



Sergej Ust'ak, Jakub Muňoz, Vojtěch Váňa

Zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty

METODIKA PRO PRAXI



Výzkumný ústav
rostlinné výroby, v.v.i.

2017

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury České republiky (TA ČR) v rámci řešení výzkumného projektu TA ČR č. TA04020903 (75 %) a Ministerstva zemědělství České republiky (MZe ČR) v rámci projektu institucionální podpory MZe ČR č. RO 0417 (25 %).

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR - odborem rostlinných komodit pod č. j. 74438/2017-MZE-17221.

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

Oponenti: 1) Ing. Michaela Budňáková, MZe ČR
2) Ing. Petr Hutla, CSc., VÚZT, v.v.i. Praha

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

Sergej Ust'ak, Jakub Muňoz, Vojtěch Váňa

**Zpracování biologicky rozložitelných odpadů
obsahujících suroviny živočišného původu
na hnojivé substráty**

METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2017

Zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty.

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, původcům a zpracovatelům bioodpadů, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic a kompostáren, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o možnostech hygienizační úpravy biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty a způsobech jejich použití. Patentovaný kombinovaný postup acidické a alkalické úpravy bioodpadů zajišťuje dostatečnou stabilizaci a účinnou hygienizaci výstupního produktu, umožňující jeho další využití buď pro kompostování nebo bioplynování nebo pro aplikaci na půdu jako hodnotného hnojivého substrátu. Součástí metodiky je hodnocení agrochemické efektivity použití výstupních hnojivých substrátů při pěstování vybraných zemědělských plodin. Metodika je určena širokému okruhu uživatelů. Metodika může posloužit jako podklad pro úpravu technických zařízení, technologických postupů i jako materiál pro výuku na středních zemědělských školách, univerzitách se zemědělským zaměřením nebo zemědělským poradcům.

Klíčová slova: biologicky rozložitelné odpady; gastroodpady; hygienizace odpadů; acidicko-alkalická úprava bioodpadů; hnojivé substráty; agrochemická účinnost.

Processing of biodegradable waste containing raw materials of animal origin into fertilizer substrates.

The aim of the methodology is to provide to farmers, agricultural advisors, biogas manufacturers and processors, owners and operators of biogas stations and composting plants, investors and other interested parties, the basic information on the possibilities of hygienic treatment at biodegradable waste containing animal raw materials to fertilizer substrates and the ways of their use. The patented combined method of acid and alkaline biowaste treatment ensures a sufficient stabilization and efficient hygiene of the output product, allowing to be further utilized for composting, biogasification, or for soil application as a valuable fertilizer substrate, as well. A part of the methodology is the evaluation of agrochemical efficiency at output use of fertilizer substrates in the cultivation of selected agricultural crops. The methodology is intended for a wide range of users. The methodology can serve as a basis for the adaptation of technical facilities, technological processes and also as a material for teaching at secondary agricultural schools, agricultural universities or agricultural advisors.

Keywords: biodegradable waste; gastro-waste; waste hygiene; acidic-alkaline biowaste treatment; fertilizer substrates; agrochemical efficiency.

O B S A H

I. CÍL METODIKY	4
II. VLASTNÍ POPIS METODIKY A VÝSLEDKY	
VYUŽITELNÉ V PRAXI.....	4
1. ÚVOD – současný stav problematiky	4
2. Základní popis návrhu řešení a dosažených výsledků	8
2.1. Způsob a zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty	8
2.2. Výsledky polního testování výstupních hnojivých substrátů	20
2.3. Souhrnné závěry	29
III. Ekonomické aspekty a další přínosy pro uživatele	29
IV. Srovnání novosti postupů	30
V. Popis uplatnění metodiky.....	30
VI. Seznam použité související literatury	31
VII. Seznam publikací, které předcházely metodice	32

I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je poskytnout zemědělcům, zemědělským poradcům, původcům a zpracovatelům bioodpadů, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic a kompostáren, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku základní informace o možnostech úpravy biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty a jejich použití. Doposud v České republice podobná metodika zpracována nebyla.

Patentovaná technologie pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu umožňuje jejich investičně a provozně nenáročné materiálové využití, a to jejich přeměnou na agrochemicky cenné hnojivé substráty, použitelné v zemědělství a při rekultivacích, zejména na kyselé půdy. Takové materiálové využití podobných biologických odpadů je dle zásad evropské odpadové legislativy více preferovanou cestou ve srovnání s jejich likvidací spalováním a skládkováním. Kombinování postupů acidické a alkalické úpravy bioodpadů dle vynálezu zajišťuje dostatečnou stabilizaci a účinnou hygienizaci výstupního produktu, umožňující jeho další využití buď pro kompostování nebo biozplynování nebo pro aplikaci na půdu jako hodnotného hnojivého substrátu. Součástí metodiky je hodnocení agrochemické efektivity použití výstupních hnojivých substrátů při pěstování běžných zemědělských plodin.

Metodika je určena širokému okruhu uživatelů. Metodika může posloužit jako podklad pro úpravu technických zařízení, technologických postupů i jako materiál pro výuku na středních zemědělských školách, univerzitách se zemědělským zaměřením nebo zemědělským poradcům.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY A VÝSLEDKY VYUŽITELNÉ V PRAXI

1. ÚVOD – současný stav problematiky

Kuchyňské a jateční odpady a většina gastroodpadů vznikající zejména při hromadném (veřejném) stravování a při obchodu s potravinami (výrobky zkažené nebo s prošlou záruční dobou), které obsahují suroviny živočišného původu nebo s nimi přišly do kontaktu, jsou v současné době legislativně

zahrnuty mezi tzv. vedlejší produkty živočišného původu (VPŽP), což jsou rizikové biologicky rozložitelné odpady, a proto je způsob nakládání s takovými odpady usměrňován odpovídajícími legislativními předpisy (viz Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1069/2009 s platností ode dne 4. 3. 2011, které nahradilo předchozí Nařízení č. 1774/2002). Dle zákona o odpadech je biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven neboli gastroodpad, zařazen v katalogu odpadů pod číslem 20 01 08. Jedná se o odpad pocházející většinou z podnikatelské činnosti. Bioodpad z kuchyní v domácnosti, kde domácnost vaří pouze pro svoji vlastní potřebu, není dle současné legislativy považován za gastroodpad. Jinými slovy, gastroodpad je tvořen biologicky rozložitelnou hmotou, která vzniká v restauracích, jídelnách, výrobnách potravin a dalších provozovnách obdobného charakteru. Jedná se zejména o zbytky z výroby a úpravy potravin či nedojedené zbytky. V širším slova smyslu je ke gastroodpadu možno připočítat i prošlé potraviny a potraviny nevyhovující kvality z obchodní sítě.

Riziko u těchto odpadů je hygienické, neboť mohou obsahovat patogenní nebo potenciálně patogenní mikroorganismy. Proto je nezbytné omezovat rizika spojená s nakládáním s těmito odpady na nejnižší míru, zabránit kontaminaci potravinového řetězce a snižovat riziko pro pracovníky, kteří s těmito odpady přicházejí do styku. Dále tyto biologicky rozložitelné odpady mohou být zdrojem zápachu a výskytu hmyzu a hlodavců, což vyžaduje při nakládání s nimi jistá opatření. Vyhláška č. 299/2003 Sb. „o opatřeních pro předcházení a zdolávání nákaz a nemocí přenosných ze zvířat na člověka“ a Vyhláška 137/2004 Ministerstva zdravotnictví ČR „o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných“ v platném znění pozdějších předpisů určují hygienické požadavky týkající se gastroodpadů. Nařízení Rady Evropy 1069/2009 (ES) stanoví hygienická a veterinární pravidla pro vedlejší produkty živočišného původu s cílem zabraňovat rizikům pro zdraví lidí a zvířat, která v souvislosti s těmito produkty vznikají a snižovat je na minimum a zejména chránit bezpečnost potravinového a krmivového řetězce.

Zákaz využití kuchyňských odpadů jako krmiva, s výjimkou možností krmení kožешinových zvířat, legislativně omezil tradiční způsob hospodářného nakládání s kuchyňskými a podobnými odpady. V současnosti je možno

kuchyňské a podobné odpady s obsahem VPŽP odstraňovat na úředně povolených skládkách nebo spalovat s komunálním odpadem ve spalovnách odpadů. Vnášení kuchyňských odpadů do odpadních vod je v ČR zakázáno vodohospodářskými předpisy.

