

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



VÝZKUMNÝ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY, v. v. i.



VERMIKOMPOSTOVÁNÍ BIOODPADŮ

Certifikovaná metodika

Ing. Aleš Hanč, Ph.D.

Ing. Petr Plíva, CSc.



Praha 2013

VERMIKOMPOSTOVÁNÍ BIOODPADŮ

(certifikovaná metodika)

Autoři

Ing. Aleš Hanč, Ph.D. – ČZU v Praze

Ing. Petr Plíva, CSc. – VÚZT, v. v. i. Praha

Oponenti metodiky

Ing. Michaela Budňáková – Ministerstvo zemědělství ČR

**Ing. Martin Dubský, Ph.D. – Výzkumný ústav Sylva Taroucy pro krajinu
a okrasné zahradnictví, v. v. i.**

Certifikovaná metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR –
Odborem rostlinných komodit pod č. j. 81090/2013-MZE-17221

**Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných
aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu NAZV
č. QI91C199 „*Optimalizace technologie faremního vermikompostování*“**

© Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013

PRAHA 2013

ISBN 978-80-213-2422-0

VERMIKOMPOSTOVÁNÍ BIOODPADŮ

Abstrakt

Metodika seznamuje zemědělce a další zájemce s metodou vermikompostování a poskytuje jim nové informace, které vycházejí z výsledků řešení projektu NAZV č. QI91C199. První část se zabývá rozdělením a popisem jednotlivých systémů vermikompostování. Jsou zde zmíněny technologie pro vermikompostování běžných bioodpadů, tak i složitější technologie pro problematické bioodpady. Zvýšená pozornost je věnována dvoumodulovému vermireктору, který byl vyvinut v rámci tohoto projektu. Druhá část metodiky je postavena na výsledcích a praktických doporučeních, které vycházejí z laboratorních experimentů s vermikompostováním separovaného digestátu ze zemědělské bioplynové stanice, zahradního bioodpadu, kuchyňského bioodpadu, použitého papíru a čistírenských kalů. Byla prokázána oprávněnost použití metody vermikompostování a její efektivita při zpracování bioodpadů. Vermikompostování je technologie plně přátelská k životnímu prostředí a při dlouhodobém provozování je levnější než klasické kompostování. Kvalita vyrobeného vermikompostu je podstatně vyšší než klasického kompostu.

Klíčová slova: Bioodpady; udržitelná technologie; vermikompostování; žížaly

VERMICOMPOSTING OF BIOWASTE

Abstract

The methodology presents vermicomposting technology to farmers and others interested persons and provide them new information based on the findings of the project NAZV No. QI91C199. The first part deals with division and description of individual vermicomposting systems. Technologies for vermicomposting of conventional biowaste as well as high tech vermicomposting systems for specific biowaste are mentioned here. Special attention is paid to two-modular vermireactor developed within this project. The second part of the methodology is built on the results and practical recommendations based on the laboratory experiments with vermicomposting of separated digestate from agricultural biogas plants, garden biowaste, kitchen biowaste, used paper and sewage sludge. The efficiency of vermicomposting for treatment of biowaste was confirmed. Vermicomposting is environmentally friendly technology. In the case of long-term operation, vermicomposting is cheaper than traditional composting. In addition, the quality of produced vermicompost is substantially higher compared to classical compost.

Keywords: Biowaste; sustainable technology; vermicomposting; earthworms

OBSAH

1	CÍL METODIKY	5
2	VLASTNÍ POPIS METODIKY	5
2.1	Úvod.....	5
2.2	Systémy vermikompostování.....	5
<i>2.2.1</i>	<i>Malé vermikompostéry.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Jednoduché technologické systémy vermikompostování.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Složitější technologické systémy vermikompostování</i>	<i>16</i>
2.3	Metodika laboratorních pokusů	21
2.4	Výsledky laboratorních pokusů	24
2.5	Souhrn výsledků experimentů a závěry pro praxi	29
3	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	29
4	POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	30
5	EKONOMICKÉ ASPEKTY VERMIKOMPOSTOVÁNÍ A PŘÍNOS PRO UŽIVATELE.....	30
5.1	Ekonomické aspekty vermikompostování	30
5.2	Další přínosy pro uživatele vermikompostování	33
6	SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY	33
7	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	35

1 CÍL METODIKY

Cílem předkládané metodiky je seznámit zemědělce a další zájemce s metodou vermikompostování a poskytnout jim nové informace, které vycházejí z výsledků řešení projektu NAZV č. QI91C199.

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1 Úvod

Kompostování s využitím žížal (vermikompostování) je považováno za nejpokročilejší metodu kompostování. Vermikompostování je biooxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který na rozdíl od klasického kompostování využívá interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů a nezahrnuje termofilní fázi rozkladu (Dominguez a Edwards, 2011). Překopávání, fragmentaci a aeraci zabezpečují z větší míry žížaly, čímž se dá vermikompostování zařadit mezi nízkonákladové systémy zpracování odpadů (Hand et al., 1988). **Technologie je plně přátelská k životnímu prostředí.**

Kvůli poklesu obsahu organické hmoty v půdě a s tím souvisejícími negativy (např. erozí - Hladík, 2009) je nezbytné v maximální míře využívat všechny vhodné druhy bioodpadů a vyrábět z nich co nejkvalitnější hnojivo. Vermikompost má ve srovnání s klasickým kompostem výrazně lepší vlastnosti. Je bohatý na živiny, ale také obsahuje vysoce kvalitní humus, růstové hormony, enzymy a látky, které jsou schopné chránit rostliny před škůdci a chorobami. Dále zvyšuje nutriční hodnotu produktů a omezuje vstup cizorodých látek do rostlin **Hnojení vermikompostem tedy šetří producentům plodin peníze za průmyslová hnojiva a pesticidy** (Sinha et al., 2010).

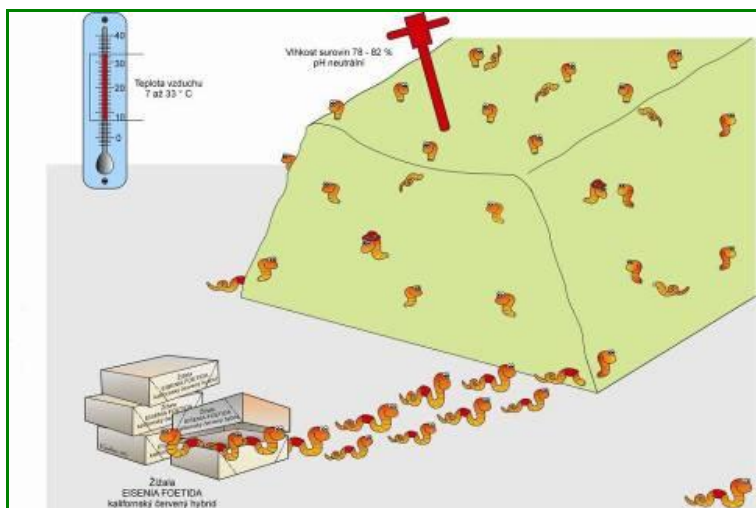
Další možností využití vermikompostu je jeho použití jako adsorbentu k imobilizaci těžkých kovů v půdě nebo v jiných materiálech, k odstranění kovových iontů z odpadních vod nebo jako náplň do filtrů k filtraci vzduchu – např. možno použít i na bioplynových stanicích (Mikeš, 2008). Vermikompostování lze využít i za účelem rozkladu organických polutantů (Contreras-Ramos et al., 2008). Ověřuje se použití vermifiltrace k odstranění znečištění při produkci kejdy (Li et al., 2008).

2.2 Systémy vermikompostování

Podobně jako je tomu u běžného kompostování, existuje i u vermikompostování několik základních typů technologických systémů, které se liší technologickým postupem, přičemž každý tento způsob vermikompostování nabízí ještě několik dalších variant postupů:

- a) pro vermikompostování kuchyňských zbytků přímo v domácnostech se používají malé domácí vermikompostéry různého typu a konstrukce (Appelhof, 1997).
- b) velkoprodukční vermikompostování bývá prováděno pomocí jednoduchých technologických systémů, kam lze zahrnout vermikompostování plošné či vermikompostování v ohraničeném prostoru, tzv. boxové vermikompostování anebo pomocí složitějších technologických systémů, kam patří např. vermireaktory s kontinuálním procesem, či kompostování v dvoumodulovém vermireaktoru (Edwards, 2011).

Při využívání jakéhokoli z uvedených systémů je nutné zajistit optimální prostředí pro hlavní součást vermikompostování – pro žížaly (*obr. 1*). Zajištění optimálních podmínek ve zpracovávaných surovinách se týká zejména **dostatečného přísunu** zpracovávaných biologických odpadů, **vlhkosti prostředí** (resp. zpracovávaných surovin), **míry provzdušnění**, **teplotních podmínek** v prostředí výskytu žížal, **obsahu solí** a dalších méně důležitých parametrů.



Obr. 1 Podmínky pro optimální prostředí během vermikompostování

2.2.1 Malé vermikompostéry

Kompostování v malém vermikompostéru je maloprodukční vermikompostování v zakryté nádobě, které nalezne uplatnění zejména v bytech a v kancelářích – proto jsou vermikompostéry označovány jako domácí. Vyrábějí se ze dřeva nebo plastu, nejčastěji v patrovém provedení (*obr. 2*). Bioodpady z domácností jsou zpracovávány postupně v jednotlivých patrech vermikompostéru.



Obr. 2 Domáci vermikompostéry (vlevo plastový, vpravo dřevěný)

Domáci vermikompostér lze umístit na chodbu, na balkón, do garáže, dílny, kuchyně nebo do třídy ve škole či do kanceláře. Důležité je vždy zajistit pro žížaly optimální teplotu kolem 20°C a správnou vlhkost substrátu. V zimě je tedy nutné nenechávat vermikompostér venku bez izolace, v létě ho nevystavovat přímému slunci, aby nedocházelo k výparu vody a k přehřívání.

Plocha dna nádoby se odvíjí od množství vermikompostovaného bioodpadu. Na 1 kg týdně je potřeba zhruba 0,2 m².

Žížaly ke svému životu potřebují dostatek vzduchu, proto je nutné při výběru nádoby dbát na to, aby byla dostatečně prostorná, avšak ne příliš hluboká. Postačí rozměry (d x š x h) - (40 x 40 x 15) cm. Perforovaná dna jednotlivých nádob zajišťují odvod přebytečné tekutiny, volný pohyb žížal mezi jednotlivými patry a provzdušnění.

