

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



**Porovnání a hodnocení zařízení pro vermikompostování a
kompostování v pásových zakládkách**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Miroslav Hustý

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Porovnání a hodnocení zařízení pro vermikompostování a kompostování v pásových zakládkách** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Bc. Petru Jungovi, Ph.D. za podporu a cenné rady při psaní mé diplomové práce. Dále chci poděkovat Ing. Jaromíru Michálkovi vedoucímu kompostárny Strážnice a Radoslavu Lánskému vedoucímu kompostárny Slavkov u Brna za poskytnutí informací a umožnění vstupu na kompostárny. Také chci poděkovat mé manželce za podporu a trpělivost při mém studiu.

dne 12. dubna 2017

Abstrakt

Předložená diplomová práce je zaměřena na porovnání a zhodnocení technického zařízení pro vermikompostování a kompostování v pásových hromadách. Je porovnávána technologie zpracování odpadů a potřebné technické a strojní vybavení kompostáren. Práce vychází z údajů získaných při terénním šetření, z odborné literatury a internetových zdrojů. Tato práce popisuje dvě konkrétní kompostárny s rozdílnými způsoby kompostování v pásových hromadách. Zaměřuji se na stavební, technické a strojní požadavky na provoz obou kompostáren. Dále jsou vyhodnoceny produkty z těchto kompostáren. Z výsledků srovnání obou způsobů kompostování lze usoudit, že pokud se jedná o kompostárny stejné velikosti, tak požadavky na technické a strojní vybavení jsou shodné a jejich výsledný produkt je shodný dle požadavků legislativních norem na nebezpečné látky.

Klíčová slova: bioodpad, kompost, vermikompost, pásové hromady, strojní vybavení, překopávač, hygienizace, fáze kompostování, žížaly

Abstract

The current thesis focuses on comparison and evaluation of technical equipment for vermicomposting and composting in band piles. The technology of processing of biowaste and necessary technical equipment and machinery of composting plants are compared. The work is based on data obtained from field work, literature and internet sources. Two plants with different technologies of composting are assessed. I am considering the construction, technical equipment and machinery needed for daily operation in both plants. Also the final product - compost is explored in laboratory. The final results show that plants of similar size have similar requirements for technical equipment and machinery and their final product is equal in law requirement regarding dangerous substances.

Key words: biowaste, compost, vermikompost, band piles, equipment, compost turner, safety of compost, phases of composting, earthworms

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. CÍL PRÁCE	9
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
3.1. Kompostování	9
3.1.1. Základní mikrobiologické principy kompostovacího procesu	11
3.1.2. Fyzikální a chemické vlastnosti biologicky rozložitelných materiálů pro zakládání kompostovacího procesu	12
3.1.2.1 Teplota.	12
3.1.2.2 Vlhkost.	14
3.1.2.3 Hodnota pH	15
3.1.2.4 Obsah kyslíku.	15
3.1.2.5 Poměr C : N a obsah živin.	16
3.1.2.6 Velikost částic, zrnitost a pórovitost.	17
3.1.2.7 Mikrobiální aktivita	18
3.2. Průběh kompostovacího procesu	19
3.2.1 Jednotlivé fáze průběhu kompostování	20
3.2.1.1 První fáze termofilní, taktéž nazývaná fáze rozkladná – mineralizace.	21
3.2.1.2 Druhá fáze mezofilní nebo též fáze přeměny.	21
3.2.1.3 Třetí fáze dozrávání.	

.....	22		
3.2.2	Doba		kompostování
.....	23		
3.2.3	Zralost a stabilita		kompostu
.....	23		
3.3.	Druhy		kompostování
.....	26		
3.3.1.	Domácí		kompostování
.....	26		
3.3.2.	Komunitní		kompostování
.....	26		
3.3.3.	Centrální kompostování	27
3.4.	Kompostovací		technologie
.....	27		
3.4.1.	Kompostování na volné ploše v pásových hromadách	27
3.4.1.1.	Mechanicky		provzdušňované
.....	28		
3.4.1.2.	Pasivně provzdušňované	28
3.4.1.3.	Aktivně		provzdušňované
.....	28		
3.4.2.	Intenzivní kompostovací		technologie
.....	29		
3.4.3.	Kompostování ve		vacích.
.....	31		
3.4.4.	Technologický postup		kompostování
.....	31		
3.4.5.	Technické vybavení		kompostáren
.....	32		
3.5.	Vermikompostování	33
3.5.1.	Historie		vermikompostování
.....	33		
3.5.2.	Žížaly k výrobě		vermikompostu
.....	34		

3.5.3.	Fyzikální a chemické podmínky potřebné pro vermikompostování	35
3.5.4.	Skladba substrátu	37
3.5.5.	Technologie vermikompostování	37
3.5.5.1.	Maloprodukční vermikompostování	38
3.5.5.2.	Velkoprodukční vermikompostování	39
3.5.6.	Vermikompost - konečný produkt vermikompostování	42
3.5.7.	Zajištění hygienizace vermikompostu	44
4.	VLASTNÍ PRÁCE.	45
4.1.	Materiál a metodika.	46
4.1.1	Kompostárna Slavkov u Brna s klasickým kompostováním v pásových hromadách.	46
4.1.2.	Kompostárna Strážnice s vermikompostováním v pásových hromadách.	51
4.1.3	Hodnocené produkty kompostáren.	55
4.1.4	Metodika hodnocení produktů kompostování a zařízení kompostáren	56
5.	VÝSLEDKY A DISKUZE	57
5.1.	Srovnání technologie a technického vybavení sledovaných kompostáren.	57
5.2.	Porovnání výsledného produktu obou kompostáren.	61
5.3.	Porovnání eliminací nežádoucích příměsí.	65
6.	ZÁVĚR	66

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
8. SEZNAM TABULEK	70
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	71
10. SEZNAM PŘÍLOH.	72

1 ÚVOD

Po vstupu do Evropské unie v roce 2004, přijala Česká republika evropské legislativní akty. Evropská unie se zabývá podrobně problematikou životního prostředí. Součástí politiky životního prostředí EU je také problematika biologicky rozložitelných odpadů. Jednou ze směrnic vztahujících se k této politice je Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů, kde se udává postupné snižování biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládky. Aby se mohlo dodržet nařízení této směrnice, musel se vyřešit problém, jak nezávadně likvidovat biologicky rozložitelný odpad. Jednou z nejvhodnějších metod je kompostování. S narůstajícím počtem kompostáren dochází i k nárůstu různých kompostovacích technologií. Velikost těchto kompostáren je velmi různorodá, od malých domácích kompostérů až po velké kompostovací linky pro průmyslové zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

Vznikla i poměrně velká různorodost technologií kompostování, od jednoduchých polních kompostáren, přes kompostování v pásových hromadách na vodohospodářsky zabezpečené ploše, až po speciální kompostovací bioreaktory, kde se výrazně zkracuje kompostovací doba. Taktéž se ve větším měřítku začala rozšiřovat technologie kompostování využívající žížaly pro zpracování organické hmoty, takzvané vermikompostování, jehož produktem je vermikompost. I při vermikompostování jsou využívány různé technologie zpracování.

V této práci vyhodnocuji zařízení pro vermikompostování a kompostování v pásových skládkách. Hodnotím zde dvě vybrané kompostárny, kompostárnu ve Slavkově a vermikompostárnu ve Strážnici. Obě kompostárny zpracovávají shodnou skladbu biologicky rozložitelných odpadů získanou z údržby větších ploch veřejné zeleně a bioodpad od občanů. V práci se zaměřuji na porovnání a zhodnocení používané techniky a technického vybavení obou kompostáren, a taktéž porovnávám produkty těchto kompostáren. Dále porovnávám nutnost tohoto vybavení pro zajištění dokonalých podmínek pro kompostovací proces.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je porovnání zařízení pro vermikompostování a kompostování v pásových hromadách na volné ploše ve dvou vybraných kompostárnách. V této práci se bude porovnávat strojní, technické a stavební vybavení těchto kompostáren s různými technologiemi kompostování.

Dále se v této práci budu věnovat porovnání výsledných produktů těchto kompostáren, které byly v laboratoři Mendelovy university podrobeny testování na obsah sušiny, spalitelných látek a celkový dusík.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Kompostování

Podle „Zelené knihy EU“ je kompostování „nejobvyklejší možností biologického zpracování biologicky rozložitelných odpadů. V současnosti představuje kolem 95 % veškerého biologického zpracování odpadů. Kompostování se nejlépe hodí pro zelený odpad a dřevní hmoty. Existují různé metody. Z hlediska technologického je můžeme dělit na otevřené (kompostování v pásových hromadách na volné ploše) a uzavřené (kompostování v bioreaktorech). Tyto „uzavřené metody“ jsou dražší, ale vyžadují méně prostoru. Jsou rychlejší a přísnější z hlediska kontroly emisí z procesu. Emisemi z procesu se rozumí: zápach, biologické aerosoly a podobně. (Zelená kniha o nakládání s biologickým odpadem v Evropské unii z roku 2008.)

Kompostování definuje Groda (1995) jako člověkem záměrně vyvolaný a řízený proces, kde probíhá intenzivní biodegradace organických odpadů, při zabezpečených optimálních podmínkách pro rozvoj žádoucích mikroorganismů, které rychleji a efektivněji přeměňují organický odpad na humusové látky. Jde o stejný proces, který spontánně probíhá v přírodě při degradaci organické hmoty. Při tomto procesu organické látky postupně zetlejí a přejdou zpět do půdy jako živiny a energie, které rostliny potřebují pro svůj růst. Při kompostování jde o aerobní proces biodegradace organické hmoty účinkem aerobních mikroorganismů v kombinaci s dalšími reakcemi jako je oxidace a hydrolýza. Zastoupení těchto mikroorganismů není konstantní a mění se podle složení základky kompostu, ale také podle stupně humifikace kompostovaného materiálu.

Převážně jde o heterotrofní mikroorganismy, které pro svůj vývoj využívají okolí jako zdroj uhlíku a kyslíku. Tyto mikroorganismy rozkládají organické látky, kde štěpením jejich vazeb získávají zdroj energie pro svůj metabolismus a také biogenní prvky pro svůj růst a vývoj. Část těchto organických látek je rozložena štěpením vazeb a oxidací až na CO₂ a H₂O. Tento rozklad probíhá následovně. Nejdříve jsou biodegradací rozkládány jednoduché organické látky jako sacharidy, bílkoviny a organické kyseliny, potom jsou rozkládány polysacharidy, kde dochází k depolymeraci. Nakonec jsou rozkládány stabilní složky, jako je lignin, který tvoří 15 – 30 % kompostované hmoty, což je podstatná část rostlinných materiálů. (Groda, 1995, str. 113 – 115)

Podle Chudárka (2013 str. 52) je kompostování aerobní přeměna biologicky rozložitelného materiálu pomocí přirozeného aerobního biologického rozkladného procesu organických materiálů, které aerobní mikroorganismy za přístupu kyslíku, jež slouží jako živina i jako zdroj energie, transformují na stabilní humusové látky. Při tomto kompostovacím procesu dochází k hydrolýze bílkovin, škrobů, celulózy, sacharidů apod. Produkty hydrolýzy – aminokyseliny, monosacharidy, alifatické alkoholy se částečně přeměňují za vývinu tepla na organické kyseliny a oxid uhličitý. Také dochází k množení mikroorganismů a k produkci CO₂ a vody. Při tomto rozkladném procesu se zvyšuje teplota, která zaručuje hygienizaci kompostovaného substrátu, čímž se likviduje klíčivost semen plevelů a také se ničí patogenní mikroorganismy.

Při kompostování nemá dojít k úplné biodegradaci všech složek, ale jen k biologické stabilizaci kompostované suroviny, to znamená, že již nedochází k prudké biodegradaci a nemohou začít patogenní procesy jako například hniloba. Při správném průběhu kompostování vznikne biologicky stabilizovaný produkt – kompost, který nevykazuje fytotoxicitu a neohrožuje půdu, vodu a ovzduší. Takový kompost se může zapravit do půdy, kde proběhne další biodegradace do konečného stupně. (Altman et al., 2013 str. 25)

Celý proces kompostování lze podle Plívy et al., (2009) zjednodušeně vyjádřit obecnou rovnicí:



Pokud chceme dosáhnout efektivní výroby kvalitního kompostu, je potřeba nejdříve poznat a pochopit biochemické procesy, které probíhají při biodegradaci organického odpadu. Tyto biochemické procesy se dějí prostřednictvím mikroorganismů, které potřebují pro svůj život určité podmínky. Vhodnou úpravou, monitorováním a řízením těchto životních podmínek mikroorganismů můžeme pozitivně ovlivnit rychlost a kvalitu přeměny bioodpadu na kvalitní kompost. Tím, že zdokonalíme a zrychlíme procesy, které přirozeně probíhají ve volné přírodě, dosáhneme efektivního a pro životní prostředí neškodného způsobu likvidace bioodpadu a navrácení humusových látek zpět do půdy.

3.1.1 Základní mikrobiologické principy kompostovacího procesu

Z pohledu mikrobiální účasti na rozkladu biologických materiálů hraje velkou roli kvalita vstupního materiálu. Především poměr uhlíku a dusíku (C : N) představuje základní poměr výživových nároků na vitalitu a prosperitu kooperujících mikroorganismů.