Podle hierarchie vhodných způsobů nakládání s odpady má jejich využití větší prioritu ve srovnání s odstraněním (likvidací), ke kterým patří skládkování a spalování. Hygienicky vyhovující způsob využití kuchyňských a podobných odpadů s obsahem VPŽP je aerobní kompostování a anaerobní digesce za předpokladu, že tyto odpady budou náležitým způsobem (dle Nařízení ES 1069/2009) upraveny, a to před zpracováním nadrceny na maximální zrnitost 12 mm a hygienizovány za minimální teploty 70 °C po dobu nejméně 60 minut v odděleném hygienizačním (pasteračním) zařízení. Na bioplynových stanicích (BPS) se hygienizace provádí v pasterizačních zařízeních s využitím tepla z chlazení kogeneračních jednotek, na kompostárnách se využívá tepla z aerobní exotermní fermentace v odděleném fermentoru.

Výsledný hnojivý produkt při použití těchto způsobů je kompost nebo digestát. Zpracování kuchyňských odpadů na kompostárnách nebo zejména na bioplynových stanicích, které často disponují zbytkovým teplem, je technologicky vhodné. Slabou stránkou je to, že podobné zařízení je investičně a provozně-energeticky náročné a proměnlivá kvalita kuchyňských odpadů komplikuje jak anaerobní digesci, tak kompostování. Další omezení plyne z toho, že většina bioplynových stanic v ČR jsou zemědělského typu a pro ně je zakázáno využití jiných než zemědělských odpadů, a to pod hrozbou ztracení nároku na dotace pro vyráběnou elektřinu. Slabou stránkou těchto technologií je rovněž to, že neřeší sběr a dočasné uskladnění gastroodpadů jejich producenty. Náklady na odstranění podobných odpadů jsou poměrně vysoké a nízkonákladové technologie na trhu chybí.

Mimo výše uvedeného způsobu úpravy gastroodpadů převzatého z původního Nařízení ES č. 1774/2002, kde tento způsob byl jedině možný, umožňuje novější Nařízení ES 1069/2009 i jiné způsoby, ale za podmínky jejich experimentální validace. Např. nejvhodnějším a očividně nejdokonalejším validovaným způsobem hygienizační úpravy biologických odpadů s obsahem vedlejších produktů živočišného původu je termotlaková sterilizace, která předpokládá zpracování po nadrcení bioodpadu na velikost

částic 50 mm nebo méně, při teplotě jádra vyšší než 133 °C po dobu alespoň 20 minut bez přerušení, za absolutního tlaku alespoň 3 barů. Podobný způsob úpravy je vhodný především pro bioplynové stanice poskytující možnost využití tepla z chlazení kogeneračních jednotek. Navíc, pro tyto BPS je výstupní produkt úpravy gastroodpadů velmi hodnotnou surovinou pro výrobu bioplynu, přičemž termotlaková úprava bioodpadů obvykle zvyšuje jejich specifickou produkci bioplynu. Pro kompostárny je podobná technologie většinou nevhodná kvůli vysokým finančním a energetickým nárokům.

Výstupní hygienizovaný produkt z pasteračních a zejména sterilizačních zařízení lze dále bez omezení využít buď pro kompostování nebo pro biozplynování. Výsledný hnojivý produkt z těchto způsobů zpracování biologických odpadů je kompost nebo digestát. Problémem však je to, že většina kompostáren a bioplynových stanic v ČR nedisponuje pasteračním zařízením. Ještě menší množství BPS je vybaveno sterilizačním zařízením.

Dalším problémem je to, že prakticky se neřeší nakládání s kuchyňským odpadem s možným výskytem produktů živočišného původu v domácnostech. Obvykle se firmy, které provádějí separovaný sběr bioodpadů z domácností, omezí na upozornění, že produkty živočišného původu do sběrných nádob nepatří, ale toto už nekontrolují, neboť většina kuchyňských odpadů podobné produkty obsahuje. V poslední době pozorujeme celosvětový trend výzkumu a výroby rozličných typů zařízení pro decentralizované zpracování biologicky rozložitelných odpadů, včetně domácností, a to nejenom kuchyňského odpadu, ale i dalších typů bioodpadu a jejich následného zavádění do praxe. Na internetu se nachází desítky nabídek různých zařízení pro zpracování podobných bioodpadů, ale většinou se jedná o aerobně-fermentační zařízení, tj. fakticky o kompostéry, jejichž pracovní postupy v případě zpracování gastroodpadů, které většinou obsahují VŽP, nesplňují požadavky nařízení 1069/2009 (ES). Bohužel dosažení potřebné efektivity a souladu s legislativou je většinou vykoupeno investiční a provozní nákladností příslušného zařízení. Proto na trhu pozorujeme významnou poptávku po investičně a provozně přijatelných technologiích (tj. postupech a zařízeních) pro nakládání s bioodpadem ze strany menších podniků, veřejných institucí, obcí, a nakonec i domácností.

Při vývoji podobných nízkonákladových technologií pro sběr a úpravu bioodpadů je první otázkou nalezení vhodného způsobu sběru a dočasného uskladnění gastroodpadů jejich producenty před dalšími způsoby nakládání s bioodpadem, které zamezí rozvoji nežádoucích nebo škodlivých mikroorganismů a eliminují nebo alespoň zmírní nepříjemné zápachy. Obvykle se to řeší četností odvozu, zmražením nebo sterilizací vysokoteplotním ohřevem bioodpadů, což je energeticky a ekonomicky náročné. Teplotní sterilizace navíc úplně neřeší problém biologické stability, neboť zde je možná sekundární kontaminace a rozvoj mikroorganismů. Proto by žádoucí byly způsoby předúpravy s použitím vhodných přípravků schopných zajistit jejich biologickou stabilizaci a dočasnou konzervaci. Navíc, zvolené přípravky by neměly znemožňovat další úpravu těmito přípravky ošetřených bioodpadů, zejména biologickými způsoby jako kompostování nebo biozplynování.

2. Základní popis návrhu řešení a dosažených výsledků

2.1. Způsob a zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty

Popis způsobu řešení a výsledků se zakládá na výsledcích získaných v průběhu řešení příslušného projektu Technologické agentury České republiky (TA ČR) č. TA04020903, především na schváleném Úřadem průmyslového vlastnictví ČR patentu č. 306899 ze dne 19.07.2017. Vynález se týká způsobu a zařízení pro hygienizační úpravu a zpracování biologicky rozložitelných odpadů (BRO), které obsahují suroviny živočišného původu nebo s nimi přišly do kontaktu, na hnojivé substráty. Jedná se především o BRO z kuchyní, včetně domácností a stravoven, zejména z restaurací, stravovacích zařízení apod. Do zájmové skupiny BRO lze rovněž zařadit odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu. Z širšího hlediska evropské legislativy (viz nařízení ES č. 1069/2009 v platném znění) všechny tyto bioodpady patří ke skupině tzv. vedlejších produktů živočišného původu (VPŽP), které nejsou určeny k lidské spotřebě.

Podstata zmíněného vynálezu spočívá v tom, že nedostatky výše uvedených způsobů nakládání s kuchyňskými a podobnými odpady živočišného původu, zejména jejich investiční a energetická náročnost, jsou

odstraněny předloženým vynálezem, kterým je řešen způsob a zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty.

Podle vynálezu se biologicky rozložitelné odpady obsahující suroviny živočišného původu nejdříve dezintegrují na maximální zrnitost 12 mm. Tato předúprava gastroodpadů při jejich úpravě a dalším zpracování je vyžadována nařízením 1069/2009 (ES). Sušina vsázky zpracovávaných bioodpadů tohoto typu je obvykle v rozmezí 12–24 % hm., při potřebě se sušina směsi odpadů upravuje přidáním sušších nebo vlhčích bioodpadů nebo vody, aby se dostala do uvedeného rozsahu. Následně se takto připravená vsázka odpadů zpracovává dvojstupňovým postupem kombinované acidické a alkalické úpravy, přičemž acidická úprava je základem první shromažďovací etapy a alkalická úprava základem druhé závěrečné etapy.