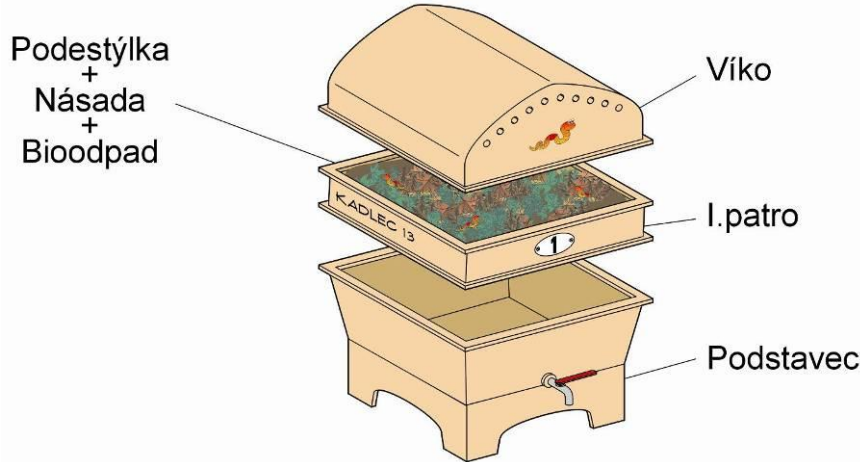
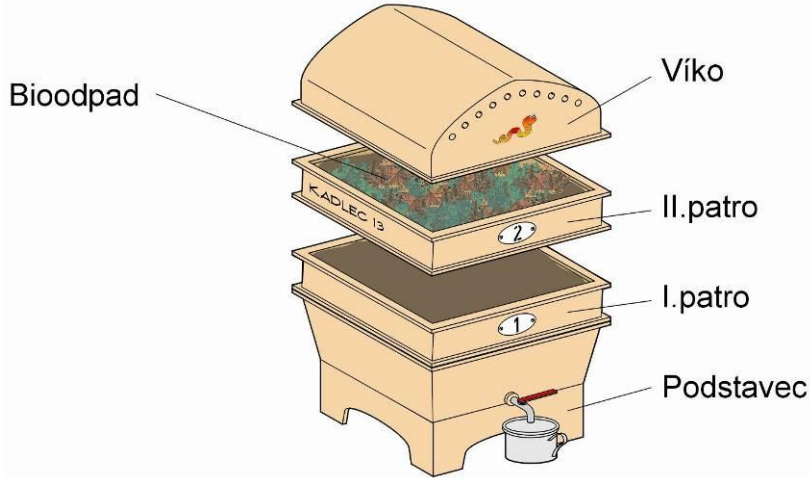
Jako podestýlka pro založení vermikompostovacího procesu v malém vermikompostéru jsou nejběžněji využívány - tráva, listí, roztrhaný a navlhčený papír, rašelina, hobliny nebo kokosové vlákno. Volba nevhodné podestýlky může být příčinou špatného průběhu vermikompostovacího procesu. Přibývající zbytky jídla obsahují vodu a mohou zpomalit vermikompostovací proces a snížit množství žížal ve vermikompostéru. Nutné je tedy lůžko udržovat přiměřeně vlhké a provzdušněné.

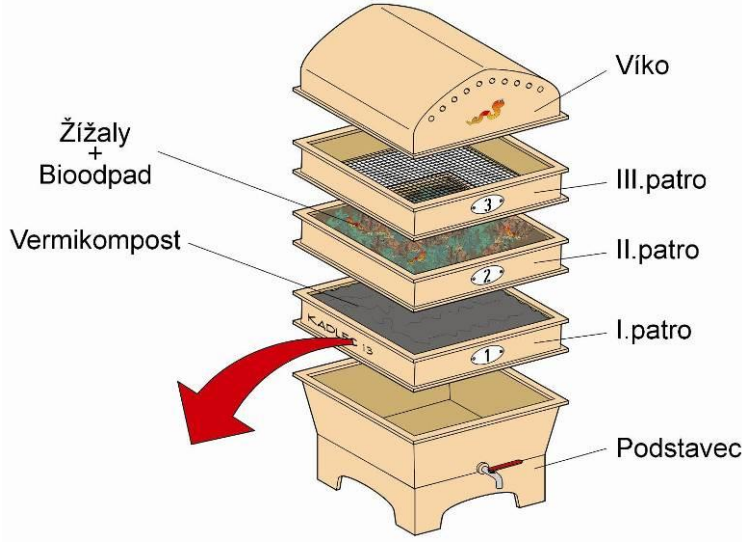
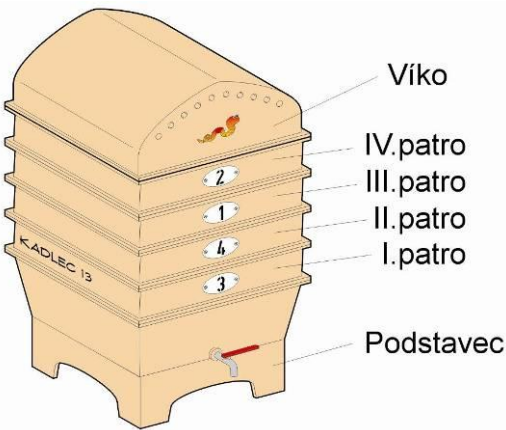
Žížaly se krmí jednou až dvakrát týdně. 0,5 kg žížal zkonzumuje zhruba 0,25 kg bioodpadů denně. Počet žížal se zdvojnásobí přibližně za 3 měsíce. Objem bioodpadu se postupně zpracováváním žížalami zmenšuje na 1/3 až 1/4 svého původního objemu.

V dolní části vermikompostéru je zásobník s neděrovaným dnem a s vypouštěcím ventilem, kam je sváděna přebytečná tekutina z horních pater, odkud se může průběžně čerpat. Tato tekutina je kapalné hnojivo pro pokojové květiny i zahradu. Pro jeho aplikaci se doporučuje smíchat ho s vodou, nejlépe v poměru 1 : 9. Zásobník je třeba pravidelně čistit. Pokud by do něho propadaly žížaly, je potřeba tam umístit malé množství natrhaného papíru nebo kokosového vlákna, aby se žížaly mohly dostat zpět.

Postup kompostování bioodpadů z domácností v malém domácím vermikompostéru je schematicky znázorněn v **tabulce 1**.

Tab. 1 *Postup kompostování v malém domácím vermikompostéru*

1	 Podestýlka + Násada + Bioodpad Víko I. patro Podstavec	Na podstavec vermikompostéru – zásobník s kohoutem na odvod tekutiny je umístěno I. patro (nejnižší) vermikompostéru, do kterého se umístí podestýlka (tráva, listí, roztrhaný a navlhčený papír, rašelina, hobliny nebo kokosové vlákno). Na podestýlku se vloží násada žížal a vhodné kousky bioodpadů menší než 5 cm. Po aklimatizaci žížal je přidáván další bioodpad až po naplnění I. patra. Na I. patro je umístěno víko vermikompostéru. Víko je umísťováno na nejvyšší patro vermikompostéru vždy bez ohledu na počet pater.
2	 Bioodpad Víko II. patro I. patro Podstavec	Po naplnění I. patra je do něj, přímo na zpracováváný obsah, vloženo vyšší - II. patro, do kterého se začnou vkládat další bioodpady. Jakmile žížaly všechno v I. patře zpracují (cca 2 – 3 měsíce), zanechávají hotový vermikompost a stěhují se vzhůru do vyššího patra. Během procesu zpracovávání je nutné pravidelně vypouštět tekutinu ze zásobníku s kohoutem na odvod tekutiny.

3		Podle množství zpracovávaných bioodpadů a násady žížal je po naplnění II. patra přidáno III. patro. Současně s jeho přidáním je odebráno patro s hotovým vermikompostem (I. patro), které je vyprázdněno a je připraveno pro založení dalšího (opět nejvyššího) patra pro vkládání dalších bioodpadů.
4		Koloběh s odebíráním patra s hotovým vermikompostem, jeho vyprázdněním a přidáním do sestavy vermikompostéru je neustále opakováno bez nutnosti přidáváním nové násady žížal. Současně může být domácí vermikompostér složen z podstavce a čtyř pater.

2.2.2 Jednoduché technologické systémy vermikompostování

Mezi jednoduché technologické systémy vermikompostování lze zařadit zejména vermikompostování plošné, které je obdobou technologie kompostování v pásových nebo plošných hromadách na volné plošné a vermikompostování v ohraničeném prostoru, tzv. boxové vermikompostování. Tento způsob, určitá sestava boxů libovolné velikosti, není náročný na plochu, ale většinou vyžaduje manipulační techniku a také je problematický z hlediska optimalizace vlhkosti a vytváření vrstev vstupních materiálů.

Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše

Venkovní uspořádání vermikompostovaných surovin **do řádků nebo hromad na volném prostranství** je klasickým a nejjednodušším typem vermikompostování.

Tento způsob vermikompostování je **nenáročný na investice a technicky jednoduchý**. Hromady není potřeba překopávat či obracet, je pouze nezbytné sledovat vlhkost a zajistit v případě potřeby jejich zavlažení.

Nejčastěji využívanou variantou vermikompostování na volném prostranství v jednorázově založených hromadách je postup s tzv. „**přikrmováním žížal**“. Při tomto postupu jsou zpracovávány suroviny - krmivo pro žížaly - přidávány na povrch hromady ve vrstvách (cca 20-30 cm jednou za 2 týdny, 30-50 cm jednou za 3 týdny nebo 10 cm jednou za týden), žížaly se následně stěhují do vyšších vrstev za potravou a dochází ke zpracovávání surovin. Nevýhodou tohoto způsobu je vyšší množství prováděných pracovních operací (kontinuální přísun surovin). Vliv povětrnostních podmínek na vermikompostovací proces (větší ochlazování a osychání vrchní vrstvy hromady) není velký, ale přeci jenom je vermikompostovací proces mírně zpomalen a interval pro odběr hotového vermikompostu prodloužen. Při objemu zpracovávaného bioodpadu větším než 1 m³ (výška hromady větší než 0,5 m) a správném založení nejsou žížaly náchylné na povětrnostní vlivy. V zimě zmrzne jen tenká povrchová vrstva a žížaly uvnitř hromady většinou normálně žijí, zpracovávají bioodpad a při vyšší teplotě se i množí.

Vermikompostování v ohraničených záhonech

Mezi další varianty vermikompostování na volném prostranství patří **vermikompostování v ohraničených záhonech**, provozované ve většině případů pod přístřeškem. Při tomto způsobu dojde k určitému ochránění hromad před povětrnostními vlivy a k prodloužení vermikompostovacího procesu i v chladnějším období. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost vlhčení chovu při vyšších venkovních teplotách.

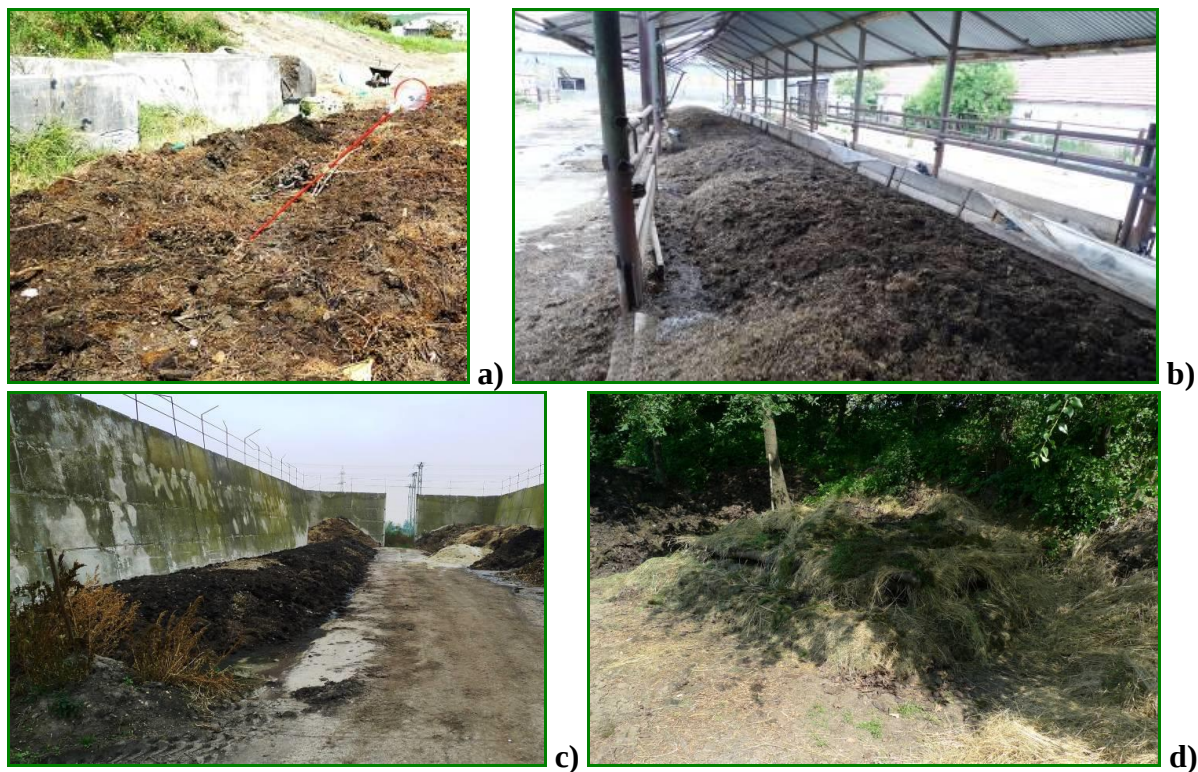
Mezi nejnáročnější pracovní operace patří na konci procesu **oddělení všech žížalích jedinců od hotového vermikompostu**. Jedním ze způsobů je metoda, kdy po určité době přikrmení čerstvým bioodpadem, je odebrána horní část hromady čelním nakladačem a odebraný materiál - „žížalí substrát“ je použit pro založení nové hromady.

