



národní  
úložiště  
šedé  
literatury

**Přípravky ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci**

Ušák, Sergej; Muňoz, Jakub; Ušáková, Marie  
2013

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-187437>

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

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

Datum stažení: 05.05.2024

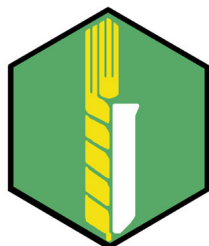
Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://nusl.cz) .



Sergej Ust'ak, Jakub Muňoz, Marie Ust'aková

**Přípravky ke zlepšení půdních vlastností  
na bázi hydrotermálně upravených zbytků  
po anaerobní fermentaci**

**METODIKA PRO PRAXI**



Výzkumný ústav  
rostlinné výroby, v.v.i.

2013

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, 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](http://www.biom.cz)).

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství České republiky, odborem rostlinných komodit.

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., 2013

ISBN 978-80-7427-147-2

---

Sergej Ust'ak, Jakub Muňoz, Marie Ust'aková

**Přípravky ke zlepšení půdních vlastností  
na bázi hydrotermálně upravených zbytků  
po anaerobní fermentaci**

**METODIKA PRO PRAXI**

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2013

---

## **Přípravky ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci**

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic, odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o přípravcích ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci. 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 zbytků po anaerobní fermentaci ke zlepšení půdních vlastností a zejména pro zúrodnění běžných zemědělských a antropogenních půd.

**Klíčová slova:** půdní přípravky; zbytky po anaerobní fermentaci; digestát BPS; kaly ČOV; zpracování bioodpadu; hydrotermální úprava; hodnocení přínosu.

---

## **Products based on hydrothermally treated residues from anaerobic fermentation for the soil properties improvement**

The methodology aim is to provide the basic information about the products for the soil properties improvement based on hydrothermally treated residues from anaerobic fermentation to the farmers, agricultural consultants, owners and biogas plants operators, also to experts in the field of soil reclamation, investors and to other interested parties on the questions concerned. In the introduction, the methodology provides a basic overview about literary information regarding to coal similar materials, methods for their preparation, especially the methods of hydrothermal carbonization, their basic characteristics, possibilities and perspectives for their application in practice. Furthermore, the methodology describes the own results obtained during the research project usable in practice and provides their agrochemical, environmental and economic evaluation. The conclusion gives an overview of the potential application and the main use possibilities of the new products based on hydrothermally treated residues from anaerobic fermentation for the soil properties improvements and in particular for common agricultural fertilization and anthropogenic soils.

**Key words:** soil improvers; residues from anaerobic fermentation; BGP digestate; sewage; biowaste treatment; hydrothermal treatment; evaluation of benefits.

---

# O B S A H

<b>I. Cíl metodiky .....</b>	<b>4</b>
<b>II. Vlastní popis metodiky a výsledky využitelné zemědělskou praxí.....</b>	<b>4</b>
1. Úvod.....	4
2. Základní popis testovaných přípravků a výsledky jejich zkušebního ověření .....	6
2.1. Popis a hodnocení experimentů s hydrotermální úpravou surovin .....	6
2.2. Pokusné ověření přípravků .....	14
2.2.1. <i>Pokus 1 – půdní přípravek na bázi digestátu BPS</i> .....	14
2.2.2. <i>Pokus 2 – půdní přípravek na bázi kalu ČOV</i> .....	15
2.2.3. <i>Závěry experimentů a doporučení použitelné v praxi</i> .....	17
2.3. Podmínky aplikace přípravků na běžné a antropogenní půdy.....	18
2.4. Souhrnná doporučení pro uživatele z praxe .....	23
<b>III. Ekonomické aspekty a další přínosy pro uživatele .....</b>	<b>25</b>
<b>IV. Potenciál využití přípravků a možnosti uplatnění metodiky.....</b>	<b>25</b>
<b>V. Srovnání novosti postupů .....</b>	<b>26</b>
<b>VI. Popis uplatnění metodiky.....</b>	<b>26</b>
<b>VII. Seznam použité související literatury .....</b>	<b>27</b>
<b>VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice.....</b>	<b>28</b>

---

## I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic, odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o přípravcích ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci. 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 bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, zejména digestátů z bioplynových stanic (BPS) nebo anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod (ČOV), ke zlepšení půdních vlastností a zejména pro zúrodnění běžných zemědělských a antropogenních půd.

---

## II. VLASTNÍ POPIS METODIKY A VÝSLEDKY VYUŽITELNÉ ZEMĚDĚLSKOU PRAXÍ

### 1. Úvod.

V posledních letech vznikl v odborných kruzích velký zájem o výzkum uhlí podobných hmot připravovaných z biomasy a bioodpadů, které jsou často nazývány biouhlem, což bylo inspirováno celosvětovým rozšířením informací o tzv. „Terra Preta“ – velmi úrodné tisíce let staré tmavé půdě v Amazonii, očividně vzniklé ukládáním dřevěného uhlí do půdy (Glaser, B., 2007). Biouhel je získáván především jako tuhý produkt pyrolýzy (pyrolýzní uhlí). 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 zkratka HTK, angl. zkratka HTC). Tento 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). 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 pyrolýze jsou významně menší ztráty uhlíku a skoro žádná produkce škodlivých emisí a dehtů (Libra et al., 2011; Titirici et al., 2012). Nesmíme opomenout také možnost výroby pomocí technologie HTC biouhelnatých tuhých biopaliv s vysokou koncentrací uhlíku a tím i energie, příznivých z hlediska jejich logistiky.