2.1.1. Acidická úprava v průběhu shromažďovací etapy

V průběhu první shromažďovací etapy se jednotlivé vsázky drcením předupravených bioodpadů pokaždé (tj. při každém vložení přídavku) podrobí acidické úpravě, prováděné vhodnými acidifikačními neboli okyselujícími přípravky v dávkách zajišťujících pokles hodnoty pH upravovaných bioodpadů pod maximální hodnotu 3,5. Taková acidická úprava zabezpečí částečnou hygienizaci a žádanou konzervaci v průběhu shromažďování a dočasného skladování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu, a to po dobu dostatečně dlouhou pro naplnění kapacity sběrného sila, přičemž z praktického hlediska je optimální 1 týden až 1 měsíc. Pak následuje druhá závěrečná etapa alkalické úpravy prováděná vhodnými alkalizačními přípravky v dávkách zajišťujících zvýšení hodnoty pH upravovaných bioodpadů nad minimální hodnotu 10,0, což zabezpečí dovršení účinné hygienizace a stabilizace upravovaných bioodpadů a jejich přeměny na hnojivé substráty jako výstupní produkty.

Z hlediska manipulovatelnosti s odpady při jejich podávání, čerpání a zejména promíchávání je vhodnější vysoký obsah vody a tím nízký obsah sušiny. Je to však technologicky nevýhodné pro velký objem takových odpadů a tím vysoké nároky na kapacitu zařízení a logistiku nakládání s těmito odpady. Proto je vhodné určit přijatelné meze obsahu sušiny ve

zpracovávaném odpadu. Kuchyňské a podobné odpady obsahující složky živočišného původu mají obvykle sušinu v rozmezí 5–40 % hm., přičemž nejčastěji v rozsahu 8–28 % hm. Proto se jako výhodné pro tento vynález řešení jeví obsah sušiny vsázky zpracovávaného odpadu v rozmezí 12–24 %, přičemž tento žádaný obsah sušiny se reguluje složením smíchávaných odpadů, tj. v případě potřeby přidáním sušších nebo vlhčích bioodpadů nebo vody.

Vhodnost přípravků pro provedení acidifikace se určuje jejich acidifikačními neboli okyselujícími schopnostmi. Čím vyšší je tato schopnost, tím se může použít nižší dávka a tím vhodnější je daný přípravek. Prakticky to mohou být libovolné minerální a organické kyseliny nebo jejich směsi. Druhou rovinou výběru je dobrá ekonomická dostupnost, tj. co nejnižší cena přípravku a únosná technicko-technologická náročnost použití. Třetí rovinou výběru je účinné konzervační působení proti hnilobným mikroorganismům a plísním, které však nezamezí jejich další úpravu aerobní nebo anaerobní fermentací, tj. kompostování nebo biozplynování.

Na základě těchto úvah byla jako výhodné modelové řešení zvolena kyselina sírová, která je snadno dostupná, velmi levná, a navíc ve srovnání s většinou dalších tekutých kyselin má nejnižší ztráty odpařováním. Z chemického hlediska je nejvhodnější využití koncentrované kyseliny, ale z hlediska technicko-technologického je vhodnější roztok kyseliny sírové ve vodě. Ředění vodou se volí pro usnadnění manipulace s přípravkem, ale nesmí být příliš vysoké, aby nedocházelo k nadměrnému ředění odpadů a nadměrnému zvýšení jejich objemu. Proto bylo zvoleno, že celkový obsah vody v roztoku kyseliny sírové nesmí být nižší než 20 %, ale ne vyšší než 40 % hm. Podle experimentálního zjištění tento roztok může být aplikován v dávkách v rozmezí 2–10 % hm. upravovaného odpadu, přičemž konkrétní dávka se řídí dosažením acidity na úrovni 3,5 a méně jednotek pH a závisí především na pufrovací schopnosti těchto odpadů a tím na jejich složení. Výhodnost tohoto konkrétního řešení vhodného acidizačního přípravku nevylučuje možnost použití jiných látek a směsí, ale celkové úvahy a podmínky určení jejich vhodnosti budou stejné. Nejdůležitější podmínkou je účinná acidická konzervace upravovaných gastroodpadů, která zabrání po celou dobu jejich shromáždění rozvoji a růstu nežádoucích mikroorganismů, včetně plísní.

2.1.2. Alkalická závěrečná úprava

Dle podobných úvah jako v případě acidické úpravy se určuje vhodnost přípravků pro provedení alkalizace. Čím vyšší je alkalizační schopnost voleného přípravku, tím se může použít nižší dávka a tím vhodnější je daný přípravek. Prakticky to mohou být libovolné alkalizační přípravky nebo jejich směsi, i když možnosti jejich výběru jsou mnohem užší ve srovnání s kyselinami. Druhou rovinou výběru je co nejnižší cena přípravku a únosná technicko-technologická náročnost při jeho použití. Na základě těchto úvah byl jako výhodné řešení alkalizačního přípravku zvolen oxid vápenatý ve formě mletého páleného vápna, a to v dávkách v rozmezí 4–20 % hm. upravovaného odpadu, přičemž konkrétní dávka se řídí dosažením alkality na úrovni 10,0 a více jednotek pH a závisí především na pufrovací schopnosti těchto odpadů a tím na jejich složení, včetně složení okyselujícího přípravku použitého v první etapě.

Nadměrný přebytek vápna sice hygienizaci neškodí a naopak ji podporuje, ale může zvýšit ztráty dusíku ve formě čpavku, a proto není žádoucí, zejména při stoupání alkality nad 12 jednotek pH. Výhodnost tohoto konkrétního řešení vhodného alkalizačního přípravku nevylučuje možnost použití jiných látek a směsí, ale celkové úvahy a podmínky určení jejich vhodnosti budou stejné.

Výše popsané způsoby pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty dle tohoto vynálezu určují konstrukci vhodného zařízení. Zařízení podle vynálezu je blíže osvětleno pomocí schematického výkresu na obr. 1. Rovnými nepřerušovanými čarami s šipkami je na obrázku značen směr látkového pohybu v průběhu provozu tohoto zařízení. Zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty podle schematického obr. 1 je tvořeno hlavním technologickým modulem 1, kterým je homogenizačním ústrojím vybavený hermeticky uzavíratelný reaktor sloužící současně jako silo pro shromáždění, homogenizaci, hygienizační úpravu a dočasné skladování zpracovávaných materiálů a dimenzovaný na reakci prostředí v rozmezí 2 - 12 jednotek pH a na pracovní teploty do 80 °C. Hlavnímu modulu 1 je předřazen vstupní modul

2 určený pro příjem a předúpravu vstupních surovin, kterými jsou různé tuhé a tekuté biologicky rozložitelné odpady obsahující suroviny živočišného původu, a to drcením těchto surovin na maximální zrnitost 12 mm. Na hlavní modul 1 je napojen dávkovacím ústrojím vybavený zásobníkový modul pro acidifikační přípravek 3 a dávkovacím ústrojím vybavený zásobníkový modul pro alkalizační přípravek 4. Dále je na hlavní modul napojený odvětrávací filtrační modul 5 určený pro zachytávání a úpravu plynových zplodin vznikajících při zpracování biologicky rozložitelných odpadů, a to za účelem snížení obtěžujících zápachů na únosnou úroveň a hlavně pro zachytávání a fixaci čpavku vznikajícího při alkalizaci zpracovávaných odpadů v průběhu druhé alkalizační etapy jejich úpravy. Za hlavní modul 1 je zařazen vyskladňovací modul 6, určený pro odběr a nakládku výstupního produktu, kterým je tuhý hnojivý substrát, do transportních prostředků.

Používané acidifikační a alkalizační chemické přípravky jsou chemicky agresivní (především žíravé), a proto vyžadují odborné zacházení. Aplikují se do bioodpadu s využitím pomůcek a zařízení odolných vůči korozivnímu působení kyselin a louhů a při dodržení příslušných bezpečnostních předpisů osobní ochrany personálu. Použité postupy a zařízení musí zajistit dokonalé promísení přípravků s upravovaným bioodpadem. Složení přípravků dle tohoto řešení a rovněž doporučené dávky lze měnit v poměrně širokém rozmezí v návaznosti na převládající složky bioodpadů, celkovou sušinu a způsob jejich konečné úpravy a plánovaného použití.

Postup zpracování kuchyňských a podobných bioodpadů živočišného původu je podle vynálezu zcela bezodpadový a použité chemické látky se stávají složkami hnojivého substrátu. Použité zařízení pracuje za běžného atmosférického tlaku a do zařízení se nedodává tepelná energie, což činí tuto technologii ekologicky přijatelnou.