Druhá možnost, jak „dostat“ žížaly z hotového vermikompostu, je založení nové hromady kompostu **v bezprostřední blízkosti zpracované hromady**. Žížaly si pak samy naleznou cestu a přestěhují se do hromady nové, kde mají co konzumovat. V každém případě dojde k určité ztrátě žížalích jedinců.

Na následujících fotografiích (obr. 3) jsou zachyceny různá provedení zakládek hromad při vermikompostování:

a) zpracovávání BRO na volné ploše (HANTÁLY, Velké Pavlovice),

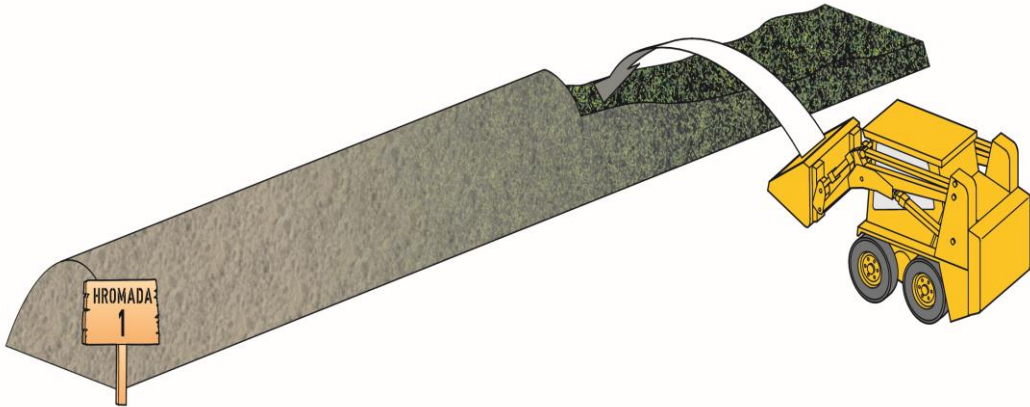
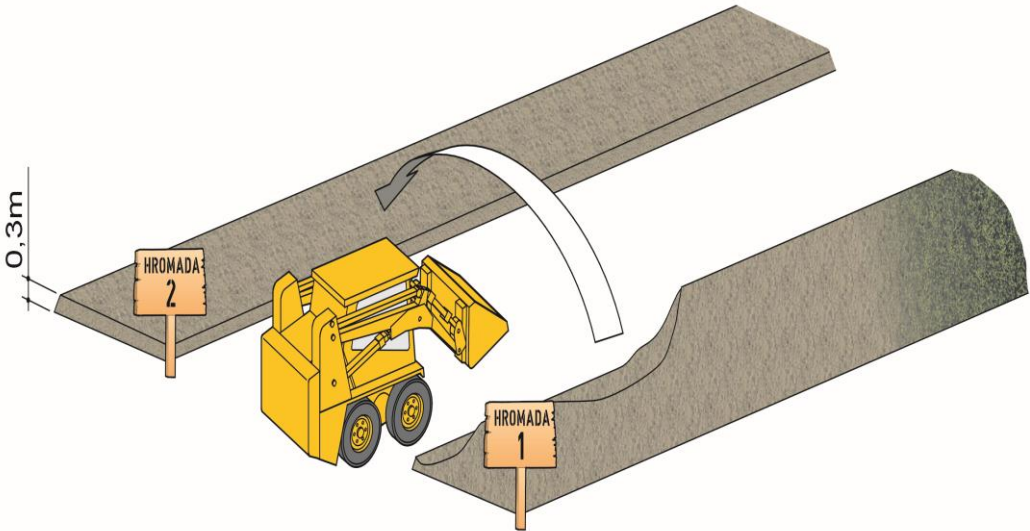
- b) zpracovávání výlisků po zpracování vinné révy, siláže, senáže, hnoje a jablečných výlisků (ZD, Mikulčice u Hodonína),
- c) zpracovávání zemědělské zbytkové biomasy (ekologický zemědělec, Břeclav),
- d) zpracovávání biomasy po údržbě parku (NKP Vyšehrad, Praha).



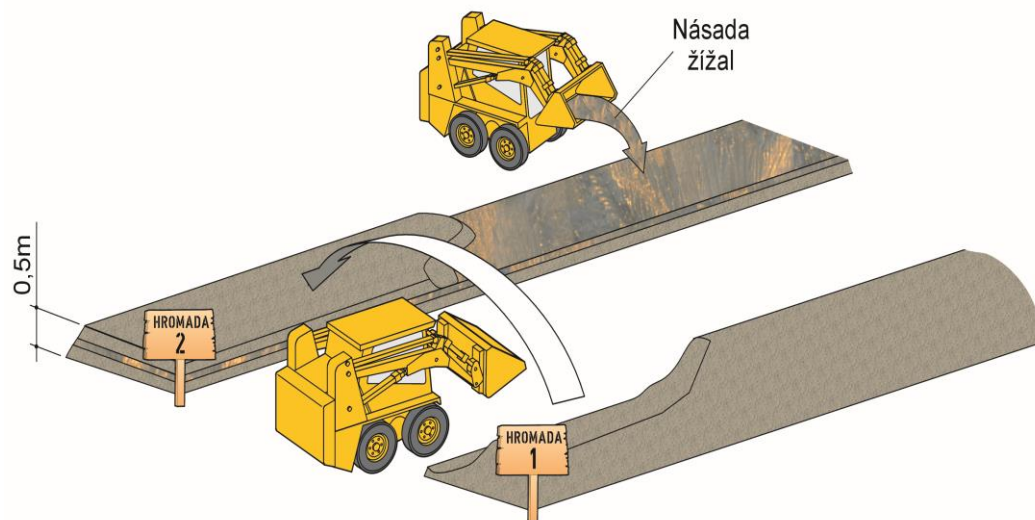
Obr. 3 Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše

Návaznost jednotlivých operací při vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše je schematicky znázorněna v **tabulce 2**.

Tab. 2 Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše

1		Zhomogenizovaný bioodpad (zpracovávané suroviny) je pomocí čelního kolového nakladače založen do pásové hromady č. 1, bez násady kalifornských žížal. V hromadě č. 1 proběhne první fáze kompostovacího procesu – proběhne zahřátí v celém průřezu hromady na teploty pro žížaly nepřijatelné.
2		Po průběhu zahřátí jsou zpracovávané suroviny z jednoho konce hromady č. 1 čelním nakladačem odebírány a využity pro založení hromady č. 2 – její podkladní vrstvy. Hromada č. 1 je dle potřeby z druhé strany doplňována novým bioodpadem.

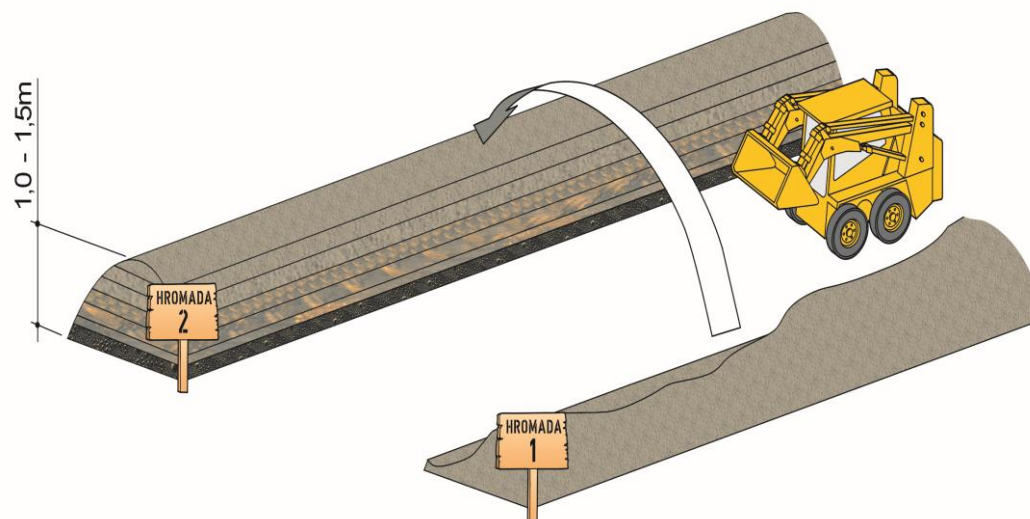
3



Do **hromady č. 2** je zakládána násada žížal – na vytvořenou podkladní vrstvu o tloušťce cca 0,3 m je rovnoměrně rozprostřena násada kalifornských žížal o tloušťce cca 0,1 m, na kterou je založena opět vrstva „uleželých“ bioodpadů o tloušťce cca 0,1 m z **hromady č. 1**.

Po založení by měla být celková výška pásové **hromady č. 2** max. 0,5 m.

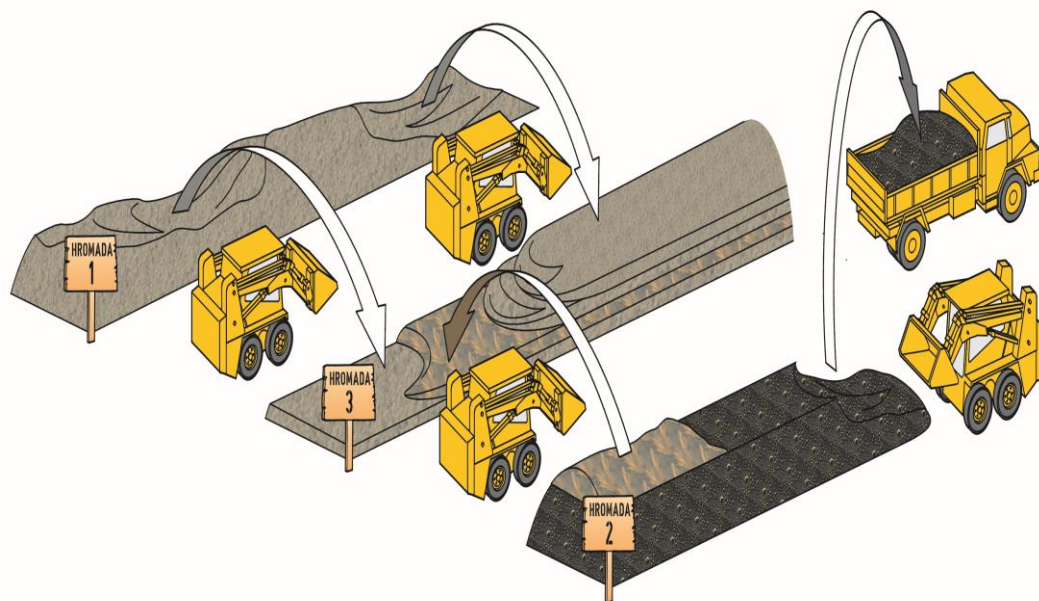
4



Po 14 dnech, nutných pro aklimatizaci žížal, jsou vrstveny v časových intervalech další vrstvy bioodpadů o tloušťce cca 0,5 m z **hromady č. 1** až do celkové výšky **hromady č. 2** cca 1,0-1,5 m.