Jako optimální se uvádí poměr C : N 30 – 35 : 1. Další základní, doslova existenční podmínkou, je správná vlhkost kompostované směsi. Vlhkost je důležitá pro osídlení, aktivitu a množení mikroorganismů, které provádí rozkladnou činnost. Nedostatečná, ale i naopak přílišná vlhkost negativně ovlivňuje životní pochody mikroorganismů a tím i zpomaluje kompostovací proces. Nadměrná vlhkost směsi vytlačuje vzduch z meziprostorů a také reaguje s plynnými katabolity z životních dějů mikroorganismů a tím vytváří kyseliny, které mění pH, čímž dochází k acidifikaci prostředí. Tato acidifikace má bakteriostatické až baktericidní účinky na společenství dekompozitorů (organismy, které získávají organické látky z mrtvých částí těl jiných organismů). Z toho důvodu se jako optimum vlhkosti uvádí rozmezí 40 – 65 %.

Pro správné fungování mikrobiálních dekompozitorů je nutné zajištění dostatečného přísunu kyslíku. Toho docílíme tak, že se přidá do kompostované zakládky dostatečné množství vhodného strukturního materiálu (např. dřevní štěpka, piliny, sláma, seno) a dále vhodným provzdušňováním.

Dalším regulátorem veškerých aktivit přítomných mikroorganismů je značně proměnlivá fyzikální veličina a tou je teplota prostředí uvnitř zakládky. Optimální teplotní rozmezí se pohybuje mezi 30 – 40 °C. Nízké teploty potlačují, až brzdí aktivitu mikroorganismů, ale po prohřátí prostředí se jejich činnost opět obnovuje. Naopak vysoké teploty (nad 70 °C) mají devitalizující účinky na všechny druhy a typy

mikroorganismů a déle trvající vysoké teploty jsou pro tyto mikroorganismy smrtící. (Hejátková, et al., 2007 str. 8 – 9)

3.1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti biologicky rozložitelných materiálů pro zakládání kompostovacího procesu

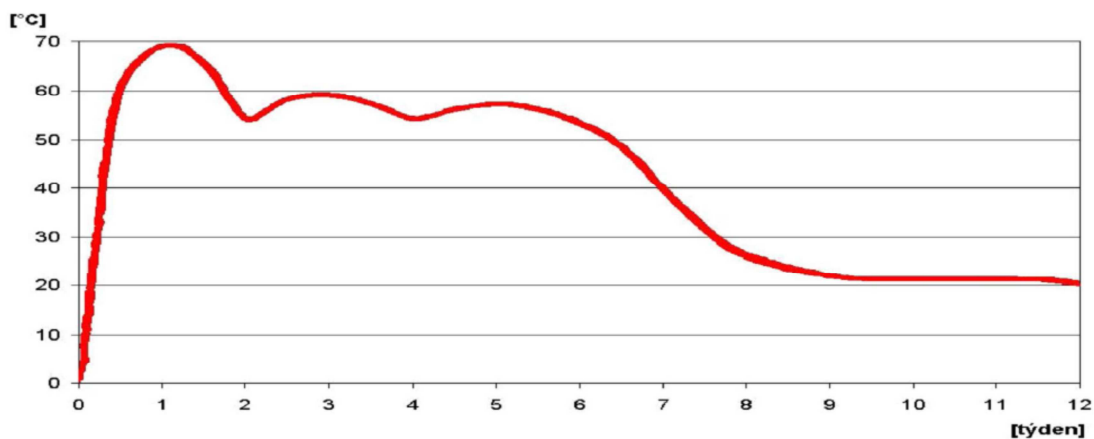
Kompostování a výroba kompostu podléhá požadavkům normy ČSN 465735 „Průmyslové komposty“, která klade přesné požadavky na výrobní technologii, na vliv na životní prostředí a na požadovanou kvalitu výsledného produktu „Kompostu“. Abychom splnili požadavky této normy, musíme znát fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostovaných surovin a samotné procesy při kompostování. Vlastnosti těchto surovin musíme znát proto, abychom mohli optimálně sestavit zakládku kompostu, ale i vybrat vhodnou technologii kompostování.

Pro určení vhodné skladby zakládky a tím vytvoření optimálního průběhu kompostovacího procesu, musíme znát vlastnosti vstupních surovin. Vlastnosti, které mohou významně ovlivnit kompostovací proces, jsou:

- teplota,
- vlhkost,
- hodnota pH,
- obsah kyslíku,
- poměr C : N a obsah živin,
- velikost částic, zrnitost a pórovitost,
- mikrobiální aktivita.

3.1.2.1 Teplota

Naměřená teplota při kompostovacím procesu je ukazatelem průběhu procesu, zrání kompostu a intenzity činnosti mikroorganismů. Průběh teploty při kompostování na volné ploše v pásových hromadách, kde jsou prováděny překopávky překopávačem, je graficky znázorněn na obr. 1. Patrné poklesy a opětné nárůsty teplot v druhém a čtvrtém týdnu jsou způsobeny překopáním. Odchytky od tohoto průběhu signalizují závady ve správném průběhu kompostovacího procesu. Příčiny mohou být v nevhodné surovinové skladbě, v nadměrné, nebo malé vlhkosti surovin, a při omezeném obsahu kyslíku v kompostu. (Kollárová et al., 2008 str. 14)



Obr. 1: Průběh teploty při kompostování v pásových hromadách. (Kollárová et al., 2008 str. 15)

Teplota je přímo závislá na mikrobiální aktivitě v kompostu. Udává nám, v jaké fázi se nachází kompostovací proces a zda probíhá za optimálních podmínek. Určení optimální teploty pro kompostování je obtížné, protože různé organické materiály se rozkládají při různé teplotě. Většinou se za optimální teplotu kompostování uvádí rozmezí od 50 do 60 °C, nebo i širší rozsah a to od 43 až do 65 °C.

Výše optimální teploty má dvě funkce. Za prvé určuje optimální teplotu pro rozklad organických látek a za druhé určuje teplotu potřebnou pro hygienizaci kompostu, to jest likvidaci patogenních mikroorganismů a případně semen plevelů. (Plíva, et al., 2006 str. 8)

Teplota pro hygienizaci kompostu je dána státní normou ČSN 465735 „Průmyslové komposty“, kde se uvádí, že u kompostů vyráběných z tuhých komunálních odpadů, kanalizačních kalů nebo z látek s důvodným podezřením na obsah patogenních organismů musí být při kompostovacím procesu dosaženo minimální teploty 55 °C po dobu 21 dnů. U kompostů vyráběných z ostatních surovin se má dosáhnout minimální teploty 45 °C po dobu 5 dnů.

Teplota nám také určuje, která skupina mikroorganismů je právě aktivní. Při teplotách 20 – 30 °C jsou aktivní mezofilní mikroorganismy a při teplotách 45 – 65 °C jsou aktivní termofilní mikroorganismy. Teplota nad 70 °C je nežádoucí, protože vhodné mikroorganismy hynou a délka kompostování se prodlužuje, taktéž teplota pod 10 °C (až do -10 °C) výrazně zpomaluje proces kompostování, ale nemusí ho zastavit.

Podle teploty také můžeme určit, zda je již kompost vyzrálý a stabilní. Když teplota kompostu klesne na teplotu okolí a již se nezvyšuje, je kompostovací proces ukončený a výsledný produkt je stabilní a může se použít jako hnojivo. Jestliže teplota

ještě neklesla na teplotu okolí, nebo naopak mírně vzrůstá nebo kolísá, není kompostovací proces ukončen a dále v něm probíhají mikrobiologické a biochemické procesy. Takový kompost je nevyzrálý a nestabilní, a nemá být použit na hnojení, protože je fytotoxický a obsahuje značné množství organických kyselin. Podle normy ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ se expedice průmyslového kompostu povoluje nejdříve 14 dnů po skončení druhé překopávky a teplota v hloubce 0,5 m pod povrchem zakládky nesmí být vyšší jak 45 °C. (Zemánek, 2001 str. 14)

3.1.2.2 Vlhkost

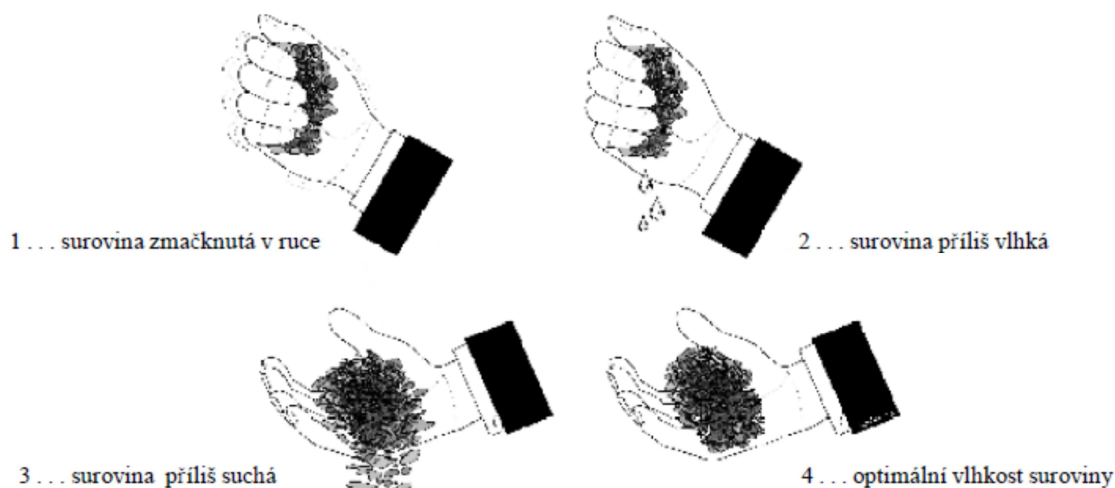
Vlhkost je velmi důležitá, protože umožňuje životní procesy mikroorganismů v kompostu. Voda umožňuje transport živin, umožňuje pohyb mikroorganismů a je nutná pro chemické reakce. Za optimální vlhkost se považuje rozmezí mezi 50 až 60 %. Norma ČSN 465735 udává jako minimální vlhkost 40 % a maximální vlhkost 65 %. Vlhkost kompostu je velmi ovlivňována skladbou zakládky, povětrnostními podmínkami, množstvím proudícího vzduchu v zakládce a samotnou teplotou kompostu při mikrobiální činnosti. (Plíva, et al., 2006 str. 8)

Počáteční vlhkost při založení kompostové hromady by měla být vyšší, než vlhkost zralého kompostu. (Hejátková, et al., 2003 str. 13)

Nedostatečná vlhkost zapříčiňuje rozvoj nežádoucích mikroorganismů, rozšíření plísní, aktinomycet a taktéž blokuje některé hydrolytické reakce, což má za následek zpomalení kompostovacího procesu. Nedostatečná vlhkost může vést k nadměrné mineralizaci na úkor jeho humifikace.

Nadbytek vlhkosti způsobí, že se póry v kompostu ucpou vodou a vytvoří se anaerobní prostředí. Tím se podpoří množení anaerobních mikroorganismů a omezí se činnost termofilních mikroorganismů a kompostování může přejít v proces kvašení. V tomto případě dochází k vývinu nepříjemného zápachu s možností kontaminace životního prostředí vytékající vodou, která může znečistit podzemní a povrchové vody. (Zemánek, 2001 str. 11)

Orientační kontrola vlhkosti kompostu je znázorněna na obrázku 2, a provedeme ji tak, že se nabere hrst kompostu a silně zmáčkne. Pokud vyteče voda (stačí i pár kapek), je kompost příliš mokrý, pokud se při rozevření dlaně kompost rozsype, je příliš suchý. Optimální vlhkost je taková, že po rozevření dlaně zůstane kompost pohromadě ve formě bochánku. (Groda, 1995 str. 123)



Obr. 2: Orientační zkouška vlhkosti (Kollárová, et al., 2008 str. 17)

3.1.2.3 Hodnota pH

Optimální pH má být mezi hodnotami 6,5 až 8. Tato neutrální hodnota vyhovuje většině mikroorganismů, které mají v tomto rozmezí největší růst a aktivitu. Podle normy ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ se má hodnota pH pohybovat od 6 do 8,5, Plíva (2006 str. 8) uvádí, že při poklesu pH pod 6 dochází k hynutí většiny mikroorganismů a ke zpomalení rozkladného procesu. Stoupne-li hodnota pH nad 8,5 dochází k přeměně dusíkatých sloučenin na amoniak a tím dochází ke ztrátě dusíku. Naopak Zemánek, (2001 str. 15) tvrdí, že na počátku kompostování mohou hodnoty pH dosahovat až extrémních hodnot 5 až 11, které jak se zdá, mikrobiologickou aktivitu jen mírně zbrzdí. Při dalším průběhu kompostování se přibližuje pH k neutrální hodnotě.

3.1.2.4 Obsah kyslíku

Dostatečné množství vzdušného kyslíku v kompostu má tři funkce:

- a) Nejdůležitější funkcí vzduchu je vytvoření aerobního prostředí v kompostu a tím dodání potřebného kyslíku mikroorganismům pro svoji aktivitu.
- b) Druhou funkcí vzduchu v kompostu je snižování vlhkosti při kompostování surovin s vysokým podílem vody.
- c) Třetí funkcí vzduchu je regulace teploty při kompostovacím procesu.

Dostatečný přísun vzduchu se zajišťuje různými způsoby, které jsou závislé na zvolené technologii kompostování. Nejčastější metoda je překopávání kompostu, kdy lze vzdušný kyslík v hromadě až zdvojnásobit. Taktéž se používá vhánění vzduchu do kompostovacích hromad pomocí ventilátorů. Plíva (2006 str. 9) uvádí, že obsah kyslíku ve vzdušných pórech zrajícího kompostu by neměl klesnout pod 6 %, ale naopak

Zemánek (2001 str. 13) tvrdí, že mezní obsah kyslíku může klesnout až na 3 %, avšak po překročení této hranice již dochází k zastavení kompostovacího procesu.