Dle tohoto popisu a schématu bylo zhotoveno experimentální zařízení, které bylo použito pro poloprovozní ověření navržené technologie (viz obr. 2-4). Dále jsou pokusně zpracovávány bioodpady (obr. 5-14), upravené gastroodpady (obr. 15-16) a polní pokusy využití těchto substrátů (obr. 19-24).

2.1.3. Výsledky testování acidicko-alkalické úpravy bioodpadů

Způsob zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty dle prezentovaného

vynálezu byl testován v rámci rozsáhlých experimentů v průběhu řešení výše uvedeného projektu. Z těchto experimentů byl zvolen uváděný příklad, který dobře demonstruje efektivitu zvolených postupů. Jako modelový substrát byl použit vícesložkový směsný biologicky rozložitelný odpad obsahující suroviny živočišného původu (kuchyňský odpad, jateční odpad, prošlé potraviny apod.), který byl pro lepší demonstraci efektivitu postupů hygienizace mikrobiologicky kontaminován přidáním 10 % hm. kalu z čistírny odpadních vod. Testovaný směsný bioodpad připravila dle požadavků řešitelů firma Wekus s.r.o., která se specializuje na nakládání s podobnými typy odpadů, a to včetně nadrcení na maximální zrnitost 12 mm.

Připravený bioodpad byl v odstupu 24 hodin od přípravy (za účelem namnožení mikroorganismů) umístěn v množství 30 kg do laboratorního hermeticky uzavíratelného laboratorního reaktoru o objemu 50 l a následovala první acidifikační etapa úpravy tohoto bioodpadu za účelem jeho hygienické stabilizace a konzervace v průběhu dočasného skladování. Pro tyto účely byl použit 70 % roztok kyseliny sírové ve vodě, a to v dávce 3 % hm. neboli 30 g roztoku na 1 kg upravovaného bioodpadu. Po přidání kyseliny byl bioodpad důkladně promíchán a nechán ležet v průběhu 2 týdnů. Pak následovala druhá závěrečná etapa úpravy bioodpadu alkalizací, která byla provedena oxidem vápenatým ve formě mletého páleného vápna kvality CP90, a to v dávce 5 % hm. neboli 50 g na 1 kg acidifikovaného bioodpadu. Po přidání vápna byl bioodpad důkladně promíchán, nechán ležet v průběhu 2 dnů a následně vyskladněn jako hnojivý substrát, vhodný pro další úpravu kompostováním nebo biozplynováním nebo pro přímé použití za dodržení určitých podmínek. Výstupní produkt se svou konzistencí a vlastnostmi podobal odvodněným čistírenským kalům, zejména kalům hygienizovaných vápněním, a proto pro nakládání s tímto produktem, včetně přímé aplikace na půdu, byly zvoleny právě podmínky určené pro kaly ČOV.

V průběhu přípravy a provedení experimentu byly odebírány příslušné vzorky, které byly neprodleně podrobeny chemickým a zejména mikrobiologickým rozborům. Z hlediska mikrobiologie byly zvoleny základní testy používané pro charakteristiku bioodpadů, odpadních vod a rovněž kalů ČOV, jejichž výběr byl založen na sledování výskytu mikroorganismů s možným patogenním vlivem na člověka. Jedná se o testy obsahu

následujících 4 skupin nebo druhů indikátorových mikroorganismů: 1) termotolerantní koliformní bakterie, které odráží stupeň hygienizace bioodpadů a zejména druhotnou kontaminaci v průběhu shromažďování nebo distribuce bioodpadů; 2) enterokoky, které jsou považovány za citlivý údaj z hlediska indikace tzv. čerstvého fekálního znečištění, neboť se ve vodě nemnoží a nejsou rezistentní; 3) *Salmonella sp.*, choroboplodné fakultativně anaerobní a nesporetvorné enterobakterie, jejichž zdrojem jsou hlavně ptáci, v jejichž zažívacím ústrojí salmonely přežívají; jsou z uvedených mikroorganismů nejméně odolné na sterilizaci teplem a jiné způsoby hygienizace; 4) *Clostridium perfringens*, v přírodě všudypřítomná grampozitivní tyčinkovitá anaerobní sporulující bakterie z rodu *Clostridium*, která indikuje fekální znečištění dlouhodobého charakteru a je z uvedených mikroorganismů nejodolnější na hygienizaci.

Současné legislativní limity pro bioodpady a organická hnojiva v ČR obsahují pouze první 3 skupiny indikátorových mikroorganismů, neboť čtvrtá skupina je z hlediska odstranění nejvíce problematická. Experti Evropské komise však prosazují širší uplatnění právě tohoto parametru a některé ze států EU toto už zavedly do své národní legislativy, a proto čtvrtá skupina byla rovněž zahrnuta do našeho průzkumu.

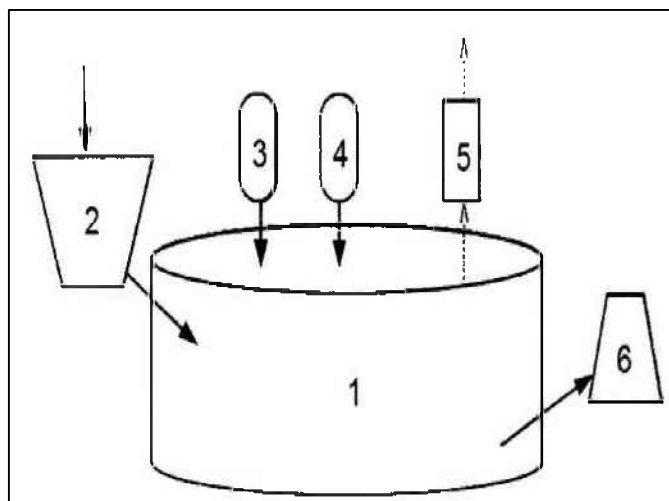
Výsledky mikrobiologických rozborů bioodpadů bez ošetření (kontrolní varianta), ošetřených pouze jednotlivými acidifikačními a alkalizačními přípravky, a nakonec kombinovaně ošetřených nejdříve acidifikačním přípravkem a s odstupem 2 týdnů alkalizačním přípravkem, jsou souhrnně uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Výsledky testování obsahu indikátorových skupin mikroorganismů v bioodpadu při různých způsobech jeho úpravy.

Varianta úpravy bioodpadu	Termotolerantní koliformní bakterie KTJ/g	Enterokoky KTJ/g	Salmonella KTJ/50g	<i>Clostridium perfringens</i> KTJ/g
Kontrola bez ošetření	15 500	986 000	10	560
Acidické ošetření	280	9 600	0	230
Alkalické ošetření	160	4 200	0	50
Kombinované acidické a alkalické ošetření	<50	<50	0	<10

Poznámka: zkratka KTJ znamená kolonii tvořící jednotky.

Obrázová příloha metodiky – obr. č. 1 až 24.



Obr. 1: Schéma zařízení



Obr. 2: Celkový vzhled zařízení



Obr. 3: Zařízení v dílně



Obr. 4: Zařízení v dílně



Obr. 5: Příjmová hala gastroodpadu na BPS Ahníkov



Obr. 6: Část haly BPS Ahníkov pro gastroodpad



Obr. 7: Sběrné nádoby s gastroodpadem



Obr. 8: Příklad gastroodpadu - saláty



Obr. 9: Příklady gastroodpadu -
brambory



Obr. 10: Příklady gastroodpadu – odpad
z drůbeže



Obr. 11: Příklady gastroodpadu – zbytky
jídla



Obr. 12: Příklady gastroodpadu -
zkažený chleba



Obr. 13: Příklady gastroodpadu – mořské produkty



Obr. 14: Příklady gastroodpadu – zkažené sýry



Obr. 15: Příklady gastroodpadu – masné výrobky



Obr. 16: Příklady gastroodpadu – uzeniny



Obr. 17: Upravený bioodpad na výstupu



Obr. 18: Různé varianty upraveného bioodpadu



Obr. 19: Pokusné porosty pšenice
na jaře



Obr. 20: Pokusné porosty pšenice
v létě



Obr. 21: Pokusné porosty hořčice
na jaře



Obr. 22: Pokusné porosty hořčice
v létě



Obr. 23: Zrající hořčice



Obr. 24: Zrající hořčice - detail

Tyto výsledky ošetřených bioodpadů s obsahem živočišných produktů výše uvedenými přípravky potvrdily téměř dokonalou (pod limit detekce) hygienizaci kombinovanou acidicko-alkalickou úpravou, kdežto ošetření pouze jednotlivými přípravky celkovou kontaminaci mikroorganismy výrazně snižovalo, ale úplně neodstraňovalo. Výjimkou jsou, vůči hygienizaci nejméně odolné, salmonely, jejichž obsah u všech ošetřených variant pokusu poklesl na hodnotu 0. Tyto výsledky dokazují synergický efekt kombinovaného využití obou uvedených postupů úpravy bioodpadů.