Nutným předpokladem pro další případné vrstvení je monitorování teploty uvnitř pásové **hromady č. 2** a dodržení max. přípustné teploty 35 °C.

5



V konečné fázi vermikompostovacího procesu jsou oddělovány z **hromady č. 2** zpracovávané suroviny s kalifornskými žížalami od hotového vermikompostu a jsou zakládány do nově připravené pásové **hromady č. 3**, kde byla vytvořena podkladní vrstva z „uleželých“ bioodpadů z **hromady č. 1**.

Po odebrání veškerých surovin s násadou kalifornských žížal z **hromady č. 2** je možno hotový vermikompost vyskladnit.

Tímto postupem je zajištěn **nepřetržitý provoz** zpracovávání bioodpadů bez nutnosti dodatečných nákladů za další dodávku násady kalifornských žížal.

2.2.3 Složitější technologické systémy vermikompostování

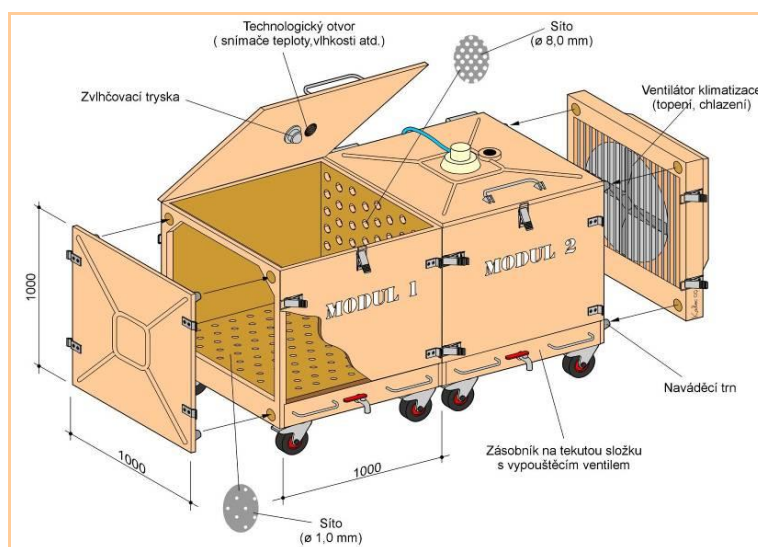
Složitější technologické systémy jsou způsoby vermikompostování, probíhající v zařízeních, která zpracovávají bioodpady v uzavřeném prostředí s využitím žížal, nejčastěji s druhem *Eisenia fetida* nebo *Eisenia andrei*. Mezi nejvýznamnější výhody těchto řešení patří **výrazné urychlení celého procesu, omezení plochy** potřebné pro vermikompostování, **omezení vlivu povětrnostních podmínek** na průběh procesu, možnost lépe **využívat případně vzniklý výluh** a možnost **řídit a automatizovat** celý provoz. Uvedená zařízení bývají označována jako vermireaktory.

V současnosti existuje celá řada konstrukčních řešení vermireaktorů, jejichž společným znakem je schopnost na základě **monitorování určitých fyzikálních veličin zpětnovazebně řídit proces vermikompostování** v optimálních podmínkách.

Vermikompostování ve „Dvoumodulovém vermireaktoru“

V rámci projektu NAZV QI91C199 byl vyvinut dvoumodulový vermireaktor, jež je schematicky znázorněn na *obrázku 4*. Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že je dvoumodulový vermireaktor složen ze dvou nádob – modulů naprosto identických a je řešen mobilním způsobem. Moduly mohou být ve dvou pracovních uspořádáních - v rozpojené poloze, kdy je každý modul používán samostatně – jeden je naplňován a následně zde probíhá proces předkompostování bez přítomnosti žížal a v druhém modulu probíhá vermikompostovací proces nebo v poloze pevného spojení. To v případě, že je nutné přemístit žížaly z jednoho modulu, ve kterém jsou suroviny již zpracovány na hotový vermikompost do druhého modulu, kde jsou suroviny předkompostovány. Spojení obou modulů je provedeno pomocí sponkového systému vedle sebe na dobu nezbytně nutnou, po kterou se žížaly instinktivně přesunují přes vystředěné děrované stěny mezi jednotlivými moduly za potravou potřebnou pro jejich existenci.

Podrobné schéma průběhu celého procesu je znázorněno v *tabulce 3*.



Obr. 4 Schéma Dvoumodulového vermireaktoru

Z důvodu zajištění optimálního prostředí pro žížaly je ve vermireaktoru nezbytné monitorovat průběh kompostovacího procesu s možností jeho zpětnovazebného řízení. Proto je Dvoumodulový vermireaktor – ať se spojenými či samostatnými moduly – vybaven

hlavním panelem, na kterém jsou umístěny řídicí jednotka a další zařízení, sloužící pro oba moduly a každý z modulů je navíc osazen modulovým panelem (obr. 5).



Obr. 5 Dvoumodulový vermireaktor v rozpojeném stavu s hlavním řídicím panelem

Vermikompostování ve vermireaktorech se souvislým procesem

Jako velice perspektivní technologie pro systémy velkoprodukčního vermikompostování jsou obří kontinuální „průtokové“ vermireaktory, ve kterých zpracováváný bioodpad „protéká“ od shora dolů. Suroviny jsou přidávány shora pomocí modifikovaného rozmetadla nebo mobilního portálu a ze spodní části zařízení je po otevření hydraulicky ovládané záklopky pomocí mechanického zařízení vybírán hotový vermikompost, který propadl sítí. Všechny operace jsou řízeny automaticky na základě monitorování celého procesu.

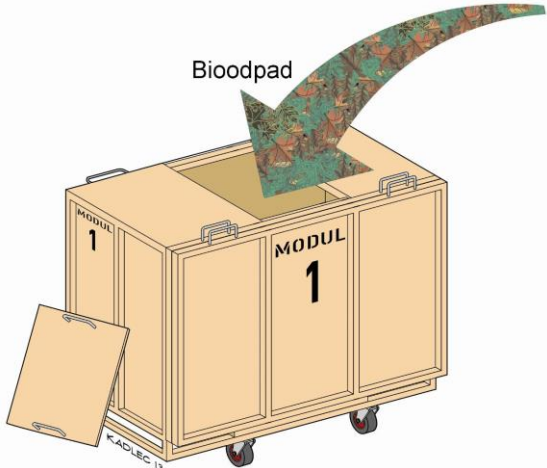
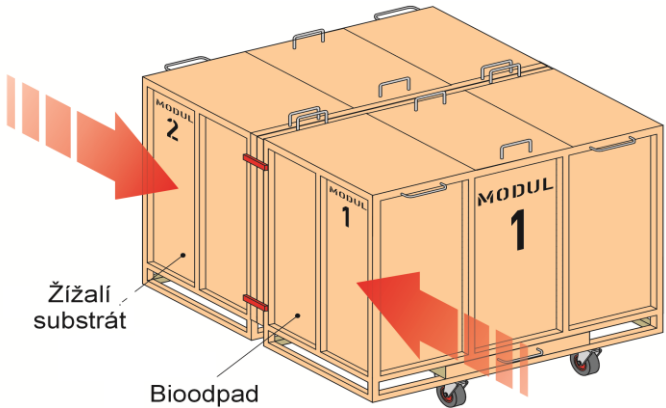
Příklad jednoduchého vermireaktoru se souvislým procesem provozovaným na ekologické farmě v Rakousku je znázorněn na *obrázku 6*. Vlevo je fungující vermireaktor. Pravá část je rozebraná a lze na ní vidět síto, kterým při provozu propadáva vermikompost. Krmení žížal předkompostovaným materiálem o zrnitosti v řádech mm probíhá každý den. Žížaly se drží v horní části, kde je dostatek vzduchu a čerstvá potrava. Biomasa žížal se drží na přibližně stejné hodnotě (staré žížaly odumírají a nové se rodí). Vermikompostování probíhá celoročně, neboť vermireaktor je umístěn v temperované hale.

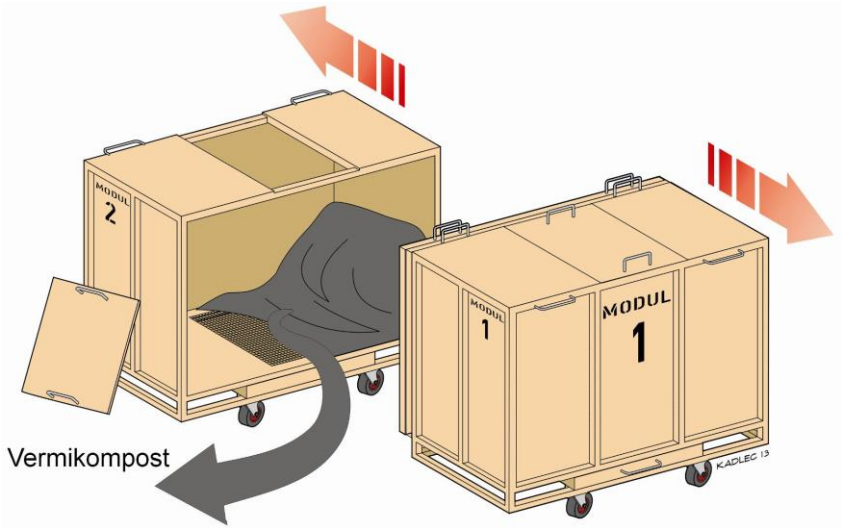
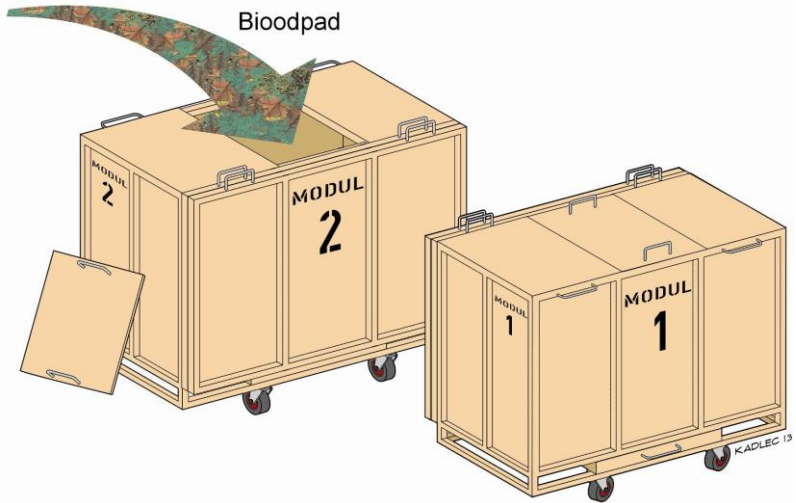
Tento způsob je vhodný k plynulému získávání vysoce kvalitního vermikompostu.

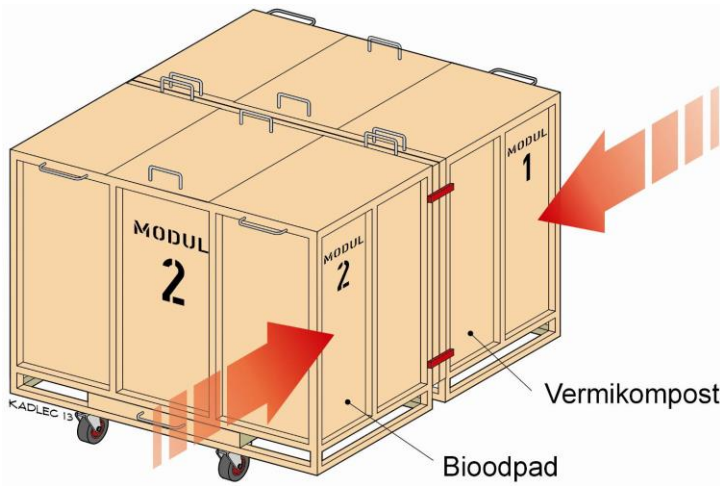


Obr. 6 Vermireaktor se souvislým procesem

Tab. 3 Kompostování v „Dvoumodulovém vermireaktoru“

1		Do „Modulu 1“ je sbírán a zamícháván biodpad. Již během plnění „Modulu 1“ dochází k zahřívání zpracovávaného biodpadu (I. fáze kompostovacího procesu) – probíhá předkompostování.
2		Po průběhu předkompostování (ustálení teploty zpracovávaných biodpadů pod 25 °C) je k „Modulu 1“ přistaven „Modul 2“, naplněný žížalím substrátem. „Modul 1“ a „Modul 2“ jsou spojeny sponkovým systémem.