Dostatek kyslíku v začátku kompostování je velmi důležitý pro rychlý nárůst a množení mikroorganismů. Dostatečné provzdušňování zkracuje dobu kompostování, ale naopak nadměrné provzdušňování vede ke zvýšenému úniku tepla a tím ke zpomalení kompostovacího procesu. Při nedostatku vzduchu se vytváří anaerobní prostředí, ve kterém se tvoří metan, sirovodík, organické kyseliny a jiné nežádoucí láky způsobující zápach a jiné problémy s hygienou kompostu.

3.1.2.5 Poměr C : N a obsah živin

Kvalita výsledného kompostu nejvíce závisí na vzájemném poměru uhlíku k dusíku. Pro potřeby mikroorganismů je neoptimálnější poměr C : N 25 až 30 : 1. Tabulka 1. nám udává hodnoty C : N vybraných materiálů vhodných do zakládky kompostu. Podle normy ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ má být poměr C : N max. 30 : 1. U čerstvě založeného kompostu má mít surovinová skladba hodnotu poměru C : N 30 až 35 : 1, protože, při samotném kompostovacím procesu dochází k produkci a uvolňování oxidu uhličitého (CO₂). Jeho únikem do okolí se část uhlíku z kompostované zakládky ztrácí. Při nadměrném množství dusíku dochází k jeho úniku ve formě amoniaku (NH₃). To se projevuje charakteristickým zápachem, který kompostování doprovází. Tyto ztráty činní až 20 % dusíku ve formě plynného amoniaku a až 30 % uhlíku ve formě oxidu uhličitého. (Hejátková, 2003 str. 13)

Uhlík je důležitým základním prvkem při mikrobiálním růstu pro stavbu buněk. Mikroorganismy získávají uhlík rozkladem organických zbytků, které jsou obsaženy v kompostu. Pro tento rozklad je důležité, aby organické zbytky obsahovaly dostatečně vysoký podíl lehce odbouratelných cukrů a bílkovin. Tím dojde k rychlému nastartování kompostovacího procesu a urychlení rozkladu. (Zemánek, 2001 str. 9)

Poměr C : N má i vliv na uvolňování CO₂. Dá se říct, že čím je poměr C : N vyšší, tím nižší je emise CO₂, protože u organických surovin s nižším poměrem C : N dochází ke snadnějšímu rozkladu a většímu uvolňování uhlíku, který může z části unikat do atmosféry ve formě plynu. Kompostovaná organická hmota s poměrem užším než 10 : 1 se rozkládá velmi rychle. Tím dochází k velkému nárůstu mikroorganismů za současného uvolňování dusíku ve formě amoniaku. Při poměru C : N v rozmezí 9 : 1 až 12 : 1 dochází přibližně k 37 až 60 % ztrát dusíku. Při kompostování organické hmoty s širokým poměrem C : N nad 50 : 1 se průběh kompostování zpomaluje, protože

mikroorganismy rychle vyčerpají přístupný dusík a následně dojde k jejich úhynu. Při těchto ztrátách dusíku se snižuje hnojivý účinek kompostu. Pokud zapravíme do půdy kompost se širokým poměrem C : N, pokračuje rozklad kompostu v půdě, přičemž se spotřebovává půdní dusík, který pak chybí rostlinám a tím dochází ke zpomalení růstu rostlin. (Zemánek, 2001 str. 10)

Ostatní živiny důležité pro mikroorganismy obsažené v kompostu jsou: fosfor (P) a draslík (K). Fosfor a draslík jsou důležité pro látkovou výměnu a při rozmnožování buněk. Mikroorganismy potřebují ke svému životu ještě stopové prvky pro lepší asimilaci všech živin. Především jsou to tyto stopové prvky: bór (B), vápník (Ca), kobalt (Co), měď (Cu), železo (Fe), hořčík (Mg), mangan (Mn), molybden (Mo), selen (Se), sodík (Na) a zinek (Zn). (Plíva, et al., 2006 str. 9)

Tab. 1: Poměry C : N u kompostovaných materiálů. (Juchelková et al., 2009)

Poměry C : N u kompostovaných materiálů.			
Materiál	C : N	Materiál	C : N
Kůra	120 : 1	Drůbeží trus	10 : 1
Piliny	500 : 1	Močůvka	2 : 1
Odpad ze zahrad	40 : 1	Kejda skotu	10 : 1
Listí	50 : 1	Hněj skotu	25 : 1
Posečená tráva	20 : 1	Sláma (žito, oves)	60 : 1
Seno	35 : 1	Sláma (pšenice, ječmen)	100 : 1
Základní pravidlo: čím je starší, tmavší a dřevnatější materiál, tím je v něm obsaženo více uhlíku. Čím je materiál čerstvější a zelenější, tím obsahuje více dusíku.			

3.1.2.6 Velikost částic, zrnitost a pórovitost

Pórovitost a velikost částic přímo ovlivňuje kompostovací proces a to tak, že určuje množství vzduchu v základce. To je ovlivněno přímo výběrem, nadrcením a promícháním surovin substrátu. Optimální zrnitost a dokonalé promíchání (homogenita) kompostovaných materiálů je jedním z nejvýznamnějších požadavků pro správný průběh kompostovacího procesu. (Zemánek, 2001 str. 13)

Pórovitost je definována jako poměr objemu dutin k celkovému objemu kompostované hmoty. Menší částice mají větší povrch při porovnání s jejich objemem, tím mohou být vystaveny většímu působení mikroorganismů, které urychlují rozklad a tedy i kompostování. V negativním smyslu mohou malé částice způsobit snížení

pórovitosti a zvětšení zhutnění, což má za následek nedostatečné provzdušnění kompostu a zpomalení kompostování. Tomu zabráníme vhodnou strukturou kompostované zakládky s průměrnou velikostí částic 20 až 50 mm. (Plíva, et al., 2006 str. 11)

Zásadním faktorem pro dokonalé kompostování je dosažení vhodné zrnitosti a homogenity surovinové zakládky. Z technického hlediska se jedná o nejnáročnější energetický a investiční úkon vzhledem k používaným technickým zařízením při přípravě kompostovacího procesu, ale s nejvýznamnějším dopadem na samotný proces kompostování. Přiměřená zrnitost (s ohledem na skladbu surovinové zakládky) a dokonalé promísení je důležitý požadavek při zakládce kompostování, protože přímo ovlivňuje kvalitu kompostování a také následné operace, například počet a kvalitu překopávání. (Kollárová, et al., 2008 str. 13)

3.1.2.7 Mikrobiální aktivita

Hlavní podíl v mikrobiálních společenstvech, které jsou, obsaženy v zakládce kompostovaných surovin zaujímají bakterie a nižší houby. Tyto bakterie a nižší houby jsou hlavními činiteli, jež se podílejí na rozkladu organických látek. Pro dosažení vysoké biodegradační aktivity a činnosti těchto mikroorganismů, je potřeba co nejvíce optimalizovat chemické a fyzikální podmínky tak, aby co nejlépe vyhovovaly přítomnému mikrobiálnímu konsorciu. Složení spolupracujících mikrobiálních kmenů v kompostovaném materiálu závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech prostředí a na schopnostech mikroorganismů přizpůsobit se těmto podmínkám. (Plíva, et al., 2006 str. 11)

Heterotrofní mikroorganismy využívající pro svůj růst a vývoj uhlík získaný z organické hmoty, jsou hlavními aktéry na humifikačním procesu. (Šrefl, 2009 str. 22 – 24)

Humifikační proces neboli *humifikace* je proces vzniku organických složitých struktur koloidní povahy s nízkou rozpustností ve vodě. Tento proces se děje v průběhu mineralizace organických zbytků. Produkty tohoto procesu mineralizace jsou spojovány (polymerizovány) v biologicky aktivním prostředí, kde je neutrální až mírně alkalická reakce. Polymerizace probíhá rychle a je doprovázena tvorbou šedých huminových kyselin. Vznik humusových látek je odvozen od látkového a energetického metabolismu půdní mikroflóry. Základ syntézy humusových látek tvoří nepřetržitý přísun energie související s anaerobním a aerobním katabolismem (dýcháním) mikroflóry. (Vrba a

Huleš, 2006)

3.2 Průběh kompostovacího procesu

Samotný průběh dějů při aerobním kompostování je vždy shodný, až na malé odchylky, bez ohledu na to, jestli kompostujeme na hromadách nebo v některých speciálních bioreaktorech, například v kompostovacích boxech nebo věžích. Jediná odchylka je pouze v rychlosti probíhajících biochemických procesů a tím i zkrácení času pro výrobu hotového kompostu. (Groda, 1995 str. 115)

Zastoupení mikroorganismů, které se podílí na kompostovacím procesu, se liší podle složení substrátu kompostu, podmínek prostředí a stupněm (fází) rozkladu bioodpadu. V podstatě se dá říci, že se na kompostování podílí tři hlavní skupiny mikroorganismů: bakterie, aktinomycety a nižší houby (plísně). V kompostech se běžně vyskytují bakterie jak mezofilní, tak termofilní. Většinou jsou tam tyto čeledi bakterií: *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Bacillaceae* a jiné v závislosti na podmínkách a substrátu. Nejčastějšími zástupci plísní jsou: *Mucor*, *Aspergillus* a *Humicola*. (Kollárová, et al., 2008 str. 20)

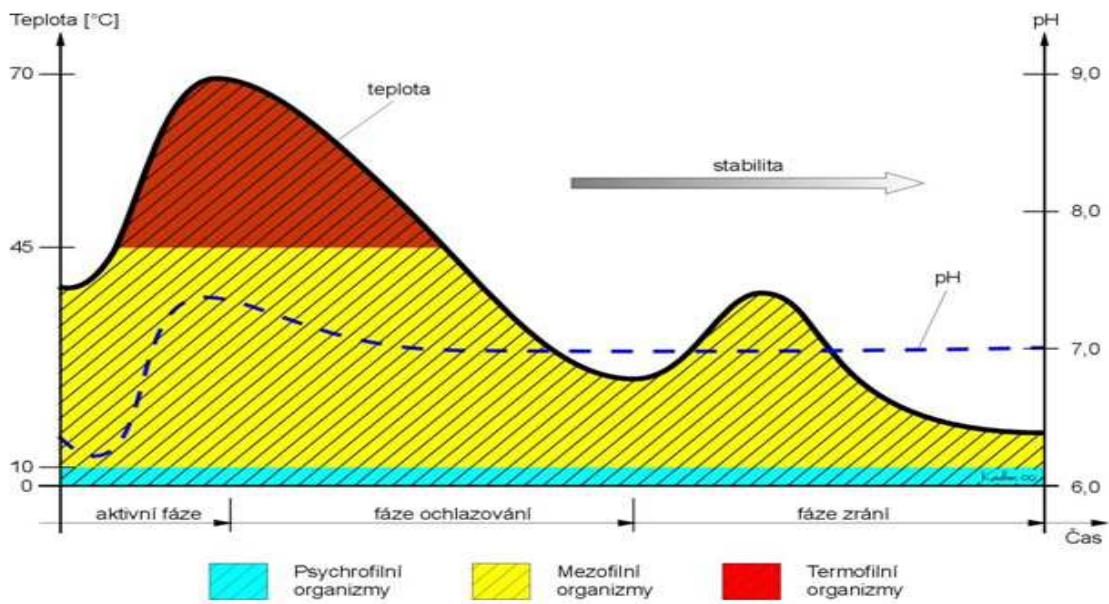
Podle průběhu aktuální teploty v kompostované zakládce se souběžně mění i zastoupení a převládající počet momentálně přítomných aktivních mikroorganismů. Rozsah teplot a k nim přiřazené skupiny mikroorganismů nám udává tabulka 2 a obr. 3.

Tab. 2: Rozsahy teplot podle spektra převládajících druhů mikroorganismů (Hejátková, et al., 2007 str. 15)

Psychrofilní rozsah	-4 až 20 °C	Bakterie a plísně
Mezofilní rozsah	15 až 42 °C	Bakterie a aktinomycety
Termofilní rozsah	45 až 75 °C	Bakterie a mezofyly až po tepelně odolné výtrusy hub

Po založení kompostu (o složení, konzistenci a vlhkosti směsi zakládky kompostu je pojednáno výše) dojde ke spontánnímu nastartování biodegradace organických materiálů mikroorganismy, které se běžně vyskytují v okolním prostředí (v půdě). Jen v případech, kdy se mají kompostovat přesně určené bioodpady (například jednodruhový bioodpad, nebo kompostování substrátu, který je kontaminovaný například ropnými látkami), se do této zakládky kompostu přidávají speciální násady mikroorganismů, které jsou v laboratorních podmínkách předem vytypované pro co nejdokonalejší biodegradaci vybraných bioodpadů. Po vytvoření optimálních podmínek jako jsou vlhkost, teplota, množství kyslíku a poměr C : N (o kterých jsem se zmínil

výše) dochází k téměř explozivnímu množení mikroorganismů.