Mimo uvedeného postupu s využitím roztoku kyseliny sírové, bylo v průběhu řešení projektu odzkoušeno množství kombinací rozličných kyselin a dalších látek s dezinfekčním působením, na jehož základě bylo vypracováno nejvhodnější složení konzervačního přípravku pro účinnou hygienizaci biologicky rozložitelných odpadů s obsahem VPŽP. Výsledně bylo toto složení experimentálně ověřeno a právně ochráněno užitným vzorem č. 29962 ze dne 8.11.2016. Jedná se o směsný chemický přípravek, jehož hlavním účelem je předběžná konzervace bioodpadů v průběhu sběru a dočasného uskladnění před jejich odvozem nebo další úpravou, která zamezí rozvoji nežádoucích nebo škodlivých mikroorganismů a odstraní nebo alespoň zmírní nepříjemné zápachy. Základem tohoto konzervačního přípravku je směs kyseliny sírové (5-30 % hm.) a octové (8-40 % hm.), která pro lepší účinnost může být doplněna dalšími účinnými látkami, jako jsou kyselina mravenčí (0-10 % hm.), kyselina akrylová (0-20 % hm.) a formaldehyd (0-5 %). Celková směs je doplněna do 100 % hm. vodou, přičemž celkový obsah vody ve směsi nesmí být nižší než 30 % hm.

Stabilizační přípravek je tekutý a aplikuje se do bioodpadu s využitím pomůcek a zařízení odolných vůči korozivnímu působení kyselin a při dodržení příslušných bezpečnostních předpisů osobní ochrany personálu. Použité postupy a zařízení musí zajistit dokonalé promísení přípravků s upravovaným bioodpadem. Složení přípravku dle tohoto řešení a rovněž doporučené dávky lze měnit v poměrně širokém rozmezí v návaznosti na převládající složky bioodpadů, celkovou sušinu a způsob jejich konečné úpravy.

Pro znázornění účinnosti navrženého řešení byly zvoleny dva příklady experimentů. Stabilizační přípravek dle příkladu 1 byl připraven smícháním 30 % hm. koncentrované kyseliny sírové, 40 % hm. koncentrované kyseliny

octové a 30 % hm. vody. Stabilizační přípravek dle příkladu 2 byl připraven tak, že výsledně obsahoval 9 % hm. kyseliny sírové, 18 % hm. kyseliny octové, 18 % hm. kyseliny akrylové a stopové množství do 1 % kyseliny mravenčí a formaldehydu, zbytek do 100 % hm. doplňuje voda.

Oba dva přípravky byly v dávce odpovídající v přepočtu 50 g na 1 kg bioodpadu použity pro úpravu směsného kuchyňského bioodpadu infikovaného přidáním čistírenského kalu v hmotnostním poměru kal-bioodpad 1:10. Po ošetření byly v odstupu 48 hodin odebrány vzorky na mikrobiologické rozborů obsahu základních skupin mikroorganismů indikujících znečištění bioodpadů v rozsahu uvedeném v předchozím výstupu. Výsledky mikrobiologických rozborů bioodpadů bez ošetření (kontrolní varianta) a výše uvedenými přípravky ošetřených potvrdily téměř dokonalou sanitaci. Obsah všech výše uvedených mikroorganismů, s výjimkou nejodolnějších klostridií, které vytvářejí spóry a tím přežívají v nepříznivých podmínkách, se dostal na detekční minimum (viz tab. 2). Při srovnání s výsledky acidifikační úpravy v tab. 1 je zřejmé, že kombinované přípravky mají významně vyšší účinnost ve srovnání s mono-roztokem kyseliny sírové.

Tabulka 2. Výsledky testování obsahu indikátorových skupin mikroorganismů v bioodpadu bez ošetření (kontrola) a po ošetření přípravky dle příkladů 1 a 2

Varianta úpravy bioodpadu	Termotolerantní koliformní bakterie KTJ/g	Enterokoky KTJ/g	Salmonella KTJ/50g	Clostridium perfringens KTJ/g
kontrola bez ošetření	580	44 000	3	380
varianta dle příkladu 1	<50	<50	0	250
varianta dle příkladu 2	<50	<50	0	180

2.2. Výsledky polního testování výstupních hnojivých substrátů

Polní testování výstupních hnojivých substrátů vzniklých acidicko-alkalickou úpravou gastroodpadů dle výše popsaného postupu se provádělo v letech 2015-2017 na pokusném demonstračním pozemku VÚRV – stanice Chomutov. Cílem polního pokusu bylo zjistit vliv aplikace různých dávek

hnojivého substrátu jako potenciálního organického hnojiva na výnos vybraných plodin, a to v roce 2016 pšenice jarní (*Triticum aestivum* L.) a v roce 2017 hořčice bílé (*Sinapis alba* L.). Parcelový pokus byl navržen v kombinaci 4 variant - 3 variant stupňovaných dávek testovaného upraveného bioodpadu V3, V6 a V9 a 1 kontrolní varianty K0 bez přídatku upraveného bioodpadu (viz tab. 3). Každá varianta byla provedena ve 4 opakováních. Pokusné variantní parcely byly zvoleny dle pokusnické metodiky latinského čtverce s náhodným rozmístěním bloků a výměra jedné pokusné parcely činila 3 m² (1,5 m × 2 m).

Tabulka 3: Schéma rozmístění jednotlivých variant pokusů

V3	V6	K0	V9
K0	V9	V3	V6
V9	V3	V6	K0
V6	K0	V9	V3

2.2.1. Výsledky chemických rozborů upraveného bioodpadu

Následující tabulky č. 4 až 6 uvádí výsledky chemických rozborů výstupního produktu kombinované úpravy bioodpadů, které umožňují hodnotit agrochemickou kvalitu jako hnojivého substrátu. Na první pohled je vidět hodně vysoký obsah základních živin, zejména dusíku, fosforu a síry, což je očividně zapříčiněno vyšším podílem bílkovin ve složení původního bioodpadu. Rovněž obsah organických látek je velmi vysoký (cca 90 % celkové sušiny), což je velmi příznivý údaj z hlediska obohacení půd snadno rozložitelnou organickou hmotou, která je základem pro tvorbu humusu a zvýšení půdní úrodnosti. Porovnání obsahu rizikových látek a jejich limitů ukazuje, že testovaný bioodpad s velkou rezervou splňuje veškeré limity pro organická hnojiva i substráty.

Jelikož se jedná o upravené bioodpady s velkým podílem kuchyňských odpadů, je patrný vyšší obsah sodíku (Na) ve srovnání s přírodními rostlinnými surovinami, u kterých obvykle má Na, ve srovnání s dalšími kovovými makroprvky jako K, Ca a Mg, nejnižší obsah (obvykle pod hodnotou 0,1 %). V návaznosti na vyšší obsah solí jsou relativně vysoké hodnoty vodivosti. Vysoké hodnoty pH a obsahu Ca jsou spojeny s alkalickou úpravou vápnem.

Tabulka 4: Hodnoty vybraných parametrů v testovaném upraveném bioodpadu

Sušina, %	Vlhkost, %	pH/H ₂ O	Vodivost, mS/m	Spal. látky 550 °C, %	Popel 550 °C, %
22,8 ± 0,7	77,2 ± 0,7	10,7 ± 0,7	55,4 ± 3,6	90,8 ± 0,4	9,2 ± 0,4

Tabulka 5: Celkový obsah živin v testovaném upraveném bioodpadu, % sušiny

N	P	K	Ca	Mg	Na	S
2,58 ± 0,20	0,590 ± 0,074	1,09 ± 0,04	0,336 ± 0,088	0,089 ± 0,002	0,824 ± 0,047	0,499 ± 0,123

Tabulka 6: Celkový obsah vybraných rizikových prvků v upraveném bioodpadu, výluh lučavkou královskou, mg/kg sušiny.

