikové látky v biouhlu

Biouhel může obsahovat škodlivé látky, a to zejména pokud nejsou dodrženy elementární zásady při jeho výrobě a skladování. Riziko, že budou v biouhlu polycyklické aromatické uhlovodíky (dehet), zvyšuje výroba při nízkých teplotách pod 350 °C, používání příliš mokrého materiálu a také nesprávné hašení nebo skladování v nevhodných podmínkách. Těžké kovy se zase do biouhlu mohou dostat spolu s kontaminovaným vstupním materiálem. Každý seriózní výrobce by měl být schopen doložit kvalitu svého biouhlu rozбором z nezávislé laboratoře.



6/



ZÁVĚR?

Biouhel je na první pohled nenápadný materiál. Obyčejný uhlík, jaký ráno vyhazujete s popelem z kamen před dalším zatápěním. Při bližším prozkoumání v detailu se ale ukazuje, jak nevšední materiál to je. Nabízí se zde analogie s jeho obrovským povrchem. Jedna čajová lžička biouhle má podobný povrch jako dva tenisové kurty. A jakoby tato povrchová velikost předurčovala i škálu a oblasti, ve kterých biouhel najde své uplatnění. Tato publikace má za cíl seznámit české čtenářstvo se základní problematikou výroby, vlastnostmi a využitím biouhlu. Jsme si vědomi toho, že jsme všechny oblasti nevysvětlili v uspokojivé formě a že je celá řada dalších témat, která se nám do této publikace prostě nevešla. Je to například otázka odlišných vlastností biouhlu na základě vstupní biomasy, podrobná analýza problematiky pyrolýzních teplot, představení antiseptických vlastností biouhlu, samostatnou rozsáhlou kapitolou je rovněž využití biouhlu při chovu hospodářských zvířat a celá řada dalších. Těmto tématům se chceme dále věnovat i ve spolupráci

s akademickou obcí a publikovat je na našem blogu na www.cirkusc.cz. Budeme rovněž rádi za připomínky k samotnému textu. Podněty, otázky, nebo i požadavky na doplnění pošlete na e-mail biouhel@cirkusc.cz.

Už teď přemýšlíme nad konceptem druhého doplněného vydání této publikace, a zřejmě i specializovaných podrobnějších textů, které začerní bílá místa na české biouhelné mapě.

O AUTORECH



Tomáš Blaha

Vystudoval sociální antropologii a environmentální studia. Biouhel je přirozeným průsečíkem jeho zájmu o udržitelné zemědělství a ochranu klimatu. Působí jako lektor environmentální výchovy a koordinátor dobrovolníků v klášteře Porta coeli. Právě zde se při čištění starých extenzivních sadů seznámil s výrobou biouhlu a pochopil jeho roli při zlepšování stavu půdy, vody i klimatu.



Vilém Řiháček

Povoláním projektant, krajinný inženýr a vodohospodář se specializací na vodní nádrže, protipovodňová opatření a boj s půdní erozí. Má blízko k občanskému aktivismu a obecně k neziskovému sektoru. Někdy kolem roku 2002 se díky Jeníku Hollanovi setkal v Ekologickém institutu Veronica s fenoménem biouhlu. O mnoho let později se biouhlu začal věnovat i profesně pro jeho mimořádný potenciál při hospodaření s vodou a zlepšování zemědělských půd.

O CIRKUSU C

Jsme společenství průkopníků ve výrobě a využívání biouhlu. Troufáme si tvrdit, že v českém prostředí máme v otázce biouhlu nejširší záběr.

Dodáváme biouhel, kamkoliv je potřeba. Pro každou aplikaci dokážeme najít ten správný biouhel, dodat potřebné množství a zaručit jeho kvalitu.

Zvládneme vyrobit cokoliv od vonných františků po strukturní substráty pro městskou zeleň nebo filtrační biouhel pro potravinářské účely. Neustále objevujeme nová a málo známá zákoutí biouhlu, vydáváme se spolu s akademickými týmy i neprošlapanou biouhelnou stezkou. Vytváříme inovativní pyrolýzní zařízení na výrobu biouhlu.

Posouváme hranice, spojujeme lidi, děláme svět lepším.
FUTURE IS BLACK.



CIRKUS C UMÍME UHLÍK

ISBN 978-80-11-04213-4



Autoři textů: Vilém Řiháček, Tomáš Blaha, Cirkus C
Autoři fotografií: Karolína Poláčková, Vilém Řiháček, Tomáš Blaha
Redakční úprava, korektury: Jana Nečasová
Ilustrace, grafická úprava a sazba: Jana Kloučková Kudrnová
Tisk: Tribun EU, s.r.o., www.knihovnicka.cz

Vydal Cirkus C vlastním nákladem. Verze 1.0, listopad 2023.

www.cirkusc.cz

© Biouhlírna, s.r.o., Cirkus C

Vznik publikace byl podpořen z veřejné sbírky dobročinných obchodů Nadace Veronica.

ISBN 978-80-11-04213-4 (brožováno)