Aplikací biouhlu lze díky jeho vysoké chemické odolnosti velmi efektivně vyřešit potřebu snížení emisí CO<sub>2</sub> sekvestrací (ukládáním) uhlíku do půdy (Lehmann, J., 2007b; Sevilla et al., 2011). Biouhel, kromě jeho potenciálně dlouhé rezidentní doby v půdním prostředí, má další výhodu ve zvýšení úrodnosti půdy (Glaser et al., 2002) a stimulaci klíčových rhizobiálních mikroorganismů (Warnock et al., 2007), což zlepšuje podmínky pro růst rostlin a přispívá k udržitelnému obhospodařování půd (Glaser, B., 2007; Lehmann, 2007a,b). Dle některých výzkumů (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 v zemědělství, a to především ve formě tzv. pomocných půdních přípravků.

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



---

produkcí 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 využití mokrých a tekutých bioodpadů, mezi které lze zařadit rovněž hydrotermální karbonizaci.

---

## **2. Základní popis testovaných přípravků a výsledky jejich zkušebního ověření**

V současné době nejrozšířenějším způsobem likvidace fermentačních zbytků z anaerobních technologických procesů, zejména digestátů z bioplynových stanic a anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod, je jejich aplikace do půdy, která je zdůvodněna snahou o využití hnojivých složek těchto zbytků. S ohledem na ekonomické úvahy se aplikace fermentačních zbytků obvykle soustřeďuje v blízkosti jejich zdrojů, což má za následek lokální využití vyšších a často i nadměrných dávek. Proto se v poslední době množí zprávy zemědělců a odborníků o škodlivém působení aplikace fermentačních zbytků na úrodnost půdy a výnosy zemědělských plodin. Příčin tohoto jevu je očividně několik, ale jako hlavní lze uvést následující: 1) nedostatečná biologická stabilita zbytků anaerobní fermentace, zejména z hlediska potřeby oxidace, což může mít za následek potlačení činnosti saprofytických půdních aerobních mikroorganismů; 2) nepříznivé hydrofyzikální vlastnosti fermentačních zbytků, zejména jejich mazlavá, lepkavá kašovitá konzistence, následkem čehož může dojít na poměrně dlouhou dobu k ucpání půdních pórů a tím k zhoršení hydrofyzikálních vlastností a struktury půdy. Proto je žádoucím vyvinout nové způsoby úpravy a použití zbytků anaerobní fermentace, které odstraní uvedené nedostatky.

### **2.1. Popis a hodnocení experimentů s hydrotermální úpravou surovin**

Hlavním objektem výzkumu byly digestáty bioplynových stanic. Předkládané řešení bylo provedeno ve dvou dílčích etapách. Cílem první etapy bylo zjistit obsah a přeměny základních strukturálních složek biomasy, což jsou celulóza, hemicelulóza a lignin, v průběhu anaerobní

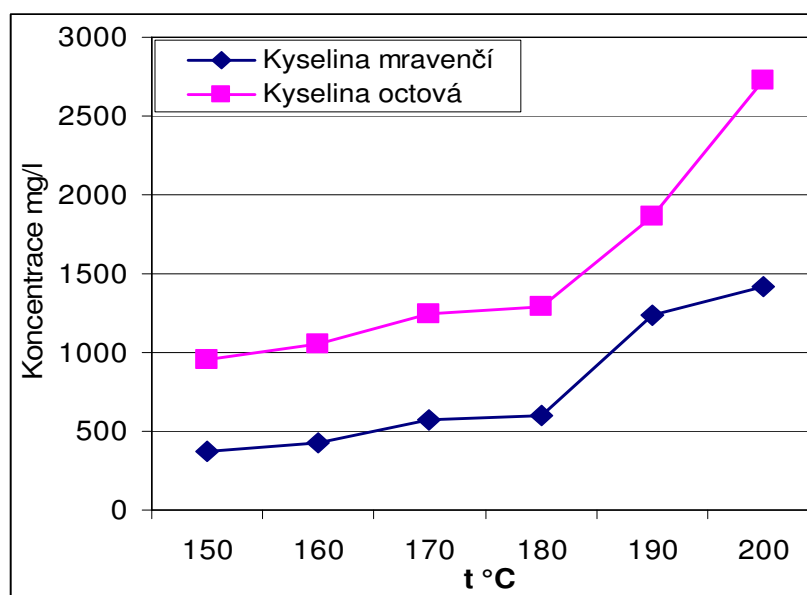
---

fermentace, jelikož obsah a podíl těchto složek v digestátu jakož i v ostatních typech biomasy nebo bioodpadů jsou důležité z hlediska přeměny na biouhel. Proto byl obsah těchto složek, stejně jako celkový obsah organických látek, stanoven v surovině na vstupu BPS (odběr z homogenizační nádrže) a na výstupu (tj., v digestátu, odběr ze skladovací nádrže), a to u různých typů bioplynových stanic. Byly zvoleny 3 základní typy BPS s kontrastním složením surovin, a to komunální BPS zpracovávající především rozličné bioodpady a zemědělské suroviny (BPS Kněžice), dále komunální BPS z linky pro mechanicko-biologickou úpravu odpadů (MBÚ), zpracovávající rozličné bioodpady spolu s biologickou složkou směsného komunálního odpadu (BPS-MBU Příbyšice), a dále zemědělská bioplynová stanice zpracovávající výhradně kejdu hospodářských zvířat a rostlinnou produkci jako je kukuřičná siláž, GPS obilovin apod. (BPS Claußnitz - Sasko).

