národní
úložiště
šedé
literatury

Možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů pro čištění vod a vzduchu

Usťak, Sergej; Muňoz, Jakub; Usťaková, Marie

2015

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-316562

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 24.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Sergej Usťak, Jakub Muňoz, Marie Usťaková

Možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů pro čištění vod a vzduchu

METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav
rostlinné výroby, v.v.i.

2015

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR a je jedním z výstupů řešení projektu TA02021481.

Metodika je určena zemědělcům, zemědělským poradcům, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic, původcům a zpracovatelům bioodpadů, odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací a dalším zájemcům o dotčenou problematiku.

V rámci schválení metodiky byla uzavřena smlouva o využití výsledků v praxi se spolkem CZ BIOM - České sdružení pro biomasu (www.biom.cz).

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství České republiky,

odborem rostlinných komodit pod č. j. 67661/2015-MZE-17221.

Oponenti: 1) za státní správu: Ing. Michaela Budňáková (MZe ČR)

2) za odbornou veřejnost: Ing. Petr Hutla, CSc., VÚZT Praha

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2015

ISBN 978-80-7427-171-7

Sergej Usťak, Jakub Muňoz, Marie Usťaková

Možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů pro čištění vod a vzduchu

METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2015

Možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů pro čištění vod a vzduchu

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic, původcům a zpracovatelům bioodpadů, odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů, zejména hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, pro čištění vod a vzduchu. V úvodu metodika poskytuje základní přehled literárních informací ohledně uhlí podobných hmot, způsobech jejich přípravy, zejména způsobu hydrotermální karbonizace, základních vlastností, možností a perspektiv aplikace v praxi. Dále metodika popisuje vlastní výsledky získané v průběhu řešení výzkumného projektu využitelné v praxi a poskytuje jejich agrochemické, ekologické a ekonomické hodnocení v případě aplikace na půdu. Na závěr uvádí přehled potenciálu uplatnění a hlavních možností využití nových přípravků na bázi hydrotermálně upravených zbytků jako základní složky náplně biofiltrů pro čištění vod a vzduchu.

Klíčová slova: hydrotermálně upravené bioodpady; biouhel; hydrouhel; zbytky po anaerobní fermentaci; digestát BPS; kaly ČOV; biofiltry; čištění vody; čištění vzduchu

The possibilities to use hydrothermally treated biowaste for air and water cleaning

The aim of the methodology is to provide to farmers, agricultural consultants, biogas plants owners and operators, originators and processors of biowaste, experts in the field of reclamation and recultivation, investors and other interested parties on issues concerned with the basic information on the use of hydrothermally treated biowaste, especially hydrothermally treated residues from anaerobic fermentation for water and air cleaning. In the introduction, the methodology provides a basic overview on literature regarding to coal similar materials, methods for their preparation, especially the way of hydrothermal carbonization, its basic characteristics and its possibilities and perspectives of application in practice. Furthermore, the methodology describes the actual results obtained during the research project usable in practice and provides their agrochemical, environmental and economic evaluation in the case of application at soils. At the end summarizes the main potential applications and uses of new products based on hydrothermally modified residues as essential components of the filter medium for water and air cleaning.

Keywords: hydrothermally treated biowastes; residues from anaerobic fermentation; BGP digestate; sewage treatment plants; biofilters; water cleaning; air cleaning.

O B S A H

I. CÍL METODIKY 4

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY A VÝSLEDKY VYUŽITELNÉ ZEMĚDĚLSKOU PRAXÍ 4

1. Úvod..... 4

2. Základní popis testovaných přípravků na bázi uhlí podobné hmoty a výsledky jejich zkušebního ověření 8

2.1. Přípravky pro čištění odpadních vod a vzduchu na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů 8

2.1.1. Současný stav a zdůvodnění řešení 8

2.1.2. Základní popis testovaných přípravků pro čištění vody a vzduchu .. 10

2.1.3. Příklady pokusného ověření filtračních přípravků na vodu 11

Pokus 1 – jednosložkový přípravek pro čištění vody 12

Pokus 2 – vícesložkový přípravek s inertními složkami pro čištění vody 13

Pokus 3 – vícesložkový přípravek s dalšími složkami pro čištění vody 13

2.1.4. Příklady pokusného ověření filtrační náplně na vzduch 13

Pokus 1 – jednosložkový filtrační přípravek na vzduch 13

Pokus 2 – vícesložkový filtrační přípravek na vzduch 14

2.1.5. Závěrečné hodnocení kapitoly. 14

3. Podmínky aplikace přípravků na běžné a antropogenní půdy 15

4. Souhrnná doporučení pro uživatele z praxe 20

III. Ekonomické aspekty a další přínosy pro uživatele 22

IV. Potenciál využití přípravků a možnosti uplatnění metodiky 23

V. Srovnání novosti postupů 23

VI. Popis uplatnění metodiky 24

VII. Seznam použité související literatury 24

VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice 25

I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic, původcům a zpracovatelům bioodpadů, odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů, zejména hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, pro čištění vod a vzduchu. Doposud v České republice (ČR) podobná metodika zpracována nebyla. V úvodu metodika poskytuje základní přehled literárních informací ohledně uhlí podobných hmot, způsobech jejich přípravy, zejména způsobu hydrotermální karbonizace, základních vlastností, možností a perspektiv aplikace v praxi. Dále metodika popisuje vlastní výsledky získané v průběhu řešení výzkumného projektu využitelné v praxi a poskytuje jejich agrochemické, ekologické a ekonomické hodnocení. Na závěr uvádí přehled potenciálu uplatnění a hlavních možností využití nových přípravků na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů jako základní složky náplně biofiltrů pro čištění vod a vzduchu.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY A VÝSLEDKY VYUŽITELNÉ ZEMĚDĚLSKOU PRAXÍ

1. Úvod.

Stoupající míra industrializace a urbanizace lidstva vede k postupně neudržitelnému vnášení plynných, kapalných, pevných i radioaktivních cizorodých látek do životního prostředí. Jednu z nejvážnějších hrozeb pro životní prostředí představuje antropogenní znečištění ovzduší a vod cizorodými látkami, které pochází z nejrůznějších odvětví průmyslu, technologických procesů, dobývaní nerostného bohatství i zemědělství. Nejvýznamnějšími oblastmi produkce škodlivin v ovzduší, které se po jejich suché a zejména mokré depozici dostanou do přírodních vod, jsou spalování fosilních paliv, jejich výroba a zpracování či používání organických rozpouštědel. Producenty pachových látek pak jsou nejčastěji potravinářské a zemědělské provozovny a technologické celky pro nakládání s bioodpady. Zápach je způsobován buď specifickou produkcí vlastních pachových látek nebo biologicko-enzymatickým rozkladem

organických hmot, poměrně často za vzniku látek s ještě vyšší intenzitou pachu než u látek původních.

Většina antropogenních látek a jejich směsí, které se dostávají širokým spektrem stacionárních a mobilních zdrojů do zemské atmosféry a následně do přírodních vod, má nepříznivé účinky na lidi, zvířata i rostliny. Proto neodvratným úkolem současných i budoucích generací je otázky znečištění ovzduší a vod efektivně řešit. Základními předpoklady jsou prevence a předcházení vzniku škodlivin. V případě nevyhnutelných z pohledu současného vědeckého poznání znečišťujících úniků musí být nasazena taková technologická opatření, která povedou k omezení produkce znečišťujících polutantů a k odstranění jejich nejnebezpečnějších složek.