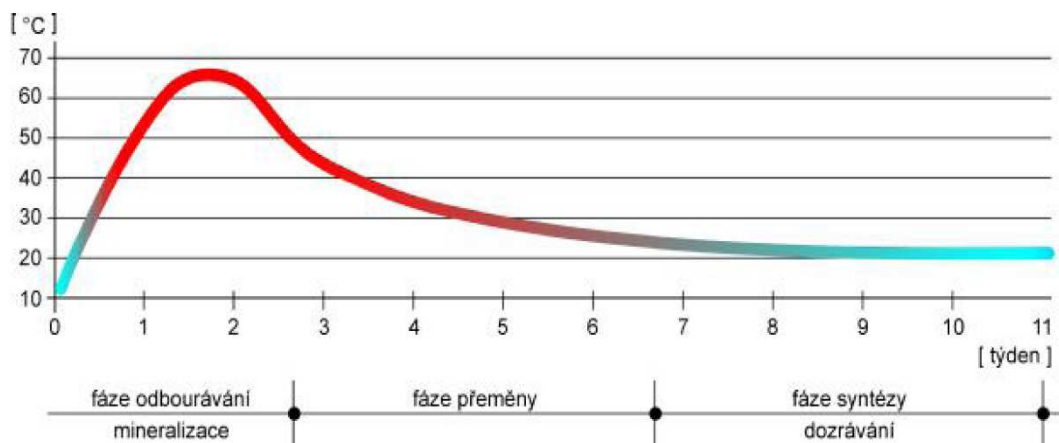


Obr. 3: Rozmístění mikroorganismů podle průběhu teploty při kompostovacím procesu. (Paleček, 2011)

3.2.1 Jednotlivé fáze průběhu kompostování

Kompostovací proces má tři základní fáze, které se od sebe odlišují teplotou, mikrobiální aktivitou, vzhledem a objemem substrátu. Nejpodstatnějším rozlišovacím faktorem jednotlivých fází je aktuální teplota uvnitř zakládky. Teplota nám udává, v jaké fázi se kompostovací proces nachází

Podle normy ČSN 465735 „Průmyslové komposty“, má být optimální průběh teploty při kompostovacím procesu podle obrázku 4.



Obr. 4: Optimální průběh teploty při kompostování dle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“. (Plíva, et al., 2006)

3.2.1.1 První fáze termofilní, taktéž nazývaná fáze rozkladná – mineralizace

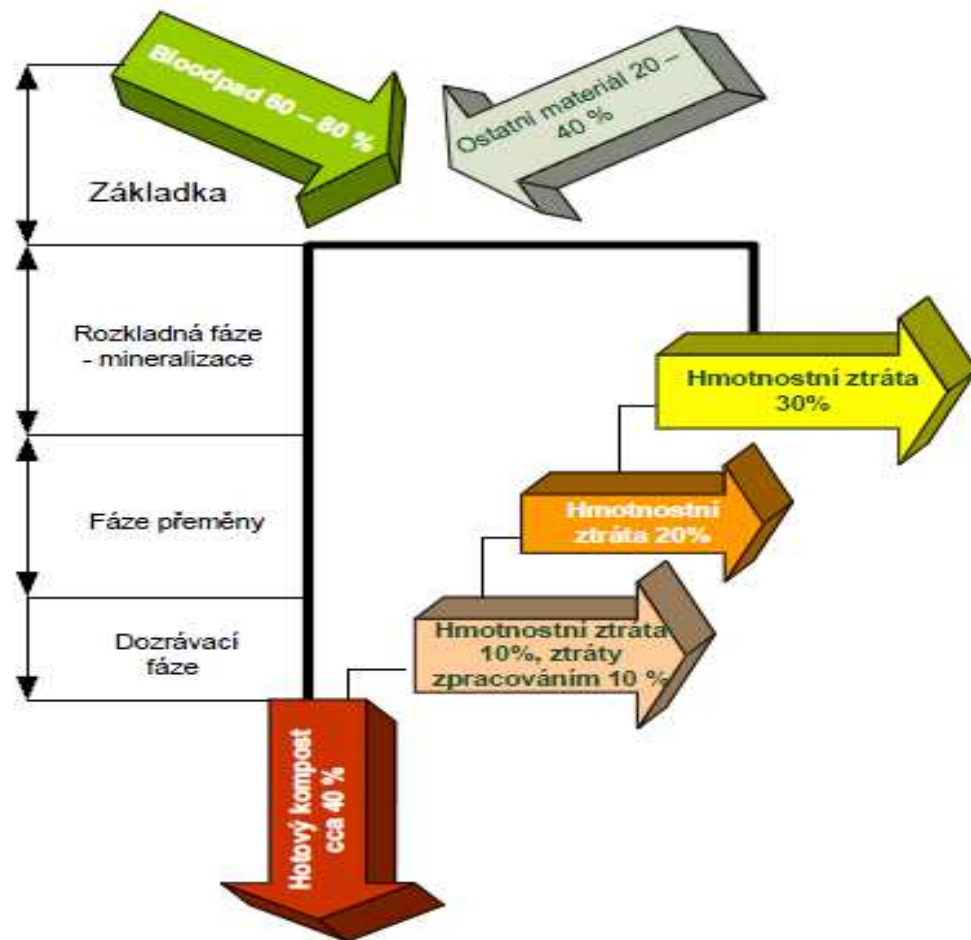
V této fázi dochází k rychlému zahřátí kompostu zhruba na teplotu 50 – 70 °C v důsledku rychlého nárůstu počtu termofilních mikroorganismů. Začíná zde rozklad složitých organických sloučenin na jednodušší sloučeniny, jako jsou cukry, škroby, bílkoviny, lipidy a následuje rozklad hůře rozložitelných látek jako je celulóza a lignin. Vlivem tvorby organických kyselin (octová, mravenčí, propanová, máselná) klesá pH. Část organického materiálu se rozloží až na konečné produkty jako je voda, CO₂ a nitrátový iont NO₃⁻. Pokud je ve směsi nadbytek dusíku, může se uvolňovat ve formě amoniaku. Proto se tato fáze také nazývá mineralizace. Mikroorganismy přijímají kyslík převážně ze vzduchu. energii si pro své životní funkce zajišťují štěpením chemických vazeb kompostované hmoty. Při své rozkladné činnosti mikroorganismy spotřebovávají velké množství kyslíku a naopak vyvíjí mnoho CO₂. Proto je velmi důležité zajistit dostatečnou aeraci a odvod CO₂, například překopáváním zakládek. V této fázi dochází ke zmenšení objemu a hmotnosti kompostovaného materiálu sedáním, hutněním a odparem vody, ale i přímo rozkladnou činností mikroorganismů, které rozkládají organické sloučeniny až na CO₂ a další plynné zplodiny činností metabolismu mikroorganismů. V průběhu první fáze tedy dochází k poklesu až o 30 % původní hmotnosti zakládky kompostu, což je přehledně znázorněno pomocí Sankeyova diagramu na obrázku 5.

Působením vysokých teplot uvnitř kompostu dochází v této fázi k hygienizaci substrátu, kde se ničí patogenní bakterie a likviduje klíčivost semen plevelů. Kompostovaný materiál se v první fázi vzhledově příliš nemění, pach směsi je stejný jako na počátku kompostovacího procesu. V této rozkladné fázi se ještě kompost nemůže aplikovat do půdy, protože může vykazovat známky fytoxicity.

3.2.1.2 Druhá fáze mezofilní nebo též fáze přeměny

V této fázi teplota klesá na 45 až 40 °C, termofilní mikroorganismy jsou nahrazovány mezofilními. V kompostovaném substrátu se již může objevovat nenáročný hmyz. Kompost se, vzniká drobtovitá struktura, barva se mění na hnědou a později lze cítit příjemnou zemitou houbovou vůni. Projev dalšího, i když již pomalejšího rozkladu substrátu lze pozorovat na dalším poklesu hmoty a objemu zhruba o 10 – 20 %. Na konci této fáze již nelze poznat původ jednotlivých částic. Výluhy kompostu nejsou hygienicky závadné a taktéž mizí fytoxicita. Kompost je v této fázi

již možné zapravit do půdy jako hnojivo.



Obr. 5: Sankeyův diagram pro proces kompostování (Juchelková & Raclavská, 2009).

3.2.1.3 Třetí fáze dozrávání

Teplota klesne na hodnotu blízkou vnějšímu okolí. Kompost získává typický konečný vzhled, barvu a vůni. Mikroorganismy omezily svou činnost, pH stouplo a kompost osídlil různý hmyz, roztoči, žížaly a malí živočichové. V kompostu došlo k vytvoření vazeb mezi anorganickými a organickými látkami a tím k vytvoření stabilního humusu. Kompost vlivem dozrívajících přeměnných procesů ztratí v této fázi přibližně ještě až 10 % hmotnosti.

V průběhu celého kompostovacího procesu dojde k 50% až 60% úbytku hmotnosti z původní základky substrátu. K dalšímu až 10% poklesu hmotnosti dochází v důsledku konečného zpracování kompostu při prosévání. Objemový pokles vzniká především zhuštěním a rozkladem materiálu (například sypná hmotnost založeného substrátu je podle skladby základky 400 – 600 kg/m³ a sypná hmotnost hotového

kompostu je podle druhu použité technologie okolo 700 kg/m³). (Groda 1995, a Altman et al., 2013)

3.2.2 Doba kompostování

Potřebný čas pro dokonalou přeměnu organických odpadů (surovinové zakládky) na vyzrálý kompost je závislý na mnoha faktorech, který tento proces ovlivňují. Těmito ovlivňujícími faktory jsou skladba kompostované zakládky, poměr C : N, vlhkost, provzdušnění a vývin teploty. Dalším faktorem, který ovlivňuje dobu kompostování je zvolená technologie kompostovacího procesu. Za ideálních podmínek lze dosáhnout stabilizovaného kompostu během několika týdnů. Většinou se doporučuje tuto dobu prodloužit na 11 až 12 týdnů. (Plíva, 2006 str. 17)

3.2.3 Zralost a stabilita kompostu

Zralost a stabilita kompostu se nedá přesně určit pouze délkou kompostovacího procesu, jelikož tento proces, jeho rychlost a kvalitu ovlivňuje celá řada kritérií a taktéž zvolená kompostovací technologie. Z toho důvodu lze k posouzení zralosti a stability kompostu využít následujících způsobů:

I. Orientační zkouška zralosti a stability kompostu

- Senzorické posouzení stabilizace
 - barva hnědá, šedohnědá až černá,
 - drobtovitá až hrudkovitá struktura, bez nerozpojitelných částic,
 - voní po lesní půdě,
 - nevykazuje pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek.
- Měřením teploty
 - ustálení teploty – teplota kompostu se má shodovat s teplotou okolního prostředí podle klimatických podmínek v posledních 14 dnech kompostovacího procesu.

II. Stanovení biologické stability kompostu

Biologická stabilita kompostu se stanovuje dynamickými nebo statickými postupy, nebo metodami hodnotícími produkci oxidu uhličitého, případně spotřebu kyslíku. Stabilita kompostu se dá určit subjektivně, nebo pomocí měření určitých veličin.

Subjektivní metoda určuje zralost nebo nezralost kompostu, kdy u **nezralého kompostu** lze v surovině rozpoznat původní strukturu, spíše zapáchá a je teplý až horký. Z hromady může stoupat vodní pára a na povrchu jednotlivých částic jsou

viditelné povlaky hub. Nejsou přítomni půdní živočichové. **Zralý stabilizovaný kompost** naopak voní po lesní půdě, neměl by zapáchat. Jen s obtížemi lze identifikovat původní suroviny. Stabilní kompost má teplotu okolí a vzhledem připomíná zahradnickou zeminu. Nejsou patrné povlaky hub a je osídlen půdními živočichy.

Biologickou stabilitu je také možno určit následujícími testy, které jsou:

Samožáhřevný test: měří samovolné zvýšení teploty kompostu v laboratorních podmínkách. Test probíhá v tepelně izolované nádobě, do které se vloží prosetý kompost. Kompost i veškeré zařízení se vytemperuje na teplotu 20 °C. K měření se použijí dvě teplotní čidla, první se vloží do nádoby s kompostem a druhé se umístí vedle nádoby tak, aby měřilo okolní teplotu. Výsledek testu je rozdíl mezi nejvyšší naměřenou teplotou kompostu a teplotou okolí. Test má délku jeden až devět dní. Na základě naměřených rozdílů teplot se dá posoudit stabilita kompostu.

Tabulka 3 nám udává vztah rozdílů naměřených teplot k vyzrálosti kompostu.

Tab. 3: Tabulka určení stability kompostu pomocí samozáhřevného testu. (Plíva 2006, str. 28)

Rozdíl teplot (°C)	Popis stupně vyzrálosti	Charakteristika
< 10	Velmi vyzrálý	stabilní
10 – 20	Průměrně vyzrálý	stabilní
20 – 30	Mírně v rozkladu, aktivní kompost	aktivní
30 – 40	Čerstvý velmi aktivní	aktivní
> 40	Čerstvý kompost, právě smíchané suroviny	nestabilní

– *Dynamický respirační index (DRI)* je test, který měří okamžitou spotřebu kyslíku, užitého k biochemické oxidaci snadno rozložitelných látek v organických surovinách při nucené aeraci vzduchu do vzorku. Test určuje potenciální aktivitu mikroorganismů schopných degradovat organické látky. Výsledkem testu je „potenciální dynamický respirační index“, který v podstatě udává aktivitu mikroorganismů v

kompostu a tím i stabilitu kompostu. Čím je nižší spotřeba kyslíku, tím je nižší aktivita mikroorganismů a tím je vyšší stabilita a vyzrálost kompostu. K provedení tohoto testu je potřeba dobře vybavená laboratoř.

– *Test fytoxicity (řeřichový test)* je jednoduchá a nejpoužívanější metoda.