Cílem druhé etapy bylo zjištění vlivu základních procesně-technologických parametrů hydrotermální karbonizace (HTC) na užité vlastnosti výstupního produktu (biouhlu). Na základě studie literatury a předběžných vlastních experimentů bylo zjištěno, že základními technologickými parametry ovlivňujícími chod procesu hydrotermální úpravy biomasy a bioodpadů je teplota ohřevu a tím, s ohledem na použití uzavřeného systému, i automaticky generovaný tlak procesu. Dalšími významnými parametry jsou čas ohřevu a použitý katalyzátor. Bylo zjištěno, že nejvhodnějším katalyzátorem je látka s vlastnostmi silné kyseliny, poskytující vodíkové ionty, které zrychlují start a průběh procesu přeměny biomasy na biouhel. Nejčastěji se pro tyto účely, dle literárních údajů, používá kyselina citrónová, ale s ohledem na potřebu výpočtů podílu uhlíku obsaženého v této látce je podle nás vhodnější použít jinou (minerální) kyselinu (např. sírovou), která je navíc více perspektivní pro budoucí uplatnění v praxi, a to s ohledem na významně příznivější pořizovací cenu.

Předběžné pokusy potvrdily, že rozdíly mezi různými typy kyselin nejsou podstatné, rozhoduje nastavená hodnota pH substrátu. Potřebné množství kyseliny pro změnu pH na požadovanou hodnotu, s ohledem na různé pufrací schopnosti jednotlivých substrátů, je nutno stanovit individuálně, a to pomocí tzv. krokového titrování. Bylo rovněž zjištěno, že pokud se kyselina nepřidá vůbec, proces HTC většinou stejně proběhne,

ale vyžaduje delší čas. Výrazné okyselení výstupního substrátu až na hodnoty pH 3-4 svědčí o produkci organických kyselin v procesu hydrotermální karbonizace (dle našich laboratorních testů především jednoduchých kyselin jako mravenčí a octová), což znamená, že tento proces je autokatalytický. V rámci předběžných testů bylo námi prokázáno, že množství vzniklých kyselin je přímo závislé na teplotním režimu procesu hydrotermálního zpracování digestátu BPS (viz obr. 1). Doba úpravy digestátu BPS o sušiny 6 % byla v tomto předběžném experimentu, provedeném za účelem zjištění potenciálu tvorby organických kyselin v průběhu hydrotermální hydrolýzy, vždy jednotná, a to 30 min.



Obr. 1. Závislost mezi obsahem kyselin mravenčí a octové ve výstupním roztoku a teplotou procesu HTC

Z výše uvedených faktů vyplývá jeden důležitý postřeh. Při vývoji a ověření konkrétního zařízení a postupů bude nutno individuálně proanalyzovat a posoudit, co je z ekonomického hlediska vhodnější – zda prodloužit čas ohřevu a ušetřit na nákladech na odolnější zařízení a nákup kyselin za cenu zvýšených nákladů na energii nebo naopak, spíše šetřit na energii a použít přídavek kyseliny.

Výsledky stanovení obsahu organických látek a jejich základních strukturálních složek, tj. celulózy, hemicelulózy a ligninu před a po anaerobní fermentaci v surovině a digestátu základních typů bioplynových stanic, popsanych výše, jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2. Z uvedených výsledků jednoznačně vyplývá, že se v průběhu anaerobní fermentace

přednostně rozkládají celulóza a hemicelulóza a skoro beze změn zůstává lignin, což má za následek jeho vícenásobnou koncentraci při vyjádření obsahu ligninu v procentech (viz tab. 1). Rovněž tak stoupá i procentuální koncentrace ostatních komponentů, i když ne tak výrazně jako u ligninu.

Tab. 1. Základní bilanční rozbor složek biomasy (v % sušiny)

Ukazatel	Jednotka	Komunální BPS kombinovaná s MBÚ		Komunální BPS		Zemědělská BPS	
		surovina	digestát	surovina	digestát	surovina	digestát
Obsah sušiny	%	10,2	4,55	8,35	3,36	12,2	3,32
Spalitelné látky	% suš.	79,3	56,8	74,5	52,8	87,6	62,2
Obsah popele 550 °C	% suš.	20,7	43,2	25,5	47,2	12,4	37,8
Celkový uhlík	% suš.	39,7	28,4	37,3	26,4	43,8	31,1
Celkový dusík	% suš.	5,12	4,69	2,54	2,22	3,75	2,92
<i>Poměr C:N</i>	<i>poměr</i>	<i>7,7</i>	<i>6,1</i>	<i>14,7</i>	<i>11,9</i>	<i>11,7</i>	<i>10,7</i>
<i>pH suspenze</i>	<i>jedn. pH</i>	<i>5,30</i>	<i>7,95</i>	<i>4,80</i>	<i>8,46</i>	<i>4,45</i>	<i>8,20</i>
Obsah ligninu	% suš.	14,9	31,7	10,8	25,4	8,75	28,6
Obsah celulózy	% suš.	8,52	9,64	7,30	8,10	13,2	17,5
Obsah hemicelulózy	% suš.	3,20	5,30	2,50	4,90	5,84	1,60

Úplně jiná situace nastává při vyjádření hmotnostní bilance anaerobní fermentace v hmotnostních jednotkách vztažených na původní substrát, tj. kg/t suroviny nebo digestátu (tab. 2). Zde jsou patrné skutečné ztráty jednotlivých komponentů a látek v průběhu anaerobního rozkladu, přičemž minimální rozklad pozorujeme právě u ligninu (zlomky původního množství) a maximální u celulózy a hemicelulózy.