Limitní hodnoty koncentrací škodlivých látek v odpadních plynech, které stanovují jak evropské, tak národní legislativní nástroje, v naprosté většině nejsou dosažitelné pouze v rámci dané dostupné výrobní technologie. Z toho důvodu se za výrobní a zpracovatelské technologické linky velmi často zařazují zařízení na čištění odpadních plynů. Jejich konstrukční vlastnosti a funkční principy se liší v závislosti na druhu a koncentraci odpadní látky i na druhu a kapacitě vlastního technologického procesu. V neposlední řadě hrají významnou roli při volbě zařízení na čištění odpadních plynů ekonomické možnosti znečišťovatele.

Obecně je možné metody čištění odpadních vod a vzduchu (nebo plynů) rozdělit na fyzikální, chemické, biologické a jejich kombinace. V případě fyzikálních postupů se uplatňují např. metody zkapalňování kontaminujících látek ochlazením, adsorpce na aktivním uhlí, aktivním koksu, zeolitech a jiných vhodných materiálech s vysokou adsorpční schopností.

Z ekonomických a praktických důvodů je jedním z nejvíce rozšířených způsobů odstraňování par organických látek a dalších škodlivin z pracovního i venkovního ovzduší včetně zápašných látek jejich adsorpce na pevných adsorbentech. Jde o technologicky poměrně jednoduchý postup. Nejvíce používány jsou průmyslově vyráběné uhlíkaté adsorbenty, ale jejich vysoká cena nás vede k hledání nových adsorpčních materiálů. Procesy adsorpce mohou být návratné. Aby nedocházelo k nežádoucímu uvolnění zachycených škodlivin z filtrační náplně, musí být zajištěn jejich následný rozklad na neškodné jednoduché sloučeniny jako např. voda a

oxid uhličitý. Takový postup lze zabezpečit kombinací klasické fyzikálně-chemické adsorpce a biologického odbourávání působením mikroorganizmů usazených v náplni filtru.

Biofiltry fungují na principu biologické oxidace nežádoucích škodlivých a zápašných látek. Tyto nežádoucí látky jsou biologicky rozkládány na oxid uhličitý a vodu, popřípadě na sloučeniny vyššího oxidačního stupně příslušných heteroatomů, a to pomocí tenkého filmu živých mikroorganismů udržovaného na povrchu materiálů s velkým styčným povrchem. Pro tyto účely jsou často využívány různé materiály organického původu, např. hmoty na bázi rašeliny, drcené borky, piliny, hobliny, sláma, aktivní uhlí, ale i umělohmotné materiály – typicky různé granule, kroužky, výlisky apod. Znečištěný vzduch nebo voda tedy prochází filtrační náplní a jeho nežádoucí složky jsou zachycovány a odstraňovány pomocí fyzikálně-chemických a biologických pochodů.

Z výše uvedených důvodů je žádoucí vyvíjet nové účinné a současně ekonomicky únosné (tj. dostatečně levné) filtrační náplně, které zajistí nejenom účinnou sorpci škodlivin, ale rovněž podpoří jejich následné mikrobiologické odbourávání, což zajistí efektivní činnost biofiltru. Je velmi žádoucí rozšiřovat sortiment podobných produktů směrem k ekonomicky a technologicky nenáročným řešením a snadno přístupným surovinám.

V posledních letech vznikl v odborných kruzích velký zájem o výzkum uhlí podobných hmot připravovaných z biomasy a bioodpadů, které jsou často nazývány biouhlem.

Obecně pojem **uhel** (anglicky „char“) zahrnuje za malého nebo žádného přístupu vzduchu a vysokých teplot (min. 160 °C, max. cca 750 °C) zuhelnatělé organické látky jak přírodního tak umělého původu. Ten se svou strukturou i dalšími vlastnostmi značně liší od **uhlí** (anglicky „**coal**“), V případě zuhelnatění biomasy se jedná o **biouhel** (anglicky „**biochar**“). Biouhel je získáván především jako tuhý produkt pyrolýzy biomasy, proto ho lze rovněž nazývat **pyrolýzní uhel**. Další možností pro efektivní výrobu uhlí podobné hmoty neboli biouhlu je vysokotlaká hydrotermální úprava biomasy (event. bioodpadů) v uzavřeném systému bez přístupu vzduchu a často s použitím katalyzátorů, která v poslední době získala název hydrotermální karbonizace (česká zkrátka HTK, angl. zkratka HTC). Aby se

takto vzniklý biouhel odlišil od ostatních, byl v zahraniční literatuře zaveden nový termín - anglicky „**hydrochar**“, česky „**hydrouhel**“.

Hydrotermální způsob zpracování bioodpadů vyvolal v posledních letech velký zájem odborníků z celého světa, především v rámci nových projektů aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací (viz např. Titirici et al., 2007, 2012; Funke A, Ziegler F., 2009, 2010). Dle těchto autorů HTC proces zpracování biomasy je energeticky příznivější ve srovnání s tradiční pyrolýzou, protože využívá mírnější podmínky, nepotřebuje předchozí sušení surovin a je exotermický, a proto energeticky přispívá k zásobení až 1/3 celkové energie potřebné k dokončení procesu HTC. Navíc se ušetří významné množství energie tím, že se suroviny při HTC úpravě biomasy nemusí předběžně vysušit, což představuje 2 až 2,5 násobně větší potřebu energie, než jí spotřebujeme při ohřevu vodní suspenze biomasy do reakční pozice. Další výhodou HTC oproti klasické (suché) pyrolýze jsou významně menší ztráty uhlíku a skoro žádná produkce škodlivých plynných emisí a dehtů (Libra et al., 2011; Titirici et al., 2012).

Aplikací biouhlu lze díky jeho vysoké chemické odolnosti velmi efektivně vyřešit potřebu snížení emisí CO_2 sekvestrací (tj. ukládáním) uhlíku do půdy (Lehmann, J., 2007; Sevilla et al., 2011). Dle některých výzkumů (Sevilla, Fuertes, 2009; Titirici et al., 2012; Wang et al., 2012) jsou biouhelné sorbenty schopné na sebe vázat těžké kovy a rezidua organických cizorodých látek, čímž omezují jejich vstup do rostlin a jsou využitelné jako filtrační materiál při čištění odpadních vod nebo jako složka náplní biofiltrů na čištění odplynů. Proto se mohou stát biouhly a jim podobné látky výborným základem pro výrobu přípravků s vysokými sorpčními vlastnostmi, které jsou perspektivní pro použití jako základní složky náplně biofiltrů pro čištění vod a vzduchu.

V této publikaci jsou prezentovány výsledky výzkumu zaměřeného především na digestáty bioplynových stanic (BPS), popřípadě kaly čistíren odpadních vod (ČOV) jako odpadní produkty ze zařízení často produkujících zbytkové teplo, využitelné pro realizaci hydrotermální úpravy těchto odpadů. Podobné odpady jsou často obtížně likvidovatelné a obsahují velké množství vody, což ztěžuje logistiku nakládání s nimi. Proto jsou velmi vítány nové přístupy a technologie pro zpracování a zužitkování mokrých a tekutých bioodpadů, mezi které lze zařadit rovněž technologie hydrotermální karbonizace.

2. Základní popis testovaných přípravků na bázi uhlí podobné hmoty a výsledky jejich zkušebního ověření

Cílem výzkumného řešení bylo navrhnout a experimentálně ověřit produkty na bázi uhlí podobné hmoty z hydrotermálního zpracování bioodpadů neboli tzv. biouhelné sorbenty jak k samostatným aplikacím ve formě jednosložkových přípravků, tak i k aplikacím ve směsných vícesložkových přípravcích využitelných jako filtrační materiál při čištění odpadních vod nebo jako složka náplní biofiltrů na čištění odpadního vzduchu nebo odplynu.