Al	B	Fe	Mn	Be	Ba
643 ± 197	7,15 ± 0,39	782 ± 178	28,1 ± 7,4	0,073 ± 0,037	8,60 ± 0,50
As	Cd	Pb	Hg	Co	Cr
1,95 ± 0,60	0,183 ± 0,124	1,68 ± 1,35	0,153 ± 0,061	0,293 ± 0,244	3,70 ± 1,19
Cu	Mo	Ni	Zn	V	
5,37 ± 0,90	0,474 ± 0,369	4,27 ± 1,11	45,3 ± 6,1	0,773 ± 0,249	

Mikrobiologické rozborů čtyř výše uvedených ukazatelů u tohoto upraveného bioodpadu, použitého pro polní experimenty, byly pod detekčním limitem metod stanovení. Na základě uvedených výsledků laboratorních rozborů lze prohlásit, že testovaný upravený bioodpad má potenciálně vysokou agrochemickou kvalitu. Jinými slovy, testovaný bioodpad může být hodnotným organickým hnojivem s vysokým obsahem základních živin a mikroelementů a současně nízkým obsahem rizikových látek a indikačních skupin mikroorganismů.

2.2.2. Výnosy vybraných plodin v rámci polních pokusů

Na podzim roku 2015 byla započata vlastní realizace tohoto pokusu, kdy přesně odvážený bioodpad byl aplikován v určeném množství. Dávky upraveného bioodpadu (hnojivého substrátu) byly v přepočtu 30, 60 a 90 tun původní hmoty na 1 ha. V přepočtu na sušinu to bylo cca 7, 14 a 21 tun sušiny substrátu na 1 ha. Hnojivý substrát byl ihned po aplikaci zapraven do půdy, a to orbou.

Na jaře roku 2016 byl, po jarní kultivaci stanoviště, pokusný pozemek oset pšenicí jarní (odrůda Dafne), v dávce 220 kg/ha. Ošetřování během vegetace spočívalo v kombinaci mechanických a chemických operací vedoucích k potlačení plevelů (mechanická kultivace, herbicidní přípravky – Agritox 50 SL+Lontrel 300), houbových chorob (fungicid Falcon 460 EC) a živočišných škůdců (Karate se Zeon technologií 5 CS).

V roce 2017 byl na stejném pokusném pozemku stanice VÚRV v Chomutově realizován další polní pokus, který navazoval na pokus z předešlého roku 2016, jehož cílem bylo zjistit vliv aplikace různých dávek upraveného bioodpadu (směs kuchyňského odpadu upraveného acidicko-alkalickou stabilizací) jako potenciálního organického hnojiva na výnos testované plodiny – hořčice bílé (*Sinapis alba*).

Maloparcelový pokus byl opět realizován v kombinaci 4 variant - 3 variant stupňovaných dávek testovaného bioodpadu a 1 varianty kontrolní (bez přídatku bioodpadu) a každá varianta byla provedena ve 4 opakováních. Po jarní kultivaci stanoviště byl pokusný pozemek oset hořčicí bílou (odrůda Severka), v dávce 10 kg/ha. Ošetřování během vegetace spočívalo v kombinaci mechanických a chemických operací vedoucích k potlačení plevelů (mechanická kultivace) a živočišných škůdců (Karate se Zeon technologií 5 CS).

Výsledkově byly v jednotlivých letech sledovány jednak kvantitativní ukazatele (výnos rostlinné hmoty) a kvalitativní parametry (obsah základních živin) pěstovaných plodin a také to, jak se projeví použití testovaného bioodpadu na změně kvality půdy (agrochemická a mikrobiologická analýza vzorků půdy jednotlivých pokusných variant).

Výnosově byla v roce 2016 hodnocena nadzemní hmota pšenice jarní. Výnos nebyl rozdělen na zrno a slámu, neboť prakticky veškeré zrno bylo zničeno ptactvem. V roce 2017 byly výnosy hořčice hodnoceny jako celek a také s rozdělením na zrno a slámu. Z hlediska výnosů obou plodin je patrný přímo úměrný trend zvyšování výnosu biomasy a výše dávky použitého bioodpadu, kde nejnižší výnosy jsou zaznamenány u kontrolní varianty (bez dodávky hnojivého substrátu), nejvyšší pak u varianty V9 (nejvyšší dávka hnojivého substrátu) – viz tab. č. 7 a 8. V případě ptactvem poškozené pšenice byl stanoven poměrně malý rozdíl mezi nejvýnosnějšími variantami V6

a V9, kde výnosový rozdíl v čerstvé hmotě není žádný, v suché hmotě pak 0,02 t/ha ve prospěch varianty V9. V případě hořčice byl vliv jednotlivých dávek daleko zřetelnější u všech výnosů, i když stupeň rozdílu mezi V6 a V9 byl opět výrazně menší než mezi ostatními variantami. Očividně už u varianty V6 byla dosažena maximální potřeba živin pro zásobení testovaných plodin.

Tabulka 7: Průměrný výnos nadzemní hmoty pšenice jarní dle jednotlivých variant pokusu v přepočtu na t/ha (2016)

Varianta	Výnos čerstvé nadzemní biomasy	Výnos suché nadzemní biomasy
K0	3,40	2,91
V3	3,55	3,21
V6	4,10	3,75
V9	4,10	3,77

Tabulka 8: Průměrný výnos hořčice bílé dle jednotlivých variant pokusu v přepočtu na t/ha (2017)

Varianta	Výnos čerstvé nadzemní biomasy	Výnos suché nadzemní biomasy	Výnos suchého semena	Výnos suché slámy
K0	6,50	5,42	1,02	4,40
V3	8,67	6,00	1,05	4,95
V6	10,08	6,42	1,19	5,22
V9	10,50	6,42	1,08	5,34

2.2.3. Výsledky chemických rozborů půd v rámci polních pokusů

Před jarním založením porostu v rámci polního pokusu hnojeného s několikaměsíčním odstupem na podzim, byly provedeny odběry vzorků půd z jednotlivých parcel pokusné plochy a tyto byly následně analyzovány (Tab. č. 9–14).

Chemické analýzy půd odebraných před založením porostu ukázaly určité vývojové trendy odvislé od stupňovaných dávek upraveného bioodpadu (Tab. č. 9–11). Od kontrolní nehnojené varianty K0 ve směru k nejvíce hnojené variantě V9 je patrný statisticky průkazný pokles pH/H₂O půdy, což je s ohledem na vysoké pH hnojivého substrátu docela paradoxním jevem, zvláště s ohledem na to, že obsah vápníku při zvýšení dávek hnojení dle očekávání

stoupal. Vysvětlením může být zvýšení mikrobiologické aktivity po aplikaci vyšších dávek hnojivého substrátu, které očividně zapříčiňuje pokles pH a současně neovlivňuje celkový obsah Ca, ale pouze jeho formy v půdě. Hodnota výměnné kyselosti půd pH/KCl byla při zvyšování dávek hnojení na rozdíl od aktuální kyselosti vyjadřované hodnotou pH/H₂O prakticky neměnná. U obsahu ostatních živin (P, K, Ca a Mg) a překvapivě i C_{tot} v půdě v stupňované řadě dávek hnojiva se neprojevily žádné pravidelně stupňované změny a rozdíly byly navíc statisticky neprůkazné.

Tabulka 9: Výsledky základních chemických rozborů půd pokusu před založením porostu

Var.	Půdní reakce pH/KCl	Půdní reakce pH/H ₂ O	C _{tot} % sušiny	Obsah přijatelných živin dle Mehlicha III v mg/kg sušiny půdy			
				P	K	Ca	Mg
K0	6,88±0,04	7,53±0,11	4,29±0,93	245±66	584±114	4837±1192	228±81
V3	6,89±0,07	7,35±0,11	4,94±1,17	286±73	661±96	5303±887	259±95
V6	6,89±0,04	7,32±0,15	4,73±0,69	257±34	618±190	5345±498	232±57
V9	6,89±0,08	7,24±0,04	4,97±0,83	273±9	639±85	5728±541	223±29

Tabulka 10: Obsah různých forem dusíku a celkové síry v půdě před založením porostu

Var.	Celkový obsah N _{tot} , mg/kg suš.	N-NH ₄ mg/kg suš.	N-NO ₃ mg/kg suš.	Celkový obsah S % sušiny
K0	3658±712	6,0±10,5	9,5±4,0	0,172±0,070
V3	4071±431	12,3±6,4	29,8±6,6	0,169±0,037
V6	4030±338	14,4±5,6	32,3±3,9	0,193±0,022
V9	4353±408	12,7±6,6	39,7±2,2	0,182±0,080

Dále, se zvyšováním dávek bioodpadu bylo očekávaně zaznamenáno zvyšování celkového obsahu dusíku, ale neočekávaně zvýšení obsahu jeho dusičnanové formy, tj. zvyšování podílu rozpustných oxidovaných forem dusíku, což rovněž lze připsat zintenzivnění činnosti půdních mikroorganismů. Obsah amoniakální formy N byl u všech třech hnojených variant výrazně vyšší než u varianty kontrolní, ale bez výrazné tendence jeho stoupání při stupňovaném zvýšení dávek hnojení. Celkový obsah minerálních forem dusíku

v půdě byl nejnižší u kontroly (méně než 0,5 % od celkového dusíku N_{tot}) a stoupal u hnojených variant (v průměru do 1,0-1,2 % N_{tot}). Tzn., že absolutní většina dusíku obsaženého v půdě je vázaná ve formě organických sloučenin a pro přeměnu na vodorozpustné rostlinám přístupné formy vyžaduje mikrobiologickou transformaci. Z ekologického hlediska je to příznivý stav, neboť snižuje potenciální ztráty dusíku vyplavením.