Rozdíl mezi celkovou ztrátou organické sušiny a celkovým obsahem hlavních komponent lze připsat především vodorozpustným dusíkatým a bezdusíkatým látkám a nerozpustným minerálním sloučeninám. Na vstupu lze stanovit i určité množství tuků, které je obvykle nevýznamné, pokud se nejedná o přímé použití surovin s vysokým obsahem tuků, a to především u komunálních BPS. V surovinách zemědělských BPS je tuku obvykle velmi málo a většinou se jedná o rostlinný tuk. Nicméně na kvalitu výstupních digestátů obsah tuku velký vliv nemá, neboť patří k dobře zplynovatelným surovinám, proto v daném výzkumu nebyl tuk zjišťován. Lze pozorovat i menší ztrátu popelovin, což je spojeno s jejich částečným rozpuštěním a možnou další přeměnou (např., rozpuštění uhličitánů s možnou ztrátou části hmotnosti přeměnou na plyn).

Tab. 2. Základní bilanční rozklady složek biomasy (v kg/t původní hmoty)

Ukazatel	Jedn.	Komunální BPS kombinovaná s MBÚ			Komunální BPS			Zemědělská BPS		
		surovina	digestát	rozdíl	surovina	digestát	rozdíl	surovina	digestát	rozdíl
Obsah sušiny	kg/t původ. hmota	102	45,5	56,5	83,5	33,6	49,9	122	33,2	88,8
Spalitelné látky 550 °C	kg/t původ. hmota	80,9	25,8	55,0	62,2	17,7	44,5	106,9	20,7	86,2
Obsah popele		21,1	19,7	1,5	21,3	15,9	5,4	15,1	12,5	2,6
Celk. uhlík	kg/t	40,4	12,9	27,5	31,1	8,9	22,2	53,4	10,3	43,1
Celk. dusík	pův.hm	5,22	2,13	3,09	2,12	0,75	1,37	4,58	0,97	3,61
<i>Poměr C:N</i>	<i>poměr</i>	7,7	6,06	1,69	14,7	11,9	2,77	11,7	10,7	1,03
<i>pH suspenze</i>	<i>jedn. pH</i>	5,30	6,90	-1,6	4,80	7,75	-2,95	4,45	8,05	-3,6
Lignin	kg/t	15,20	14,42	0,77	9,02	8,53	0,48	10,68	9,50	1,18
Celulóza	kg/t pův. hm.	8,69	4,39	4,30	6,10	2,72	3,37	16,10	5,81	10,29
Hemicelulóza		3,26	2,41	0,85	2,09	1,65	0,44	7,12	0,53	6,59

Procesy přeměny organické hmoty biomasy nebo bioodpadů v průběhu hydrotermální úpravy zahrnují především reakce hydrolýzy, dehydratace, dekarboxylace, aromatizace a kondenzace, i když nejdůležitější iniciační reakcí procesu u HTC je termochemická hydrolýza (Funke, Ziegler, 2009, 2010).

Dle stejných autorů, při hydrotermální úpravě biomasy, občas označované jako mokrá pyrolýza, dochází k rozkladu a přeměně základních strukturálních složek jako je celulóza, hemicelulóza a lignin při daleko nižších teplotách, než při suché pyrolýze (Libra et al., 2011; Titirici et al., 2012). Např. při suché pyrolýze k rozkladu hemicelulózy dochází především při teplotách v rozmezí 200 až 400 °C, zatímco celulóza se rozkládá při vyšších teplotách (300-400 °C). Bez ohledu na to, že lignin je nejodolnější vůči biologickému rozkladu, jeho termický rozklad začíná již při teplotě 180 °C, ale k celkovému rozkladu dochází postupně (různé frakce) v rozmezí teplot od 180 až po 600 °C.

Naproti tomu hydrotermální rozklad hemicelulózy probíhá již při teplotách 180 - 200 °C, většina ligninu se rozloží již při teplotách 180 - 220 °C, pouze celulóza je v tomto případě nejodolnější a k jejímu rozkladu začíná docházet většinou při teplotách nad 220 °C, přičemž její intenzivní rozklad (zejména krystalické celulózy) probíhá při teplotách ještě vyšších –

nad 260 °C. Z těchto úvah jsme vycházeli při plánování našich experimentů. Proto má přidání kyselin významný vliv na urychlení nastartování a průběhu procesu HTC, zejména v případě substrátů s vysokým podílem hemicelulózy a zejména celulózy, což např. potvrzují i výsledky HTC papíru a digestátu. Zatímco bez přidání kyselin k zuhelnatění papíru nedošlo, po přidání kyselin při stejném nastavení ostatních parametrů jsou přeměny na biouhel celkem znatelné (viz foto 1-2). Naopak u digestátu BPS nenastal žádný problém a ke kompletní přeměně došlo jak s přidáním, tak i bez přidání kyselin, ale stupeň karbonizace v případě přidání kyseliny byl vyšší (viz foto 3-4). Jedná se o vliv kyselin na zintenzivnění procesů kyselé hydrolyzy, který je základním procesem hydrotermálního rozkladu a následné syntézy biouhlí.