Na základě dosavadních vlastních zkušeností a průzkumu literárních zdrojů, patentní databáze a registru zemědělských přípravků byly navrženy, zhotoveny a v modelových experimentech ověřeny přípravky na bázi biouhelných sorbentů využitelné jako filtrační materiály při čištění odpadních vod nebo jako složka náplní biofiltrů na čištění odpadního vzduchu apod. Hlavním očekávaným efektem využití biouhelných přípravků z HTC zpracování bioodpadů, zejména digestátů, je kombinované působení fyzikálně-chemické a mikrobiologické sorpce látek odstraňovaných při čištění odpadních vod a odplynu.

Níže uvádíme stručný popis jednotlivých přípravků a provedených experimentů.

2.1. Přípravky pro čištění odpadních vod a vzduchu na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů

2.1.1. Současný stav a zdůvodnění řešení

Řešení se týká přípravku pro čištění odpadních vod na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů, zejména zbytků po anaerobní fermentaci jako jsou digestáty z bioplynových stanic nebo anaerobně stabilizované kaly z čistíren odpadních vod. Tento přípravek je použitelný jako vsázka do průtokových nebo vsádkových zařízení určených k čištění odpadních vod, znečištěných především zemědělskou činností (lokální zdroje nebo plošný erozní smyv z polí). Přípravek je vhodný hlavně k čištění vod obsahujících produkty rozkladu organických sloučenin, hnojivé živiny a rizikové prvky.

Znečištění povrchových, podzemních a technologických vod různými typy škodlivin pocházejících z různých zdrojů lidské činnosti je velice palčivým celosvětovým problémem současnosti. Znečištěním vodních zdrojů se zhoršuje kvalita životního prostředí, zejména vodních a okolních ekosystémů. Antropogenně znečištěné vody se považují za vody odpadní, které vyžadují čištění. Znečišťování vody má původ v mnoha lidských odvětvích a jeho charakter nabývá nejrůznějších projevů. Charakter znečišťujících látek silně ovlivňuje další nakládání s odpadní vodou a výběr vhodných způsobů čištění. Látky mohou být rozpuštěné a nerozpuštěné, organické a minerální atd. Rozpuštěné organické látky mají různou biologickou rozložitelnost – od vysoce odbouratelných, jako jsou např. sacharidy, až po nerozložitelné jako např. azobarviva nebo perzistentní organické polutanty (POPs).

Významné působení na vodní ekosystémy mají i anorganické vodu znečišťující látky, jako jsou např. hnojivé živiny, především sloučeniny dusíku, fosforu a síry. Tyto sloučeniny mají různou schopnost zapojení se do biologických pochodů ve vodě. Celoplošného rozšíření dosáhlo v ČR a okolních státech znečištění vod zemědělskou činností, zejména plošným erozním smyvem z polí. Tato znečištění jsou pak charakteristická především obsahem rozpuštěných a nerozpuštěných látek, výluhů z půd, produktů rozkladu organických sloučenin, hnojivých živin a rizikových prvků. Celospolečenská poptávka po čištění vod je vysoká napříč všemi oblastmi jejich vzniku – od odpadních vod z průmyslových objektů po povrchové vody znečištěné erozním smyvem z polí nebo dešťovým splachem ze zpevněných a ostatních ploch.

Za čištění odpadních vod lze považovat různé procesy zlepšování jejich kvality. Pro čištění odpadních vod se používají různé mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické metody nebo jejich kombinace. Nejhlubší a nejintenzivnější čištění probíhá na čistírnách odpadních vod (ČOV). Méně intenzivní, ale současně ekonomicky méně náročné a dostatečně efektivní čištění odpadních vod probíhá na jednodušších zařízeních pro čištění nebo předčištění vod. Jako příklad jmenujme kořenové čistírny, různé aktivační systémy, průtočné a vsádkové biofiltry, aktivační nádrže, oxidační příkopy nebo zemní filtry různého uspořádaní apod. Efektivita a ekonomická náročnost podobných systémů je velmi závislá na přípravcích použitých v těchto zařízeních. Nejvhodnějšími

náplněmi jsou biologicky nezávadné přípravky s vysokou sorpční schopností, vodní průchodností a současně vytvářející dobré podmínky pro usazení a rozvoj mikroorganizmů

2.1.2. Základní popis testovaných přípravků pro čištění vody a vzduchu

Výše uvedené zadání splňuje přípravek určený pro čištění odpadních, splaškových a jinak znečištěných vod podle tohoto technického řešení, jehož podstata spočívá v tom, že základní účinnou složku přípravku s hmotnostním podílem 40 až 100 % sušiny tvoří biouhelné látky na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů, zejména digestátů z bioplynových stanic nebo anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod, jako odpadních produktů ze zařízení často produkujících zbytkové teplo, využitelné pro realizaci hydrotermální úpravy těchto odpadů. Procesní parametry této hydrotermální úpravy musí být nastaveny tak, aby zabezpečily základní elementární složení výstupního produktu, které je charakterizováno hmotnostním poměrem obsahu atomů kyslíku k uhlíku O:C v organické sušině v rozmezí 0,1-0,4 a vodíku k uhlíku H:C v organické sušině v rozmezí 1,0-1,3, přičemž nejnižší obsah organické sušiny je 60 % celkové sušiny a nejnižší obsah celkové sušiny je 15 %.

Uvedená základní účinná složka filtrační náplně může být použita jako jednosložkový přípravek nebo ve směsi s dalšími prospěšnými materiály. V případě vícesložkové filtrační náplně podíl výše uvedené základní složky nesmí být menší než 40 hmotn. %. Pro doplnění směsí do 100 hmotn. % lze použít jednu nebo více složek přírodního nebo umělého původu zvyšující sorpční kapacitu nebo vodopropustnost, zejména štěrk, písek, bentonitové jíly, zeolitové štěrkopísky, umělé kamenivo keramzit.

Hydrotermální úprava fermentačních zbytků se obvykle provádí v uzavřeném reaktoru za vysokých teplot (obvykle vyšších než 150 °C) a při vysokém tlaku (nejméně 0,5 MPa) za určitých technologických podmínek, často s použitím katalyzátorů. Tato úprava zabezpečuje přeměnu organických látek obsažených ve výchozích fermentačních zbytcích v částečně uhlofikovanou hmotu, která se svými vlastnostmi přibližuje bituminóznímu uhlu a dle našich analýz základního elementárního složení snižuje hmotnostní poměr obsahu atomů kyslíku k uhlíku O:C v organické sušině na hodnoty v rozmezí 0,1-0,4 a vodíku k uhlíku H:C v organické sušině na hodnoty v rozmezí 1,0-1,3.

Taková hydrotermální úprava (neboli karbonizace) zajišťuje významné vylepšení hydrofyzikálních vlastností fermentačních zbytků a zvýšení jejich oxidační stability, což se příznivě projevuje na vhodnosti podobných substrátů pro úpravu znečištěných vod. Uhlí podobná konzistence tuhého podílu tohoto přípravku zajišťuje dobré technologické vlastnosti z hlediska aplikovatelnosti do vsázkových a průtočných filtrů pro čištění vod kontaminovaných různými nežádoucími látkami. Další výhodou přípravku ve srovnání s neupravenými fermentačními zbytky je vysoká separovatelnost tuhého podílu, což umožňuje snadnou regulaci obsahu vody, která v neupravených fermentačních zbytcích tvoří obvykle 87-97 hmotn. %, a tím také zajištění ekonomicky přijatelných podmínek pro transport na větší vzdálenosti. Proto lze s výhodou konečný přípravek jednoduchou mechanickou separací přeměnit z kapalné formy na tuhý substrát s celkovou sušinou vyšší než 25 hmotn. % a tím zajistit tuhou konzistenci výsledného produktu vhodnou pro použití ve vsázkových a průtočných filtrech pro čištění vod. Výhodou hydrotermální úpravy fermentačních zbytků je rovněž to, že tato úprava ničí semena plevelů, likviduje patogenní mikroorganizmy a minimalizuje hygienická rizika.

