

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra plánování krajiny a sídel



Efekt biocharu na rekultivovaných plochách hnědouhelných výsypek

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Markéta Hendrychová, Ph.D.

Vypracovala: Bc. Bára Šveigerová

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Bára Šveigerová

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce

Efekt biocharu na rekultivovaných plochách hnědouhelných výsypek

Název anglicky

Effect of biochar on reclaimed sites of brown coal spoil heaps

Cíle práce

Cílem této diplomové práce je zhodnotit základní pedologické vlastnosti na výsypkách lomu Vršany po aplikaci biocharu na třech typech ploch – orná půda, zatravnění a plocha s příměsí elektrárenských popílků. Zvláštní pozornost bude věnována měření vlhkosti půdy a nárůstu biomasy na orných půdách se zemědělskou rekultivací.

Metodika

Praktická část práce bude provedena na výsypce lomu Vršany, kde dojde k použití biocharu na třech typech ploch. Dále zde byla na podzim 2020 realizována lesnická rekultivace a pro účely výzkumu byl do jamek přidán biochar. Biochar je vyroben ze dřevní štěpky a vykazuje vysokou retenční schopnost. Data o vitalitě a chemickém složení půd budou následně zpracována a porovnána za použití příslušných statistických metod.

Doporučený rozsah práce

50

Klíčová slova

biouhel, lom Vršany, půdní vlhkost, rekultivační oseední postup

Doporučené zdroje informací

- Głąb, T., Palmowska, J., Zaleski, T., & Gondek, K. (2016). Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma*, 281, 11-20.
- Chen, B., Yuan, M. (2011). Enhanced sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil amended with biochar. *Journal of Soils and Sediments*, 11(1), 62.
- Jačka, L., Trakal, L., Ouředníček, P., Pohořelý, M., & Šípek, V. (2018). Biochar presence in soil significantly decreased saturated hydraulic conductivity due to swelling. *Soil and Tillage Research*, 184, 181-185.
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y. et al. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48(7), 501.
- Kupryianchyk, D. E., Hale, S., Breedveld, G. D., Cornelissen, G. (2016). Treatment of sites contaminated with perfluorinated compounds using biochar amendment. *Chemosphere*, 142, 35-40.
- Razzaghi, F., Obour, P. B., & Arthur, E. (2020). Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*, 361, 114055.
- Schmidt, H. P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M. W., Mackie, K. A., & Abiven, S. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 117-123.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Markéta Hendrychová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2022

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Efekt biocharu na rekultivovaných plochách hnědouhelných výsypek vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 30. 3 .2022

Bc. Bára Šveigerová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce paní Ing. Markéta Hendrychová, Ph.D. za odborné metodické vedení a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Děkuji též společnosti Vršanská uhelná a.s. za poskytnutí studijních ploch a za finanční dar na zrealizování experimentu s biouhlem, panu Šolarovi z Rekultivací a.s. za trpělivost s narušením a zkomplikováním běžných rekultivačních postupů. Díky patří také doc. Mgr. Lukášovi Trakalovi, Ph.D. za odborné konzultace a Ing. Janě Balabánové za pomoc v laboratoři.

V Praze, dne 30. 3. 2022

Bc. Bára Šveigerová

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce se zabývá efektem biouhlu na rekultivovaných plochách hnědouhelných výsypek. Teoretická část je zaměřena na rekultivace na území Mostecká a základní informace o biouhlu, jeho výrobu, vlastnosti a aplikaci v praxi.

Základem praktické části je posouzení efektu půdních aditiv – biouhel a kompoChar na biologicky rekultivované plochy na studijní ploše lomu Vršany. Při zemědělské rekultivaci byl aplikován kompoChar, kde byla měřena vlhkost a provedena analýza. Při lesnické rekultivaci byl do jamek aplikován biouhel a byla zjišťována ujímavost sazenic.

Z výsledků vyplývá, že po aplikaci biouhlu do půdy došlo k navýšení koncentrace některých prvků, které jsou důležité pro růst rostliny. Dále takto ošetřené plochy vykazovaly větší hustotu porostů a zvýšila se ujímavost sazenic.

KLÍČOVÁ SLOVA

biouhel, lom Vršany, půdní vlhkost, rekultivační osevní postupy, výsypka

ABSTRACT

The submitted Master's thesis deals with the effect of biochar on reclaimed areas of spoil tips. The theoretical part is focused on reclamation in the Most region and basic information about biochar, its production, properties and application in practice.

The basis of the practical part is the assessment of the effect of soil additives - biochar and kompoChar on biologically reclaimed areas in the study area of the coal mine Vršany. During agricultural reclamation, kompoChar was applied, where humidity was measured and analysis was performed. During forest reclamation, biochar was applied to the holes and the attractiveness of the seedlings was determined.

The results show that after the application of biochar to the soil, there was an increase in the concentration of some elements that are important for plant growth. Furthermore, the areas treated in this way showed a higher density of stands and increased the attractiveness of the seedlings.

KEY WORDS

biochar, coal mine Vršany, soil moisture, reclamation sowing methods, spoil tip

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíle práce	11
3	Literární rešerše	11
3.1	Základní informace o biouhlu	11
3.1.1	Definice a historie biouhlu	11
3.1.2	Význam biouhlu	12
3.1.3	Suroviny potřebné pro výrobu biouhlu	13
3.2	Výroba biouhlu	13
3.2.1	Pyrolýza	13
3.2.2	Zplyňování	14
3.2.3	Technologie Karbotech	14
3.3	Vlastnosti biouhlu	15
3.3.1	Fyzikálně – chemické vlastnosti	15
3.3.2	Biologické vlastnosti	16
3.3.3	Sorpční vlastnosti	16
3.3.4	Negativní vlastnosti	17
3.4	Vliv biouhlu na půdní biotu	17
3.4.1	Vliv na mikroorganismy	17
3.4.2	Vliv na vyšší rostliny	18
3.5	Aplikace biouhlu v praxi	18
3.5.1	Biouhel na výsypkách	20
3.6	Rekultivace na území Mostecka	20
3.6.1	Zemědělská rekultivace	20
3.6.2	Lesnická rekultivace	21
3.6.3	Hydrická rekultivace	21
3.6.4	Ostatní rekultivace	22
4	Metodika	23
4.1	Lokalizace studijních ploch	23

4.2	Sběr dat a vzorků a jejich zpracování	27
4.3	Charakteristika studijního území	28
4.3.1	Geomorfologické podmínky	28
4.3.2	Klima.....	29
4.3.3	Hydrologie	30
4.3.4	Pedologie.....	30
4.3.5	Flóra a fauna.....	31
5	Výsledky	31
5.1	Vizuální hodnocení.....	31
5.2	Chemická analýza.....	32
5.3	Vitalita lesních sazenic	36
6	Diskuse	37
7	Závěr	39
8	Zdroje.....	40
9	Přílohy.....	46

1 Úvod

Černé a hnědé uhlí je hlavním palivoenergetickým zdrojem v České republice. Vlivem těžby dochází k destrukci krajiny a narušení sociálních podmínek v dané lokalitě. Díky rekultivacím dochází ke kompletním nápravným opatřením, které vedou k obnově přírody (Řehounek, 2015). Těžba na území Mostecká se datuje už od roku 1613, ale největší rozmach byl zaznamenán v období socialismu, kdy se Československo začalo orientovat na energeticky náročný těžký průmysl. Docházelo k záboru půdy, narušení hydrologického režimu krajiny, klimatu a biotě a zhoršení kvality ovzduší. První známky o rekultivaci na Mostecku jsou již z přelomu 19. a 20. století a postupně se stala koncepční, technologickou a ekonomickou součástí těžby. Rekultivace dnes probíhá v podobě vzniku lesů, parků, polí, vinic, rybníků a jezer, hřišť a sportovišť (Štýs et al. 2014).

Vlivem těžby také dochází k přemístování velkého množství zemin, které zásadně mění geomorfologický ráz krajiny. U těchto vzniklých hnědouhelných výsypek je za cíl obnovit životaschopnost, navrátit ekologickou stabilitu a kvalitně zapojit tyto plochy zpět do funkční krajiny. Jelikož jsou výsypky prvky umělé, mohou se potýkat s řadou komplikací. Typické problémy pro výsypky jsou sucho, vysoké výkyvy teplot, nedostatek živin a hydrogeologické problémy, které mohou mít silně negativní dopad především u rekultivace zemědělské. V ohrožení mohou být zejména mladé rostliny náročné na podmínky, pro které by takovéto extrémní podmínky mohly být fatální (Dipita et Subodh, 2020).

Potencionální pomoc pro tyto plochy představuje biouhel, který vzniká tepelným rozkladem organických materiálů s omezeným množstvím kyslíku při relativně nízkých teplotách. Vyrábí se ze zbytkové a odpadní biomasy a jedná se o obdobu dřevěného uhlí. Historicky se biouhel používal již před tisíci lety právě kvůli svým kladným fyzikálním a chemickým vlastnostem (Klusák, 2009). Důležitým parametrem je schopnost vázat vodu a živiny, což se jeví jako klíčové při řešení nepříznivých podmínek na výsypkách.

2 Cíle práce

Cílem práce je posoudit efekt půdních aditiv na biologicky rekultivované plochy na studijní ploše lomu Vršany, a to na:

- a) zemědělské rekultivaci, kde byl aplikován kompoChar, měřena vlhkost a provedena analýza ošetřené a kontrolní studijní plochy (pedologie a biomasa)
- b) biouhel aplikovaný do jamek při výsadbě lesnické rekultivace, kde byla zjišťována ujmavost sazenic ve srovnání se sousední studijní plochou bez biouhlu

3 Literární rešerše

3.1 Základní informace o biouhlu

3.1.1 Definice a historie biouhlu

Mezinárodní iniciativa pro biouhel (*International Biouhel Initiative*, IBI) definuje biouhel (angl. *biochar*) jako pevný materiál, který je bohatý na uhlík a vzniká karbonizací biomasy (www.biochar-international.org, 2016). Můžeme tedy říct, že biouhel je produkt, který vzniká tepelným rozkladem organických materiálů s omezeným množstvím kyslíku při relativně nízkých teplotách ($< 700^{\circ}\text{C}$) (Lehmann et al., 2009). Hlavní aplikací biouhlu je použití jako doplněk půdy pro zlepšení její funkce, čímž se také liší od uhlí, které je využíváno hlavně jako palivo. Struktura biouhlu se vyznačuje obsahem stabilní aromatické formy organického uhlíku, které nemohou být snadno vráceny do atmosféry jako CO_2 , čímž se snižují emise z biomasy, které by jinak přirozeně degradovaly právě na skleníkové plyny (Sohi, 2010).