Hodnotí fytotoxicitu výluhu vzorku indexem klíčivosti (IK) citlivé rostliny (řeřichy seté). Tento test je založený na obsahu toxických meziproduktů, které vznikají při aerobním rozkladu organických látek. Stupeň vyzrálosti kompostu nám udává množství fytotoxinů, které klesají se snižující se aktivitou mikroorganismů. Tabulka 4 nám udává hodnoty IK ve vztahu k vyzrálosti kompostu. Zjednodušený postup samotného testu je takový, že se připraví výluh z kompostu. Tímto výluhem se navlhčí filtrační papír v Petriho miskách. Do misky se vloží 8 semen, to se opakuje 10 krát. Semena se nechají klíčit 24 hodin ve tmě, při teplotě 28 °C, taktéž se použije kontrolní vzorek s destilovanou vodou. Po 24 hodinách se změří délky kořínků a výpočet proběhne podle vzorce indexu klíčivosti (IK). Kde je k_v – klíčivost vzorku (%), k_k – klíčivost kontroly (%), l_v – průměrná délka kořínků vzorku (mm), l_k – průměrná délka kořínků kontroly (mm).

$$IK = \frac{k_v \cdot l_v}{k_k \cdot l_k} \cdot 100 (\%),$$

Tab. 4: Hodnota indexu klíčivosti ve vztahu k stabilitě kompostu. (Plíva, 2006 str. 33)

Hodnota IK	Typ kompostu
nad 100 %	schopnost stimulačních účinků
80 – 100 %	dobře zralý kompost
60 – 80 %	částečně zralý kompost
pod 60 %	nezralý kompost

III. Mikrobiologické hodnocení kompostu

Při tomto hodnocení kvality a vyzrálosti kompostu se zjišťuje, zda a v jaké míře jsou přítomny patogenní mikroorganismy. Nejsledovanější patogeny jsou: enterokoky, *Escherichia coli* a *Salmonella*, která má mít negativní výsledek.

IV. Chemické a fyzikální hodnocení kompostu

Sleduje hodnoty (v tabulce 5), které předepisuje norma ČSN 465735 „Průmyslové komposty“. Tyto hodnoty jsou: vlhkost, spalitelné látky, celkový dusík, poměr C : N, pH, nerozložitelné příměsi a homogenita. Dále se sledují látky, které nesmějí překročit hodnoty ve vysušeném vzorku (mg v 1 kg) stanovené normou: As 50, Cd 13, Cr 1000, Cu 1200, Hg 10, Mo 25, Ni 200, Pb 500 a Zn 3000.

Tab. 5: Znaký jakosti průmyslového kompostu podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ (norma ČSN 465735 „Průmyslové komposty“)

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, avšak min. 40,0 a max. 65,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 25,0
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min. 0,60
Poměr C : N	max. 30
Hodnota pH	od 6,0 do 8,5
Nerazložitelné příměsi v %	max. 2,0
Homogenita celku v % relativních	± 30

3.3 Druhy kompostování

Rozlišujeme několik druhů kompostování od domácích kompostérů až po kompostovací bioreaktory.

3.3.1 Domácí kompostování

Ideální metodou pro odstraňování biologicky odstranitelných odpadů pocházejících z vlastní zahrady nebo domácnosti je použití domácího kompostování. K tomu účelu se používají různé prefabrikované kompostéry (kompostovací boxy většinou vyráběné z plastu v několika velikostech), nebo si domácí kompostér můžeme jednoduše vyrobit svépomocí ze dřeva, ale i z jiného materiálu. Takto se dá účinně snižovat podíl biologicky rozložitelného odpadu, který by z určité části skončil v komunálním odpadu.

Touto metodou se může organická hmota opět vrátit do půdy v podobě kompostu, který si můžeme vyrobit sami přímo na zahradě. Podmínkou úspěšného kompostování je dodržení všech předpokladů správného kompostování s nutností

alespoň dvou překopávek (přeházení) kompostu.

3.3.2 Komunitní kompostování

Jde v podstatě o zpracování biologicky rozložitelných odpadů vzniklých na území obce z údržby veřejné zeleně a především ze zahrad občanů. Výsledný produkt je takzvaný „zelený kompost“, který se využívá k údržbě a obnově zeleně na území obce. Tímto způsobem se vlastně předchází vzniku odpadů. Většinou tyto komunitní kompostárny vznikají v zahrádkářských koloniích, chatových oblastech, poblíž škol ale, i v místech, kde občané nemají zahrady. Tímto způsobem se mohou samotní občané zapojit do kompostování. Komunitní kompostárny jsou malá zařízení, mnohdy koncipovány jako kontejnerové kompostéry.

3.3.3 Centrální kompostování

Tyto kompostárny zpracovávají velké objemy biologicky rozložitelných odpadů a vzniklý produkt je průmyslový kompost. V těchto kompostárnách se používají různé technologie kompostování, například: kompostování na volné ploše, kompostování ve žlabech, kompostování ve vacích, kompostování v kontejnerech, kompostování v bioreaktorech a kompostování s použitím žížal.

3.4 Kompostovací technologie

Kompostovací technologie se dají rozdělit do těchto kategorií:

I) kompostování na volné ploše

- kompostování v pásových hromadách,
- kompostování v plošných hromadách,

II) intenzivní kompostování

- polouzavřené systémy, kompostování v boxech nebo žlabech,
- uzavřené systémy, kompostování v bioreaktorech,

III) kompostování ve vacích (Ag Bag kompostování)

IV) vermikompostování. Touto technologií kompostování se budu zabývat v kapitole 6.

3.4.1 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách

Tato kompostovací technologie je nejvíce používána. Dělí se podle způsobu

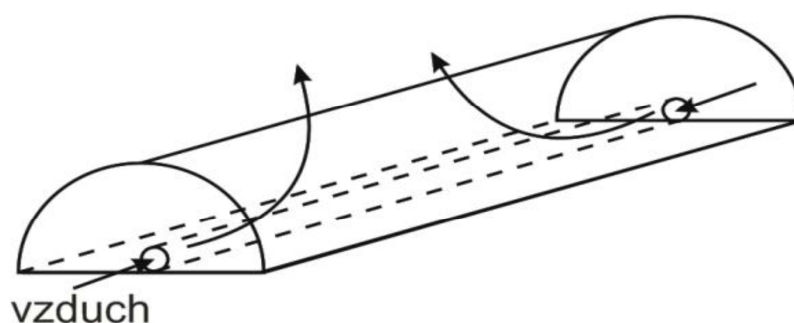
provzdušňování na mechanické s překopáváním, pasivní pomocí vložených vzduchovodných trubek, kde vzduch proudí samovolně, a aktivní kdy se pomocí potrubí a dmychadel vhání vzduch do zakládky.

3.4.1.1 Mechanicky provzdušňované

Tento způsob provzdušňování je nejvíce rozšířen. Používají se dva základní tvary pásových hromad, které mají lichoběžníkový nebo trojúhelníkový profil. Šířka těchto hromad se pohybuje v rozmezí 2 – 6 m a výška 1,5 – 3 m. Provzdušňování hromad se zajišťuje překopáváním ve stanovených intervalech. Překopáváním se docílí dokonalé promísení a homogenizace substrátu zakládky. Překopávače mohou být nesené nebo samojízdné. Pro předcházení znečištění povrchových a podzemních vod se buduje vodohospodářsky zabezpečená plocha s odtokem do sběrné jímky.

3.4.1.2 Pasivně provzdušňované

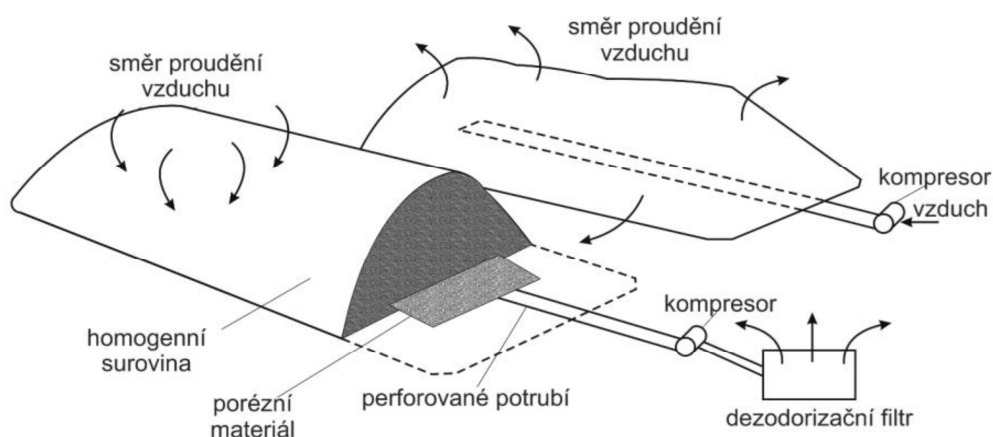
U tohoto způsobu kompostování je nahrazeno překopávání za účelem provzdušnění tím, že je vzduch do hromady přiváděn perforovaným potrubím v celé délce zakládky, jak je znázorněno na obrázku 6. Vzduch proudí samovolně pomocí komínového efektu, který vzniká rozdílem teplot uvnitř a vně zakládky kompostu. Doporučená výška zakládky je 0,9 – 1,2 m. Perforované plastové potrubí se ukládá otvory dolů, aby se zabránilo ucpání těchto otvorů. Ukládaný materiál musí být dokonale homogenizován, protože se neprovádí překopávání hromad.



Obr. 6: Schéma funkce pásových zakládek s pasivním provzdušňováním (Junga et al. 2015)

3.4.1.3 Aktivně provzdušňované

Tento způsob je podobný předešlému, ale s tím rozdílem, že je vzduch aktivně vháněn do hromady nebo odsáván z hromady pomocí perforovaného potrubí nebo kanálem umístěným pod úrovní terénu, jak je znázorněno na obrázku 7. Ukládaný materiál je nutno důkladně homogenizovat, protože při tomto způsobu kompostování se neprovádí překopávání. Vzduch je do zakládky buď vháněn, nebo nasáván. Doporučená výška zakládky je 1,5 – 2,5 m, a šířka zakládky 3 – 4,9 m. Nevýhoda systému, kde je vzduch vháněn do zakládky, je v tom, že je obtížné kontrolovat průtok vzduchu a dále se nedá omezit zápach. Zápach se dá odstranit tak, že se vzduch bude nasávat z hromady a bude se vypouštět přes dezodorizační filtr. (Junga et al. 2015)



Obr. 7: Schéma funkce pásových zakládek s aktivním provzdušňováním (Junga et al. 2015)

3.4.2 Intenzivní kompostovací technologie

Pro efektivní zpracování velkých objemů biologicky rozložitelných odpadů je potřeba zkrátit dobu kompostovacího procesu. Toho se dá dosáhnout intenzifikací první fáze kompostování v polouzavřených kompostovacích zařízeních, nebo v uzavřených kompostovacích zařízeních, takzvaných bioreaktorech. V těchto zařízeních probíhá intenzivní biodegradace, která je podporovaná dostatečným přísunem vzduchu, který je zajištěn častým překopáváním (polouzavřený systém) nebo provzdušňováním stlačeným vzduchem v bioreaktorech. Konstrukčně jde o polouzavřené nebo zcela uzavřené prostory, ve kterých probíhá intenzivní biodegradace s rychlým nástupem vysokých teplot. Při tomto rychlém nárůstu teploty se výrazně zkracuje první fáze kompostování, ve které probíhá hygienizace. Tato technologie je investičně náročná, proto se zpracováváný substrát zdrží v bioreaktoru pouze po dobu první fáze kompostovacího procesu. Ostatní dvě fáze proběhnou na volné ploše v pásových hromadách. Výsledkem

je biologicky stabilizovaný kompost jako z klasického kompostování, ale za výrazně kratší dobu. (Junga et al. 2015)

Intenzivní kompostovací technologie dělíme na:

- I. polouzavřené
- II. uzavřené, takzvané bioreaktory

I. Polouzavřená kompostovací zařízení,

a) Kompostovací systém s vrtnou věží

Jde o polouzavřené zastřešené kompostovací zařízení se samostatnými kompostovacími komorami, nad kterými je umístěna upravená jeřábová dráha s vrtnou věží. Substrát je dopravníkem ukládán do kompostovacích komor zařízení. O dokonalé provzdušňování a překopávání se stará vrtná věž se šroubovicovým míchadlem. Dále se podlahou přivádí přídatný vzduch k urychlení procesu. Zavlažovací zařízení udržuje optimální vlhkost. Po 3-4 měsících kompostování je odstraněna jedna stěna komory a hotový kompost se nakladačem vyskladní.

b) Kompostovací žlaby

Kompostuje se v podlouhlých žlabech, v některých případech využitých po silážování. Žlab se zaplní substrátem pro kompostování a pomocí překopávacího zařízení, které se pohybuje po kolejkách umístěných na stěnách žlabu. Překopávací zařízení má tvar rotačního válce s hroty, který homogenizuje a provzdušňuje substrát. Přibližně po pěti týdnech se žlab vyskladní a naveze nový substrát. (Junga et al. 2015)

II. Uzavřené kompostovací zařízení, takzvané bioreaktory

Kompostovací proces probíhá ve zcela uzavřeném a tepelně izolovaném systému. Potřebný kyslík se přivádí odspodu pomocí kompresoru. Tyto bioreaktory jsou buď průběžné, substrát se posouvá od vstupního otvoru k výstupnímu otvoru průběžně, nebo takzvané jednorázové, kdy po ukončení procesu se celý obsah vyskladní a naveze nový.