2.1.3. Příklady pokusného ověření filtračních přípravků na vodu

Jako příklady pokusného ověření byly připraveny a otestovány 3 různé modifikace přípravku použitelné jako náplň do biofiltrů na čištění vody. Základní přípravek byl zhotoven hydrotermální úpravou digestátu ze zemědělské bioplynové stanice, zpracovávající kejdu hospodářských zvířat a rostlinnou produkci jako je kukuřičná siláž, zelená hmota obilovin, senáže apod. Procesní parametry hydrotermální úpravy (karbonizace) byly následující: čas zpracování v hermeticky uzavřeném reaktoru 8 hodin, teplota 200 °C, pH vstupní suroviny upravené kyselinou sírovou na hodnotu 4,0. Stupeň dosažené uhlofikace a tím i stabilizace organického podílu dokládá výrazné snížení hmotnostního poměru obsahu atomů O:C v organické sušině z původních 0,46 na 0,21 a H:C z původních 1,63 na 1,20. Celkový obsah sušiny upraveného bioodpadu, jako základní složky filtrační náplně, byl 34,7 hmotn. %, podíl organické sušiny byl 67,5 hmotn. % celkové sušiny. Tuhý podíl byl oddělen mechanickou separací a za mokra proset přes síto s velikostí ok 5 mm. Tato podsítná frakce

hydrotermálně upraveného digestátu neboli biouhelný sorbent je základní účinnou složkou přípravků pro čištění odpadních vod.

Pro inokulaci byl použit výluh zrajícího kompostu tekutým podílem fermentátu z BPS, a to v hmotnostním poměru 10 dílů roztoku : 1 dílu kompostu. Oddělení tekutého podílu bylo provedeno proceděním přes jemné nylonové sítko. Taková příprava inokulátu na bázi aerobně a anaerobně fermentovaných substrátů byla provedena záměrně za účelem zvýšení diverzity mikroorganizmů ve prospěch aerobních a anaerobních skupin. Následně byl inokulát přidán k filtrační náplni v hmotnostním poměru 1 : 10 (inokulát : filtrační náplň).

Pokus 1 – jednosložkový přípravek pro čištění vody

Přípravek zhotovený dle výše popsaného postupu, byl odzkoušen v laboratorních modelových pokusech, kde byl použit jako jednosložková náplň průtočné filtrační kolony pro odstranění organického a minerálního znečištění modelové odpadní vody (viz foto 1-2). Odstranění organických sloučenin bylo prokázáno srovnáním výsledků stanovení CHSK-Cr v původním a filtrovaném vzorku. Hodnota CHSK-Cr byla upravena z původních 945 mg/l na 45,6 mg/l po čištění. Obsah celkového dusíku jako představitele hnojivých živin byl po průtočném čištění odpadní vody snížen ze 116 na 16,9 mg/l N-NH4 a obsah olova jako představitele rizikových prvků z 52,3 na 12,5 mg/l.

Foto 1. Kolona na testování filtračních vlastností substrátů	Foto 2. Plnění filtrační kolony testovacím roztokem

Pokus 2 – vícesložkový přípravek s inertními složkami pro čištění vody

Výše popsaný základní přípravek byl použit pro zhotovení směsného přípravku, a to v množství 60 hmotn. %. Jako další inertní složky směsi byly použity štěrk a písek, každý po 20 hmotn. %, a to vše v přepočtu na sušinu. Takto připravený směsný přípravek byl testován obdobným způsobem a s podobnými výsledky jako v příkladu 1. Konkrétně bylo naměřeno 957 mg/l CHSK-Cr před a 62,8 mg/l po čištění modelové odpadní vody.

Pokus 3 – vícesložkový přípravek s dalšími složkami pro čištění vody

Výše popsaný základní přípravek byl použit pro zhotovení směsného přípravku, a to v množství 60 hmotn. %. Jako další složky směsi byly použity písek a bentonitové jíly, každý po 20 hmotn. %, a to vše v přepočtu na sušinu. Takto připravený směsný přípravek byl testován obdobným způsobem a s podobnými výsledky jako u příkladu 1. Konkrétně bylo naměřeno 934 mg/l CHSK-Cr před a 36,3 mg/l po čištění modelové odpadní vody.

Principiálně jsou možné i další kombinace vícesložkových přípravků, kde by však základní účinnou složku s hmotnostním podílem vyšším než 40 hmotn. % sušiny tvořily biouhelné látky na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů, zejména zbytků po anaerobní fermentaci, jakými jsou digestáty z bioplynových stanic nebo anaerobně stabilizované kaly z čistíren odpadních vod.

Výhodou podobných přípravků je snadný výrobní postup a možnost účelného využití vybraných bioodpadů, zejména digestátů BPS. Využitím těchto přípravků lze zajistit procesně efektivní a ekonomicky přijatelné čištění odpadních nebo jinak znečištěných vod.

2.1.4. Příklady pokusného ověření filtrační náplně na vzduch

Jako příklady pokusného ověření byly zhotoveny a pokusně testovány 2 typy filtrační náplně na čištění vzduchu.

Pokus 1 – jednosložkový filtrační přípravek na vzduch

Přípravek, který tvoří základní složku filtrační náplně, byl zhotoven hydrotermální úpravou digestátu ze zemědělské bioplynové stanice

zpracovávající kejdu hospodářských zvířat a rostlinnou produkci jako je kukuřičná siláž, zelená hmota obilovin, senáže apod. Stupeň dosažené uhlofikace a tím i stabilizace organického podílu dokládá výrazné snížení hmotnostního poměru obsahu atomů O:C v organické sušině z původních 0,48 na 0,23 a H:C z původních 1,62 na 1,18. Celkový obsah sušiny upraveného bioodpadu, jako základní složky filtrační náplně, byl 32,3 hmotn. %, podíl organické sušiny byl 65 hmotn. % celkové sušiny. Přípravek byl odzkoušen v laboratorních modelových pokusech, kde byl použit jako jednosložková náplň filtrační kolony k odstranění zápašných a organických látek z odpadních plynů na příkladu směsi surového bioplynu a vzduchu (1:1 obj.). Odstranění zápašných látek bylo potvrzeno senzorickým testem oderu původního a filtrovaného vzorku. Odstranění znečištění bylo prokázáno analýzou obsahu metanu původního a filtrovaného plynu, přičemž v původním vzorku bylo naměřeno 26,9 obj. % CH_4 a ve filtrovaném méně než 2 obj. % (pod detekčním limitem přístroje).