Biochar není zejména v zemědělství žádnou novinkou, jak by se mohlo zdát. Již před tisíci lety v dávných rovníkových kulturách byly vypalovány zalesněné krajiny za účelem přeměny na zemědělskou půdu a vlivem vypalování lesů vznikal biochar, který následně obohatil půdu. Právě tímto způsobem se vytvořily velmi

úrodné černé půdy. Nejvíce jich nalezneme v Amazonii, kde mají tyto na živiny bohaté půdy označení Terra preta de índio. Tato vytvořená půda i několik let po odlesnění nevykazuje vyčerpanost a je stále vysoce úrodná. Historické zmínky o hnojení uhlím nalezneme i v zemích mírného pásu, ale postupem času hnojení uhlím bylo na ústupu asi vinou umělých hnojiv. Ovšem vlivem rozvoje akademického výzkumu a vývoje se biochar začal užívat znovu vlastně po celém světě (Klusák, 2009). Biochar se znovu začal užívat ne jenom jako hnojivo, ale také kvůli svému vysokému obsahu uhlíku, jehož aplikací se bude dlouhodobě ukládat v půdě, nikoliv v atmosféře ve formě oxidu uhličitého (Břendová, 2015)

3.1.2 Význam biouhlu

Odpadní biomasu lze zlikvidovat pyrolýzou při níž na rozdíl od spalování nevznikají ve většinové míře oxidové formy uhlíku, které se uvolňují do atmosféry, ale vzniká chemicky stabilní uhlík ve formě biouhlu. Aplikace biouhlu do půdy by měla zajistit přirozené navrácení uhlíku do půdního ekosystému a zlepšení její kvality, zvláště u zemědělsky využívaných půd (Ahmad et al., 2014). Povrchová struktura biouhlu je pórovitá a elektricky nabitá, čímž činí biochar potenciálně vhodný a vysoce efektivní prostředek pro remediace půd znečištěných organickými a anorganickými látkami (Chen and Yuan, 2011). Současně používáním biocharu může docházet k předcházení znečištění povrchových a podzemních vod, které jsou kontaminovány právě vyluhováním nebo erozí půdních částic s asociovanými polutanty (Jien and Wang, 2013). Dále se biouhel dá využít ke kompostování, protože zvyšuje pH a zlepšuje tak podmínky pro dekompoziční procesy, u kterých se na začátku procesu uplatňují bakterie mléčného kvašení a kvasinky, které jsou nežádoucí z důvodu neefektivnosti rozkladu a vznikajícímu nepříjemnému zápachu (Kurola et al., 2011). Dle IBI je důležité pro životní prostředí udržovat uhlík v pevném stavu, právě z důvodu snižování emisí oxidu uhličitého v ovzduší a tím i potlačování skleníkového efektu (biochar-international.org, 2016).

3.1.3 Suroviny potřebné pro výrobu biouhlu

Existuje mnoho materiálů pro výrobu biouhlu. Obecně je můžeme rozdělit na materiály přírodní a odpadní. Kategorie přírodní obsahuje biomasu z živé přírody jako je tráva, lesní biomasa, energeticky pěstované plodiny, řasy či vodní rostliny. Kategorie odpadní obsahuje biomasu z průmyslového odpadu jako je dřevo a pily, dále jsou to materiály jako chlévská mrva, hnůj, zbytky plodin, kal z čistíren odpadních vod a biologicky rozložitelný komunální odpad (Brick, 2010).

3.2 Výroba biouhlu

Existuje mnoho způsobů, jak biouhel vyrobit, ale princip výroby je stejný. Dochází k zahřívání biomasy při omezeném množství kyslíku a odvodu těkavých plynů. Nejběžnějším způsobem je pyrolýza a zplyňování, dále potom technologie Karbotech (biochar-international.org, 2016). Obecný systém výroby biouhlu zahrnuje:

- Sběr, dopravu a zpracování surovin
- Zjišťování kvality biouhlu
- Výroba využití vedlejších produktů (plyn, olej nebo teplo)
- Doprava, manipulace a skladování biouhlu
- Technologické využití biouhlu na základě jeho kvality dle směrnice IBI Biochar

Systémy pro zpracování biomasy mohou být vyvinuty jako stacionární nebo mobilní zařízení a zvládnout zpracovat až 4000 kg biomasy. Dále je možné tyto systémy využít na farmách nebo malých průmyslových odvětvích s přírůstkem biomasy od 50 kg/hod. do 1000 kg/hod, jsou komerčně dostupné (biochar-international.org, 2016).

3.2.1 Pyrolýza

Pyrolýza je proces, při kterém teplota působí na vstupní materiál a dochází k termickému rozkladu organického materiálu. Termický rozklad probíhá

v teplotním intervalu 400 – 700 °C bez přístupu vzduchu. Při pyrolýze jsou uvolňovány syntézní plyny (syngas), teplo, pyrolýzní olej a biouhel. V současné době se setkáváme se dvěma typy pyrolýzních systémů. Prvním systémem je rychlá pyrolýza, která produkuje více olejů a kapalin. Druhým systémem je pomalá pyrolýza, při které vzniká více syngasu a je nejefektivnější technologií pro výrobu biouhlu (Brunn, 2011). Důležitými podmínkami pomalé pyrolýzy pro vysoké výnosy biouhlu jsou nízké teploty pyrolýzy (<400°C), vysoký obsah popela a dusíku (N) v biomase, dlouhá doba zdržení par, vysoký tlak, nízká míra výhřevnosti a velikost částic biomasy (Pjurová, 2014). Minimální doba zdržení biomasy v reaktoru je 30 minut, ovšem někdy doba zdržení může být i hodinová, což je ovlivněno pomalou rychlostí ohřevu (Nartey a Zhao, 2014).

3.2.2 Zplyňování

Zplyňování se odlišuje od pyrolýzy tím, že při zplyňování materiál reaguje s párou nebo vzduchem. Zplyňovací systémy produkují menší množství biouhlu. Čím více kyslíku výrobní jednotka může vyloučit, tím více biouhlu produkuje. Při zplyňování se palivo zahřívá až na teplotu 1200 °C a vzniká směs plynů a páry, která je označována jako syntetický plyn. Syntetický plyn se skládá z oxidu uhličitého (CO₂), vodíku (H₂) a oxidu uhelnatého (CO) (Ahmad et al., 2014). Proces zplyňování je ovlivňován vlastnostmi vstupní biomasy, zejména její vlhkostí a zrnitostí (Bruun, 2011).

3.2.3 Technologie Karbotech

Technologie Karbotech pracuje na principu nízkoteplotní pyrolýzy, při níž dochází ke karbonizaci odpadní a zbytkové biomasy různého původu na biouhel. Biomasa se rozkládá na pyrolýzní plyny, pyrolýzní kapalinu a biouhel, který obsahuje až 95 % uhlíku ve stabilní formě. Předností technologie je využití odpadního nebo zbytkového tepla, díky kterému je možné zpracovat větší množství biomasy (Biouhel.cz).

3.3 Vlastnosti biouhlu

3.3.1 Fyzikálně – chemické vlastnosti

Biouhel je drobný, porézni a uhlíkatý materiál černé barvy, pro který je typická aromatická struktura. Jedná se o heterogenní materiál, obsahuje labilní i stabilní složky, mezi které řadíme uhlík, minerální látky (popel), vlhkost a těkavé složky (např. dehty). Uhlík je vždy hlavní složkou a procentuální zastoupení všech složek vždy závisí na druhu výchozí biomasy a typu pyrolýzy. Nejvyšší možný obsah uhlíku lze získat při použití tvrdého dřeva a při vysokých teplotách (Lehman et al., 2011).

Z chemického hlediska lze biouhel rozdělit na složku organickou a anorganickou. Složka organická zahrnuje především prvky: vodík, kyslík a uhlík. Tyto prvky jsou ovlivněny podmínkami, za kterých biochar vzniká (čas, maximální teplota a rychlost nárůstu teploty). Složka anorganická obsahuje popel, jehož podíl je ovlivněn vlastnostmi vstupních materiálů (Joseph et al., 2010). Původ vstupní biomasy, teplota, časový interval a druh reaktoru ovlivňují i výsledné pH, které může být jak kyselé, tak zásadité. Hodnota pH biouhlu tedy může klesat pod 4 nebo i stoupat nad 12.

Z fyzikálního hlediska je důležitá pórovitost, zrnitost a hustota biouhlu. Tyto vlastnosti jsou důležité pro schopnost integrace biocharu v půdním prostředí. Zrnitost je jeden z hlavních faktorů, který ovlivňuje odvětví využití biocharu. Právě velikost částic je důležitá pro skladování, manipulaci a přepravu biouhlu. Ze dřevin získáme biouhel s hrubými zrny. Naopak jemná zrna získáme z rostlinné biomasy jako je obilí či hnůj. Zrnitost je dále ovlivněna samotným pyrolýzním procesem, které zahrnuje různé typy úprav, např. sušení, aktivace, prosévání. Finální zrnitost je vysoce ovlivněna rychlostí nárůstu teploty a horní hranicí teploty. Jemnozrnné částice vznikají při rychlém nárůstu a vyšších teplotách, kdežto hrubozrnné částice vznikají spíše při pomalém nárůstu a nižší hranici teploty (Lehman et al., 2011).