Foto 1. Papír bez kyseliny (230 °C, 6 h)



Foto 2. Papír s kyselinou (230 °C, 6 h, pH 3)



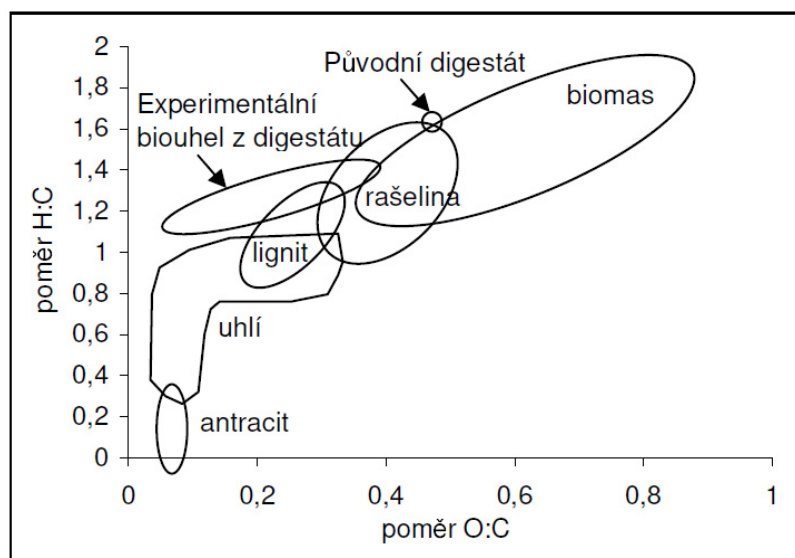
Foto 3. Digestát bez kyseliny (220 °C, 6 h)



Foto 4. Digestát s kysel. (220 °C, 6 h, pH 4,5)

Jelikož digestáty BPS mají ve srovnání s původní surovinou snížený obsah hemicelulózy a celulózy a zvýšený obsah ligninu (viz předchozí kapitola), jsou obzvláště vhodné jako substráty pro hydrotermální úpravu a produkci biouhlu. Totéž platí pro anaerobně stabilizované kaly ČOV, a to právě z důvodů příznivého ovlivnění složení biomasy její předběžnou anaerobní fermentací.

V průběhu hydrotermální úpravy digestátů BPS a kalů ČOV dochází ke snížení podílu H/C, což odráží intenzitu procesu dehydratace a podílu O/C dekarboxylace. Porovnání výsledných experimentálních hodnot H/C (1,1-1,3) a O/C (0,1-0,4) s diagramem Van Krevelena (např. Libra et al., 2011), který se používá pro hodnocení procesů zrání uhlí, ukazuje (viz obr. 2), že výstupní biouhel se přibližuje tzv. typu bituminózního uhlí neboli lignitu (mladší typ uhlí). Na rozdíl od uhlí přírodního má námi vyrobený biouhel hodnoty O/C ve větším rozsahu a při intenzivnějších procesních podmínkách dosahuje hodnot běžných pro přírodní uhlí (0,05-0,25), ale současně poměr H/C je mnohem vyšší (1,1-1,3 u našeho biouhlu proti 0,4-0,9 u přírodního uhlí). Větší poměr H/C a O/C znamená vyšší obsah chemicky aktivních hydrofilních funkčních skupin typu karboxylů, karbonylů, hydroxylů apod.



Obr. 2. Závislost atomových hmotnostních poměrů O/C a H/C v biouhlu a původním digestátu BPS ve srovnání s typovými uhlíkovými substráty



---

Na základě hodnot poměrů H/C a O/C lze posoudit i užitnou kvalitu vyrobeného biouhlu odděleně pro různé typy využití. Z hlediska palivářského je vhodnější co nejnižší obsah kyslíku, tj. co nejnižší poměr O/C, přičemž vysoký obsah vodíku není na závadu. Naopak z hlediska využití biouhlu v zemědělství a ekologii, kde jsou důležité jeho adsorpční vlastnosti a kationtová výměnná kapacita, je vhodnější vyšší podíl H/C a O/C, který znamená vyšší obsah chemicky aktivních funkčních skupin. Jedná se o to, že sférické částice biouhlu jsou obvykle tvořené kompaktním hydrofóbním jádrem polyaromatické struktury opláštěným skořápkou vykazující díky přítomnosti okysličených funkčních skupin (karboxyly, karbonyly, hydroxyly apod.) hydrofilní a chemicky aktivní povrch (Sevilla, Fuertes, 2009a,b).

Intenzivnější proces HTC snižuje podíl hydrofilních skořápek a výsledné uhlí při použití jako sorbentu vyžaduje následnou aktivaci, která je obvykle technologicky složitá a energeticky náročná. Proto je vhodnější používat pro zemědělské účely méně stabilizované (vyzrálé) biouhlí.

## **2.2. Základní popis testovaných přípravků**

Nedostatky uvedené v úvodu kapitoly č. 2 odstraňuje přípravek ke zlepšení půdních vlastností podle tohoto technického řešení, jehož podstata spočívá v tom, že přípravek obsahuje hydrotermálně upravené zbytky po anaerobní fermentaci, 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.

Na základě námi získaných experimentálních výsledků bylo stanoveno, že procesní parametry hydrotermální úpravy při výrobě přípravků určených pro zúrodnění půd musí být nastaveny tak, aby zabezpečily základní elementární složení výstupního produktu, které je charakterizováno poměrem obsahu 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 1,1-1,3, přičemž nejnižší obsah organické sušiny je 50 % celkové sušiny a nejnižší obsah celkové sušiny je 5 %.

Hydrotermální úprava fermentačních zbytků se obvykle provádí v uzavřeném reaktoru za vysokých teplot (obvykle větších než 150 °C) a tím i 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 hmotu, která se svými vlastnostmi přibližuje bituminóznímu uhlí a dle našich analýz základního elementárního složení snižuje poměr obsahu 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 1,1-1,3. 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 aplikaci ve vysokých dávkách do půdy.