Pokus 2 – vícesložkový filtrační přípravek na vzduch

Přípravek, který tvoří základní složku filtrační náplně, byl zhotoven dle příkladu 1 a byl použit v množství 40 hmotn. % pro přípravu směsné vícesložkové filtrační náplně. Jako další složky směsi byly použity průmyslový kompost, drcená štěpka a písek (každý po 20 hmotn. %, a to vše v přepočtu na sušinu). Takto připravená směsná náplň byla testována obdobným způsobem a se shodnými výsledky jako u příkladu 1, tzn. byl účinně odstraněn nepříjemný zápach a obsah metanu byl pod detekčním limitem přístroje. Dále byla testována obdobná směs plynu, lišící se pouze přídavkem sulfanu v množství odpovídajícím cca 0,1 obj. %, neboli 1000 ppm. V původním vzorku plynu bylo naměřeno 960 ppm H_2S a ve filtrovaném méně než 10 ppm, čímž byla prokázána účinnost filtrování.

2.1.5. Závěrečné hodnocení kapitoly.

V rámci provedených experimentů byl prokázán původní předpoklad neboli vědecká hypotéza, že přípravky na bázi hydrotermálně upravených bioodpadů (za vhodných experimentálně odzkoušených technologických podmínek), jinak též biouhelné sorbenty, jsou využitelné jako filtrační materiál při čištění odpadních vod nebo jako složka náplní biofiltrů na čištění odpadního vzduchu, odplynu apod. Uhlí podobná konzistence

tuhého podílu tohoto produktu zajišťuje dobré technologické vlastnosti z hlediska účinné fyzikálně-chemické absorpce a současně vytváří vhodné podmínky pro rozvoj a činnost mikroorganizmů způsobujících rozklad absorbovaných škodlivin. Hlavním očekávaným efektem využití takových biouhelných přípravků z HTC zpracování bioodpadů, je kombinované působení fyzikálně-chemické a mikrobiologické sorpce látek odstraňovaných při čištění odpadních vod a vzduchu. Z toho vyplývá, že efektivitu čistění odpadních vod nebo vzduchu lze výrazně zvýšit výběrem a aplikací pro tyto účely vhodných mikroorganizmů, přičemž na trhu existuje dostatečná nabídka podobných mikrobiologických přípravků.

Dalším významným zjištěním bylo stanovení poměrně nízké sorpční schopnosti hydrotermálních biouhelných přípravků, u kterých je zhruba o řád až dva nižší než u aktivovaných uhelných materiálů. Přesto s ohledem na ekonomickou a ekologickou výhodu výroby HTC uhlí z bioodpadů jsou tyto sorpční schopnosti dostačující pro efektivní využití. Biouhel lze různými způsoby aktivovat, ale podobné úpravy jsou nákladné a odstraňují jejich hlavní výhodu – nižší výrobní náklady. Navíc bylo zjištěno, že právě méně uhlofikované uhlí s výše uvedenými kvalitativními parametry má vyšší hydrofilní a chemosorpční schopnosti než tradiční dřevěné aktivované uhlí, a proto vytváří vhodnější podmínky pro osídlení mikroorganizmy a tím i lepší podmínky pro projev funkce biologického čištění podobných filtračních systémů.

S ohledem na biologickou složku filtračních systémů máme jednu nevýhodu, a to určitý čas, potřebný pro rozvoj a ustálení činnosti prospěšných mikroorganizmů a nebo nutnost jejich přímé inokulace.

3. Podmínky aplikace přípravků na běžné a antropogenní půdy

Výše uvedené přípravky, zejména po použití v biofiltrech na vodu nebo vzduch, lze aplikovat na půdy, ale za podmínky splnění příslušných legislativních předpisů na substráty. V případě potřeby čištění vod přicházejících na půdu a pohybujících se v půdě (vertikální filtrace do podzemních vod nebo horizontální filtrace na svazích do vodních toků) lze uvedené přípravky cíleně aplikovat na půdu, a to buď plošně pro vertikální filtraci nebo lineárně dole pod svahem.

Dle svých vlastností a složení lze přípravky na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, zejména digestáty z bioplynových stanic (BPS) nebo anaerobně stabilizované kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) zařadit mezi stabilizované bioodpady nebo mezi substráty, použitelné pro zúrodnění běžných zemědělských a antropogenních půd.

V případě aplikace na zemědělskou nebo lesní půdu se jedná o uplatnění stabilizovaných bioodpadů v zemědělství jako pomocné půdní látky, substrátu nebo organického hnojiva ve smyslu zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů, které se posuzuje dle vyhlášky MZe ČR č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Zásadní novela této vyhlášky č. 271/2009 Sb. (doplněná v současné době o další novelizující vyhlášku 141/2014 Sb.) rozdělila do té doby jednotné posuzování všech organických hnojiv a pěstebních substrátů z hlediska obsahu cizorodých látek do 3 skupin – pěstební substráty, organická a statková hnojiva tuhá se sušinou nad 13 % a hnojiva tekutá se sušinou pod 13 % (aktuální znění viz tab. č. 3). Rovněž tak byla rozdílná i pravidla aplikace těchto typů hnojiv na půdu: maximální aplikační dávka je u tuhých hnojiv stanovena na 20 tun sušiny na 1 ha v průběhu 3 let, kdežto u tekutých na 10 tun sušiny na 1 ha za 3 roky. U substrátů bez významného obsahu živin toto omezení není definováno. V novelizující vyhlášce č. 141/2014 Sb. tato aplikační omezení byla zrušena.

Do kategorie kapalných organických hnojiv spadají mimo tradičních statkových hnojiv jako je kejda též digestáty z bioplynových stanic, tj. odpadní produkty zpracování bioodpadů nebo biomasy na bioplyn. Hydrotermálně upravené digestáty BPS a jiné fermentační odpady se musí hodnotit podle jejich stavu, zda jsou tuhá nebo tekutá. V případě obsahu dusíku nižšího než 0,6 % mohou být tuhé hydrotermálně upravené odpady anaerobní fermentace zařazeny mezi substráty bez účinného obsahu živin (tab. 3, sloupec 2). Tzn. že v závislosti na obsahu vody a dusíku lze hydrotermálně upravené odpady anaerobních fermentátů hodnotit z hlediska obsahu rizikových prvků podle všech třech kategorií uvedených v tabulce č. 3.

Tab. 3: Limitní koncentrace vybraných rizikových prvků (mg/kg sušiny) v hnojivech a substrátech určených pro zemědělskou půdu dle vyhl. č. 474/2000 Sb. v platném znění vyhl. č. 141/2014 Sb.

Ukazatel	Substráty	Organická a statková hnojiva se sušinou	
		nad 13 % (tuhá)	nejvýše 13 % (tekutá)
As	20	20	20
Cd	1*/2	2	2
$Cr_{celk.}$	100	100	100
Cu	100	150	250
Hg	1	1	1
Mo	5**/20	20	20
Ni	50	50	50
Pb	100	100	100
Zn	300	600	1200

Vysvětlivky k limitům:

* **-** 1 mg/kg **Cd** pouze pro substráty určené pro pěstování zeleniny a ovoce, v ostatních případech 2 ppm;

** - 5 mg/kg **Mo** pouze pro substráty používané k pěstování ovoce a zeleniny, v ostatních případech 20 ppm;

Samotné zpracování všech typů bioodpadů včetně naším výzkumem dotčených odpadů z procesů anaerobní fermentace a jejich následná aplikace na nezemědělské půdy nebo uložení na skládku se řídí, analyzuje a vyhodnocuje dle vyhlášky č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Tato vyhláška stanovuje pro výstupní produkty ze zařízení pro biologické zpracování bioodpadů 4 druhy limitních směrnic pro hodnocení obsahu rizikových látek (viz tab. č. 4) a 2 druhy směrnic pro hodnocení znaků jakosti (viz tab. č. 5).