Pórovitost je veličina, která udává poměr mezi objemem pórů a objemem vzorku. Tato veličina je ovlivněna typem vstupních surovin a podmínkami, za kterých jsou suroviny zpracovány. Póry se tvoří vlivem tepelného působení, kdy dochází ke ztrátě hmoty z důvodu rozkladu organických těkavých látek. Podle

velikosti otvorů můžeme póry rozdělit do 3 skupin – mikropóry (< 2 nm), mezopóry (2 – 50 nm) a makropóry (> 50 nm). Mikropóry mají nejvyšší podíl na vysoké adsorbční kapacitě pro molekuly malých rozměrů (Fojtíková, 2017).

3.3.2 Biologické vlastnosti

Biochar svými vlastnostmi podporuje funkci půdních mikroorganismů a půdní mikrobiální aktivita silně ovlivňuje půdní funkce, růst plodin a jejich výnosnost. Přidáváním biocharu do půdy může napomoci stabilizovat půdní organický uhlík, který spojován s pozitivním dopadem na mykorrhizní sdružení (Warnock et al., 2007). Poréznost biocharu vytváří vhodné prostředí pro kolonizaci mikrobů, růst a reprodukci bakterií v půdě. Půdní mikrobiální komunity jsou komplexem bakterií a interakce mezi členy těchto populací s půdou určují celkovou funkci a produktivitu ekosystému (Garcia-Perez et al., 2008). Vlivem bakterií, které kolonizují na porézním povrchu biouhlu, může dojít ke zvýšení fosforu v půdě (Chintala et al., 2014).

3.3.3 Sorpční vlastnosti

Významnou vlastností biocharu je pohlcovat anorganické látky a organické kontaminanty ve vodním prostředí a půdě, kdy omezuje vstup nežádoucích látek do rostlin. Adsorpční kinetiku ovlivňují fyzikálně – chemické vlastnosti, které jsou ovlivněny teplotou a délkou pyrolýzy, použitou výchozí biomasou, stupněm karbonizace, pH, teplota atd. Lze říct, že sorpční vlastnost biouhlu je tím lepší, čím vyšší je teplota pyrolýzy, neboť tím větší je velikost povrchu částic, objem pórů a termická stabilita (Kupryianchyk et al., 2016). Mezi povrchem biouhlu a adsorbovanou látkou existuje řada mechanismů jako je např. elektrostatická přitažlivost, vodíkové vazby, chemická vazba, fixace v pórech, hydrofobní interakce, π - π interakce apod. Jsou citovány adsorpce kovových iontů chrómu, olova, uranu, zinku, mědi, pesticidy, toxické průmyslové látky, výbušniny či farmaceutické produkty (isobrufen, aspirin, acetaminofen) (Gembalová, 2016).

3.3.4 Negativní vlastnosti

Vzhledem k tomu, že biouhel vzniká z velice různorodých surovin a také při použití rozličných způsobů pyrolýzy, může se u biouhlu vyskytovat vyšší koncentrace těžkých kovů, nebezpečných uhlovodíků, metabolitů a persistentních volných radikálů, které mohou působit jako inhibitory růstu rostlin. Z tohoto důvodu je důležité před aplikací do půdy provádět test fytotoxicity, aby se zamezilo negativnímu působení na půdní systém (Lehmann et al., 2011).

3.4 Vliv biouhlu na půdní biotu

Jak už bylo zmíněno, studie se spíše věnují vlivu biouhlu na půdní organismy a už méně studií se věnuje výzkumům, které se zabývají působením biouhlu na větší půdní bezobratlé, a jen velmi málo se věnují problematice vlivu biouhlu na růst kořenů rostlin v půdě. Vliv biouhlu na půdní organismy lze rozdělit na primární, kdy dochází k přímému kontaktu uhlíkatých částic na organismy, a sekundární, který je dán změnou podmínek prostředí (Lehmann et al., 2011).

3.4.1 Vliv na mikroorganismy

Studie zabývající se porovnáváním půd s biouhlem a bez biouhlu prokazují nárůst podílu kořenů, které jsou kolonizované arbuskulárními a mykorrhizními houbami (Solaiman et al., 2010). Tento nárůst je zapříčiněn primárním i sekundárním efektem biouhlu. Kontakt biouhlu s mycelinem stimuluje zrání spor hub (Lehmann et al., 2011). Ne vždy je však působení biouhlu na mykorrhizní houby v půdě pozitivní. Protože může dojít je změně pH půdního prostředí, salinity nebo obsahu těžkých kovů (Corbin et al., 2004).

Pórovitá struktura biouhlu poskytuje vhodné prostředí chráněné před potenciálními predátory nejen pro houbové organismy, ale také pro bakterie (Lehmann et al., 2011). Půdní bakterie na částice biouhlu sorbují prostřednictvím hydrofobních interakcí a s rostoucí hydrofobicitou biouhlu se zvyšuje jeho sorpční schopnost. Vliv na sorpci mikroorganismů na biouhle má i velikost povrchu částic, především pórů. Pokud je jejich průměr dvakrát až pětkrát větší než velikost bakterie, pak poskytují vhodné prostředí pro sorpci bakterií (Rivera-Utrilla et al., 2001). Další

vliv na sorpci má samotný druh bakterie. Jak už bylo zmíněno, na mikroorganismy má vliv pH půdy, které se přidáním biouhlu do půdy může zvyšovat nebo snižovat. Např. po přidání kyselého biocharu dojde ke snížení pH půdy a po uplynutí jistého času dojde k namnožení mikroorganismů, které zpracovávají substrát redukčními reakcemi a pH půdy následně vzroste. Z několika experimentů zaměřených na zjišťování druhové skladby bakteriálních společenstev v půdě po přidání biohlu vyplývá, že v půdě obohacené biouhlem jsou společenstva až o 25 % bohatší, a to na úrovni čeledí, rodů i druhů (Lehmann et al., 2011).

3.4.2 Vliv na vyšší rostliny

Přidáním biouhlu do půdy se stimuluje růst kořenů rostlin, což se projevuje větší rozvětveností kořenového systému a zvýšením hmotnosti kořenové biomasy a poměru hmotnosti nadzemní a podzemní části rostliny (Makoto et al., 2010). Dále dochází k navýšení klíčivosti semen v půdě. Např. klíčivost semen jedle numidské (*Abies nimidica*) vzrostla z 10 - 20 % na 30 – 80 % v půdě s biocharem. Lepší klíčivost byla prokázána také u mrkve (*Daucus carota*) a cibule (*Allium cepa*) (Lehmann et al., 2011).

3.5 Aplikace biouhlu v praxi

Využití biouhlu v praxi je velmi různorodé, a to díky svým flexibilním vlastnostem. Biochar se dá využít v nejrůznějších odvětvích průmyslu, např. zemědělství a chov zvířat, stavebnictví, textilní průmysl, potravinářský průmysl, elektronika, ochrana životního prostředí, medicína, wellness či dekontaminace. Největší využití biocharu (asi 90 %) najdeme v zemědělství a chovu zvířat, kdy je biouhel využíván ke snížení zápachu na farmách a jako přídavek do hnoje. Dále se také může přidávat do krmiva skotu pro lepší zažívání a chuť k jídlu. V zemědělství je biouhel brán jako látka zvyšující úrodnost půdy již několik tisíc let. Použití této látky vede ke zlepšení uchování vody v půdě, provzdušnění, zvýšení pH a biomasy, sorpci organických a anorganických polutantů, podpoře mikrobiální aktivity nebo snižování emisí skleníkových plynů. Dále se biouhel může přidat do biomasy ke kompostování za vzniku kompostu, který lze velmi efektivně nahradit za rašelinu ve sklenících a zahradnictví. Biochar je také možné smíchat s organickým

odpadem (vlna, popel, kejda, výlisky atd.) za vzniku kvalitního hnojiva jako náhrada komerčních hnojiv (Schmidt et Wilson, 2014).

Ve stavebnictví se biouhel dá využít jako izolace budov a regulátor vlhkosti vzduchu, protože je schopný absorbovat vodu až do šestinásobku své váhy. Při smíchání biouhlu s jílem, cementovou maltou nebo vápnem vznikne omítka, která adsorbuje zápach, toxiny a elektromagnetické záření (Schmidt, 2012).

Využití biouhlu také nalezneme v textilním a potravinářském průmyslu. Biochar se přidává jako příměs do funkčního prádla, kde vytváří lepší tepelné a prodyšné vlastnosti a snižuje tvorbu zápachu při pocení. Dále se používá i jako výplň polštářů nebo matrací, kdy se chová jako tepelný izolant, odráží teplo a umožňuje tak komfortní spánek bez přehřívání během letních nocí. V potravinářském průmyslu se s ním setkáme při skladování ovoce ve formě biocharového obalového materiálu (chardboard). Jedná se o kombinaci biocharu a papíroviny, kdy jsou využívány vlastnosti biouhlu – sorpce vlhkosti i pohlcování pachů. Využívá se tedy pro zpomalení stárnutí ovoce a zachování jeho čerstvosti při dopravě. Následně může být využit jako součást kompostu nebo skládek, kde může snižovat nežádoucí pachy (Schmidt et Wilson, 2014).

V elektronice se s biouhlem můžeme setkat při výrobě polovodičů a baterií, takže může být použit např. v mikrovlnných troubách, televizích, rozvodech energie a zásuvkách, kde slouží jako ochrana před elektromagnetickým zářením (Schmidt et Wilson, 2014).

V neposlední řadě přidáváním biouhlu do půdy dochází ke snižování emisí skleníkových plynů. Přidáním biocharu do půdy dojde k adsorpci dusičnanů biouhlem, který zpomalí jejich přeměnu na oxid dusný a tím i uchování dusíkatých látek v biotě, které mohou být poté využívány okolní flórou (Oliveira et al., 2017).