Uhlí podobná konzistence tuhého podílu tohoto přípravku zajišťuje dobré technologické vlastnosti z hlediska aplikovatelnosti na půdu a splnění podmínek pro účinnou sekvestraci (ukládání) uhlíku do půdy. 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 % hmotnostních, a tím 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 40 %. Výhodou hydrotermální úpravy fermentačních zbytků je rovněž to, že tato úprava potlačuje plevelná semena, likviduje patogenní mikroorganismy a minimalizuje hygienická rizika.

## **2.2. Pokusné ověření přípravků**

Jako příklady pokusného ověření byly zhotoveny a pokusně testovány 2 typy půdních přípravků.

### **2.2.1. Pokus 1 – půdní přípravek na bázi digestátu BPS**

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. Stupeň dosažené uhlofikace a tím i stabilizace organického podílu dokládá výrazné snížení poměru obsahu 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 substrátu byl 7,5 %, podíl organické sušiny byl 65 % celkové sušiny.

Upravený digestát byl výrazně méně fyto toxický ve srovnání s neupraveným, a to o 17 %, což bylo prokázáno biologickou zkouškou vodného výluhu tuhého podílu při klíčení semen řechy seté. Agronomická účinnost upraveného digestátu byla zjišťována v pětkrát opakovaném nádobovém vegetačním pokusu se zjišťováním výnosu zelené hmoty hořčice seté ve srovnání s hnojením neupraveným digestátem, a to ve stejné dávce 50 g sušiny substrátu na 1 kg sušiny půdy. Tento přípravek z hydrotermálně upraveného digestátu BPS statisticky průkazně zvýšil výnos biomasy hořčice seté ve srovnání s neupravenou variantou o 5,7 %.

### **2.2.2. Pokus 2 – půdní přípravek na bázi kalu ČOV**

Přípravek byl zhotoven hydrotermální úpravou anaerobně stabilizovaného kalu z komunální čistírny odpadních vod. Upravený kal byl výrazně méně fyto toxický ve srovnání s neupraveným, a to o 21 %, což bylo prokázáno biologickou zkouškou vodného výluhu tuhého podílu při klíčení semen řechy seté. Stupeň dosažené uhlofikace a tím i stabilizace organického podílu dokládá výrazné snížení poměru obsahu O:C v organické sušině z původních 0,47 na 0,25 a H:C z původních 1,64 na 1,21. Celkový obsah sušiny upraveného kalu byl 6,4 %, podíl organické sušiny byl 59 % celkové sušiny.

Agronomická účinnost upraveného kalu byla zjišťována v pětkrát opakovaném nádobovém vegetačním pokusu se zjišťováním výnosu zelené hmoty hořčice seté ve srovnání s hnojením neupraveným digestátem, a to ve stejné dávce 50 g sušiny substrátu na 1 kg sušiny půdy. Tento přípravek z hydrotermálně upraveného kalu ČOV statisticky průkazně zvýšil výnos biomasy hořčice seté ve srovnání s neupravenou variantou o 6,3 %.

Uvedené přípravky mají vysoký potenciál pro uplatnění v praxi. Přípravek podle uvedeného technického řešení lze snadno průmyslově vyrábět. Jeho využití v zemědělství zajistí 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 provádění biologických rekultivací antropogenně poškozených nebo 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. Ilustrační fotografie vegetačních testů jsou znázorněny níže (viz foto č. 1-3).

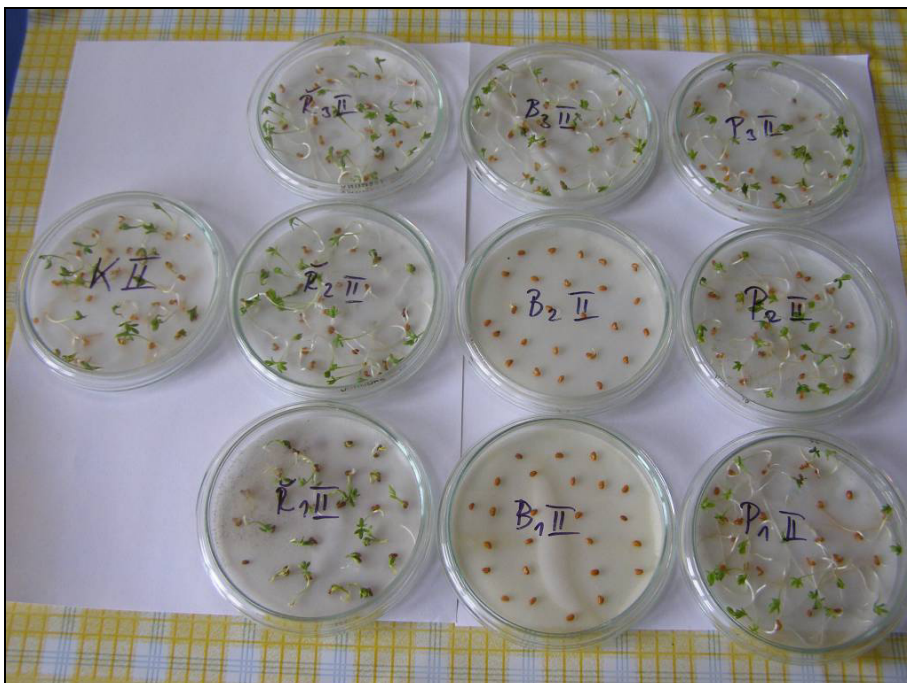


Foto 5. Biologická zkouška vodného výluhu substrátů pomocí klíčení semen řeřichy seté



Foto 6. Vegetační testy zemědělských přípravků v otevřeném gruntu pomocí hořčice seté





Foto 7. Vegetační testy zemědělských přípravků ve skleníku pomocí hořčice seté

### **2.2.3. Závěry experimentů a doporučení použitelné v praxi**

1. Pomocí rozsáhlých experimentů v průběhu řešení bylo prokázáno, že digestáty BPS jsou velmi vhodnými substráty pro výrobu biouhlu, což je spojeno s tím, že v průběhu anaerobní fermentace se přednostně rozkládá celulóza a hemicelulóza a prakticky se nerozkládá lignin. To vede k jeho výraznému nahromadění v digestátu. Lignin je pak při hydrotermální úpravě velmi důležitým zdrojem přeměny na biouhel. Proto je výtěžnost biouhlu z organického podílu digestátu vyšší, než z biomasy, papíru a ostatních hmot bohatých na celulózu, která je na rozdíl od ligninu odolnější vůči HTC přeměně.