3		Moduly jsou rozpojeny v okamžiku, kdy se převážná část žížal přemístí z „<i>Modulu 2</i>“ do „<i>Modulu 1</i>“. V „<i>Modulu 1</i>“ probíhá proces vermikompostování Z „<i>Modulu 2</i>“ je vyprázdněn zbytek žížalího substrátu – vermikompostu. „<i>Modul 2</i>“ je vyčištěn a připraven k dalšímu využití.
4		Do „<i>Modulu 2</i>“ je sbírán a zamícháván nový bioodpad. V „<i>Modulu 2</i>“ začíná proces předkompostování. V „<i>Modulu 1</i>“ probíhá proces vermikompostování.

5		Po ukončení procesu předkompostování (ustálení teploty zpracovávaných bioodpadů pod 25 °C) je k „Modulu 2“ připojen „Modul 1“. Z „Modulu 1“, kde je z převážné části již bioodpad zpracován, začnou žížaly přelézat do „Modulu 2“ za novou „potravou“. „Modul 1“ a „Modul 2“ jsou spojeny sponkovým systémem a žížaly se určitou dobu přemísťují.
6		Moduly jsou rozpojeny v okamžiku, kdy se převážná část žížal přemísť z „Modulu 1“ do „Modulu 2“. V „Modulu 2“ probíhá proces vermikompostování. Z „Modulu 1“ je vyprázdněn vermikompost. „Modul 1“ je vyčištěn a připraven k dalšímu využití. Celý proces se od tohoto okamžiku neustále opakuje v pravidelných intervalech. Během dalších cyklů se žížalí substrát nepřidává.

2.3 Metodika laboratorních pokusů

Vzhledem k tomu, že znalosti o vermikompostování, ve srovnání s klasickým kompostováním, nejsou na tak vysoké vědecké úrovni, bylo v rámci grantu NAZV QI91C199 „Optimalizace technologie faremního vermikompostování“ testováno a hodnoceno vermikompostování 3 skupin surovin s přidavky jiných vhodných materiálů. Cílem bylo posoudit zejména vhodnost a optimální poměr jednotlivých odpadů pro vermikompostování.

Většina surovin byla před vlastním vermikompostováním předkompostována (tab. 4). Předkompostování probíhalo v laboratorních fermentorech o objemu 70 l po dobu 14 dní. V rámci provzdušňování bylo dodáno 2,2 l vzduchu za hodinu na 1 kg počáteční směsi čerstvého bioodpadu. Vycházelo se z dřívějších zkušeností s předkompostováním domácího bioodpadu, u kterého se tato intenzita aerace osvědčila (Hanc et al., 2012). Velmi nízké hladiny aerace jsou pro efektivní kompostování nedostatečné, zatímco vysoký stupeň aerace ochlazuje kompostovaný materiál.

K vermikompostování byla využita upravená místnost s možností regulace podmínek. Byla nastavena teplota místnosti 22 °C, relativní vlhkost 80%, větrání 15 min každých 12 hodin. Vermikompostování probíhalo v plastových vermikompostovacích miskách o rozměrech 40 x 40 x 18 cm, které byly umístěny na kovové konstrukci (**obr. 7**). Příklad vermikompostování jedné z variant je vidět na **obrázku 8a, b, c**.

Tab. 4 Schéma experimentu

Var.	Suroviny (v obj. %)	Typ procesu
1	sláma 50 % + digestát 50 %	Předkompostování a kompostování
2	sláma 75 % + digestát 25 %	Předkompostování a vermikompostování
3	sláma 50 % + digestát 50 %	Předkompostování a vermikompostování
4	sláma 25 % + digestát 75 %	Předkompostování a vermikompostování
5	digestát 100 %	Předkompostování a vermikompostování
6	sídlíšní bio. 50 % + papír 50 %	Předkompostování a kompostování
7	sídlíšní bio. 75 % + štěpka 25 %	Předkompostování a vermikompostování
8	sídlíšní bio. 50 % + papír 50 %	Předkompostování a vermikompostování
9	sídlíšní bio. 75 % + štěpka 25 %	Pouze vermikompostování
10	sídlíšní bio. 50 % + papír 50 %	Pouze vermikompostování
11	papír 100 %	Pouze vermikompostování
12	zahradní bio. 50 % + č. kal 50 %	Předkompostování a kompostování
13	zahradní bio. 100 % obj.	Předkompostování a vermikompostování
14	zahradní bio. 50 % + č. kal 50 %	Předkompostování a vermikompostování
15	zahradní bio. 25 % + č. kal 75 %	Předkompostování a vermikompostování
16	č. kal 100 %	Pouze vermikompostování



Obr. 7 Vermikompostování v miskách



Obr. 8a Vermikompostování použitého papíru (začátek procesu)



Obr. 8b Vermikompostování použitého papíru (průběh procesu)



Obr. 8c Vermikompostování použitého papíru (konec procesu)

Každá varianta byla založena ve 3 opakováních. Z důvodu zabránění vysychání substrátů byly misky zakryty děrovaným nerezovým víkem, na jehož spodní straně byl umístěn závlahový systém. Do každé misky bylo vloženo 13 l materiálu smíchaného se 3 l substrátu obsahujícího 200 ks žížal/l rodu *Eisenia* nebo v případě variant č. 1, 6 a 12 pouze substrát bez žížal. V průběhu vermikompostování nebyly už žížaly přikrmovány, jak je běžné v praxi. V případě tohoto laboratorního experimentu by docházelo ke smíchání původního materiálu s čerstvým bioodpadem a to by výrazně ovlivnilo výsledky získané během vermikompostování.

Odběry vzorků probíhaly každý měsíc. Eventuální výluh zachycený v nerezové podmisce byl vrácen do vermikompostovaného materiálu, aby byl zajištěn uzavřený cyklus živin. Při každém odběru byl materiál z misky vysypán, zvážen a zjištěn objem. Poté bylo odebráno 200 g vzorku, ze kterého byly ručně vybrány žížaly. Byl zjištěn jejich počet, hmotnost a objem. Žížaly se již zpět do odebraného vzorku nevracely. Vzorek byl následně usušen při teplotě 40 °C do konstantní sušiny, rozemlet a připraven k analýze.

Hodnoty pH a měrné vodivosti byly stanoveny následovně:

Do plastových třepacích baněk bylo naváženo 5 g suchého rozemletého vzorku, k němuž bylo přidáno 50 ml demineralizované vody. Suspenze se 10 min. třepala a poté byla zfiltrována. Filtrát byl proměřen pH metrem a konduktometrem.

Stanovení minerálních forem dusíku probíhalo tímto způsobem:

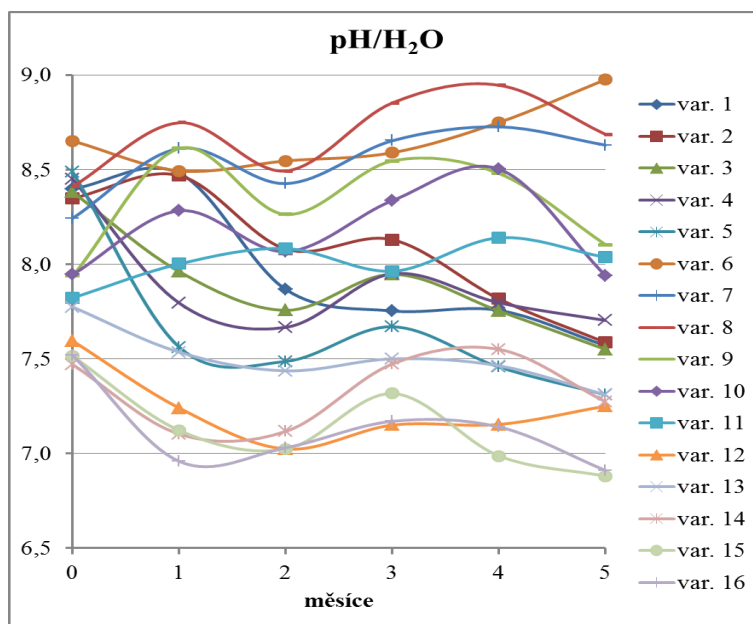
Do plastových třepacích baněk bylo naváženo 10,0 g suchého a rozemletého vzorku, k němuž bylo přidáno 100 ml 0,01 mol/l CaCl_2 . Suspenze se dala 2 hodiny mechanicky protřepat, poté byla přelita do malých kyvet, které byly centrifugovány 5 minut při 5000 otáčkách. Supernatant byl po skončení centrifugace slit do nových kyvet a připravil se k měření. Vzorky byly proměřeny kontinuálním průtokovým analyzátozem SAN^{PLUS} SYSTEM od holandské firmy Skalar.

2.4 Výsledky laboratorních pokusů

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující vermikompostování je hodnota **pH**. Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí od 7 do 9, tedy v neutrální až alkalické oblasti (*graf 1*). Nejvyšší počáteční hodnoty pH byly zaznamenány u směsi se separovaným digestátem (pH = 8,4), což bylo zapříčiněno vyšší hodnotou samotného digestátu (pH = 8,8). Počáteční zvýšení pH bylo zaznamenáno u varianty 1 a 2, což mohlo být způsobeno spotřebou organických kyselin mikroorganismy. Na druhou stranu pH výrazně pokleslo u variant 3, 4 a 5. Po 3 měsících vermikompostování pokleslo pH ve všech použitých variantách s digestátem. Mineralizace organických látek, a tím pádem zvýšení obsahu CO_2 , NO_3^- , organických a huminových kyselin může hrát důležitou roli v poklesu pH (Garg et al., 2006; Suthar a Singh, 2008).

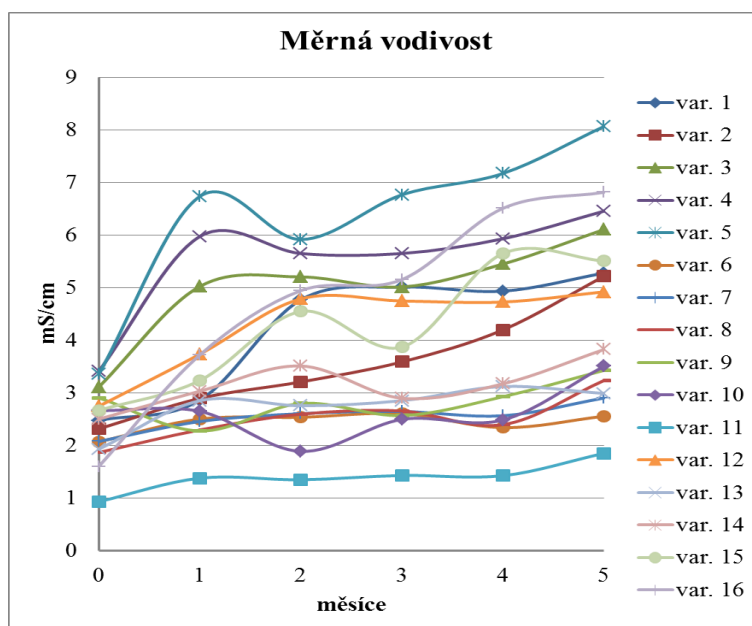
Při vermikompostování sídlištního bioodpadu se štěpkou a papírem docházelo ke kolísání pH. Avšak na konci vermikompostování těchto materiálů bylo pH mírně vyšší než na počátku. Ze tří testovaných skupin surovin dosahovalo nejvyšších hodnot.