Hodnoty znaků jakosti jsou rozdílně stanoveny pro obvyklé tuhé produkty zpracování bioodpadů aerobní fermentací pojmenované ve vyhlášce jako „rekultivační komposty“ a obvyklé tekuté produkty anaerobní fermentace pojmenované vyhláškou jako „rekultivační digestáty“. Slovo „rekultivační“ podtrhuje určení těchto produktů zpracování bioodpadů pro využití na nezemědělské půdě. Limitní směrnice pro obsah rizikových látek dle přílohy č. 5 vyhlášky rozčleňuje výstupy z biologické úpravy odpadů na 4 druhy – třídy 1, 2 a 3 tzv. skupiny 2 - stabilizované bioodpady určené pro využití na povrchu terénu pro hnojení a rekultivační účely a skupinu 3 - stabilizovaný bioodpad určený k uložení na skládku.

Tab. 4: Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků pro výstupy ze zpracování bioodpadů dle vyhlášky č. 341/2008 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Výstupy (skupina 2)			Stabilizovaný biologicky rozložit. odpad (skupina 3)
		Třída 1	Třída 2	Třída 3	
As	mg/kg suš.	10	20	30	40
Cd	mg/kg suš.	2	3	4	5
$Cr_{celk.}$	mg/kg suš.	100	250	300	600
Cu	mg/kg suš.	170	400	500	600
Hg	mg/kg suš.	1	1,5	2	5
Ni	mg/kg suš.	65	100	120	150
Pb	mg/kg suš.	200	300	400	500
Zn	mg/kg suš.	500	1200	1500	1800
PCB	mg/kg suš.	0,02	0,2	-	dle způsobu použití
PAU	mg/kg suš.	3	6	-	dle způsobu použití
Nerozlož. příměsi **>20 mm**	% hm.	max. 2%	max. 2%	-	-
AT_4	mg O_2/g suš.	-	-	-	< 10

Použité zkratky:

PCB - polychlorované bifenyly (suma kongenerů č. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky (suma antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pyrenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(ghi)perylenu, benzo(k)fluoranthenu, fluoranthenu, fenanthrenu, chrysenu, indeno(1,2,3-cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu)

AT4 - test respirační aktivity, testovací metoda pro hodnocení stability bioodpadu na základě měření spotřeby O2 za 4 dny podle rakouské normy ÖNORM S 2027 - 1 ze dne 1.9. 2004 . Pokud je AT4 testovaného materiálu nižší než 10 mg O_2/g sušiny není již tento materiál považován za biologicky rozložitelný.

Tab. 5: Hodnoty znaků jakosti pro výstupy ze zařízení pro biologické zpracování bioodpadů, použitelných mimo zemědělskou a lesní půdu

Znaky jakosti	Jednotky	Rekultivační kompost	Rekultivační digestát
Vlhkost	% hm.	*min. 40 až 65	max. 98,0
Spalitelné látky	% suš.	min. 25	-
Celkový dusík	% suš.	Min. 0,6	min. 0,3
Poměr C:N*	-	min. 20 (max. 30)	-
pH	-	6,0 – 8,5	6,5 – 9,0
Nerozlož. příměsi >20 mm	% hm.	max. 2,0	-

*Pozn.: * Od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, min. 40 až 65*

Citovaná vyhláška je v tomto bodě matoucí a nejednoznačná, neboť nerozlišuje mezi odstraňováním stabilizovaného odpadu skupiny 3 uložením na skládce jako odpadu a mezi jeho využitím jako technologického zabezpečovacího materiálu pro formování tělesa skládky. Přesto v poznámce k citované tabulce je uvedeno, že jako technologický materiál na skládky může být stabilizovaný odpad skupiny 3 použit, pokud v ukazateli AT4 splňuje stanovené požadavky nepřekročení hodnoty 10 mg O_2 v 1 g sušiny odpadu, přičemž za těchto podmínek posuzovaný materiál již není považován za biologicky rozložitelný. Na druhou stranu, v případě odstraňování výstupu skupiny 3 - stabilizovaný bioodpad jeho uložením na skládku odpadů, se postupuje podle jiného právního předpisu, a to vyhl. č. 294/2005 Sb. Stanovení hodnot AT-4 se provádělo pomocí zařízení Oxi-Top od německé firmy WTW dle postupů uváděných výrobcem a citované v poznámce k tab. č. 2 normy.

Jednotlivé třídy skupiny 2 se liší svou přísností posuzování obsahu rizikových látek. Hodnoty limitních obsahů škodlivin jsou u třídy 1 velmi podobné hodnotám pro běžná organická hnojiva a jsou použitelná v celém spektru možností aplikace produktů této skupiny, kdežto u 2. a zejména 3. třídy jsou limitní hodnoty méně přísné, ale o to přísnější jsou omezení co do možností jejich aplikace. Třída 3 je určena pro využití na povrchu terénu vytvářeného rekultivačními vrstvami pouze u zabezpečených skládek a odkališť nebo jako náplň do biofiltrů. Třída 2 mimo možností třídy 3 umožňuje uplatnění do rekultivačních vrstev jakýchkoliv průmyslových rekultivací a navíc do ozelenění městských travních a dřevnatých porostů (parky, lesoparky, trávníky apod.). Produkty třídy 1 lze navíc použít i pro hnojení zeleně u sportovních a rekreačních zařízení včetně těchto zařízení v obytných zónách s výjimkou venkovních hracích ploch.

Likvidace bioodpadů skládkováním se řídí vyhláškou č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. Obě vyhlášky a to č. 371/2008 Sb. a č. 294/205 Sb. hodnotí využívání odpadů na povrchu terénu a produktů zpracování bioodpadů jako rekultivačních substrátů na povrchu terénu, ale odlišnými způsoby a dle odlišných ukazatelů.

V případě využití hydrotermálně upravených odpadů anaerobní fermentace v zemědělství se jejich kvalita hodnotí přednostně dle prováděcí vyhlášky č. 474/2000 Sb. k zákonu o hnojivech č. 156/1998 Sb.

ve znění pozdějších předpisů (viz výše tab. 3). Posuzování hnojivých substrátů podle tohoto zákona má větší prioritu, nežli posuzování podle vyhlášky o BRO, což v praxi znamená, že pokud hnojivý substrát vyhovuje legislativě hnojiv, může být použit nejenom pro zemědělské, ale pro všechny ostatní účely jako např. využití na povrchu terénu pro hnojení a rekultivační účely apod., nikoliv naopak. Toto pravidlo je zakomponováno do vyhlášky č. 341/2008 Sb. v platném znění, kde hnojivé substráty posuzované dle legislativy hnojiv jsou vyčleněny do tzv. skupiny 1. Zvláštní podmínkou uplatnění hnojiv a substrátů dle zemědělských norem je v případě jejich distribuce nutnost úřední registrace u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (UKZÚZ), viz www.ukzuz.cz.

4. Souhrnná doporučení pro uživatele z praxe

Hydrotermální úpravu zbytků po anaerobní fermentaci lze doporučit jako vhodný způsob odstranění nebo alespoň omezení jejich nepříznivých fyzikálně-chemických vlastností z hlediska aplikace na půdu. Jelikož realizace procesu hydrotermální úpravy vyžaduje přísun energie, postup je vhodný především pro zařízení produkující zbytkové teplo. Jedná se především o bioplynové stanice, v některých případech o čistírny odpadních vod.

Omezujícím faktorem výběru kalů ČOV pro hydrotermální úpravu je vysoká pravděpodobnost výskytu nadlimitního obsahu rizikových prvků. U digestátů BPS, zejména zemědělských, je toto riziko docela nízké.