Biouhel našel uplatnění právě také v dekontaminaci půd, a to především na bývalých dolech, vojenských prostorech či skládkách. Na okrajích polí a rybníků může být vybudována 30 – 50 cm hluboká biocharová bariéra, která odfiltruje pesticidy a zabrání tak vyplavování pesticidů do povrchových vod (Oliveira et al., 2017).

3.5.1 Biouhel na výsypkách

Počet opuštěných dolů se celosvětově pohybuje ve stovkách tisíc. Povrchová těžba uhlí ničí vegetační kryt, půdu a biodiverzitu (Fellet et al., 2011). Důsledkem toho vznikají výsypky, dochází ke změně topografie, odvodnění krajiny, zhoršení estetiky a v neposlední řadě k znečištění a zhoršení kvality životního prostředí. Výsypky uhelných dolů se vyznačují vysokými úlomky hornin, nízkou kapacitou zadržování vody, zhutněním, nedostatkem organického uhlíku a rostlinných živin, kyselým pH a kontaminací toxickými kovy, což představuje problémy při rekultivaci. Jak už bylo zmíněno, těžební činnost ničí estetiku, snižuje produktivitu půdy a působí jako nepřetržitý zdroj znečištění (Dipita et Subodh, 2020). Rekultivace a vznik nových vegetačních krytů na těchto územích jsou nezbytné pro stabilizaci výsypek, zabránění erozí, minimalizaci kontaminace a zlepšení vizuální estetiky krajiny (Fellet et al., 2011). Řada studií byla zaměřena na udržitelné využití biouhlu pro obnovu degradované zemědělské půdy, zlepšení fyzikálně – chemických, nutričních a biologických vlastností půdy (Dipita et Subodh, 2020). Četné studie ukazují, že biouhel působí jako půdní kondicionér pro zvýšení dostupnosti půdních živin a usnadnění růstu vegetace (Major et al., 2010). Dále může hrát roli při zmírňování kyselosti a kontaminace těžkými kovy, zvýšení pH půdy a vazebních míst pro chemické reakce (Fellet et al., 2011). Z výzkumů dále vyplývá, že biouhel připravený z biomasy s částicemi velikosti menší než 2 mm může být velice efektivní při rekultivaci důlních výsypek (Dipita et Subodh, 2020).

3.6 Rekultivace na území Mostecka

V Mostecké pánvi k roku 2014 na zrekultivovaném území proběhla lesnická rekultivace 66 %, zemědělská 9 %, hydriická 5 % a ostatní 20 % (7.cz, 2018a).

3.6.1 Zemědělská rekultivace

Na území Mostecka se vyskytují velmi úrodné zemědělské půdy, kdy se před těžbou celá mocnost humózní vrstvy naváží na upravené výsypky, kde je během 5 až 8 let realizován meliorační osevní cyklus s převahou jetelino travních směsí. Aby

bylo co nejdříve dosaženo trvalé úpravy živin na úroveň rostlinných zemědělských půd, využívá se navíc organické hnojení s doplňkem minerální výživy (Štýs, 1997a). Výskyt kvalitní zemědělské půdy dokazují i vinice, ovocné sady a louky na zrehabilitovaných plochách (czso.cz, 2012).

V roce 1973 byl do rekultivace území zařazen i vznik vinice na výsypkách a o 10 let později už Mostecké vinařství mělo celkem 112 hektarů vinohradů, stalo se největším výrobcem vín z vlastních hroznů a Most se stal největším vinařským městem v Čechách. Úspěšnost vinic na výsypkách byla narušena průmyslovými exhalacemi, které ovlivňovaly chuť bobulí. Až na konci minulého století došlo k ekologizaci průmyslových exhalací, hlavně odsiřování elektráren, a mostecká vína opět získala uznání. Nyní na mosteckých vinicích operuje společnost České vinařství Chrámce s.r.o., které patří k největším výrobcům vína z vlastních hroznů v oblasti Čechy (Štýs, 2013).

3.6.2 Lesnická rekultivace

Zalesňování je základní metodou rekultivace. Doposud bylo v rámci lesnické rekultivace na území Mostecka vysázeno kolem 40 milionů lesních sazenic a mělo by být ještě během příštího rekultivačního období vysazeno dalších 28 milionů sazenic (Štýs, 1997a). Jen pro zalesnění území kolem jezera Most je zapotřebí asi 500 tisíc mladých stromků. Lesnatost se v pánevní oblasti výrazně zvyšuje a po ukončení těžby se zde bude pohybovat kolem 40 %. Část území postižené těžbou se ponechalo přirozenému vývoji a zarostlo nejdříve bylinami, trávou, odolnými a nenáročnými keři, pionýrskými a dalšími stromy, které odpovídají místnímu klimatu (Štýs, 2013). Právě díky spontánní sukcesi na výsypkách mohou vzniknout stabilní a druhově bohaté ekosystémy (Hendrychová et Kabrna, 2008) Ve spojení s novými vodami bude toto území mít významný rekreační potenciál (Štýs, 2013).

3.6.3 Hydrická rekultivace

Pánevní úsek Mostecka patří k oblastem s nadprůměrnými teplotami a podprůměrnými srážkami. Aby nedošlo k zaplavení důlních pracovišť, musí být

důlní vody neustále odčerpávány, proto těžba krajinu vysušuje. Nové vodní akumulace se tvoří v místech, kde skončila povrchová těžba v tzv. zbytkových lomech, ale v malé míře také místech poklesů po těžbě hlubinné (Štýs, 1997b). Nyní se vesměs počítá se zavodněním ohromných terénních depresí o kubatuře zhruba 3 mld m³, které vzniknou po povrchových dolech, a stanou se tak zásobárnou vody. V rámci hydrické rekultivace vznikly vodní plochy na výsypkách, ve zbytkových malých lomech a na poddolovaných pozemcích. Větší vodní plochy vznikly na lomech Benedikt, Matylida a Ležáky (Štýs et al. 2014).

3.6.4 Ostatní rekultivace

Ostatní rekultivace je taková forma rekultivace jejímž primárním cílem není sloužit k hospodářským účelům, ale k zvýšení biodiverzity, rozvoji podnikatelských aktivit a sportovních areálů. U těchto ploch poté převažuje estetická a rekreační funkce (Štýs, 1990). Z hlediska projektů se může jednat například o sportoviště, rekreační zeleně rostoucí mimo les s manipulačními plochami, motokrosově dráhy, hřiště, jízdárny, stadiony, střelnice, kempy a tábořiště, skanzeny a zoologické zahrady (Vráblíková, 2010).

Jako příklad ostatní rekultivace na Mostecku lze zmínit sportovní areál Autodrom Most, který se nachází na výsypce v těsné blízkosti bývalého lomu Matylida. Původním plánem na rekultivaci území bylo zalesnění a výsadba ovocných sadů, ale kvůli velmi špatnému ovzduší, které bylo znečišťováno důlními exhalacemi, parními lokomotivami a průmyslovými exhalacemi z elektráren, se od tohoto návrhu upustilo. Jelikož měl Most za sebou bohatou historii motoristického sportu, došlo k zařazení nového rychlostního okruhu na území o rozloze 140 ha do rekultivační koncepce a v roce 1978 došlo ke stabilizaci výsypky a zahájení stavby. Autodrom je výcvikovým a testovacím areálem a centrem bezpečné jízdy. Během těžby dolu Jana Šverma nebyl dostatečný výsypkový prostor ve vlastním lomu, musela být značná část zemin ukládána na vnější výsypky. Na Velebudickou výsypku bylo uloženo celkem 242,3 milionu m³ a převýšení původního území bylo až o 75 metrů. V prostoru výsypky nebyl ustálený vodní režim, chyběly půdy, proto docházelo k přehřívání a vysoušení povrchu. Projektanti rekultivací vycházeli z koncepce výstavby příměstského parkového, sportovního a rekreačního areálu

zahrnující dostihový areál se stájovým komplexem, golfový areál s lesoparkem, zemědělské a lesní pozemky (Štýs, 1990).

4 Metodika

4.1 Lokalizace studijních ploch

Pro výzkum byla vybrána posttěžební krajina, která se vyznačuje nízkou úrodností a problémy s půdní retencí vody a následně vyšší mortalitou sazenic nebo produkcí píce či jiných plodin. Zvolen byl lom Vršany na Mostecko-chomutovsku v Severočeské hnědouhelné pánvi, který byl nabídnut jako studijní lokalita spolu s finančním darem na nákup biouhlu, laboratorní analýzy a další vydání. Poskytovatelem daru byla těžební (a rekultivační) společnost Vršanská uhelná, spadající do skupina Seven Energy.

Na studijní lokalitě hnědouhelného lomu Vršany byly za koordinace techniků Vršanské uhelné a.s. vybrány budoucí studijní plochy, které byly projektově připraveny k zahájení biologické rekultivace. Součástí této diplomové práce jsou dvě studijní plochy. Jejich vymezení prezentuje obr. č. 1 a 2.



Obrázek č. 1: Vymezení studijních ploch v terénu výsypky DJŠ (Vršanská uhelná, 2021).



Obrázek č. 2: Zákres studijních ploch ve vazbě na provedené rekultivace výsypek lomu Vršany/Šverma, ortofoto ze srpna 2021 (Vršanská uhelná, 2021).

Terénní úpravy byly provedeny již během roku 2019. Připraveny byly dvě půdní aditiva, jejichž efekt měl být posuzován: biouhel a kompoChar. Podmínkou experimentu bylo, aby veškeré práce byly prováděny na studijních plochách shodně jako na kontrolních studijních plochách, co se času a péče týče. Studijní plochy měly rozlohu cca 900 m² (cca 30x30 m).