Během vermikompostování směsi anaerobně stabilizovaného čistírenského kalu se zahradním bioodpadem došlo během procesu ke snížení pH na konečných 6,9 až 7,3. Nejnižší pH bylo zaznamenáno ve variantách se 75 % a 100 % kalu. Naopak nejvyšší pH dosahoval samotný zahradní bioodpad. Podobný vývoj byl zaznamenán při vermikompostování agro-industriálního kalu v experimentu Suthar (2010), kde pH pokleslo z počátečních 8,2 až 8,9 na 7,0 až 7,6.



Graf 1 pH/H₂O (1 : 10 w/v) v usušených vermikompostovaných materiálech po měsíčních intervalech

Měrná vodivost vyjadřuje obsah rozpustných solí v materiálu. Žížaly jsou velmi citlivé k obsahu solí a preferují obsah do 0,5 % (Munroe, 2007). Odolnost žízák k zasolenosti je také závislá na hodnotě pH. Žížaly jsou tolerantní k hodnotám do 15 mS/cm při pH 6 až 8 (Nam et al, 2008). Příliš vysoká koncentrace solí může způsobit fytotoxicitu, a proto je hodnota měrné vodivosti dobrým indikátorem použitelnosti kompostu nebo vermikompostu pro zemědělské použití (Lazcano et al., 2008). Během vermikompostování se měrná vodivost u všech variant zvyšovala (*graf 2*). Tento trend souvisel s poklesem objemu a hmotnosti vermikompostovaného materiálu a uvolněním minerálních solí (Garg et al., 2006; Yadav a Garg, 2011). Zvýšení může být také vysvětleno uvolněním vázaných prvků v trávicím ústrojí žízák (Garg et al., 2006). V našem experimentu se výluh zachycený na spodních miskách vracel zpět do materiálu kvůli uzavřenému koloběhu živin, což mělo také vliv na zvýšení měrné vodivosti. Hodnoty se pohybovaly mezi 0,9 až 3,4 na počátku experimentu po 1,8 až 6,8 na jeho konci. Extrémně nízké hodnoty z uvedených intervalů vykazoval vermikompostovaný použitý papír, který je díky obsahu celulózy vynikajícím krmivem pro žížaly, ale má nízký obsah živin. Dlouhodobé krmení žízák samotným papírem způsobuje nižší hmotnost jedinců.



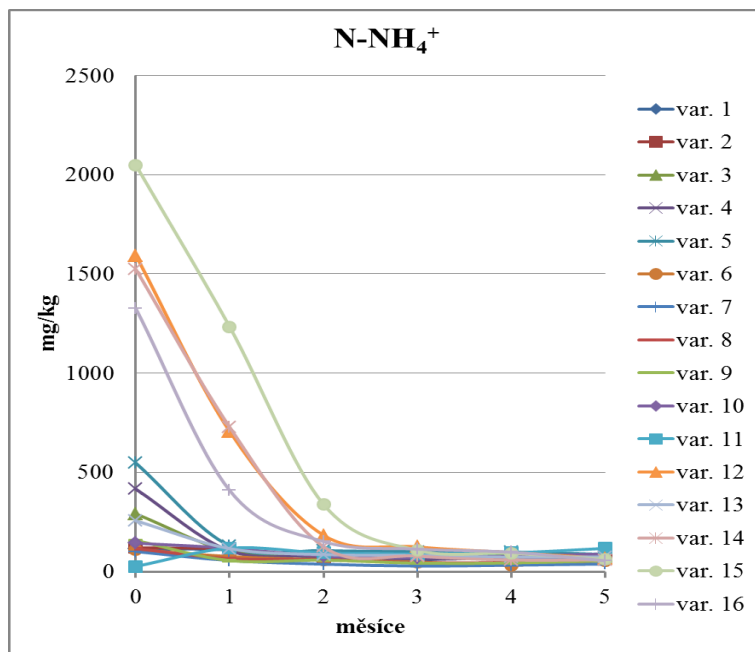
Graf 2 Měrná vodivost (1 : 10 w/v) v $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ v usušených vermikompostovaných materiálech po měsíčních intervalech

Separovaný digestát má obecně vysoký obsah **amonného dusíku (N-NH_4^+)**, což je způsobené mineralizací organického dusíku (Tambone et al., 2010). Z tohoto důvodu se obsah N-NH_4^+ ve směsích přímo úměrně zvyšoval se zastoupením digestátu (graf 3). Po měsíci vermikompostování se obsah N-NH_4^+ snížil na 100 mg/kg. Pokles byl pravděpodobně způsoben volatilizací, zabudováním amonného dusíku do tkání žízála a nitrifikací (Chaudhury et al., 2000). Varianty, které obsahovaly vysoký počáteční obsah N-NH_4^+ vykazaly silnou nitrifikaci, a tím pádem vysoký **obsah nitrátového dusíku (N-NO_3^-)** - (graf 4). Podíl N-NO_3^- tvořil až 30 % celkového dusíku na konci vermikompostování.

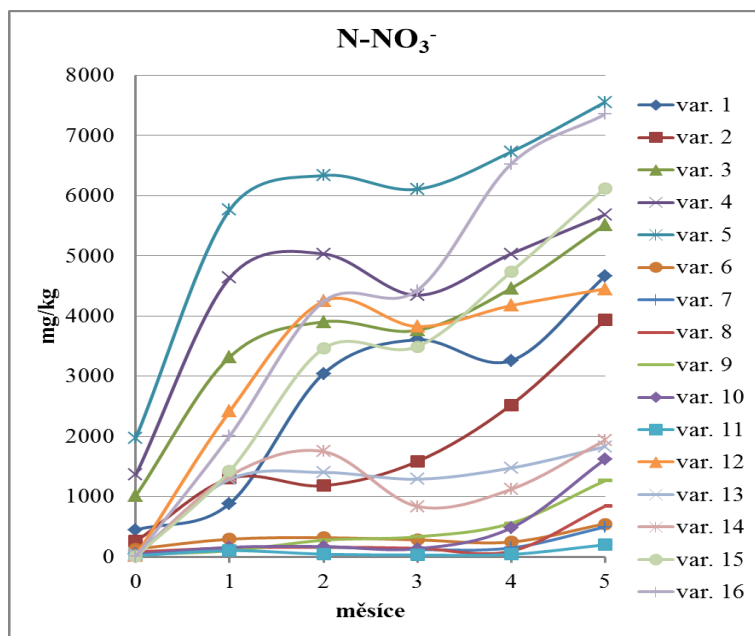
Pokud jde o sídlištní bioodpad, vyšší podíl N-NH_4^+ z celkového N byl zjištěn v nepředkompostovaném materiálu (1,3 % na začátku a 0,5 % na konci vermikompostování) než v předkompostovaném (0,8 % na začátku a 0,3 % na konci procesu). Obsah N-NH_4^+ klesl během vermikompostování v průměru těchto variant o 48 %. Přídavek papíru měl pozitivnější vliv na zvýšení obsahu N-NH_4^+ než štěpka bez ohledu na předkompostování. Obsah N-NH_4^+ byl nepřímo úměrný kolísajícím hodnotám pH, jak je uvedeno v grafu 1. Korelační koeficient R byl pro varianty 7, 8, 9 a 10 následující: -0,81; -0,80; -0,74 a -0,44. Na rozdíl od N-NH_4^+ se obsah N-NO_3^- během vermikompostování zvyšoval. U směsí se sídlištním bioodpadem bylo zjištěno zvýšení v průměru na 240, 334, 320, 558 a 1837 % po 1, 2, 3, 4 a 5 měsících ve srovnání se začátkem procesu. Na konci vermikompostování tvořil obsah N-NO_3^- 7 % z celkového obsahu N.

Obsah N-NH_4^+ se ve variantách s čistírenským kalem pohyboval od 1300 do 2000 ppm na začátku vermikompostování, což bylo 5 až 8x více ve srovnání s variantou zahradního bioodpadu. Takto vysoký obsah byl důvodem smrti žízála nebo jejich úniku z vermikompostovaného materiálu. Experiment Nam et al. (2008) zabývající se vlivem různých faktorů na aktivitu a přežití žízála ve vodném roztoku, ukázal, že při $\text{pH} = 7$ a nízké koncentraci amonného dusíku (0 až 90 mg/l) žízály přežily až 900 hodin. Při koncentraci nad 450 mg/l žízály přežily maximálně 100 hodin. V našem experimentu ve variantách s kalem klesl obsah N-NH_4^+ po 1, 2, 3, 4 a 5 měsících vermikompostování na 46 %, 12 %, 6 %, 5 % a 3 % ve srovnání s počátkem procesu. Množství žízála bylo nepřímo úměrné obsahu N-NH_4^+ . Korelační koeficient byl pro varianty 13 až 16 tento: -0,31; -0,67; -0,73 a -0,75. Zjištěná data ukázala, že žízály byly schopny přežít v materiálu o obsahu N-NH_4^+ menším než 200 ppm.

Většina N-NH_4^+ během vermikompostování nitrifikovala. Obsah N-NO_3^- se během vermikompostování zvyšoval a maxima dosáhl po 5 měsících. Jeho obsah byl přímo úměrný zvyšujícímu se podílu kalu ve směsi. Přídavek substrátu se žížalami po 2 měsících očividně snížil obsah této formy dusíku ve vermikompostovaném materiálu.



Graf 3 Obsah N-NH_4^+ (mg.kg^{-1}) v usušených vermikompostovaných materiálech po měsíčních intervalech



Graf 4 Obsah N-NO_3^- (mg.kg^{-1}) v usušených vermikompostovaných materiálech po měsíčních intervalech

Růst a reprodukce žížal je ovlivněna mnoha faktory (druh zpracovávaného materiálu, teplota, pH, obsah rozpustných solí, poměr C:N a další). **Biomasa žížal** vztažená k hmotnosti nebo objemu materiálu se v uskutečněných experimentech lišila. Došlo k poklesu biomasy žížal vztažené k hmotnosti materiálu u všech použitých surovin a směsí (tab. 5).

Nedobrovolná změna životních podmínek vyústila totiž ve stres žížal a vedla ke smrti některých z nich (Suthar, 2010). Nejvýraznější úbytek, prakticky všech žížal, byl pozorován v prvních dnech experimentu u variant s přidavkem anaerobně stabilizovaného čistírenského kalu. Důvodem byl již zmiňovaný vysoký obsah amonného dusíku v samotném kalu. Po samovolném snížení obsahu N-NH_4^+ byly do těchto variant opět dodány žížaly. Pokles jejich biomasy potom již nebyl tak výrazný. Ve variantě se samotným kalem došlo dokonce k mírnému vzestupu biomasy žížal, což se projevilo ve zvýšené hmotností jednotlivých žížal. Nejmenší úbytek biomasy žížal byl zaznamenán ve variantě 11 se samotným papírem a ve variantě 8 (předkompostovaný sídlištní bioodpad s papírem). Papír se jeví jako velice vhodné krmivo pro žížaly, neboť trávicí ústrojí žížal obsahuje vysoké množství celulolytického enzymu (Ueda et al., 2010). Použití nepředkompostovaného sídlištního (kuchyňského) bioodpadu mělo na žížaly negativní vliv. K zamezení ztrát žížal by bylo vhodné, aby do materiálu lezly žížaly samovolně, a ne aby tam byly nuceně přidávány. Materiál vhodný pro žížaly by měl mít za sebou termofilní fázi rozkladu. Výhoda použití dostatečně předkompostovaného materiálu je zejména v tom, že je odbouráno riziko zvyšování teploty během následného vermikompostování, a to i při jednorázovém použití většího objemu takto upraveného materiálu. Nepříznivý vliv vysoké teploty na žížaly je nejen přímý, ale i nepřímý, neboť vysoká teplota zvyšuje mikrobiální aktivitu v substrátu, což se projevuje zvýšenou spotřebou kyslíku. Tento jev může negativně ovlivňovat přežití žížal (Domínguez and Edwards, 2011). Na základě literárních pramenů a praktických zkušeností by teplota pro rozvoj žížalí populace neměla překročit 25 °C. Ve studii, která se zabývala vlivem teploty na obsah patogenů v kuchyňském bioodpadu, bylo zjištěno, že pro pokles obsahu patogenů na bezpečnou úroveň stačí 9 dnů předkompostování následované 2,5 měsíci vermikompostování (Nair et al., 2006). Vždy ale bude záležet na objemu materiálu a podmínkách procesu. Tyto poznatky byly využity při konstrukci nového typu dvoumodulového vermireaktoru (viz kap. 2.2.3).