Při takto intenzivním provzdušňování se průběh kompostovacího procesu zkrátí na pouhé dny.

a) Průběžné bioreaktory:

- Rotační bioreaktor má válcový tvar, který se pomalu otáčí, tak dochází k homogenizaci a provzdušňování substrátu. Zdržení substrátu se zkrátí na několik dnů. Tento způsob se většinou používá k biologické stabilizaci odpadu.

-Věžový bioreaktor je stojatá válcová nádoba, přibližně sedm metrů vysoká, plněná shora. U dna je překopávací mechanismus, který míchá a posunuje substrát k vyprazdňovacímu otvoru ve dnu nádoby.

-Tunelový bioreaktor má obdélníkový průřez. Vzduch je přiváděn soustavou kanálků v podlaze. Posun substrátu zajišťuje pohyblivé dno a pohyblivá přední stěna. Posun je krokový, přibližně vždy o 1/14. Zdržení substrátu v reaktoru je čtrnáct dnů.

b) Jednorázový bioreaktor:

Kompostovací boxy

Při tomto způsobu kompostování se box naplní homogenizovaným substrátem. Box se uzavře a napojí na vzduchovací systém, kterým se přivádí dostatečné množství vzduchu. Substrát se shora vlhčí rozstříkovaným kondenzátem. Nevýhodou tohoto systému je, že se po celý průběh kompostování substrát nehýbe a mohou vznikat zkratové kanály, kterými neefektivně proudí vzduch. Dále je tato metoda náročná na navážení a vyskladňování substrátu z těchto boxů. (Junga et al. 2015)

3.4.3 Kompostování ve vácích

Kompostování ve vaku lze přirovnat ke kompostování v pásových hromadách na volné ploše s tím rozdílem, že hromady jsou ukládány do uzavřených polyethylenových vaků. Tyto vaky jsou na jedno použití a jsou recyklovatelné. Délka vaku je 60 m a průměr 1,5 – 3 m, tloušťka fólie je 0,9 mm. Kapacita těchto vaků se pohybuje od 80 t do 175 t. Při plnění těchto vaků, je dovnitř vkládána perforovaná polyethylenová hadice, kterou se do vaku vhání potřebný vzduch.

Při zakládání kompostu je nutné dbát na dobrou homogenizaci a vhodnou vlhkost, protože do procesu již nelze zasahovat. Po ukončení kompostování se vak rozřízne a hotový produkt se vyskladní. Celý proces trvá přibližně 8 – 12 týdnů. Největší výhoda této technologie je v tom, že není nutná vodohospodářsky zabezpečená plocha. (Junga et al. 2015)

3.4.4 Technologický postup kompostování

Obecný technologický postup pro kompostování se skládá z několika na sebe navazujících kroků:

- I) Převzetí, zvážení a evidence organických odpadů, případné odstranění větších nežádoucích příměsí.
- II) Vytvoření vhodných fyzikálních vlastností kompostovaných materiálů – účelem tohoto kroku je rozmělnění organických materiálů na drobné kousky o přibližně stejné velikosti a tím vytvoření dostatečně velké plochy k osídlení této hmoty mikroorganismy. Tohoto rozmělnění se dosáhne drcením, řezáním nebo rozmělněním. K tomuto účelu se používají štěpkovače a drtiče.
- III) Důkladné promísení jednotlivých složek zakládky – provádíme ho přehrnováním čelním nakladačem nebo překopávačem. Tento krok je důležitý pro dosažení co největší homogenity směsi a rovnoměrného promísení suchých a vlhkých složek. Tím také dojde k zapravení kyslíku, který je nezbytný pro růst mikroorganismů.
- IV) Správné založení kompostovací hromady – v tomto kroku se naveze substrát na určené místo a vytvoří požadovaný tvar hromady.
- V) Vytvoření a udržení potřebných parametrů pro správný průběh kompostování jako je aerace, teplota a vlhkost – toho se dosáhne překopáváním, vlhčením a případně zakrýváním hromad folií nebo textilií.
- VI) Příprava hotového kompostu k expedici – to znamená prosévání a případně pytlování hotového kompostu, nebo se jen proseje a odveze na místo uskladnění. (Plíva)

3.4.5 Technické vybavení kompostáren

Základní technické vybavení kompostáren je pro všechny druhy kompostování prakticky stejný. Dá se rozdělit na:

- *Technické vybavení pro evidenci a kontrolu kompostovacího procesu*, což je vážící zařízení, teploměr, zařízení na udržování dostatečné vlhkosti (čerpadlo s kropícím zařízením) a případně různé přístroje na měření pH, stanovení kyslíku a měření vlhkosti;
- *Manipulační a dopravní techniku*, kterými jsou různé druhy nakladačů, traktor jako energetická jednotka pro tahání valníku, překopávače a různého nářadí, případně nějaký svozový prostředek na svoz bioodpadu;
- *Drtilíci zařízení*, což jsou drtiče a štěpkovače různé konstrukce a velikosti sloužící k rozmělnění bioodpadu;
- *Provzdušňovací zařízení*, jako jsou různé druhy překopávačů, případně jiné

provzdušňovací systémy s dmychadly nebo kompresory;

- *Prosévací a třídící zařízení*, které jsou rotační nebo vibrační síta a pásové případně šnekové dopravníky pro dopravu vytříděného kompostu.

3.5 Vermikompostování

Vermikompostování se vyznačuje biooxidačním a stabilizačním procesem, při kterém se přetvářejí biologicky rozložitelné materiály vzájemnou přirozenou interakcí při degradační činnosti mikroorganismů, činnosti drobných živočichů a hlavně činností žížal.

(Červená, et al., str. 2) Vermikompostování je v zásadě kompostování s využitím aktivity žížal (z latinského *Vermes* = červi). Žížaly zpracovávají bioodpad tak, že požrou organické zbytky, tím dojde k dezintegraci, to jest rozmělnění a zvětšení povrchu těchto bioodpadů. Takto zpracovaný bioodpad je následně osidlován mikroorganismy a to již při průchodu trávicím traktem žížaly. Tam také dochází ke zvyšování počtu i k zvyšování aktivity těchto mikroorganismů, jak je znázorněno v tabulce 6. To potvrzují výsledky mikrobiologických analýz půdních agregátů před průchodem a po průchodu trávicím traktem žížal.

Tab. 6: Změny v počtech a aktivitě půdních mikroorganismů po průchodu trávicím traktem žížal (Tesařová, 2010 str. 48)

Počty a aktivita bakterií	Půda	→ (trávicí trakt)	→ Exkrementy
Počet bakterií v 1g suché hmoty	10^6	→ 10^8	→ 10^{10}
Poutání vzdušného N ₂ bakterií <i>Azototacter chroococcum</i> (v %)	100	→	200-300

Žížaly rovněž podporují činnost mikroorganismů, které zabezpečují syntézu humusových látek, proto biohumus což je konečný produkt vermikompostování obsahuje velké množství kvalitního humusu. (Tesařová, 2010 str. 48) Jak uvádí Hlavatá (2004), kompost získaný pomocí žížal dosahuje vyššího stupně přeměny organické hmoty než běžný kompost.

3.5.1 Historie vermikompostování

Již v průběhu třicátých let dvacátého století se v USA začalo s pokusy vyšlechtit žížaly pro průmyslové zpracování odpadů. První středisko, kde se začala využívat nově vyšlechtěná forma žížaly vznikla v roce 1959. Tato nová forma žížal měla původně různé názvy a to podle toho kde se šlechtění provádělo. Tato nově vyšlechtěná forma se v roce 1976 poprvé dovezla do Evropy konkrétně do Itálie a tam se ujala pod názvem „červená kalifornská žížala“ a toto označení se ujalo. Odtud se přes Francii šířila do celé Evropy. (Zajonc, 1992 str. 16)

Na počátku sedmdesátých let se v Japonsku začalo se zpracováním zemědělských odpadů pomocí žížal na vermikompost. Tato technologie se začala rychle rozšiřovat do celého světa. V USA se tato technologie výrazně rozvinula. Do dřívějšího Československa vermikompostování proniklo roku 1985. (Kalina, 2004 str. 42)

3.5.2 Žížaly k výrobě vermikompostu

Z obecného hlediska se dá říci, že pro výrobu vermikompostu se dá použít mnoho druhů žížal, které se vyskytují prakticky po celém světě. V teplých oblastech například na jihu USA se k výrobě vermikompostu využívá africká žížala druh *Eudrilus eugeniae* (čeleď *Eudrilidae*), která pochází ze západní Afriky. Je to teplomilný druh, který vyžaduje optimální teplotní rozmezí 24 až 29 °C. Při 10 °C hyne. Další druh, který se používá pro vermikompostování je *Perionyx excavatus* (čeleď *Megascolecidae*) pocházející z jihovýchodní Asie, je podobná naší žížale hnojní. Z dalších se uvádí žížala načervenalá (*Lumbricus rubellus*), a druhy *Pheretima hawayana* a *Amyntes rodericensis* (čeleď *Megascolecidae*). Tyto druhy jsou vhodné pro použití v teplých oblastech pro svou teplomilnost. Do našich podmínek jsou nevýhodné pro své vysoké nároky na teplotu prostředí. Z toho důvodu se v ČR využívají dva druhy, které žijí na našem území respektive v Evropě a to *Eisenia fetida* (žížala hnojní) a *Eisenia andrei*. Z praktického hlediska jsou shodné. Jedinými odlišnými znaky obou těchto volně žijících druhů je zbarvení a vylučování sekretu. *Eisenia fetida* (žížala hnojní) má na těle hnědorudé pruhy uprostřed jednotlivých článků těla, které se střídají se špinavě žlutými pruhy v mezi-člávkových brázdách. Zato druh *Eisenia andrei* je jednobarevný, tmavě a nebo světlerudý. Druhým rozdílem je, že žížala hnojní po podráždění vylučuje z hřbetních pórů nažloutlou páchnoucí kapalinu, zatím co u *Eisenia andrei* je tato kapalina bezbarvá a nepáchne. Původní rozšíření *E. andrei* bylo ve Francii, Itálii a jižní a střední Evropě. Zato žížala hnojní je obyvatelem téměř na celé zeměkouli. I když jsou rozdíly mezi

těmito dvěma druhy takřka zanedbatelné, přesto jsou to dva samostatné druhy, které se navzájem nemohou křížit proto, že jejich potomstvo není rozmnožování schopné. (Zajonc, 1992 str. 14 – 16)

Červená kalifornská žížala je forma druhu *Eisenia andrei* která vznikla křížením v USA. To potvrzuje i její rudé zbarvení bez pruhů. Pokud hledáme rozdíl mezi naší žížalou hnojní a kalifornskou červenou (t.j. vyšlechtěnou formou druhu *Eisenia andrei*) tak se v ničem kromě barvy a charakteru vylučované lymfy neliší. Laboratorní testy odhalily, že kalifornská červená žížala má rychlejší životní pochody a tím potřebuje větší množství potravy, což se v důsledku projevuje rychlejším zpracováním organických odpadů. Dalším zjištěním bylo, že kalifornské červené žížaly produkují více vajíček než žížala hnojní. To taktéž napovídá tomu, že kalifornská žížala se rychleji množí a opět v konečném důsledku rychleji zpracovává organické odpady. Těmito vlastnostmi se výborně hodí pro vermikompostování. (Zajonc, 1992 str. 16)

Důvod, proč se tyto dva druhy žížal *Eisenia fetida* a *Eisenia andrei* (zastoupena vyšlechtěnou formou kalifornská červená) s úspěchem používají v našich podnebních podmínkách, je, že úspěšně přezimují a dobře snášejí teplotu až okolo 25 °C vyskytující se v kompostované zakládce, která je pro ostatní žížaly již příliš vysoká. To zapříčiňuje, že je aktivní ve větším teplotním rozpětí, a s tím je spjata i vyšší spotřeba potravy. To, tedy vede k rychlejšímu zpracování kompostovaného materiálu. Taktéž má i rychlejší rozmnožování a kratší dobu dospívání. (Zajonc, 1992 str. 10)

3.5.3 Fyzikální a chemické podmínky potřebné pro vermikompostování

Fyzikální a chemické vlastnosti vermikompostované zakládky musejí vyhovovat optimálním životním nárokům samotných žížal pro efektivní průběh kompostování. V následující tabulce 7 uvádí Tesařová (2010) optimální podmínky pro aktivitu žížal.

Tab. 7: Nároky žížal na podmínky prostředí. (Tesařová, 2010 str. 49)

Faktor prostředí	Optimum	Limitní hodnoty	
		minimum	– maximum
Teplota (°C)	19 – 22	7	33
Vlhkost (%)	78 – 82	60	90
pH	6,5 – 7,5	6	8
C : N	20 : 1		

Kdežto *Zajonc (1992)* uvádí jako optimální teplotu pro žížalu hnojní 18 až 25 °C. Hranicí její existence v oblasti vysokých teplot je asi 35 °C, při poklesu na 5 °C se zastavují její životní činnosti a při teplotě pod 4 °C hyne. Optimální vlhkost udává rozmezí 70 – 80 %, pod 60% vlhkostí se zpomalují životní pochody. Nejvhodnější pH je v rozmezí 6,5 – 8,5, při hodnotách pH pod 5 nebo nad 9 žížaly do několika dnů hynou.