Biouhel byl vyroben ze smrkové dřevní štěpky ve výrobě v Olešce v Jizerských horách a dopraven do lomu v bigbecích. Dva měsíce před výsadbou lesních školkových sazenic byly vykopány jamky na celém zalesňovaném svahu etapy DJŠ vnitřní výsypka 17. část – II. etapa, plocha 2 (tedy i na kontrolní ploše). Do jamek na studijní ploše byl vpraven biouhel v množství cca 0,2 l, který byl promíchán se zeminou na dně jamky a vystaven srážkám, aby do sebe pojal vodu. Koncem podzimu 2020 byla pak provedena výsadba sazenic jak na studijní, tak okolní kontrolní ploše (stejný sortiment – směs listnatých dřevin s převahou javorů, lípy, dubů, olše, a pomístně i borovice lesní). Sazenice vložená do jamky s biouhlem byla zasypána vykopaným jílovitým výsypkovým substrátem, přitlačena a mulčována. Po výsadbě lesních sazenic byl proveden také nátěr proti okusu zvěří, dále pak přihnojování, jarní okopávky, tak jak bylo navrženo v projektu, opět shodně na studijní a kontrolní ploše.

Na jaře 2021 byl pak na zemědělské rekultivaci situované v téže rekultivační etapě jako lesnická rekultivace, JZ směrem, avšak již na rovinatém území, rozprostřen kompoChar namísto běžného kompostu použitého ve stejném množství (20 t/ha) na kontrolní ploše. Vrstva kompoCharu byla promíšena s naveženou orníci. KompoChar vzniká přimísením biouhlu již do čerstvé biomasy určené ke kompostování. Zrychluje kompostovací proces, protože zachycuje kapalné fáze produkované z tlející biomasy a podporuje činnost mikroorganismů. Výsledný produkt má tedy lepší vlastnosti než směs hotového kompostu, do kterého se později přidá biouhel. Zemědělská plocha byla po třech týdnech (a srážkách) oseta jetelotravní směskou a následovaly další standardní agrotechnické zásahy, a to celoplošně bez ohledu na to, zda se jedná o studijní nebo kontrolní plochu.

Aplikace biouhlu byla náročná. Prozatím s velkoplošnou aplikací neměl u nás nikdo příliš doporučující zkušenost. Panovala obava, aby nebyl při roztrhnutí vaků jemný a ještě suchý materiál odvanut. Nakonec se ale vše zdárně vydařilo.



Obrázek č. 3: Dopravení biouhlu do lomu v bigbecích.



Obrázek č. 4: Aplikace aditiv na studijní plochu



Obrázek č. 5: Aplikace aditiv



Obrázek č. 6: Použitá agrotechnika



Obrázek č. 7: Použitá agrotechnika



Obrázek č. 8: Výsledek postupu aplikace aditiv na studijní plochu



Obrázek č. 9. Výsadba sazenic v rámci lesnické rekultivace za účasti štábu České televize.

4.2 Sběr dat a vzorků a jejich zpracování

Koncem léta byly odebrány vzorky zeminy a biomasy ze zemědělské rekultivace – obojí jako směsný reprezentovatelný vzorek. Vzorky byly převezeny v označených uzavíratelných sáčcích do laboratoře FŽP, kde byly vysušeny při teplotě 25 °C. Usušená zemina byla poté homogenizována, proseta sítem s okem o velikosti 2 mm a takto vstupovaly do chemických analýz.

Pro stanovení koncentrací prvků v zemině byly použity dvě metody:

1) Mehlich III,

Neboť z hlediska příjmu živin rostlinami není rozhodující celkový obsah jednotlivých živin v půdě, nýbrž obsah živin vyskytujících se v půdě v takových chemických formách, v nichž jsou pro rostliny přístupné, byla použita extrakce pomocí kyselého výluhu kyseliny octové a dusičné, tzv. Mehlich III. Jedná se o metodu, která byla vyvinuta v USA (Mehlich, 1984) a je používán v řadě zemí

celého světa. Extrakce půd metodou Mehlich 3 je pro svou jednoduchost vhodná pro rutinní používání v zemědělských laboratořích. Metoda Mehlich 3 má navíc potenciál být využita nejen pro obsah základních živin, ale je vhodná pro multielementární stanovení celé řady dalších prvků nacházejících se v půdách je oficiální analytickou metodou používanou v současné době v rámci systému agrochemického zkoušení zemědělských půd pro stanovení obsahu přístupných prvků. Koncentrace prvků se vyjadřuje v g/kg.

2) Totální rozklad pomocí Ague Regie (lučavka královská)

Totální rozklad byl proveden na základě reakce zeminy s lučavkou královskou, ve které dochází ke kompletnímu převedení pevné fáze do roztoku a skutečně se tak jedná o celkový obsah daného prvku ve vzorku (v mg/kg neboli ppm). Elementárnímu rozboru byla podrobena také biomasa rostoucí na zemědělské rekultivaci.

Co se týče lesnické rekultivace, nebyly záměrně vytrhávány žádné sazenice pro zjištění biomasy či přírůstků, jednak kvůli finančním možnostem, ale taktéž z důvodu ochrany sazenic. U lesnické rekultivace byla ale ke konci vegetační sezóny (ještě za olistění) zjištěna vitalita sazenic (přeživší vs. odumřelá).

Získaná data byla zpracována v programu MS Excel a taktéž Statistica ver 8.0. Signifikance rozdílů mezi studijními plochami a kontrolou byly zjišťovány na základě Kruskal-Wallisova neparametrického testu.

4.3 Charakteristika studijního území

4.3.1 Geomorfologické podmínky

Geomorfologie zemského povrchu je výsledek dlouhodobého působení podnebí, vrásnění, vulkanické činnosti, vodní eroze, větru, sedimentace a dnes také člověka na zemi. Horotvorné pochody na území Mostecka se začaly objevovat už v době karbonu a permu, kdy vznikal celý hercynský systém, dnes však už v Krušných horách pozměněn denudací a erozí. Tvarově bylo celé území výrazně ovlivněno alpským vrásněním během druhohorního až třetihorního období, kdy byly

hory opět vyzdviženy. Právě Krušné hory jsou geomorfologicky nejvýznamnější složkou krajiny Mostecka začínající na západě u Homole (702 m. n. m.) a končící na východě Flájským vrchem (790 m. n. m.) (Dykast, 1965).

Do pánevní části Mostecka klesají jižní svahy Krušných hor, které jsou na zlomech jednotlivých ker modelovány hlubokými údolími. Koncem třetihorního období bylo Mostecko ovlivňováno vulkanickou činností a dalo vzniknout mosteckému vrchu Hněvín (408 m. n. m.) Během třetihorního období také vznikaly ve velké mělké pánvi uhelné sloje a nadložní jílovité až písčité sedimenty, které byly během čtvrtohorních ledových dob překryty sprašovými návějemí. Na 30 m mocnou uhelnou sloj, která se nachází na Mostecku, bylo potřeba 250 m rašeliny, což trvalo nejméně 125 000 let. Mostecká pánevní oblast je z geomorfologického hlediska modelována povrchovými doly, jejichž hloubka dosahuje až 150 m pod původní úroveň terénu a výsypky ve výšce 60 až 100 m (Dykast, 1965).

4.3.2 Klima

Klimaticky lze rozdělit Mostecko na dvě oblasti: pánevní část a část Krušnohorská. Pánevní část Mostecka se více přibližuje ke kontinentálnímu klimatu. V důsledku srážkového stínu má kotlina nízké srážky, větší kolísání teplot a nižší oblačnost. Pro pánevní oblast Mostecka je také charakteristický vznik inverze, kdy dochází ukládání studeného vzduchu v nížině a nízko položené mraky zachycují sluneční záření. Průměrné roční teploty vzduchu se pohybují mezi 8 – 9 °C a průměrný roční úhrn srážek je 450 – 650 mm z čehož nejvíce srážek spadne v červenci (Beneš et al. 2004).

Oblast Krušnohorská se přibližuje ke klimatu oceánskému. Území se vyznačuje mírně chladným a vlhkým klimatem a kratším obdobím vegetačního klidu. V celém období za poslední 2 tisíce let je teplota v podstatě stabilizována na roční průměr 5°C. Průměrný roční úhrn srážek je 900 – 1000 mm a roční počet dnů se sněhovou pokrývkou je 120 – 160 (Beneš et al. 2004).

4.3.3 Hydrologie

Historickou dominantou Mostecka bylo Komořanské jezero, které mělo pravděpodobně před 700 lety rozlohu 5 600 ha, ale zanášením splavenin z Krušných hor, vybudováním kanálů pro odvodnění a rozvojem hnědouhelného dobývání vymizelo (Dykast, 1965). Povrchovou těžbou hnědého uhlí došlo k regulaci a úpravě řeky Bíliny a byla vybudována soustava vodních nádrží sloužící k ochraně dolů před povodněmi a k vodárenským účelům. Od 70. letech byl budován přivaděč z řeky Ohře, který slouží jako zdroj vody Mosteckému jezeru a jezeru Matylda. V důsledku báňské činnosti v rámci rekultivace vznikly další vodní plochy zatopením zbytkových jam, tj. vodní nádrž Benedikt, Matylda, Mostecké jezero (Beneš et al. 2004).

V důsledku výskytu hnědouhelných ložisek se na území Mostecka rozvinul uhelný a chemický průmysl, který má negativní dopad na hydrologický režim, a ne jenom zánikem nebo změnou vodních toků a nádrží, ale také na chemické složení. Vody ovlivněné uhelným průmyslem se vyznačují zvýšenou kyselostí, vysokou koncentrací rozpuštěných látek, železa a manganu. V současné době je kvalita vody kontrolována odebráním vzorků a hlídána pracovníky Povodí Ohře a hygienickými stanicemi (Beneš et al. 2004).

4.3.4 Pedologie

V jižní části regionu tzv. zemědělské se vyskytují úrodné černozemě na sprašových horninách. V pánevní oblasti převažují hnědé půdy vyznačující se značnou devastací jako důsledek těžby. Po těžbě hlubinné vznikly poklesy terénu, u kterých dochází k degradaci půdy podmáčením a zabahněním. Při těžbě povrchové se původní humózní vrstva oddělí a následně se využije při zemědělské či lesnické rekultivaci. Krušnohorská oblast se vyznačuje hnědými podzolovými půdami s vysokým obsahem organických látek a nízkým pH, které bylo umocněno dlouhodobým působením kyselých složek průmyslových a dopravních exhalací. Zpravidla podzolové půdy bývají silně zamokřené a dochází k vyplavování živin z humusového horizontu (Dykast, 1965).