V případě výskytu nadlimitních obsahů rizikových prvků v hydrotermálně upravených odpadech z anaerobní fermentace musíme snížit přísun nadlimitních prvků v surovinách. Pokud to není možné (např. v případě kalů ČOV), hydrotermální úpravu nedoporučujeme a musíme aplikovat jiné legislativou přípustné postupy odstranění těchto odpadů.

Hydrotermální úpravou zbytků po anaerobní fermentaci, zejména digestátů z bioplynových stanic (BPS), rovněž jako obsahem rizikových prvků vyhovujících anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod (ČOV), dochází ke ztrátě koloidní struktury odpadů, snížení objemu sraženin, zvýšení chemické stability organické hmoty, snížení fytotoxicity,

hygienických rizik a dokonce k mírnému navýšení agronomické účinnosti upravených substrátů.

V případě orientace na aplikaci hydrotermálně upravených fermentačních zbytků v blízkém okolí výrobního zařízení lze využít tekuté výrobky ve formě suspenze se sušinou nižší než 13 %. Výhodou v tomto případě je možnost zavlažování a současného odstranění přebytků procesní vody. Nevýhodou jsou vyšší náklady na transport a aplikaci přípravků. Proto v případě větších vzdáleností (obvykle více než 15 km) lze doporučit výrobu a aplikaci odvodněné formy hydrotermálně upravených anaerobních fermentátů, čemuž napomůže i zvýšení separovatelnosti odpadů po jejich hydrotermální úpravě. Za nejvhodnější považujeme kombinaci obou možností v závislosti na dopravní vzdálenosti: čím větší bude plánovaná transportní vzdálenost, tím vyšší by měl být obsah sušiny ve vyráběném přípravku.

Aplikační dávky přípravků stanovíme výpočtem na základě obsahu dusíku a potřeb plodin a současně podle legislativních podmínek aplikace jednotlivých kategorií substrátů dle legislativy hnojiv v případě zemědělských půd nebo dle legislativy biologických odpadů v případě ostatních půd. Zařazení přípravků do jednotlivých kategorií provedeme na základě obsahu sušiny, živin (především dusíku) a rizikových prvků (podrobnosti o jednotlivých kategoriích viz kap. 2.4).

V případě využití hydrotermálně upravených fermentačních zbytků pro melioraci málo úrodných půd nebo rekultivaci poškozených a antropogenních půd doporučujeme vysoké jednorázové (iniciační) dávky, a to v rozmezí 50 až 200 tun sušiny přípravků v přepočtu na 1 ha. V případě velmi nízkého obsahu organických látek v půdě doporučujeme velmi vysoké iniciační dávky 200 až 800 tun sušiny na 1 ha. Pouze při takto vysokých dávkách organických hnojiv nebo rekultivačních substrátů lze očekávat významné zlepšení půdních fyzikálně-chemických vlastností a tím i úrodnosti půd a jejich odolnosti proti erozi. Toto bylo například dokázáno na příkladě kompostů - viz metodika kolektivu autorů z ČZU a VÚZT „Technologie a ekonomika zvyšování protierozní odolnosti půdy zapravením organické hmoty“, (Kovaříček a spol., 2012). Obdobné výsledky o významu vlivu vysokých dávek organických hnojiv na zúrodnění půd byly dosaženy kolektivem řešitelů z VÚRV, v.v.i. a Botanického ústavu akademie věd ČR, souhrnně vyhodnocených v metodice pro praxi pod

názvem „Pěstování vybraných druhů nepotravinářských plodin v kombinaci s aplikacemi organických hnojiv a mikrobiologických preparátů jako prostředek biologické rekultivace antropogenních půd“ (Usťak a spol., 2010).

Ještě vyšší dávky v rozmezí 400-1200 t/ha doporučujeme v případě plošné aplikace přípravků za účelem filtrace půdních vod. V případě lineární aplikace ve spodní částí svahu za účelem filtrace půdních vod aplikujeme přípravky do příkopů širokých a hlubokých minimálně 60 cm, nejméně však na hloubku humusových vrstev. V tomto případě se doporučuje převýšení terénu o minimálně 20 cm za účelem odchycení a filtrace po svahu stékajících povrchových vod, přičemž tento váleček z filtračního přípravku zpevníme po obou stranách výkopovou zeminou.

III. Ekonomické aspekty a další přínosy pro uživatele

Možné ekonomické přínosy byly modelově vypočítány na základě získaných pokusných výsledků a literárních údajů s využitím expertních systémů Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i. (VÚZT) pro modelování výrobních technologií (www.vuzt.cz, záložka expertní systémy). Předpokládané ekonomické přínosy při aplikaci na zemědělskou půdu jsou v závislosti na dávce přípravku v rozmezí 20-200 t/ha (v přepočtu na sušinu) odhadovány na 3.000,- Kč až 30.000,- Kč v průběhu 3-5 let působení jednorázové aplikace v důsledku zvýšení výnosů a tržeb o 0,5-5 % v souvislosti se zlepšením struktury půdy, zintenzivněním biologické aktivity a zvýšením retenční schopnosti půdy pro vodu a živiny. Dalším přínosem je snížení rizika vodní eroze půdy a půdní degradace.

V případě aplikace výše popsaných přípravků na půdu za účelem filtrace vod je očekávaný efekt především ekologický a těžko převeditelný na finanční hodnoty. Aplikací přípravků na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci dochází k uchování produkčních i mimoprodukčních funkcí zemědělské půdy. Dalším důležitým ekologickým přínosem je dlouhodobá sekvestrace sloučenin uhlíku do půdy.

IV. Potenciál využití přípravků a možnosti uplatnění metodiky

Hlavní potenciál využití přípravků na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, zejména digestátů z bioplynových stanic (BPS) nebo anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod (ČOV), je spojený především s možností jejich využití pro čištění vod a vzduchu v biofiltrech nebo při cílené plošné nebo lineární aplikaci na půdu. Použité náplně biofiltrů lze v případě splnění požadavků na obsah škodlivých látek a kvalitativních parametrů příslušných legislativních předpisů (především vyhlášky 341/2008 Sb. v platném znění) použít pro biologickou revitalizaci antropogenně poškozených území a zúrodnění nízkoproduktivních půd a zemin.

Na základě vlastních zkušeností a literárních údajů můžeme konstatovat, že využití podobných přípravků v zemědělství je schopno zajistit zvýšení půdní úrodnosti a agrochemické kvality půdy, a to zlepšením agrofyzikálních vlastností a zvýšením účinnosti dodaných průmyslových hnojiv. S výhodou lze tento přípravek využít při provedení biologické rekultivace antropogenně postižených a málo úrodných půd. Využití tohoto přípravku rovněž zajišťuje dlouhodobou sekvestraci (neboli uskladnění) uhlíku v půdě. Při výrobě přípravku jsou účelně využívány problémové odpady, jakými jsou zbytky po anaerobní fermentaci, zejména digestáty BPS a anaerobně stabilizované kaly ČOV.

V. Srovnání novosti postupů

Dle poznatků autorů nebyla dosud zpracována žádná metodika poskytující základní informace o přípravcích na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci použitelných jako náplň do biofiltrů pro čištění vody a vzduchu, zejména v podmínkách ČR. Použité přípravky lze následně využít ke zlepšení půdních vlastností. V předložené metodice jsou zahrnuty, kromě vlastních poznatků nově získaných v průběhu řešení výzkumných projektů uvedených v dedikaci, i údaje dostupné ze světové literatury. Metodika popisuje všestranné aspekty využití přípravků na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci pro čištění vody a vzduchu v praxi, zejména jejich přímé nebo následné aplikace na půdu, a to včetně jejího ekonomického hodnocení.