Teplota má mít při procesu vermikompostování hodnotu od 19 do 25 °C, protože odchylky pod nebo nad uvedené hodnoty výrazně zpomalují životní pochody a aktivita žížal klesá. Tím je ovlivněn samotný proces kompostování a kvalita výsledného produktu. Z toho důvodu se při použití technologie vermikompostování nechává v zakládce proběhnout 1. fáze kompostování a po následném poklesu teploty se nasazují žížaly.

Vlhkost je velmi důležitá, protože žížala je vlhkomilný živočich. Aby mohla efektivně rozmělnovat a přetvářet biologické odpady, potřebuje ke svému životu pokud možno stabilní vlhkost.

Hodnota pH má být neutrální v rozmezí 6,5 – 8,5, větší výkyvy od udané hodnoty žížalám nesvědčí.

Dostatek kyslíku pro vhodné životní prostředí žížal (optimální je 15% obsah kyslíku v prostředí zakládky) se zajišťuje tím, že se na kompostovací hromady přidává substrát po vrstvách o síle do 60 centimetrů a také tím, že je substrát dostatečně porézní. Toho se dosáhne správným zvolením vhodné fragmentace surovin. (*Zajonc 1992*) O dostatek kyslíku se starají i samotné žížaly tím, že se zavrtávají do substrátu a dělají v něm chodbičky.

Nebezpečné látky. Pro žížaly v zakládce vermikompostu je nebezpečný amoniak NH_3 , který je v koncentraci nad 0,1 % pro žížaly již smrtelný. Taktéž obsah rozpuštěné soli nesmí překročit 0,5% koncentraci. (*Zajonc 1992 str. 21*) Další nebezpečí představují proteiny (bílkoviny), které při koncentraci nad 45 % žížaly usmrcují. Nebezpečí pro žížaly taktéž představují rezidua pesticidů, těžké kovy, různé organické polutanty a možné znečištění chemickými látkami. (*Tesařová 2010 str. 49*)

Jak uvádí *Zajonc (1992 str. 35)* dostatečné zásoby bílkovin nutných pro život, rozmnožování a růst žížal, jsou udávány obsahem dusíku v substrátu zakládky. Vysoký obsah bílkovin, v nichž je vázán dusík (vysoký podíl dusíku v zakládce), je nežádoucí, protože bílkoviny rychle podléhají rozkladu za vzniku pro žížaly toxického amoniaku.

Další nebezpečné faktory pro žížaly a tím i pro zdárný průběh

vermikompostování jsou **přirození nepřátelé žížal**, jako jsou ptáci, především drozdi, raci a různé druhy havranovitých ptáků. Ze savců je to hlavně krtek, ale i rejsci a občas jezevci a lišky. Hmyzí predátoři jsou roztoči, škvoři, stonožky, drabčáci, střevlík a jeho larva. (Zajonc 1992 str. 26) Chorobné procesy projevující se jako zánětlivá ložiska na těle, zpomalený růst a nedostatečná velikost jsou způsobeny mnoha činiteli, jež ve většině případů spouští nevhodné životní podmínky žížal. Nelze opomenout, že za letních horkých dnů dochází k nadměrnému prohřívání a vysušování zakládky vermikompostu.

3.5.4 Skladba substrátu

Žížaly mají podobné nároky na potravu jako jiní živočichové. Potřebují bílkoviny, cukry, tuky, vitamíny a minerály. Tyto látky důležité pro svoji výživu čerpají z kompostovaného substrátu. Pro žížaly je hlavním zdrojem energie celulóza. Žížaly také konzumují bakterie a prvoky, kteří žijí ve vlhkém kompostu a tak pokrývají svoji potřebu bílkovin. Zajonc taktéž uvádí, že žížaly nedokáží konzumovat potravu s jednoduchými živinami bílkovinného charakteru jako je albumin, kasein, vaječný bílek a žloutek, případně sacharidy (jako je čistá celulóza, škrob, sacharóza) nebo tuky. (Zajonc 1992 str. 22)

Jako substrát pro vermikompost můžeme prakticky použít jakýkoliv organický materiál, jehož základ je tvořen celulózou. To znamená využití veškerého zahradního odpadu, zbytků ovoce, zeleniny a posečené trávy. Můžeme kompostovat též čajové sáčky a kávovou sedlinu. Naopak se musíme vyvarovat masa a mléčných výrobků.

Podle *Kaliny 2004 (str. 45)* může mít skladba substrátu, který pochází z domácností, různé složení. Pro vermikompostování lze použít navlhčený skartovaný papír z počítačové tiskárny, kartony od vajec nebo pruhy lepenky. V domácím vermikompostéru je možno jako podestýlku použít, rašelinu, staré listí, trávu, slámu i hobliny.

3.5.5 Technologie vermikompostování

Systémy vermikompostování jsou v podstatě podobné jako u klasického kompostování. Můžeme je rozdělovat podle množství zpracovávaného materiálu na:

a) maloprodukční – převážně vermikompostování kuchyňských zbytků z domácnosti při zpracování zeleniny a ovoce, menší množství papíru (např. staré noviny, proložka od

vajec apod.). Vermikompostování probíhá přímo v bytech, kancelářích nebo třídách. Těmto vermikompostům se taky říká domácí vermikompostéry.

b) velkoprodukční – vermikompostování se provádí buď jednoduchými otevřenými systémy jako je vermikompostování v pásových a plošných hromadách na otevřené ploše, případně v ohraničených záhonech, nebo pomocí vermireaktorů s kontinuálním procesem či v dvoukomorovém vermireaktoru. Tyto technologie se používají k produkčnímu zpracování většího množství organické hmoty (např. při údržbě veřejné zeleně, nebo zbytků z rostlinné produkce na farmách). (Hanč, et. al., 2013 str. 5)

Pro správný průběh vermikompostování je lhostejné, zda vermikompostování probíhá v malém vermikompostěru umístěném v kanceláři, nebo se vermikompostuje na volné ploše v hromadách případně ve vermireaktoru. Ve všech případech musíme dodržet a zajistit vhodné životní podmínky pro žížaly.

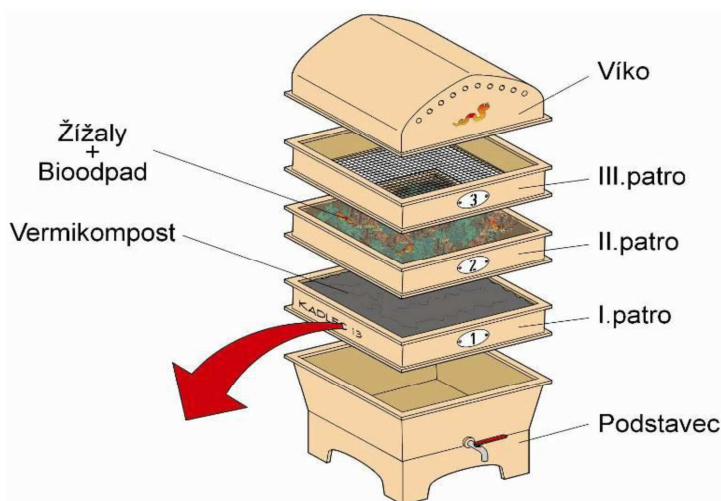
3.5.5.1 Maloprodukční vermikompostování

Probíhá v malých domácích vermikompostěrech. Ukázka používaných domácích vermikompostěrů je v příloze číslo 1. Ty jsou vyrobeny z plastu nebo ze dřeva. V podstatě mají podobu několika na sobě položených krabiček. Schéma takového domácího vermikompostěru je na obrázku 8. V horní krabici jsou žížaly, které zpracovávají postupně vkládaný bioodpad a přes dno které je opatřeno sítí propadává do spodní krabice vlastní hotový vermikompost. Pod touto krabicí je záchytná nádoba na přebytečnou tekutinu, kterou po naředění můžeme použít jako tekuté hnojivo. Domácí vermikompostéry lze prakticky umístit kamkoliv, například na chodbu, do garáže, do kuchyně, do třídy ve škole nebo kanceláře. Nejdůležitější je, aby byly zajištěny optimální životní podmínky žížal, a to teplota kolem 20 °C, nejlépe ve stínu, aby nedocházelo k přehřívání a nadměrnému vysychání substrátu při přímém slunečním svitu.

Přibližná velikost domácího vermikompostěru závisí na množství zpracovávaných surovin. Na 1 kg bioodpadu týdně se udává potřeba plochy asi 0,2 m². Z toho se odvíjejí přibližné rozměry (délka 40 cm; šířka 40 cm; výška 15 cm). Dno opatřené sítí zajišťuje odvod přebytečné tekutiny a dostatečný přívod vzduchu. V podstavci je záchytná nádrž na vzniklou tekutinu, která se pravidelně pomocí ventilu odpouští a může se použít jako tekuté hnojivo po předchozím naředění vodou v poměru 1 : 9. V domácím vermikompostěru se jako podestýlka může použít rašelina, kokosové vlákno, navlhčený roztrhaný papír, listí anebo tráva. Do takto založené podestýlky se

nasadí žížaly a začnou se přikrmovat vhodnými zbytky z kuchyně.

Krmení žížal se provádí jednou až dvakrát týdně. Hanč a Plíva (2013) uvádějí, že 0,5 kg žížal zkonsumuje přibližně 0,25 kg bioodpadů denně, a za 3 měsíce se jejich počet zdvojnásobí, tímto procesem zmenší objem bioodpadu na $\frac{1}{3}$ až $\frac{1}{4}$ svého původního objemu. (Hanč a Plíva 2013 str. 7)



Obr. 8: Schéma domácího vermikompostéru. (Hanč a Plíva 2013)

3.5.5.2 Velkoprodukční vermikompostování

Používá se, ke zpracování velkého množství bioodpadu, který vzniká při údržbě parků a jiných veřejných prostranství, nebo na farmách jako odpad z rostlinné výroby. Tyto velkoprodukční technologie můžeme rozdělit na jednoduché a intenzivní technologie vermikompostování.

Mezi *jednoduché technologie* zařazujeme vermikompostování plošné, v pásových hromadách na volné ploše, nebo v ohraničených záhonech. Taktéž se používá vermikompostování v různě velkých boxech uspořádaných do sestav. Tato technologie není náročná na plochu, ale hůře se dodržuje potřebná vlhkost a množství vstupních surovin. Další nutností je nějaká manipulační technika. (Hanč a Plíva 2013 str. 10)

I. Vermikompostování v ohraničených záhonech se provozuje na volné ploše nebo pod přístřeškem, ale vždy na vodohospodářsky zabezpečené ploše. Tento způsob se používá pro kompostování menšího množství bioodpadu. Jednotlivé záhony (pásové hromady) jsou ohraničeny nízkou zídkou z cihel nebo tvárnic. Ideální výška vrstvy substrátu je do 0,6 m a šířka ne větší jak 2 m, širší se špatně kontroluje a udržuje.

II. Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše jak uvádí Hanč a Plíva (2013) jde o nejjednodušší způsob vermikompostování, který je nenáročný na

investice a techniku. Schéma vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše je znázorněno v příloze číslo 2. Hromady není potřeba překopávat, jen se udržuje optimální vlhkost a pravidelné přikrmování žížal, tj. navází se čerstvý substrát ve vrstvě 20 až 30 cm. Většinou se používá varianta s jednorázově založenou pásovou hromadou z před kompostovaného (podrceného a z homogenizovaného) bioodpadu, kde již proběhla první fáze rozkladu (tzv. horká), při které dojde k hygienizaci substrátu a je již zaručeno, že teplota kompostu nevystoupí nad 30 °C. Je to způsob s tzv. „*přikrmováním žížal*“, kde se zpracovávané suroviny přidávají na povrch pásové hromady ve vrstvě cca 20 – 30 cm jednou za 2 týdny, 30 – 50 cm jednou za 3 týdny nebo 10 cm jednou za týden. Žížaly zpracovávají nový substrát od zdola nahoru. Pokud jsou pásové hromady dobře založeny a jejich výška je větší než 0,5 m, není vermikompostovací proces náchylný na výkyvy počasí. V zimním období zamrzá jen tenká povrchová vrstva. Vlivem rozkladných procesů uvnitř hromady vzniká teplo, které zajišťuje, že žížaly normálně žijí a proces zpracování bioodpadu se jen mírně zpomalí. Plíva uvádí, že vermikompostovací proces je 3,3 krát delší oproti klasickému kompostování a to klade nároky na využití kompostovací plochy.