Vyšší výkyvy hodnot statistické chyby průměru u některých variant a ukazatelů jsou očividně spojeny s nedostatečně dokonalým promísením hnojiv při jejich aplikaci do půdy. Vcelku stanovené hodnoty svědčí o vysoké agrochemické kvalitě pokusného pozemku a výrazném zlepšení jeho agrochemických vlastností po aplikaci hnojivých substrátů.

2.2.4. Výsledky chemických rozborů pšenice jarní

Chemické analýzy fytomasy pšenice jarní vykázaly určité vývojové trendy odvislé od stupňovaných dávek bioodpadu (Tab. č. 11–12). Se zvyšováním stupňovaných dávek bioodpadu se nejvýrazněji zvyšoval celkový obsah dusíku (až o 51 % u varianty s nejvyšším hnojením V9 ve srovnání s kontrolou bez hnojení K0). Méně zřetelně stoupal obsah vápníku (až o 33 % u V9 ve srovnání s K0), draslíku (až o 26 %) a síry (až o 10 %). Naopak v případě fosforu a hořčíku pozorujeme mírný pokles jejich obsahu u hnojených variant ve srovnání s nehnojenou kontrolou.

Tabulka 11: Obsah živin v mg/kg sušiny fytomasy pšenice jarní

Varianta	Obsah základních živin v % sušiny					
	N	P	K	Ca	Mg	S
K0	0,919	0,228	1,137	0,201	0,079	0,153
V3	1,236	0,214	1,187	0,208	0,072	0,159
V6	1,266	0,183	1,289	0,232	0,073	0,160
V9	1,392	0,206	1,430	0,268	0,077	0,169

Se zvyšováním stupňovaných dávek bioodpadu se nejvýrazněji zvyšoval celkový obsah dusíku (až o 51 % u varianty s nejvyšším hnojením V9 ve srovnání s kontrolou bez hnojení K0). Méně zřetelně stoupal obsah vápníku (až o 33 % u V9 ve srovnání s K0), draslíku (až o 26 %) a síry (až o 10 %).

Naopak v případě fosforu a hořčíku pozorujeme mírný pokles jejich obsahu u hnojených variant ve srovnání s nehnojenou kontrolou.

Tabulka 12: Obsah stopových prvků v mg/kg sušiny fytohmoty pšenice jarní

Var.	B	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Zn
K0	3,53	72,0	14,6	0,235	0,358	2,57	1,98	1,98	0,206	26,2
V3	3,05	69,1	9,6	0,181	0,280	3,24	1,67	1,08	0,206	26,9
V6	3,68	78,1	16,8	0,266	0,279	3,27	1,48	1,47	0,205	24,5
V9	3,60	77,9	15,3	0,212	0,510	2,90	1,38	1,53	0,199	26,9

V případě obsahu stopových prvků ve fytohmotě pšenice jarní (Tab. č. 12) většinou nepozorujeme pravidelné jednosměrné změny v řadě stupňovaných dávek hnojení upraveným bioodpadem. Rozdíly jsou navíc většinou statisticky neprůkazné. Výjimku stanoví pouze obsah Mo, jehož obsah v řadě K0–B3–B6–B9 rovnoměrně klesá následujícím způsobem: 100–84–75–70 %.

2.2.5. Výsledky chemických rozborů hořčice bílé

Obdobně jako u pšenice jarní vykázaly výsledky chemické analýzy hořčice bílé (odděleně semena a sláma) určité vývojové trendy odvislé od stupňovaných dávek bioodpadu (viz základní živiny Tab. 13–14 a stopové prvky Tab. 15–16).

Tabulka 13: Obsah živin v mg/kg sušiny v semenech hořčice bílé

Var.	Obsah základních živin v % sušiny					
	N	P	K	Ca	Mg	S
K0	5,03±0,53	0,872±0,037	0,892±0,036	0,485±0,018	0,315±0,010	1,03±0,05
V3	5,54±0,22	0,831±0,177	0,936±0,038	0,511±0,029	0,317±0,014	1,08±0,03
V6	5,73±0,17	0,867±0,040	0,932±0,064	0,514±0,085	0,314±0,006	1,10±0,04
V9	5,83±0,09	0,846±0,023	0,911±0,033	0,482±0,010	0,300±0,008	1,09±0,02

Tabulka 14: Obsah živin v mg/kg sušiny ve slámě hořčice bílé

Var.	Obsah základních živin v % sušiny					
	N	P	K	Ca	Mg	S
K0	0,808±0,227	0,148±0,041	1,32±0,47	1,14±0,16	0,148±0,023	0,290±0,063
V3	0,800±0,115	0,133±0,043	1,71±0,20	1,04±0,05	0,153±0,014	0,313±0,048
V6	1,013±0,189	0,144±0,047	1,79±0,29	1,09±0,11	0,171±0,009	0,325±0,072
V9	1,023±0,100	0,128±0,026	1,90±0,40	1,06±0,10	0,150±0,036	0,292±0,062

Se zvyšováním stupňovaných dávek upraveného bioodpadu se v případě hořčice opět nejvýrazněji stupňovaně zvyšoval celkový obsah dusíku, i když méně intenzivně než u pšenice, a to o pouhých 16 % u semena a 27 % u slámy ve variantě s nejvyšším hnojením V9 ve srovnání s kontrolou bez hnojení K0. Největší stupňovaný nárůst byl pozorován u obsahu draslíku ve slámě hořčice, jehož obsah v řadě K0–B3–B6–B9 rovnoměrně stoupal následujícím způsobem: 100–130–136–140 %. U ostatních prvků se výrazně neprojevily žádné stupňované změny. V případě obsahu Mg a S u obou částí hořčice pozorujeme mírný kolísavý nárůst, a to v mezích 12 %. V případě Ca u semena pozorujeme mírný kolísavý nárůst a u slámy mírný kolísavý pokles, v obou případech v mezích 10 %. V případě obsahu P u obou částí hořčice pozorujeme mírný kolísavý pokles, a to v mezích 15 %.

V případě obsahu stopových prvků v semenech (Tab. 15) a slámě (Tab. 16) u hořčice bílé většinou nepozorujeme jednosměrné stupňované změny koncentrace v řadě stupňovaných dávek hnojení upraveným bioodpadem. Rozdíly jsou navíc většinou statisticky neprůkazné. Výjimku stanoví pouze obsah Mn a Cr u slámy, jejichž obsah v řadě K0–B3–B6–B9 stupňovaně stoupá následujícími způsoby: Mn 100–102–110–140 % a Cr 100–109–114–122 %.