Tab. 5 Relativní hmotnostní biomasa žížal vztažená k hmotnosti substrátu (%)

	čas v měsících					
	0	1	2	3	4	5
var. 1	0	0	0	0	0	0
var. 2	100	30	34	35	50	34
var. 3	100	23	21	26	25	19
var. 4	100	36	47	35	35	31
var. 5	100	37	49	39	30	33
var. 6	0	0	0	0	0	0
var. 7	100	12	14	16	16	13
var. 8	100	80	65	43	65	51
var. 9	100	38	46	41	20	28
var. 10	100	27	28	30	28	23
var. 11	100	74	71	109	128	88
var. 12	0	0	0	0	0	0
var. 13	100	33	42	28	22	18
var. 14	100	0	0	36	38	18
var. 15	100	0	0	46	68	61
var. 16	100	0	0	123	94	74

2.5 Souhrn výsledků experimentů a závěry pro praxi

I/ Separovaný digestát

Experimenty potvrdily, že separovaný digestát může být vermikompostováním přeměněn na kvalitní produkt. Nejlepší výsledky byly dosaženy ve směsi separovaného digestátu se slámou v objemovém poměru 3 : 1. Výsledné vermikomposty měly optimální pH (7,7), poměr C : N (16 : 1), byly bohaté na celkové a přístupné obsahy makroprvků, zejména fosfor ($P_{\text{celk.}} = 0,9 \%$) a draslík ($K_{\text{celk.}} = 2,2 \%$). Také v nich byl zjištěn vysoký obsah nitrátové formy dusíku (6 tis. mg $\text{N-NO}_3^-/\text{kg}$). Jsou tedy vhodné pro zemědělské využití jako hnojivo.

II/ Bioodpad z kuchyní a použitý papír

Vermikompostování zvýšilo celkové obsahy živin ($\text{N} = 1,5 \%$, $\text{P} = 0,3 \%$, $\text{K} = 1,5 \%$, $\text{Ca} = 3 \%$ a $\text{Mg} = 0,5 \%$) a také přístupnost P a K. Přídavek použitého papíru do kuchyňského bioodpadu se ukázal být vhodným krmivem pro žížaly. Ukázalo se, že je efektivní kuchyňský bioodpad před vlastním vermikompostováním předkompostovat z důvodu snížení jeho teploty a také zlepšení stravitelnosti pro žížaly. Na základě těchto poznatků byl navržen dvoumodulový vermireaktor, který je určen zejména pro zpracování bioodpadů z kuchyní a restaurací.

III/ Čistírenský kal a zahradní bioodpad

Společné vermikompostování zahradního bioodpadu a čistírenských kalů by mohlo najít uplatnění zejména v obcích, které provozují čistírny odpadních vod. Bylo zjištěno, že je vhodné zahradní bioodpad a jeho směs s čistírenskými kaly předkompostovat, aby se dosáhlo snížení teploty materiálu pod 25°C . Hodnoty pH se během vermikompostování snížily a pohybovaly se od 6,9 do 7,3 na konci experimentu. Měrná vodivost se zvýšila z intervalu 1,6 až 2,7 mS/cm na 3,0 až 6,8 mS/cm. Obsah N-NO_3^- se také zvýšil a dosáhl svého maxima na konci procesu. Obsahy N-NO_3^- byly nepřímo úměrné obsahům N-NH_4^+ . Právě vysoký obsah N-NH_4^+ byl kritický pro vermikompostování čistírenských kalů a jeho směs se zahradním bioodpadem. Obsah N-NH_4^+ v surovinách by pro přežití a úspěšný rozvoj žížal neměl překročit 200 ppm. Této hodnoty může být dosaženo delší dobou předkompostování nebo přidáním bioodpadů s nízkým obsahem N-NH_4^+ . Samozřejmě je nezbytné dodržet i další podmínky důležité pro úspěšné vermikompostování.

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost metodiky spočívá v komplexním hodnocení zpracování bioodpadů metodou vermikompostování, které není dosud v praxi tak využívané jako běžné kompostování. Je tomu tak především z důvodu menšího množství informací a kratší tradici. Proto se tato metodika zabývá v první části rozdělením a popisem jednotlivých systémů vermikompostování. Jsou zde zmíněny technologie pro vermikompostování běžných bioodpadů, tak i složitější technologie pro problematické bioodpady. V rámci řešení projektu NAZV QI91C199 byl vyvinut dvoumodulový vermireaktor určený zejména pro bioodpady ze stravoven a restaurací. Druhá část metodiky je postavena na výsledcích a praktických doporučeních, které vycházejí z našich laboratorních experimentů s vermikompostováním separovaného digestátu ze zemědělské bioplynové stanice, zahradního bioodpadu,

kuchyňského bioodpadu, papíru a čistírenských kalů. Byla prokázána oprávněnost použití metody vermikompostování a její efektivita při zpracování bioodpadů. Takovýto postup nebyl dosud formou certifikované metodiky publikován.

4 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Certifikovaná metodika slouží jako zdroj informací pro státní správu. Je podkladem pro případnou úpravu současně platné legislativy o vermikompostování (např. vyhláška č. 474/2000 Sb. O stanovení požadavků na hnojiva). Úředníci tak získají podklady k procesu vermikompostování, což jim následně umožní kvalifikované rozhodování o povolení konkrétní vermikompostárny a kontrole jejího provozu.

Zemědělcům a dalším zpracovatelům, dává metodika přehled o systémech vermikompostování a produkci vermikompostu jako hnojiva vyrobeného přírodním způsobem v místě vzniku biodegradabilních odpadů nebo zbytků.

Kvůli rostoucí popularitě technologií a produktů přátelských k životnímu prostředí si metodika najde místo i u široké odborné i laické veřejnosti.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY VERMIKOMPOSTOVÁNÍ A PŘÍNOS PRO UŽIVATELE

5.1 Ekonomické aspekty vermikompostování

Kompostování biodegradabilních surovin, resp. biologicky rozložitelných odpadů (BRO) v pásových hromadách na volné ploše je základní a nejjednodušší technologie kompostování, která je v ČR nejrozšířenější. Vzhledem k tomu, že základ této technologie – pásová hromada na volné ploše – je možný využít i pro vermikompostování, budou v rámci ekonomického hodnocení vermikompostování porovnány tyto způsoby a to i vzhledem k tomu, že lze oba způsoby využívat jak v zemědělství, tak i v komunální sféře.

Proces kompostování (zařízení – kompostárna s kapacitou nad 150 t.r⁻¹) musí probíhat na vodohospodářsky zabezpečené ploše, která je vyspádovaná do záchytné jímky. To platí, jak pro běžné kompostování, tak pro vermikompostování. Vzhledem k tomu, že náklady na vybudování nové zabezpečené plochy s jímkou bývají ve většině případů nejvýznamnější položkou investice do zařízení na zpracovávání BRO, nebudou náklady na pořizování porovnávaných technologií významně rozdílné. Přesto určité rozdíly v ekonomických nákladech na vybudování a následně i na provoz jednotlivých zařízení lze najít.

Celkové náklady na systém zpracování BRO u obou způsobů lze rozdělit na investiční a provozní náklady.

I/ Investiční náklady

Investiční náklady na zprovoznění kompostárny lze rozdělit do tří skupin.

Náklady na výstavbu

	Vermikompostování	Klasické kompostování
vodohospodářsky zabezpečená plocha	ANO	ANO
záchytná jímka	ANO	ANO
mostová váha	ANO	ANO
administrativní budova	ANO	ANO

Náklady na výstavbu jsou u obou typů způsobů kompostování **shodné**.

Náklady na technologické či strojní vybavení

	Vermikompostování	Klasické kompostování
čelní nakladač	ANO	ANO
drtič	ANO	ANO
překopávač kompostu	NE	ANO
násada žížal	ANO	NE

Náklady na strojní, resp. technologické vybavení, se liší.

Pro klasické kompostování v pásových hromadách je nutný překopávač kompostu, který lze pořídit:

- agregovatelný s energetickým prostředkem – od 600 000,- Kč a více,
- samojízdný – od 1 500 000,- Kč.

Pro zajištění vermikompostovacího procesu je nutné pro první zakládku zakoupit násadu žížal – žížalový substrát, který není v případě správně probíhajícího procesu nutno obnovovat. Cena násady žížal pro zpracování do

100 t/rok – 1 t BRO – 600,- Kč.
100 t – 500 t – 1 t BRO – 550,- Kč
500 t – 1000 t – 1 t BRO – 500,- Kč
nad 1000 t – 1 t BRO – 400,- Kč

Náklady na drobné vybavení

	Vermikompostování	Klasické kompostování
zapichovací teploměr	ANO	ANO
vybavení k odběru vzorků	ANO	ANO
evidence zpracovávaných BRO a vyrobeného kompostu	ANO	ANO
aplikátor kapaliny - optimální vlhkostní podmínky	ANO	ANO

II/ Provozní náklady

Do vyčíslení celkových provozních nákladů na výrobu kompostu je nutné započítat položky uvedené v následující tabulce.

	Vermikompostování	Klasické kompostování
náklady na manipulaci se vstupním materiálem (náklady na manipulaci a svoz BRO)	ANO	ANO
náklady na provoz strojů na úpravu materiálu	ANO	ANO
náklady na provoz strojů na založení kompostu, úpravu profilu a vrstvení	ANO	ANO
náklady na překopávání	NE	ANO
náklady na vyskladnění (finalizace)	ANO	ANO
náklady na údržbu kompostárny	ANO	ANO
náklady na obsluhu kompostárny	ANO	ANO

III/ Vlastní porovnání

A) Klasické kompostování

Provozní náklady na překopání jsou vypočteny pro nejrozšířenější způsob kompostování - v pásových hromadách na volné ploše překopávané překopávačem kompostu:

- překopávač kompostu
 - agregovaný s energetickým prostředkem (kolový traktor) 70 W;
 - hodinový náklad na soupravu – 630,- Kč.h⁻¹ (dle metodiky používané pro výpočet nákladů na zemědělské stroje);
 - průměrná výkonnost soupravy 100 m³.h⁻¹;
 - pracovní záběr 2,5 m;
- velikost zabezpečené plochy – 2 500 m²
- střední objemová hmotnost založených surovin – 525 kg.m⁻³;
- počet překopávacích zásahů v jednom kompostovacím cyklu – 5;
- trvání jednoho cyklu – 90 dní;
- zpracovávané množství BRO v jednom kompostovacím cyklu – 1 000 t.