2. Jako rozhodující byly zvoleny následující principy optimalizace procesu: 1) zajištění nejvhodnějšího poměru mezi množstvím a kvalitou výstupního produktu; 2) volba optimálních, co nejnižších, hodnot ze spodní hranice rozsahu účinných parametrů, ovlivňujících nákladovost procesu (např. teploty a času, které ovlivňují energetickou náročnost, nebo koncentrace katalyzátorů apod.).

3. Výběr vhodného druhu a koncentrace katalyzátoru je závislý na druhu a látkovém složení suroviny. Nejvhodnějším a universálním katalyzátorem je silná kyselina s pH nižším než 4,5 jako donor iontových

---

vodíků pro urychlení startu a průběhu celého procesu HTC, a to díky zintenzivnění procesu termochemické hydrolýzy. Vliv kyselé aktivace procesu HTC je znatelný tím více, čím větší podíl celulózy obsahuje surovina. S ohledem na snížení energetické náročnosti procesu HTC je důležité volit co nejnižší účinné hranice teploty a času, čemuž napomáhá i volba vhodných katalyzátorů.

4. Bylo prokázáno, že rozhodujícím technologickým parametrem regulujícím proces hydrotermální úpravy biomasy a bioodpadů v závislosti na požadované kvalitě a způsobu uplatnění výstupních produktů (biouhlu) je teplota ohřevu, méně významnými jsou v testovaných mezích rozsahu úprava pH suroviny a čas ohřevu.

5. Bylo stanoveno, že hydrotermální úpravou zbytků po anaerobní fermentaci, zejména digestátů z bioplynových stanic (BPS) rovněž jako anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod (ČOV), dochází ke ztrátě koloidní struktury, snížení objemu sraženin, zvýšení chemické stability organické hmoty, snížení fytotoxicity a dokonce k mírnému navýšení agronomické účinnosti upravených substrátů. Proto lze hydrotermální úpravu doporučit pro zpracování digestátů BPS a obsahem rizikových prvků vyhovujících kalů ČOV za účelem zhotovení přípravků (substrátů) vhodných ke zlepšení půdních vlastností a zejména pro zúrodnění běžných zemědělských a antropogenních půd. Hydrotermální úprava odstraňuje negativní vlivy vysokých dávek digestátů BPS a kalů ČOV na fyzikálně-chemické vlastnosti půd.

### **2.3. Podmínky aplikace přípravků na běžné a antropogenní půdy**

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. 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 % (viz tab. č. 3). Rovněž tak jsou 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.

Tab. 3: Limitní koncentrace vybraných rizikových prvků (mg/kg sušiny) v hnojivech a substrátech určených pro zemědělskou půdu dle vyhl. č. 271/2009 Sb.

Ukazatel	Substrát	Organická a statková hnojiva se sušinou	
		nad 13 % (tuhá)	pod 13 % (tekutá)
<b>As</b>	20	20	20
<b>Cd</b>	1*/2	2	2
<b>Cr<sub>celk.</sub></b>	100	100	100
<b>Cu</b>	100	100	100
<b>Hg</b>	1	1	1
<b>Mo</b>	5*/20	20	20
<b>Ni</b>	50	50	50
<b>Pb</b>	100	100	100
<b>Zn</b>	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;

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.

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).

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	
<b>As</b>	mg/kg suš.	10	20	30	40
<b>Cd</b>	mg/kg suš.	2	3	4	5
<b>Cr<sub>celk.</sub></b>	mg/kg suš.	100	250	300	600
<b>Cu</b>	mg/kg suš.	170	400	500	600
<b>Hg</b>	mg/kg suš.	1	1,5	2	5
<b>Ni</b>	mg/kg suš.	65	100	120	150
<b>Pb</b>	mg/kg suš.	200	300	400	500
<b>Zn</b>	mg/kg suš.	500	1200	1500	1800
<b>PCB</b>	mg/kg suš.	0,02	0,2	-	dle způsobu použití
<b>PAU</b>	mg/kg suš.	3	6	-	dle způsobu použití
Neroloz. příměsi >20 mm	% hm.	max. 2%	max. 2%	-	-
<b>AT<sub>4</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /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, fenantrenu, chrysenu, indeno(1,2,3-cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu)*

*AT<sub>4</sub> - test respirační aktivity, testovací metoda pro hodnocení stability bioodpadu na základě měření spotřeby O<sub>2</sub> za 4 dny podle rakouské normy ÖNORM S 2027 - 1 ze dne 1.9. 2004 . Pokud je AT<sub>4</sub> testovaného materiálu nižší než 10 mg O<sub>2</sub>/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
Nerозlož. příměsi >20 mm	% hm.	max. 2,0	-

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

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. Citovaná vyhláška je v tomto bodě matoucí a nejednoznačná, neboť nerozlišuje mezi odstraňováním stabilizovaného odpadu skupiny 3 uložení 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<sub>2</sub> 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 uložení 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. 294/2005 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](http://www.ukzuz.cz).