Rovněž je zdůrazněn význam těchto přípravků pro zúrodnění půd a pro uchování produkčních i mimoprodukčních funkcí zemědělské půdy.

VI. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena širokému okruhu uživatelů z oblasti rostlinné výroby a zpracování rostlinné produkce, především prvovýrobcům - pěstitelům běžných zemědělských a energetických plodin, ale také potenciálním zpracovatelům a uživatelům zemědělské biomasy a různých bioodpadů, hlavně provozovatelům bioplynových stanic. Metodika je rovněž určena odborníkům v oblasti čištění odpadních vod, vzduchu, dále meliorátorům, rekultivátorům a poskytuje zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o přípravcích na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci použitelných jako náplň do biofiltrů nebo ke zlepšení půdních vlastností. Dále metodika poslouží jako zdroj znalostních informací pro zemědělské poradce a pro výuku na zemědělských školách. Smluvním uživatelem metodiky, který bude zajišťovat její transfer do zemědělské a výrobní praxe, je spolek CZ BIOM - České sdružení pro biomasu.

Dle podmínek MZe ČR bude tato metodika také dostupná všem zájemcům i v elektronické verzi na stránkách Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. (www.vurv.cz).

VII. Seznam použité související literatury

1. Funke, A, Ziegler, F., 2009: Hydrothermal carbonization of biomass: a literature survey focussing on its technical application and prospects. In: Proc. 17th European Biomass Conference & Exhibition; Florence, Italy, and Munich, Germany, p. 1037-1050.
2. Funke, A, Ziegler, F., 2010: Hydrothermal carbonization of biomass: a summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. Biofuel. Bioprod. Bior. 4 (2), p. 160–177.
3. Kovařiček P., Abraham Z., Hula J., Plíva P., Vlášková M., Kroulík M., Mašek J., 2012: Technologie a ekonomika zvyšování protierozní odolnosti půdy zapravením organické hmoty“, Certifikovaná metodika pro praxi, vyd. VÚZT Praha, cit. Kovařiček a spol., 2012, 34 p.
4. Lehmann, J., 2007: A handful of carbon. Nature 447, p. 143–144.

5. Libra, J.; Ro, K.; Kammann, C.; Funke, A.; Berge, N.; Neubauer, Y.; Titirici, M.; Fuhner, C.; Bens, O.; Emmerich, K., 2011: Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels, 2 (1), p. 89–124.
6. Sevilla, M., Fuertes, A. B., 2009: Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides. Chem. Eur. J., 15: 4195–4203.
7. Sevilla M., Maciá-Agulló J.A., Fuertes A,B., 2011: Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO2: Chemical and structural properties of the carbonized products. Biomass and Bioenergy, Volume 35, Issue 7, p. 3152-3159.
8. Titirici, M.M., Thomas, A., Antonietti, M., 2007: Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO_2 problem? New Journal of Chemistry 31, 787–789.
9. Titirici, M.M., White, R.J., Falcoa, C., Sevilla, M., 2012: Black perspectives for a green future: hydrothermal carbons for environment protection and energy storage. In: Energy Environ. Sci., vol. 5, p. 6796–6822.
10. Usťak, S., Püschel, D., Rydlová, J., Gryndler, M., Mikanová, O. & Vosátka, M. 2010. Pěstování vybraných druhů nepotravinářských plodin v kombinaci s aplikacemi organických hnojiv a mikrobiologických preparátů jako prostředek biologické rekultivace antropogenních půd, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Botanický ústav AV ČR, v.v.i., 36 str.
11. Wang, Hang; Ma, Lijian; Cao, Kecheng; et al., 2012: Selective solid-phase extraction of uranium by salicylideneimine-functionalized hydrothermal carbon. J. of Hazardous Materials, vol. 229, p. 321-330.

VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Petříková, V., Váňa, J., Ustjak, S., 1996: Pěstování a využití technických a energetických plodin na rekultivovaných pozemcích. Metodiky pro zemědělskou praxi 17/1996, Praha, ÚZPI 1996, 24 s.
2. Czakó-Markupová A., Mikanová, O., Usťak, S., 2007: The effect of inoculation on reclaimed soil. In: Počvovedenie i agrochimia, 1, 2007 (38), s. 232 –237.
3. Usťak, S., Váňa, J., Habart, J., Tlustoš, P., 2009: Vliv různých způsobů předúpravy podsítné frakce směsného komunálního odpadu a následné anaerobní fermentace na kvalitu výstupních produktů. - Agritech Science, 2009/3, článek č. 10, str. 1-10, ISSN 1802-8942.
4. Mikanová, O., Usťak, S. & Czakó, A. 2009. Utilization of microbial inoculation and compost for revitalization of soils. *Soil and Water Research*, 4(3): 126-130.

5. Váňa,J. & Usťak, S. 2009: Tepelně tlaková hydrolýza lignocelulózových odpadů. *Waste forum*, 2(2): 133-139.
6. Usťak, S., Püschel, D., Rydlová, J., Gryndler, M., Mikanová, O. & Vosátka, M. 2010. Pěstování vybraných druhů nepotravinářských plodin v kombinaci s aplikacemi organických hnojiv a mikrobiologických preparátů jako prostředek biologické rekultivace antropogenních půd, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Botanický ústav AV ČR, v.v.i., 36 str.
7. Usťak, S., Muňoz, J., 2012: Vliv základních technologických parametrů hydrotermální úpravy vybraných bioodpadů na užitné vlastnosti výstupních produktů. In: Agritech Science, roč. 6, č. 2, článek 7. ISSN 1802-8942.
8. Usťak, S. 2013. Laboratorní zařízení pro simulaci procesů hydrotermálně-katalytického zpracování biomasy a bioodpadů. Úřad průmysl. vlastnictví. Osvědčení o zápisu UV č. 25119 ze dne 3.4.2013.
9. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., 2014: Přípravek ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci. Úřad průmysl. vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 26841 ze dne 24.4.2014.
10. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., 2014: Rostlinný přípravek na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci. Úřad průmysl. vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 26865 ze dne 28.4.2014.
11. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., Čerevko D., 2014: Zařízení pro úpravu biomasy a bioodpadů na uhlí podobnou hmotu. Úřad průmysl. vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 27016 ze dne 10.6.2014.
12. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., 2015: Filtrační náplň pro zařízení určené k čištění odpadního vzduch, Osvědčení o zápisu UV č. 28112 ze dne 20.4.2015.
13. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., 2015: Filtrační náplň pro zařízení určené k čištění odpadního vzduch, Osvědčení o zápisu UV č. 28112 ze dne 20.4.2015.
14. Usťak S.; Muňoz J.; Usťaková M., 2015: Zařízení pro úpravu biomasy a bioodpadů na uhlí podobnou hmotu. Úřad průmysl. vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 28325 ze dne 23.6.2015.

Autoři: Ing. Sergej Usťak, CSc.; Ing. Jakub Muňoz, Ph.D., Marie Usťaková

Název: **Možnosti využití hydrotermálně upravených bioodpadů pro čištění vod a vzduchu**

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 - Ruzyně

Redakce, sazba a tisk: EnviBio - sdružení pro rozvoj technologií trvale udržitelného života

Vazba: brožura

Náklad: 250 ks

Vyšlo v roce: 2015

Počet stran: 26

Vydáno bez jazykové úpravy

Fotografie: autorů

Kontaktní e-mail: ustak@eto.vurv.cz

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2015

ISBN 978-80-7427-171-7

Vydal Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
ve spolupráci s EnviBio - sdružení pro rozvoj
technologií trvale udržitelného života

2015