Tabulka 15: Obsah stopových prvků v semenech hořčice bílé, mg/kg sušiny

Var.	B	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Zn
K0	7,58	102	22,2	0,113	1,12	4,77	1,34	0,463	0,334	49,5
V3	8,13	109	34,6	0,311	1,31	5,27	1,02	0,468	0,372	55,0
V6	8,67	116	23,6	0,311	1,18	4,57	0,86	0,438	0,334	55,5
V9	8,05	101	22	0,163	1,24	4,72	1,12	0,515	0,335	53,9

Tabulka 16: Obsah stopových prvků ve slámě hořčice bílé, mg/kg sušiny

Var.	B	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Zn
K0	17,1	34,8	21,5	0,113	0,834	2,97	2,06	0,642	0,201	63,3
V3	16,1	82,1	22,0	0,157	0,913	2,65	1,09	0,302	0,216	86,6
V6	16,4	32,9	23,7	0,126	0,947	3,43	1,62	0,848	0,233	83,7
V9	16,1	36,9	30,2	0,14	1,017	3,09	1,75	0,63	0,2	83,6

2.3. Souhrnné závěry

Způsob a zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu (tj. gastroodpadů) dle vynálezu popsaného v této metodice umožňuje jejich investičně a provozně nenáročné materiálové využití, a to jejich přeměnou na agrochemicky cenné suroviny pro další zpracování na kompostárnách nebo bioplynových stanicích nebo jako hnojivé substráty, použitelné v zemědělství a při rekultivacích, zejména na kyselé půdy. Takové materiálové využití podobných biologických odpadů je dle zásad evropské odpadové legislativy více preferovanou cestou ve srovnání s jejich likvidací spalováním a skládkováním. Kombinování postupů acidické a alkalické úpravy bioodpadů dle vynálezu zajišťuje dostatečnou stabilizaci a účinnou hygienizaci výstupního produktu, umožňující jeho využití.

Výstupní hnojivé substráty jsou pro vysoký obsah vápníku účinné zejména na kyselých a degradovaných půdách, kde působí pozitivně nejen jako zdroj živin pro výživu rostlin, ale zároveň zlepšuje fyzikálně chemické a biologické vlastnosti půdy, její strukturu a nasycenost půdního komplexu. Aplikace výstupního hnojivého substrátu podle vynálezu účinně nahrazuje finančně nákladné vápnění půdy a organické hnojení.

III. Ekonomické aspekty a další přínosy pro uživatele

Hodnocení ekonomických přínosů pro původce gastroodpadů vychází především z možnosti uplatnění popsané v metodice nízkonákladové technologie pro jejich úpravu. Investiční náklady na pořízení zařízení jsou odhadovány na cca 100 až 400 tisíc Kč v závislosti na jeho kapacitní velikosti. Provozní náklady jsou odhadovány na 100-150 Kč na 1 tunu odpadu v závislosti na složení odpadu. Vzniklý hnojivý substrát může být použit pro vlastní účely nebo předán dalším zájemcům (kompostárny, bioplynové stanice nebo zemědělci) za úplatu nebo alespoň za odvoz. Původce gastroodpadu ušetří především na transportních nákladech a na nemalých poplatcích za likvidaci těchto odpadů.

Hodnocení ekonomických přínosů pro zemědělce vychází především z možného přínosu aplikace výstupních hnojivých substrátů ze zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu a

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 jsou v závislosti na dávce přípravku v rozmezí 5–20 t/ha (v přepočtu na sušinu) odhadovány na 6.000,- Kč až 30.000,- Kč v průběhu 3-5 let působení jednorázové aplikace v důsledku zvýšení výnosů a tržeb o 1-5 % v souvislosti se zvýšením zásobením půd živinami s prolongovaným účinkem a půdní organickou hmotou, zintenzivněním biologické aktivity, zlepšením struktury půdy a celkovém zvýšení půdní úrodnosti.

IV. Srovnání novosti postupů

Dle poznatků autorů nebyla dosud zpracována žádná podobná metodika popisující základní informace o možnostech zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu (tj. gastroodpadů) kombinovanou acidicko-alkalickou úpravou a rovněž tak o možnostech využití výstupních produktu jako hodnotných hnojivých substrátů. O novosti získaných poznatků na domácí a světové úrovni svědčí rovněž to, že osnovy metodiky jsou právně chráněné jedním uznaným patentem a několika užitnými vzory (viz seznam metodice předcházejících publikací autorů). V předložené metodice jsou zahrnuty především vlastní poznatky nově získané v průběhu řešení výzkumných projektů uvedených v dedikaci.

V. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena zemědělcům, zemědělským poradcům, původcům a zpracovatelům bioodpadů, majitelům a provozovatelům bioplynových stanic a kompostáren, investorům a dalším zájemcům o dotčenou problematiku. Metodika poskytuje základní informace o možnostech úpravy biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu pomocí acidicko-alkalické úpravy na hnojivé substráty a jejich použití.

Metodika může sloužit k zásadním strategickým rozhodnutím pro zpracování gastroodpadů jejich původci nebo specializovanými firmami včetně kompostáren a bioplynových stanic na hnojivé substráty využitelné pro zúrodnění zemědělských a ostatních půd a pro provedení rekultivací. Metodika

také může posloužit jako podklad pro úpravu technických zařízení, technologických postupů i jako materiál pro výuku na středních zemědělských školách, univerzitách se zemědělským zaměřením nebo zemědělským poradcům. 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).

VI. Seznam použité související literatury

1. Barik, S., Karar, KK. (2017): Potentia reuse of kitchen food waste. Journal of Environmental Chemical Engineering. 5, 196-204.
2. EC. Directive 2009/28/EC of The European Parliament and of The Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Off J Eur Union; 2009.
3. FAO, Food Wastage Footprint. Impacts on natural resources; 2013. Available from: (<http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>).
4. Hafid HS., Rahman, NAA., Shah UKM., Baharuddin., Ariff, AB. (2017): Feasibility of using kitchen waste as future substrate for bioethanol production: A review.
5. Karasová, M. (2013): Hodnocení kvality bioodpadu. Univerzita Karlova v Praze. 29 p.
6. Kiran EU, Trzcinski AP, Ng WJ, Liu Y. Bioconversion of food waste to energy: a review. Fuel 2014;134:389–99
7. Komár, J. (2011): Nakládání s odpady v gastronomické praxi. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 63 s.
8. Nařízení Komise (EU) č. 142/2011 ze dne 25. února 2011, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě.
9. Pham, TPT, Kaushik R, Parshetti GK, Mahmood R, Balasubramaniam R. Foodwaste-to-energy conversion technologies: current status and future directions. Waste Manag 2015; 38:399–408.
10. Pleissner D, Lin CSK. Valorisation of food waste in biotechnological processes. Sustain Chem Proc 2013;1:21.

-
11. Váňa, J. Kam se ztrácejí kuchyňské odpady a co s nimi. Odpadové fórum. 2011, č. 3, s. 13-15. ISSN 1212-7779.
 12. Vandermeersch T, Alvarenga RAF, Ragaert P, Dewulf J. Environmental sustainability assessment of food waste valorization options. *Resour Conserv Recycl*; 2014, 87:57-64.
 13. Vavouraki AI, Angelis EM, Kornaros M. Optimization of thermo-chemical hydrolysis of kitchen wastes. *Waste Manag* 2012; 3:740–5.
 14. Vyhláška č. 299/2003 Sb., o opatřeních pro předcházení a zdolávání nákaz a nemocí přenosných ze zvířat na člověka.
 15. Zákon č. 166/1999 Sb. o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů (veterinární zákon).
-

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

1. Czako-Markupová, A., Mikanová, O., Ušák, S., 2007: The effect of inoculation on reclaimed soil. In: *Počvovedenie i agrochimia*, 1, 2007 (38), s. 232–237.
2. Mikanová, O., Ušák, S. & Czako, A. 2009. Utilization of microbial inoculation and compost for revitalization of soils. *Soil and Water Research*, 4(3): 126-130.
3. Ušák, S., 2017: Způsob a zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty. Úřad průmysl. vlastnictví. Patent č. 306899 ze dne 19.07.2017.
4. Ušák S.: Zařízení pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů obsahujících suroviny živočišného původu na hnojivé substráty. Užité vzor, PUV 2016-32698 ze dne 11.8.2016, Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 30036 ze dne 22.11.2016.
5. Ušák, S., Muñoz, J., Ušáková, M., Honzík, R.: Stabilizační přípravek pro acidickou předúpravu bioodpadů. Úřad průmysl. vlastnictví ČR. Osvědčení o zápisu UV č. 29135 ze dne 17.02.2016.
6. Ušák, S.: Filtrační náplň pro zařízení určené k čištění odpadního vzduchu od amoniaku. Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Osvědčení o zápisu UV č. 30077 ze dne 29.11.2016.
7. Ušák, 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.
8. Ušák, 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.

Autoři: Ing. Sergej Ust'ak, CSc.; Ing. Jakub Muňoz, Ph.D.;
Ing. Vojtěch Váňa

Název: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů
obsahujících suroviny živočišného původu
na hnojivé substráty

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: 2017

Počet stran: 32

Vydáno bez jazykové úpravy

Fotografie: autorů

Kontaktní e-mail: ustak@eto.vurv.cz

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2017

ISBN 978-80-7427-263-9



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

2017