---

## 2.4. 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 dopravné vzdálenosti: čím větší bude plánovaná transportní vzdálenost, tím větší 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. 2.3).

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 akademii 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“ (Ust'ak a spol., 2010).

---

### **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](http://www.vuzt.cz), záložka expertní systémy). Předpokládané ekonomické přínosy 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. Aplikací přípravků na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci dochází k uchování produkčních i mimoprodukčních funkcí zemědělské půdy. Důležitým ekologickým přínosem je dlouhodobá sekvestrace sloučenin uhlíku do půdy.

---

### **IV. Potenciál využití přípravků a možnosti uplatnění metodiky**

Hlavní potenciál využití přípravků ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci v praxi, zejména digestátů z bioplynových stanic (BPS) nebo anaerobně stabilizovaných kalů z čistíren odpadních vod (ČOV), je spojený především s možností jejich využití 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 základní informace o přípravcích ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci, zejména v podmínkách ČR. 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 ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci v praxi, včetně jejich 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 pro energetické účely, hlavně provozovatelům bioplynových stanic. Metodika je rovněž určena odborníkům v oblasti meliorací a rekultivací a poskytuje zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o přípravcích ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci. 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](http://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. Glaser, B., 2007: Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 362, p. 187–196.
4. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils* 35, p. 219–230.
5. Kovaříček 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. Kovaříček a spol., 2012, 34 p.
6. Lehmann, J., 2007a: Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5, 381–387.
7. Lehmann, J., 2007b: A handful of carbon. *Nature* 447, p. 143–144.
8. 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.
9. Sevilla, M., Fuertes, A. B. (2009a): Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides. *Chem. Eur. J.* 2009, 15: 4195–4203.
10. Sevilla M., Fuertes A.B. (2009b): The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon* 2009; 47(9): 2281–2289.
11. Sevilla M., Maciá-Agulló J.A., Fuertes A.B., 2011: Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO<sub>2</sub>: Chemical and structural properties of the carbonized products. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, Issue 7, p. 3152-3159.
12. 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<sub>2</sub> problem? *New Journal of Chemistry* 31, 787–789.
13. 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.

- 
14. Ust'ak, 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.
  15. 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.
  16. Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C., 2007: Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil* 300, p. 9–20.
- 

## VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Petříková, V., Váňa, J., Ust'ak, S., 1996: Pěstování a využití technických a energetických plodin na rekultivovaných pozemcích. *Metodiky pro zemědělskou praxi 17/1996*, Praha, ÚZPI 1996, 24 s.
2. Czako-Markupová A., Mikanová, O., Ust'ak, S., 2007: The effect of inoculation on reclaimed soil. In: *Počvovedenie i agrochimia*, 1, 2007 (38), s. 232 –237.
3. Ust'ak, 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., Ust'ak, S. & Czako, A. 2009. Utilization of microbial inoculation and compost for revitalization of soils. *Soil and Water Research*, 4(3): 126-130.
5. Váňa, J. & Ust'ak, S. 2009: Tepelně tlaková hydrolyza lignocelulózových odpadů. *Waste forum*, 2(2): 133-139.
6. Ust'ak, 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. Ust'ak, S., Muňoz, J., 2012: Vliv základních technologických parametrů hydrotermální úpravy vybraných bioodpadů na užité vlastnosti výstupních produktů. In: *Agritech Science*, roč. 6, č. 2, článek 7. ISSN 1802-8942.
8. Ust'ak, 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.

Autoři: Ing. Sergej Ust'ak, CSc.; Ing. Jakub Muňoz, PhD.,  
Marie Ust'aková

Název: Přípravky ke zlepšení půdních vlastností na bázi  
hydrotermálně upravených zbytků po anaerobní fermentaci

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: 2013

Počet stran: 28

Vydáno bez jazykové úpravy

Fotografie: autorů

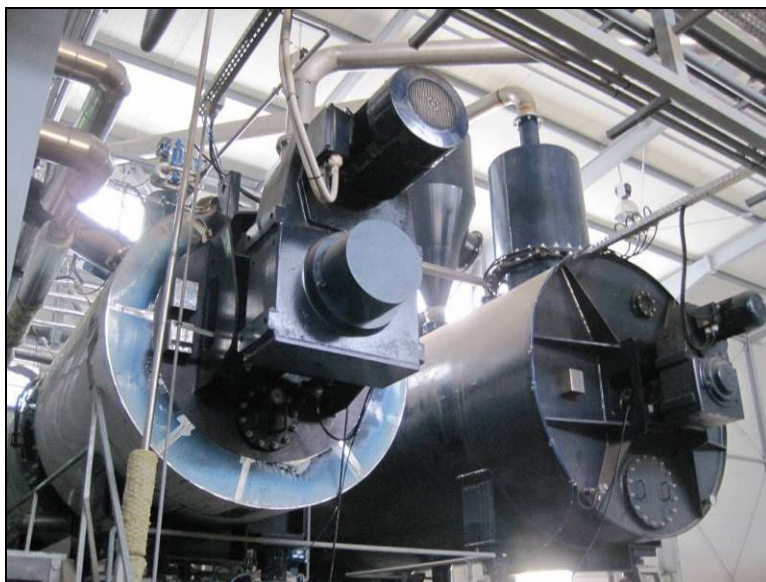
Kontaktní e-mail: [ustak@eto.vurv.cz](mailto:ustak@eto.vurv.cz)

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2013

ISBN 978-80-7427-147-2







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

**2013**