4.3.5 Flóra a fauna

Flóra mostecké krajiny je směrem od nížin až k horním částem Krušných hor pestrá. Vegetace údolních niv je zastoupena olšiny, vrbo-topolovými luhy s výskytem mokřadní vegetace, tj. blatouch bahenní (*Caltha palustris*), svízel bahenní (*Galium palustre*) či kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*). Vyšší plochy pánevní oblasti zaujímá pásma bukovo-dubové s doplňky javorů, lípy, jilmu a jasanů. Je doprovázeno druhy jako svízel vonný (*Galium odoratum*), papratka samičí (*Athyrium filix-femina*) nebo šťavel kyselý (*Oxalis acetosella*) (Beneš et al. 2004).

Fauna na území Mostecka je velice rozmanitá. Velmi četná skupina zástupců půdní fauny suchozemských a vodních bezobratlých. Výzkum České Zemědělské univerzity ukázal, že v podkrušnohorské oblasti je srovnatelné množství bezobratlých jako v biosférické rezervaci Pálava (Beneš et al. 2004). Na zrekultivovaných plochách tak vznikají ekologicky velmi produktivních plochy, mokřiny a rozsáhlé lesní komplexy, které rozšiřují území s vhodnými podmínkami pro osídlování velkého množství živočišných druhů např. orel mořský (*Haliaeetus albicilla*), jestřáb lesní (*Accipiter gentilis*), potápka rudokrká (*Podiceps grisegena*), rzohlávka rudozubá (*Netta rufina*) či husa velká (*Anser anser*). Značná část druhů vyskytující se na Mostecku je v naší republice silně až kriticky ohrožena (ornitoklub-most.cz, 2019).

5 Výsledky

5.1 Vizuální hodnocení

U lesnické rekultivace nebyl jednoznačně zřetelný rozdíl mezi ošetřenou a kontrolní studijní plochou, neboť sazenice dosahují prozatím nízkého vzrůstu a objemu zelené koruny, a navíc se na ploše rozšířily převážně jednoletky (ruderální společenstva), ve kterých se sazenic dřevin ztratily.

Jednoznačně viditelný byl ale efekt kompoCharu na zemědělské rekultivaci. Studijní plocha vykazovala větší hustotu porostu/pokryvnost než okolní kontrolní plocha. Ale také vzrůst, sytost, jak to dokládají následující fotografie. Na snímcích lze vidět ostrou hranici studijní plochy (tmavší – sytější zelená). Detailní fotografie

zachycuje také hustší porost na studijní ploše (fotografie vpravo dole) ve srovnání s neošetřenou plochou, kde již biomasa usychá. Lze tak usuzovat na nižší vlhkost v půdě.



Obrázek č. 10: Dokumentace stavu travního porostu v prvním roce osevního systému. Vpravo nahoře zřetelná hranice mezi studijní (tmavě zelená – vpravo) a kontrolní lokalitou.

5.2 Chemická analýza

1) Mehlich III.

V chemismu si byly studijní plochy s plochami kontrolními velmi podobné v koncentracích většiny prvků. Jak je viditelné v tabulce č. 1 některé prvky jako As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Se, Ti, Tl a V nebyly detokovány ani na studijní ploše, ani na kontrolní (viz příloha č. 1).

Zajímavá je ale vyšší koncentrace uvolňovaného hliníku na kontrolní ploše (o 32,5 % v porovnání s obohacenu půdou), který se obvykle vyluhuje v kyselějších výsypkových zeminách, kdežto biouhel ho pravděpodobně dokázal zadržet. U prvků B, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S a Zn byly potvrzeny vyšší koncentrace na studijní

ploše s kompoCharem ve srovnání s kontrolní plochou. Jedná se většinou o důležité prvky pro rostliny, které byly nejspíše v kompostu díky biouhlu uchovány během kompostování. Při klasickém postupu kompostování bez přidání biouhlu tyto prvky často odtečou. Draslík byl o 191,4 % vyšší na kontrolní ploše. Zvýšení bylo zaznamenáno také u vápníku a to o 17,5 %.

<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	0,80	1,06
B	0,05	0,04
Ba	0,05	0,05
Ca	4,57	3,89
Fe	0,44	0,28
K	1,02	0,35
Mg	0,77	0,56
Mn	0,21	0,18
Na	0,13	0,08
P	0,19	0,09
Pb	0,01	0,01
S	0,06	0,02
Sr	0,03	0,03
Zn	0,02	0,01

Tabulka č. 1: Koncentrace prvků (Mehlich III, g/kg)

2) Totální rozklad (lučavka královská)

U chemického rozboru za použití lučavky královské jsme měli dva typy vzorků – biomasa a zemina. Z tabulky č. 2 je patrné, že největší rozdíl mezi ošetřenou a kontrolní plochou je u prvku K, kde došlo ke zvýšení tohoto prvku o 12,92 g/kg (o 65,3 %) na ploše s biocharem v porovnání s kontrolní plochou. Naopak mírný pokles byl zaznamenán u prvků Al, Ca, a Fe. Koncentrace hliníku se snížila o 17,5 %. Další navýšení množství při použití biocharu došlo u prvků Mg, Na a S. U síry došlo ke stejnému navýšení jako u draslíku a to o 65,3 %. Stejně hodnoty nebo jen minimálně odlišné hodnoty byly naměřeny u prvků P, B, As, Mn a Ba. Prvky Se, Pb,

Mo, Cu Co, Cd, Be, Ti, Tl, a V nebyly detekovány ani na ošetřené ani kontrolní ploše (viz příloha č. 2).

ROZBOR BIOMASY		
<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	0,52	2,19
As	0	0,01
B	0,01	0,01
Ba	0,01	0,03
Ca	5,66	6,45
Cr	0	0,02
Fe	0,30	1,61
K	32,72	19,80
Li	0,01	0
Mg	2,40	2,21
Mn	0,15	0,12
Na	0,99	0,52
Ni	0,01	0,01
P	1,64	1,69
Pb	0,00	0,00
S	3,52	2,54
Sr	0,02	0,03
Zn	0,06	0,05

Tabulka č. 2: Koncentrace prvků rozboru biomasy (Totální rozklad, g/kg)

Tabulka číslo 3. znázorňuje množství prvků v rozboru zeminy z plochy s biocharem a kontrolní plochy. Největší rozdíl byl zaznamenán u prvku Fe, kde se množství tohoto prvku na ploše s biocharem v porovnání s kontrolní plochou snížilo o 20,73 g/kg, resp. navýšilo na kontrolní ploše o 126, 1 %. Další větší pokles na ošetřené ploše byl zaznamenán u prvků Al, Cu, Mg a K. K navýšení koncentrace o 117,4 % na kontrolní ploše došlo u titanu. K menšímu poklesu došlo u prvků B, Ba, Na a Mn. Žádný nebo minimální rozdíl byl naměřen u prvků As, Co, Cr, Cu, Li, Pb,

S, Sr, Tl, V, Zn a Ni. Prvky Be, Se, Cd a Mo nebyly detekovány ani na ploše s biocharem ani na kontrolní ploše (viz příloha č. 3).

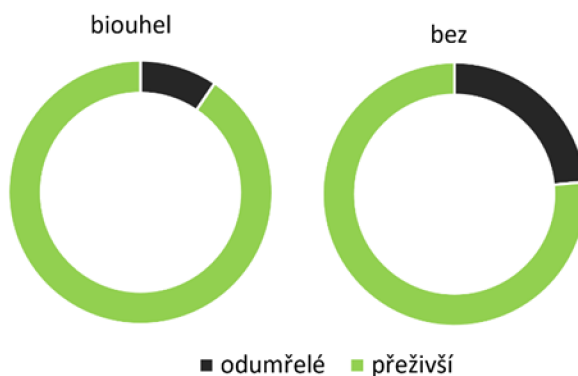
ROZBOR ZEMINY		
<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	7,18	10,01
As	0,04	0,03
B	0,04	0,03
Ba	0,19	0,29
Ca	4,48	3,68
Co	0	0,02
Cr	0,03	0,10
Cu	0	0,03
Fe	16,44	37,17
K	12,83	14,96
Li	0,03	0,03
Mg	0,16	0,99
Mn	0,68	0,84
Na	7,44	7,29
Ni	0,04	0,04
P	0,83	0,97
Pb	0,03	0,04
S	0,43	0,43
Sr	0,03	0,06
Ti	2,59	3,63
V	0,08	0,13
Zn	0,11	0,1

Tabulka č. 3: Koncentrace prvků rozboru zeminy (Totální rozklad, g/kg)

5.3 Vitalita lesních sazenic

Kontrola ujímavosti vysazených sazenic byla provedena 10 měsíců po výsadbě po první vegetační sezóně, zejména tedy létu, kdy sazenice obvykle trpí přisušky nebo dochází k největším ztrátám z důvodu sucha, které má použitý biouhel zmírňovat. Sčítání bylo prováděno při pochůzce ve směru řádků. Sazenice byly vysázeny v pravidelném sponu, takže bylo jednoduché dopočítat všechny sazenice. Sazenice očividně zničené okusem byly z experimentu vyřazeny. Počítáno tedy bylo pouze s přítomnými a nezničenými sazenicemi a dle olistění bylo zaznamenáno, zda se jedná o sazenici vitální či odumřelou. Do experimentu bylo zařazeno 200 sazenic v podobně svažitém a vůči světovým stranám orientovaném území.

V části s biouhlem odumřelo 19 sazenic z 200, kdežto v kontrolní neošetřené ploše 47. Tento rozdíl je vysoce signifikantní (Chi-Square = 11,87879 df = 1 p = 0,000568), tudíž tato studie potvrzuje příznivý efekt biouhlu na vitalitu rostlin. Na ploše bez použití biouhlu bylo téměř $2,5 \times$ vyšší mortalita sazenic.