Výpočet nákladů na překopávání v jednom kompostovacím cyklu:

$$1\,000\text{ t} \times 5 = 5\,000\text{ t} / 0,525\text{ t.m}^{-3} = 9\,523\text{ m}^3 / 100\text{ m}^3.\text{h}^{-1} = 95,23\text{ h} \times 630,-\text{ Kč.h}^{-1} = \underline{\underline{59\,995,-\text{ Kč}}}$$

Náklady na obsluhu překopávače kompostu vycházejí z hodinové sazby 136,- Kč.hod⁻¹ pro pracovníka, který je kvalifikován pro obsluhu traktoru, nakladače a ostatních mechanizačních prostředků.

Výpočet nákladů na obsluhu překopávače kompostu:

$$95,23\text{ h} \times 36,-\text{ Kč} = \underline{\underline{12\,951,-\text{ Kč}}}$$

Celkové náklady na překopávání založených surovin - **1 000 t** v jednom kompostovacím cyklu (90 dní): **72 946,- Kč**

B) Vermikompostování

- zpracovávané množství BRO v jednom kompostovacím cyklu – 1 000 t;
- trvání jednoho cyklu – 300 dní;
- velikost zabezpečené plochy – 2 500 m².

Výpočet nákladů na pořízení násady žízal v jednom kompostovacím cyklu:

cena násady žízal pro zpracování 1 t BRO – 600,- Kč.

Celkové náklady na pořízení násady žízal pro zpracování **1 000 t BRO** v jednom kompostovacím cyklu (300 dní): **50 000,- Kč** (je využíván již vlastní žízalový substrát).

Náklady na zpracování 1 000 t BRO jsou u vermikompostování nižší, avšak délka kompostovacího cyklu – setrvání zpracovávaných surovin na kompostovací ploše – je u vermikompostování 3,3x delší. To náklady u vermikompostování zvyšuje. Vzhledem k tomu, že násada žízal je pořizována na několikaleté období bez potřeby obnovy, jsou

výsledné náklady za určité období srovnány a dále oproti klasickému kompostování, u kterého je nutné překopávání provádět neustále, stále snižovány.

5.2 Další přínosy pro uživatele vermikompostování

I/ Kvalita vermikompostu

Kvalita vyrobeného vermikompostu je podstatně vyšší než běžného kompostu. Vermikompost obsahuje nejen živiny, ale i velice kvalitní organické látky (zejména ze skupin huminových kyselin). Dále obsahuje růstové hormony (auxiny, gibbereliny a cytokininy) a v neposlední řadě také enzymy, které se dostávají do výměšků žízá z jejich trávicího ústrojí. Složení vermikompostu se pozitivně odráží v agrochemických a biologických vlastnostech hnojené půdy a následně na růstu výnosů a kvalitě produkce. Rostliny jsou odolnější proti chorobám a škůdcům, proto je možné snížit (nebo i odstranit) dávkování ochranných postřiků. Vermikompost umožní rostlinám lépe využít minerální látky již obsažené v půdě.

Čím je vermikompost jemnější (tj. obsahuje více žízáých výměšků), tím je kvalitnější, a tím pádem i dražší.

II/ Uvádění vermikompostu do oběhu jako organické hnojivo

Pokud jsou vermikompostováním zpracovávány statková hnojiva, je výsledný produkt – vermikompost dle Přílohy č. 3 k vyhlášce č. 474/2000 Sb. zařazen mezi typová organická hnojiva, čímž odpadá zdoluhavý schvalovací proces, nutný pro netypová hnojiva.

III/ Ekologické hledisko

Vermikompostování je proces převzatý z přírody. V průběhu vermikompostování se do zpracovávaného materiálu nepřidávají žádné chemické látky. Zařazení technologie vermikompostování pro zpracování bioodpadů a následné využívání vermikompostu je tedy vhodné zejména pro ekologické zemědělce.

IV/ Doba vermikompostování

Jeden z mála parametrů, který je pro vermikompostování nepříznivý. Doba setrvání zpracovávaných surovin je na kompostovací ploše cca 3,3x delší, nežli u klasického kompostování s pomocí překopávače.

Z tohoto důvodu je výhodné vermikompostování využívat zejména pro zpracovávání množství BRO do 150 t.rok⁻¹, kdy není nutná vodohospodářsky zajištěná plocha.

6 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- Appelhof M. (1997): Worms Eat My Garbage. Flower Press: 1-162.
- Contreras-Ramos S.M., Alvarez-Bernal D., Dendooven L. (2008): Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*). Soil Biol. Biochem. 40: 1954–1959.
- Domínguez J., Edwards C.A. (2011): Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. In: Vermiculture Technology, Ed. Edwards C.A., Arancon, N. and Sherman R.: CRC Press, str. 27-40.

- Domínguez J., Edwards C.A. (2011): Relationships between composting and vermicomposting. In: *Vermiculture Technology* (Eds C.A. Edwards, N.Q. Arancon & R. Sherman), Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, str. 11-25.
- Edwards C.A. (2011): Medium- and high-technology vermicomposting systems. In: *Vermiculture Technology*, Ed. Edwards C.A., Arancon, N. and Sherman R.: CRC Press, kap. 8: 91-102.
- Garg P., Gupta A., Satya S. (2006): Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresour. Technol.*, 97: 391-395.
- Hanc A., Novak P., Dvorak M., Habart J., Svehla P. (2011): Composition and parameters of household bio-waste in four seasons. *Waste Manage.*, 31: 1450-1460.
- Hanc A., Szakova J., Svehla P. (2012): Effect of composting on the mobility of arsenic, chromium and nickel contained in kitchen and garden waste. *Bioresour. Technol.*, 126: 444-452.
- Hand P., Hayes W.A., Frankland J.C., Satchell J.E. (1988): The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia*, 31: 199-209.
- Hladík J. (2009): Půda je nenahraditelná jako výrobní prostředek, ale i jako přírodní fenomén. Sborník z V. konference Biologicky rozložitelné odpady, Náměšť nad Oslavou: 54-58.
<http://www.kompostuj.cz/vime-jak/vermikompostovani/zakladni-pravidla-vermikompostovani>.
- Chaudhury P.S., Pal T.K., Bhattacharjee G., Dey S.K. (2000): Chemical changes during vermicomposting (*Perionyx excavatus*) of kitchen wastes. *Tropical Ecol.*, 41: 107-110.
- Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez J. (2008): Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72: 1013-1019.
- Li Y. S., Robin P., Cluzeau D., Bouché M., Qiu J. P., Laplanche A., Hassouna M., Morand P., Dappelo C., Callarec J. (2008): Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm. *Ecological Engin.*, 32: 301-309.
- Mikeš J. (2008): Biofiltrace jako prostředek eliminace zápachu při anaerobní digesci. *Odpadové fórum*, 12: 19-20.
- Munroe G. (2007): *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture*. Organic Agriculture Centre of Canada, Canada.
- Nair J., Sekiozoic V., Anda M. (2006): Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresour. Technol.*, 97: 2091-2095.
- Nam P.N., Heck A., Clements J. (2008): A multi-factorial test for the activity of compost-worms as influenced by pH, electric conductivity, ammonium and ammonia. *Overseas Vietnamese and Chemistry and Chemical Technology Conference*. Paris. 7. - 9. 11. 2008.
- Sinha R.K., Agarwal S., Chauhan K., Valani D. (2010): The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's friends of farmers, with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. *Agric. Sci*, 1: 76-94.
- Suthar S. (2010): Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecol. Engin.*, 36: 1028-1036.
- Suthar S., Singh S. (2008): Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavates* and *Perionyx sansibaricus*). *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 5: 99-106.
- Tambone F., Scaglia B., D'Imporzano G., Schievano A., Orzi V., Salat, S., Adani F. (2010): Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, 81, 577-583.
- Ueda M., Goto T., Nakazawa M., Miyatake K, Sakaguchi M., Inouye K. (2010): A novel cold-adapted cellulase complex from *Eisenia foetida*: Characterization of a multienzyme

complex with carboxymethylcellulase, β -glucosidase, β -1,3 glucanase, and β -xylosidase. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 157: 26-32.

Yadav A., Garg V.K. (2011): Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. Bioresour. Technol., 102: 2874-2880.

7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Hanč A., Plíva P. (2010): Vermikompostování – perspektivní způsob nakládání s bioodpady. Odpadové fórum 11 (9): 32.
- Hanč A., Plíva P. (2012): Vermicomposting of garden biowaste and sewage sludge. Waste fórum, (3): 103-110.
- Hanč A., Plíva P. (2012): Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. Proceedings of the 7th International Conference on Waste Management and Technology. Beijing, China: 94-98.
- Hanč A., Plíva P. (2013): Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. Journal of Material Cycles and Waste Management, 15: 431-439.
- Hanč A., Plíva P. (2013): Vermikompostování – perspektivní metoda pro zpracování bioodpadů. Sborník z IX. konference - Biologicky rozložitelné odpady. Náměšť nad Oslavou: 1-11. ISBN: 978-80-87226-29-2.
- Hanč A., Plíva P., Pargačová Z., Švehla P. (2012): Vliv předkompostování kuchyňského bioodpadu na jeho vermikompostování. Sborník přednášek na CD, Odpadové fórum 2012. CEMC, Praha: 6 stran. ISBN: 978-80-85990-20-1.
- Hanč A., Vašák F., Švehla P. (2011): Vliv obsahu amonného dusíku na vermikompostování čistírenského kalu. Sborník ze 17. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na síru ve výživě rostlin. 30.11.2011, Praha: 88-91. ISBN 978-80-213-2224-0.
- Hanč A., Vašák F., Švehla P. (2012): Změny ve výnosech senážního ovsa po hnojení vermikompostem pocházejícím z digestátu. Sborník z 18. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin. 29.11.2012, Praha: 101-104. ISBN 978-80-213-2331-5.
- Hyblerová J., Han, A., Balík J. (2011): Vermikompostování kuchyňského bioodpadu. Sborník přednášek, Odpadové fórum 2011. Praha: č. 081 (6 stran). ISBN: 978-80-85990-18-8.
- Pargačová Z., Hanč A., Balík J. (2012): Změny vybraných parametrů během vermikompostování předkompostovaného digestátu. Sborník přednášek na CD, Odpadové fórum 2012. CEMC, Praha: 9 stran. ISBN: 978-80-85990-20-1.
- Pauliová M., Hanč A., Balík J. (2011): Využití žíhal ke zpracování čistírenského kalu a zahradního bioodpadu. Sborník přednášek, Odpadové fórum 2011. Praha: č. 043 (6 stran). ISBN: 978-80-85990-18-8.
- Plíva P., Čejka Z., Hanč A. (původci), (2012): Dvoumodulový vermireaktor. Funkční vzorek. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha.
- Plíva P., Čejka Z., Hanč A. (2012): Dvoumodulový vermireaktor. Užitélný vzor 23596, Úřad průmyslového vlastnictví, ČR.
- Plíva P., Hanč A. (2011): Ako vyrábateľ vermikompost? Komunálna technika, 3 (5): 29-33.
- Plíva P., Hanč A. (2011): Jak vyrábět vermikompost? Komunální technika, 5 (5): 41-45.
- Plíva P., Hanč A. (2012): Vermikompostování. Sborník z VIII. mezinárodní konference - Biologicky rozložitelné odpady. Náměšť nad Oslavou: 1-10. ISBN: 978-80-87226-23-0.
- Váňa J., Hanč A., Habart J. (2009): Pevné odpady 2009. Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-1992-9.

Název: **VERMIKOMPOSTOVÁNÍ BIOODPADŮ**
 (certifikovaná metodika)

Vydala: **Česká zemědělská univerzita v Praze**

Autoři: **Ing. Aleš Hanč, Ph.D.**
 Ing. Petr Plíva, CSc.

Oponenti: **Ing. Michaela Budňáková**
 Ing. Martin Dubský, Ph.D.

Tisk: **Powerprint, Praha**

Náklad: **70 výtisků**

Počet stran: **35**

Rok vydání: **2013**

Vydání: **první (dotisk 2015)**

Doporučená cena: **neprodejné**

ISBN: **978-80-213-2422-0**