Obrázek č. 11: Vitalita vysazených sazenic na ploše s biouhlem a bez biouhlu

6 Diskuse

Z vizuálního hlediska byla značná viditelnost použití biocharu u zemědělské rekultivace oproti rekultivaci lesnické, kde sazenice dosahují prozatím nízkého vzrůstu, a na ploše se rozšířily převážně ruderalní společenstva, ve kterých se sazenice dřevin ztratily. Tesař (2021) uvádí, že negativní vliv na pokryvnost bylinného patra, ve kterém se nacházejí ruderalní druhy, má rekultivační výsadba monokultur s homogenním vertikálním a horizontálním zápojem. Ovšem pro náš experiment byla zvolena směs listnatých a jehličnatých stromů. Také dále Tesař (2021) uvádí, že vliv druhové skladby porostu na bylinné patro není nejvýznamnější a největší vliv mají stanovištní podmínky týkající se stupně ovlivnění vodou. Co se týče viditelnosti použití biouhlu na rekultivovaných plochách, pozitivní výsledek také zaznamenal Řezníček (2020), který se zabýval růstovou charakteristikou zemědělských plodin po aplikaci biouhlu do půdy. Výsledek byl pozitivní i u nárůstu biomasy klasů.

Dále byla naměřena vyšší koncentrace uvolňovaného hliníku na kontrolní ploše, který se obvykle vyluhuje při okyselení půdního prostředí na určitou hranici (Brtnický, 2012). Kdežto na plochách, kde byl aplikován kompoChar, byla tato koncentrace nižší, takže pravděpodobně došlo k zadržení tohoto prvku. Fellet et al. (2011) uvádí, že přidáním biocharu do půdy může dojít ke zmírňování kyselosti půdy, zvýšení pH a snížení kontaminace těžkými kovy.

Obsah dostupného draslíku v zemědělských půdách v Ústeckém kraji podle Smetanové a Sušila (2018) je v průměru 0,43 g/kg. Čemuž odpovídají kontrolní plochy a plochy s biocharem vykazují vyšší hodnotu 1,02 g/kg. Z rozboru biomasy vyplývá, že byly zaznamenány vyšší koncentrace draslíku na plochách obohacených o biouhel. Zároveň z rozboru zeminy vyplývají vyšší koncentrace draslíku na kontrolních plochách. To může být zapříčiněno hustším porostem na plochách s příměsí kompoCharu než na kontrolních plochách, kde biomasa usychá. Nedostatek draslíku u rostlin se projevuje skvrnami na listech a následným usycháním rostliny. Naopak povrch biouhlu nese negativní náboj, a tudíž je schopen vázat kladně nabité ionty, jako je právě draslík (Munera-Echeverri et al., 2018).

Obsah dostupného vápníku v zemědělských půdách v Ústeckém kraji podle Smetanové a Sušila (2018) je 5,50 g/kg. Z výsledků vyplývá, že jeho hodnota na ošetřených plochách je nižší (4,57 g/kg), ovšem v porovnání s kontrolní plochou je tato hodnota vyšší.

Smatanová et Sušil (2018) však uvádějí, že síra se v půdách vyskytuje převážně v síranové vazbě (SO_4^{2-}) a je ovlivněna typem a druhem půdy a průběhem klimatických podmínek (hlavně srážek) v průběhu roku. Z tohoto důvodu je třeba si uvědomit, že naměřená hodnota poskytuje aktuální informaci, jenž se může v čase poměrně rychle měnit

Obsah dostupného železa v zemědělských půdách podle Smetanové a Sušila (2018) je v průměru 0,33 g/kg. Kontrolní plocha opět vykazuje obdobnou hodnotu a plocha s příměsí biocharu hodnotu vyšší (0,44 g/kg). Železo má v chemismu půdy důležitou roli a svými vlastnostmi ovlivňuje rozpustnost a přijatelnost živin (Smetanová et Sušil, 2018).

Jelínek (2015), uvádí že hlavní příčinou zhoršení ujímavosti sazenic po zalesnění je extrémní sucho. Dle Pfeffera et al. (1961) jsou mladí jedinci náchylnější na vliv sucha, a proto tyto dřeviny odumírají ve stádiích kultur a náletů. Z našich výsledků vyplývá, že mortalita sazenic bez přidání biouhlu je 2,5krát vyšší než u sazenic s biocharem. To může být zapříčiněno schopností biouhlu zadržovat vodu v půdě a navýšit tak retenční kapacitu půdy jako uvádí Uzoma et al. (2011).

7 Závěr

Hlavním cílem práce bylo posoudit efekt půdních aditiv na studijní ploše lomu Vršany. V rámci lesnické rekultivace byl biouhel přidáván při výsadbě přímo do jamek a byla sledována ujímavost sazenic. V rámci zemědělské rekultivace byl aplikován do půdy kompoChar a byla provedena analýza půdy a biomasy na ošetřené a kontrolní ploše. Dále měla být měřena vlhkost, ale z důvodu velkého sucha nebo dešťů se nepodařilo do půdy zavést sondu. Výsledek aplikace biouhlu byl viditelný na zemědělské rekultivaci, kde plocha vykazovala větší hustotu porostu. Vyšší byla také ujímavost sazenic s biouhlem v porovnání s kontrolní plochou. Mortalita sazenic na kontrolní ploše byla 2,5krát vyšší. Z chemického hlediska byly na studijní ploše s příměsí kompoCharu vyšší koncentrace prvků, které jsou důležité pro růst rostlin. Zároveň po aplikaci biouhlu došlo ke snížení koncentrace hliníku. Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že biouhel je efektivní půdní aditivum, které může přinést pozitivní efekt v lokalitách trpících suchem a nedostatkem živin a v budoucnu může být hojně využíván na takto postižených plochách.

8 Zdroje

- AHMAD, Mahtab, RAJAPAKSHA, Anushka Upamali, LIM, Jung Eun, et al. *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review*. *Chemosphere* [online]. 2014, 99, 19-33 [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.10.071. ISSN 00456535. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653513015051>
- BENEŠ, Edvard D. et al. *Mostecko: regionální vlastivěda*. Vyd. 1. Most: Hněvín, 2004. 142 s. ISBN 80-86654-10-9.
- BŘENDOVÁ, Kateřina, TLUSTOŠ, Pavel, SZÁKOVÁ, Jiřina, BOHUNĚK, Martin. *Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností*. *Biom.cz* [online]. 2015-02-02 [cit. 1.12.2021]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-kuprave-pudnich-vlastnosti>>. ISSN: 1801-2655
- BRICK, S. *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide Policy*. *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy* [online]. 2010, č. 1 [cit. 1.12.2021]. Dostupné z: http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf.
- BRTNICKÝ, Martin. *Degradace půdy v České republice*. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2012, 91 s. ISBN 978-80-87361-20-7.
- BRUUN, Esben. *Application of fast pyrolysis biochar to a loamy SOIL*. 2011, 114 p. ISBN 978-87-550-3910-0.
- CORBIN, Jeffrey D. a D'ANTONIO, Carla. *Can Carbon Addition Increase Competitiveness of Native Grasses? A Case Study from California*. *Restoration Ecology* [online]. 2004, 12(1), 36-43 [cit. cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1111/j.1061-2971.2004.00299.x. ISSN 1061-2971. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1061-2971.2004.00299.x>.
- DIPITA, Ghosh, SUBODH K. Maiti. *Can biochar reclaim coal mine spoil?*. *Journal of Environmental Management*. 2020. [cit. 10.02.2022]. ISSN 0301-4797. Dostupné z.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720310240>.

- DYKAST, Jaroslav, ed. *Mostecko-Litvínovsko: regionální studie. III*, Oddíl přírodních věd. V Mostě: Okresní archiv, 1965. 115 s.
- FELLET, G., MARCHIOL, L., DELLE VEDOVE, G., PERESSOTTI, A. *Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation*. Chemosphere. 2011. [cit. 10.02.2022]. ISSN 0045-6535. Dostupné z.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511003481>.
- FOJTÍKOVÁ, Anna. *Využití biocharu ve vztahu k ochraně životního prostředí*. Diplomová práce. Ostrava, 2017. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
- GARCIA-PEREZ, Manuel. *The Formation of Polyaromatic Hydrocarbons and Dioxins During Pyrolysis: A Review of the Literature with Descriptions of Biomass Composition, Fast Pyrolysis Technologies and Thermochemical Reactions* [online]. Washington State University. 2008, 63 s. [cit. 1.12.2021]. Dostupné z: <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/5966>.
- GEMBALOVÁ, Lucie, KLOUDA, Karel, ROUPCOVÁ, Petra, RUSÍN, Jiří, PRYSZCZ, Adrian, WEISHEITLOVÁ, Markéta. *Biochar-ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí*. In: Sborník příspěvků z mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva – zdravotní záchranářství 2016. Ostava: SPBI, 2016, s. 24-31. ISBN 978-80-73-85-171-2
- HENDRYCHOVÁ, Markéta, KABRNA, Martin. *Aplikace rekultivačního výzkumu do praxe – možnost uplatnění spontánní sukcese*, 2008. Zpravodaj Hnědé uhlí 4/2008.
- CHEN, Baoliang a YUAN, Miaoxin. *Enhanced sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil amended with biochar*. Journal of Soils and Sediments [online]. 2011, 11(1), 62-71 [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1007/s11368-010-0266-7. ISSN 1439-0108. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11368-010-0266-7>
- CHINTALA, Rajesh, SCHUMACHER, Thomas E., MCDONALD Louis M. et al. *Phosphorus Sorption and Availability from Biochars and Soil/Biochar Mixtures*. CLEAN - Soil, Air, Water. 2014, 42(5), 626-634. DOI: 10.1002/clen.201300089. ISSN 18630650.

- JELÍNEK, P. *Dopady letošního počasí na firmy lesnicko-dřevařského sektoru*. 2015. Lesnická práce. 94 (12). 6-7 s., ISSN 0322-9254
- JIEN, Shih-Hao a WANG, Chien-Sheng. *Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil*. CATENA[online]. 2013, 110, 225-233 [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1016/j.catena.2013.06.021. ISSN 03418162. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816213001604>
- JOSEPH, S. D., CAMPS-ARBESTAIN, M., LIN, Y. et al. *An investigation into the reactions of biochar in soil*. Australian Journal of Soil Research [online]. 2010, 48(7), 501- [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1071/SR10009. ISSN 0004-9573. Dostupné z: <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR10009>
- KLUSÁK, Vojtěch, HOLLAN, Jan. *Biouhel, alespoň stéblo naděje*. Veronica: Časopis pro ochranu přírody a krajiny [online]. 2009, (5), 1-8 [cit. 1.12.2021]. Dostupné z: http://amper.ped.muni.cz/gw/uhel/biouhel_8stran.pdf
- KUPRYIANCHYK, Darya, E. HALE, Sarah, BREEDVELD, Gijis D. a CORNELISSEN, Gerard. *Treatment of sites contaminated with perfluorinated compounds using biochar amendment*. Chemosphere [online]. 2016, 142, 35-40 [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.085. ISSN 00456535. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653515004312>
- KUROLA, J. M., et al., *Bioresource Technol.*, 2011, 102 (8), pp. 5214-5220.
- LEHMANN, J. a kol. *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. London Earthscan, 2009, s.449, ISBN 978-1-84407-658-1.
- LEHMAN, Johannes, RILLIG, Matthias, THIES, Janice, MASIELLO, Caroline A., HOCKADAY, William C. a CROWLEY, David. *Biochar effects on soil biota – A review*. Soil biology and biochemistry [online]. 2011, 43, 1812-1836. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.

- MAJOR, J., RONDON, M., MOLINA, D., RIHA, S.J., LEHMANN, J. *Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol*. 2010. *Plant Soil* 333, 117–128. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0>.
- MUNERA-ECHEVERRI, Jose L., et al. *Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification*. *Science of the total environment*, 2018, 642: 190-197.
- NARTEY, Obemah D. a ZHAO, Baowei. *Biochar Preparation, Characterization, and Adsorptive Capacity and Its Effect on Bioavailability of Contaminants: An Overview*. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014, 2014, 1-12. DOI: 10.1155/2014/715398. ISSN 1687-8434.
- OLIVEIRA, Fernanda R., K. PATEL, Anil, P. JAISI, Deb, ADHIKARI Sushil, LU, Hui a KHANAL, Samir Kumar. *Environmental application of biochar: Current status and perspectives*. *Bioresource technology* [online]. 2017, 246, 110-122. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.122>
- PFEFFER, A. *Ochrana lesů*. 1961. Vysokošk. učebnice pro les. fakulty., Praha: SZN, 838 s. ISSN 0322-9254.
- PJUROVÁ, Barbora. *Ekotoxicita přírodních nanomateriálů*. Ostrava, 2014. Teze dizertační práce. Vedoucí práce Helena Raclavská
- RIVERA-UTRILLA, J, I BAUTISTA-TOLEDO, MA FERRO-GARCÍA a C MORENO, CASTILLA. *Activated carbon surface modifications by adsorption of bacteria and their effect on aqueous lead adsorption*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* [online]. 2001, 76(12), 1209-1215 [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1002/jctb.506. ISSN 02682575. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jctb.506>
- ŘEHOUNEK, Jiří, ed. et al. *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. Druhé, přepracované a doplněné vydání. České Budějovice: Calla, [2015], ©2015. 212 stran. ISBN 978-80-87267-13-4.

- ŘEZNÍČEK, David. *Vliv aplikovaného biouhlu na biologickou aktivitu půdy a růst vybrané zemědělské plodiny*. Brno, 2020. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta.
- SCHMIDT, Hans-Peter. *55 způsobů využití biocharu*. Ithaka-Journal: Weinbau Ökologie Klimafarming [online]. 2012, 99-102 [cit. 1.12.2021]. ISSN 1663-0521.
- SCHMIDT, Hans Peter a WILSON, Kelpie. *The 55 uses of biochar*. The biochar journal. Švýcarsko, 2014. ISSN 2297-1114.
- SMATANOVÁ M., SUŠIL A., *Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2012–2017*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno, 2018. 38 s., ISBN 978-80-7401-162-7.
- SOHI, Saran P., KRULL, Evelyn, LOPEZ-CAPEL, Elisa and BOL, Roland. *A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil*. Advances in Agronomy, 2010.
- SOLAIMAN, Zakaria M., BLACKWELL, Paul, ABBOTT, Lynette a STORER, Paul. *Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat*. Australian Journal of Soil Research [online]. 2010, 48(7), 546- [cit. 1.12.2021]. DOI: 10.1071/SR10002. ISSN 0004-9573. Dostupné z: <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR10002>
- ŠTÝS, Stanislav. *Rekultivace území devastovaných těžbou nerostů*. Informační publikace č.3/1990. Praha, 192 s.
- ŠTÝS, Stanislav. *Rekultivace*. Most: Mostecká uhelná společnost, 1997. 63 s.
- ŠTÝS, Stanislav. *Severočeské doly, akciová společnost Chomutov a prostředí pro život*. Praha: Bílý slon, 1997. 47 s. ISBN 80-902063-7-9.
- ŠTÝS, Stanislav. *Proměny Mostecka*. Most: Statutární město Most, 2013. 67 s. ISBN 978-80-260-5411-5.
- ŠTÝS, Stanislav, BÍZKOVÁ, Rút a RITSCHELOVÁ, Iva. *Proměny Severozápadu*. Praha: Český statistický úřad, 2014. 181 s. ISBN 978-80-250-2556-7.

- TESAŘ, Miroslav. *Sukcesní vývoj porostů dřevinné vegetace na bývalém ložisku rašeliny Příbraz (okres Jindřichův Hradec)*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Lesnická a dřevařská fakulta
- VRÁBLÍKOVÁ, Jaroslava, SEJÁK, Josef, VRÁBLÍK, Petr, *Metodika revitalizace krajiny v postižených regionech Podkrušnohoří*. Ústí nad Labem, 2010. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Fakulta životního prostředí. 76 s., ISBN 978-80-7414-195-9
- WARNOCK, Daniel D., LEHMANN, Johannes, KUYPER, Thomas W. a RILLIG, Matthias C. *Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms*. Plant and Soil. 2007, 300(1-2), 9-20. DOI: 10.1007/s11104-007-9391-5. ISSN 0032-079.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Copyright © [cit. 1.12.2021]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20536250/17023214.pdf/7545a15a-8565-458b-b4e3-e8bf43255b12?version=1.1>
- Initiative, International Biochar. International Biochar Initiative. [cit. 1.12.2021] 2016. Dostupné z: <https://biochar-international.org/>
- Ornitoklub-most. Ornitoklub-most [online]. [cit. 1.12.2021] Dostupné z: <https://ornitoklub-most.webnode.cz/>
- Rekultivace | Seven. Severní energetická a.s. [online]. Copyright © 2018 [cit. cit. 1.12.2021]. Dostupné z: <http://www.7.cz/cz/uhli/rekultivace.html>
- Technologie karbotech. BIOUHEL.cz [online]. Zlín [cit. 1.12.2021]. Dostupné z: http://biouhel.cz/?page_id=238

9 Přílohy

<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	0,80	1,06
As	0	0
B	0,05	0,04
Ba	0,05	0,05
Be	0	0
Ca	4,57	3,89
Cd	0	0
Co	0	0
Cr	0	0
Cu	0	0
Fe	0,44	0,28
K	1,02	0,35
Li	0	0
Mg	0,77	0,56
Mn	0,21	0,18
Mo	0	0
Na	0,13	0,08
Ni	0	0
P	0,19	0,09
Pb	0,01	0,01
S	0,06	0,02
Se	0	0
Sr	0,03	0,03
Ti	0	0,00
Tl	0	0
V	0	0
Zn	0,02	0,01

Příloha č. 1: Kompletní tabulka koncentrací prvků (Mehlich III, g/kg)

ROZBOR BIOMASY		
<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	0,52	2,19
As	0	0,01
B	0,01	0,01
Ba	0,01	0,03
Be	0	0
Ca	5,66	6,45
Cd	0	0
Co	0	0
Cr	0	0,02
Cu	0	0
Fe	0,30	1,61
K	32,72	19,80
Li	0,01	0
Mg	2,40	2,21
Mn	0,15	0,12
Mo	0	0
Na	0,99	0,52
Ni	0,01	0,01
P	1,64	1,69
Pb	0,00	0,00
S	3,52	2,54
Se	0	0
Sr	0,02	0,03
Ti	0	0
Tl	0	0
V	0	0
Zn	0,06	0,05

Příloha č. 2: Kompletní tabulka rozboru biomasy (Totální rozklad, g/kg)

ROZBOR ZEMINY		
<i>Živiny (g/kg)</i>	Orná půda + biochar	Kontrolní plocha
Al	7,18	10,01
As	0,04	0,03
B	0,04	0,03
Ba	0,19	0,29
Be	0	0
Ca	4,48	3,68
Cd	0	0
Co	0	0,02
Cr	0,03	0,10
Cu	0	0,03
Fe	16,44	37,17
K	12,83	14,96
Li	0,03	0,03
Mg	0,16	0,99
Mn	0,68	0,84
Mo	0	0
Na	7,44	7,29
Ni	0,04	0,04
P	0,83	0,97
Pb	0,03	0,04
S	0,43	0,43
Se	0	0
Sr	0,03	0,06
Ti	2,59	3,63
Tl	0,01	0
V	0,08	0,13
Zn	0,11	0,1

Příloha č. 3: Kompletní tabulka rozboru zeminy (Totální rozklad, g/kg)



Příloha č. 4: Připravené sazenice listnatých stromů.



Příloha č. 5: Aplikace biouhlu do jamek v rámci lesnické rekultivace.



Příloha č. 7: Zasazení sazenice do jamky s biouhlem.