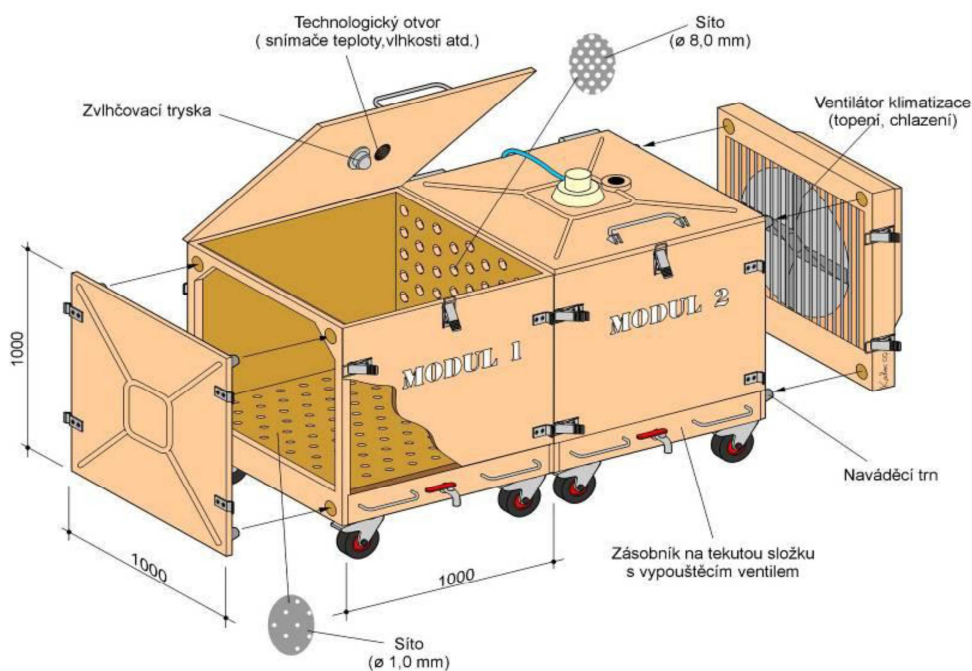
Mezi **intenzivní technologické systémy vermikompostování** lze zařadit složitější technologické systémy vermikompostování probíhající v uzavřeném prostředí s využitím žížal. K výhodám těchto technologií patří větší urychlení celého procesu, omezení vlivu povětrnostních podmínek na průběh vermikompostování, snížení plochy potřebné pro vermikompostování a možnost řídit a automatizovat celý provoz. Tato zařízení bývají označována jako vermireaktory. V současnosti se provozuje celá řada systémů vermireaktorů. Jejich společnou výhodou je, že na základě monitorování určitých fyzikálních veličin lze pomocí zpětné vazby řídit v optimálních podmínkách celý proces vermikompostování. Jako příklad uvedu dva vermireaktory: dvoumodulový vermireaktor a vermireaktor se souvislým procesem.

I. Dvoumodulový vermireaktor

Podstata tohoto řešení vermireaktoru je v tom, že je sestaven ze dvou nádob – modulů, které jsou naprosto shodné a oba jsou mobilní. Obrázek 9 znázorňuje schéma dvoumodulového vermireaktoru. Moduly se mohou použít ve dvou pracovních uspořádáních:

a) každý modul samostatně, jeden se naplní substrátem a následně v něm proběhne první stupeň kompostování s vysokými teplotami takzvaný předkompostovací proces bez přítomnosti žížal, v druhém modulu probíhá vermikompostovací proces.

b) oba moduly pevně spojené, to se provádí, když je nutné přemístit žížaly z modulu, kde jsou již všechny suroviny zpracované na vermikompost do druhého vedlejšího modulu kde jsou připraveny pro žížaly čerstvé předkompostované suroviny. Moduly se spojují sponkovým systémem vedle sebe na dobu potřebnou pro přesun žížal, které se instinktivně přesunují za potravou přes otvory, které jsou v bočních stěnách modulů.



Obr. 9: Schéma Dvoumodulového vermireaktoru (Hanč a Plíva 2013)

Aby se dosáhlo optimálního prostředí pro žížaly, je nutné monitorovat průběh vermikompostování a s využitím zpětné vazby řídit tento proces. Z toho důvodu je dvoumodulový vermireaktor vybaven hlavním panelem, (znázorněn v příloze číslo 3) na kterém je umístěna řídicí jednotka a další zařízení, sloužící pro oba moduly. Každý modul je navíc osazen svým modulovým panelem. (Hanč a Plíva 2013 str. 16)

II. Vermikompostování ve vermireaktorech se souvislým procesem je příkladem perspektivního velkoprodukčního systému. Jedná se o kontinuální „průtokové“ vermireaktory. Technicky je tento vermireaktor tvořen žlabem, jehož dno je tvořeno sítím, který je uložen na podpůrné konstrukci asi 0,8 m nad podlahou. Provedení tohoto vermireaktoru je vyobrazeno v příloze číslo 4. Bioodpad je uložen v tomto žlabu a žížaly jej zpracovávají od zdola nahoru. Předkompostovaný substrát o malé zrnitosti (řádově v milimetrech) je rovnoměrně v tenkých vrstvách přidáván na povrch zakládky

každý den pomocí mobilního mechanického zařízení. Z toho důvodu se žížaly zdržují v horní části, kde je dostatek vzduchu a čerstvá potrava. To umožňuje mechanizaci odebírání hotového vermikompostu, a to tak, že ve spodní části vermireaktoru je hydraulicky ovládaná záklopka, která se otevře, a pomocí mechanického zařízení je vyhrnován hotový vermikompost, který propadl sítím. Celý proces je monitorován a všechny operace jsou řízeny automaticky. Tím, že je vermireaktor umístěn v hale, která se temperuje, probíhá vermikompostování celoročně a plynule je produkován vysoce kvalitní vermikompost. Celkový počet žížal ve vermireaktoru je přibližně stabilní (odumírání a líhnutí žížal je vyrovnané). (Hanč a Plíva 2013 str. 17)

Stejný proces popisuje i Dominguez, et. al., (1997) a uvádí, že tato metoda je velmi účinná a produkční. Po aplikaci různých úprav se dá použít v maloprodukčním i velkoprodukčním vermikompostování. Při maloprodukční technologii se vkládání substrátu a vybírání hotového produktu provádí ručně. Ve velkoprodukční technologii je veškerá obsluha zcela automatizovaná. Tato metoda byla testována v Národním ústavu pro zemědělské techniky v Silsoe v Anglii a používá se na několika místech v USA. Takovéto reaktory mohou zpracovat 0,9 metru vysokou vrstvu vhodného organického odpadu za méně než 30 dní. (Dominguez, et. al., 1997)

3.5.6 Vermikompost konečný produkt vermikompostování

Jak uvádí Zajonc (1992), vermikompost je v podstatě tvořen exkrementy žížal, které připomínají tvarem válečky o přibližných rozměrech 0,5 mm na průměru a 1 mm na délce. Substrát se při průchodu zaživacím traktem žížaly obohatí o velké množství mikroorganismů a enzymů. Takto upravené exkrementy zásadním způsobem ovlivňují proměnu organické hmoty v půdě. Částice vermikompostu mají tvar malých válečků, jak už bylo řečeno, což znamená, že částice vermikompostu mají poměrně velký povrch. Tím vzniká mnoho meziprostorů, které výrazně zvyšují provzdušněnost i vodní kapacitu kompostu.

Chemické proměny, které nastávají při vermikompostování, vedou především ke změnám v poměru uhlíku a dusíku. V substrátu před zpracováním je poměr C : N v hodnotě 22 – 25 : 1, v konečném produktu vermikompostu je to 10 : 1. Minerální složení vermikompostu je zejména ovlivňováno skladbou substrátu zakládky, dále působením biochemických pochodů mikroorganismů, ale také i vlivem chemických procesů. Většina dusíku se přemění na dusičnany, které jsou lépe přístupné pro rostliny

právě působením bakterií. Stejnou cestou se zvyšuje množství pro rostliny přístupného fosforu, draslíku a hořčíku, i když celkový obsah důležitých látek není vysoký (N – 1,5 až 4 %, P₂O₅ – 1,4 až 8 %, K₂O – 0,6 až 2,5 %). (Zajonc 1992)

Složení vermikompostu závisí na mnoha faktorech, především na skladbě substrátu a technologii vermikompostování (tím se rozumí vermikompostování s předkompostováním nebo přímé vermikompostování).

Zajonc (1992) uvádí chemické a mikrobiální složení vermikompostu a také množství růstových hormonů, které jsou v následujících tabulkách 8, 9. a příloze číslo 12.

Tab. 8: *Obsah mikroorganismů ve vermikompostu. (Zajonc, 1992)*

Obsah mikroorganismů na 1 g suché hmotnosti	
Bakterie	1,8 x 10 ⁸
Aktinomycety	2,8 x 10 ⁶
Houby	2,0 x 10 ⁵

Tab. 9: *Obsah růstových regulátorů ve vermikompostu. (Zajonc, 1992)*

Růstové regulátory v µg/1g suché hmotnosti	
Gibereliny	2,75
Cytokininy	1,05
Auxiny	3,8

Zajonc uvádí, že pokusně byl prokázán vliv růstových látek (giberelinů, cytokininů, auxinů) obsažených ve vermikompostu, které podporují tvorbu kořenového systému a celkový vývoj rostliny. Při testech zakořeňování řízků se po použití vermikompostu zvýšilo procento zakořeněných jedinců z 20 – 50 % na 30 – 55 %. Pro pěstitelský substrát je vhodný poměr vermikompostu s rašelinou v rozsahu 3 : 1. Mladé sazenice rostlin jsou často napadány houbovou nemocí fusariózou, ale při použití vermikompostu se toto napadení nevyskytuje, protože neobsahuje zárodky této nemoci a tím odpadá sterilizace substrátu před jeho použitím pro výsadbu mladých sazenic. Kromě toho se použitím vermikompostu podstatně zvyšuje produkce květů, zrychluje se dozrávání

plodin o 1 – 2 týdny a zvyšuje se 2 až 10 krát obsah vitamínu C. Výzkumný ústav rostlinné výroby v Praze potvrdil zvýšení úrody kukuřice o 30 %. (Zajonc, 1992 str. 51 – 53)

Podle autora *Tharmaraj et al. (2011)* je výsledný produkt vermikompostování hodnotnější než klasický kompost. V tabulce 10 uvádím porovnání mikrobiálního složení vermikompostu s tradičním kompostem a v příloze číslo 5 uvádím chemické složení vermikompostu.

Tab. 10: Srovnání počtů mikroorganismů v kompostu a vermikompostu. (Převzato a upraveno od Tharmaraj et al. 2011)

Mikroorganismy	Tradiční kompost	Vermikompost
Bakterie	143 x 10 ⁵ g ⁻¹	167,29 x 10 ⁵ g ⁻¹
Houby	39,61 x 10 ⁵ g ⁻¹	96,25 x 10 ⁵ g ⁻¹
Aktinomycety	365,27 x 10 ⁵ g ⁻¹	419,62 x 10 ⁵ g ⁻¹
Bakterie fixující dusík	315,38 x 10 ⁵ g ⁻¹	569,29 x 10 ⁵ g ⁻¹

Další autor *Kalina (2004)* udává porovnání látkového složení kompostu a vermikompostu dle tabulky č. 11:

Tab. 11: Obsah živin v kompostu v % sušiny (Kalina, 2004 str. 61)

	Kompost	Vermikompost
Celkový dusík (N)	0,5 – 1,5	1,0 – 3,0
Celkový fosfor (P ₂ O ₅)	0,1 – 0,8	0,2 – 3,0
Celkový draslík (K ₂ O)	0,3 – 0,8	0,3 – 2,0
Vápník (CaO)	1,0 – 12,0	1,0 – 12,0
Hořčík (MgO)	0,2 – 3,3	0,3 – 3,3
Organická hmota	20 – 40	30 – 55
Poměr C : N	12 – 30 : 1	8 – 15 : 1

Hodnota pH	6,5	6,5
------------	-----	-----

3.5.7 Zajištění hygienizace vermikompostu

Obecně je známo, že aby se dosáhlo hygienizace kompostu, musí proběhnout termofilní fáze, při které dojde k výraznému nárůstu teploty na 50 – 70 °C, která ničí patogenní mikroorganismy. Při vermikompostování se takovýchto teplot dosahovat nemůže, protože teplota nad 35 °C žížaly usmrcuje. Pro dosažení hygienizace se při velkoprodukčním vermikompostování v pásových hromadách používá předkompostování. Ale po pokusech bylo dokázáno, že samotné žížaly dokážou svými výměšky dokonale vermikompost hygienizovat.

K hygienizaci a redukci patogenů přispívají trávicí enzymy žížal a sekrece tekutin s antibakteriálními vlastnostmi. Mimoto žížaly vylučováním výkalů a jiných sekretů obohacují vermikompost o dusík, taktéž upravují mikroklimatické podmínky vermikompostu, tím umožňují rozvoj dusík fixujících mikroorganismů. (Suthar 2010) Suthar (2010) usuzuje, že při vermikompostovacím procesu, kdy organický odpad prochází skrz zaživací ústrojí žížal, je oproti klasickému kompostování přeměněno větší množství organických minerálů na více dostupné formy. Pomocí trávicího enzymu žížal fosfatázy se ve vermikompostu zvyšuje obsah dostupných forem fosforu. (Suthar 2010)

Taktéž Zajonc (1992) udává, že přítomnost žížal ve vermikompostu potlačuje choroboplodné organismy. Počet zárodků druhu *Salmonella enteritis* - původce střevního onemocnění se v průběhu 4 – 28 dní snížil o 97,8 – 99 %. To bylo způsobeno zejména přítomností velkého počtu půdních bakterií. (Zajonc 1992, str. 51 – 53)

Aira (et al., 2006) uvádí, že kvalita vermikompostu je vyšší než kvalita běžného kompostu, protože požíraný substrát prochází trávicím traktem žížaly. V tomto trávicím traktu žížal dochází k hygienizaci zaživacími enzymy a jinými antibakteriálními tekutinami, které v konečném důsledku snižují množství patogenů v biohumusu. (Aira et al., 2006)

4 VLASTNÍ PRÁCE

V níže uvedených podkapitolách jsou prezentovány specifikace a porovnání sledovaných kompostáren po stránce technologické a technické vybavenosti. Jde o vyhodnocení strojního, technického a stavebního vybavení. Dále zde srovnávám rozbory kompostů z těchto kompostáren.

4.1 Materiál a metodika

Veškeré údaje a informace o těchto kompostárnách, které zde uvádím, jsem získal z provozních řádů, provozních deníků a z elektronických databází sledovaných kompostáren a to od Technických služeb města Slavkova a od obecního úřadu města Strážnice. Další informace jsem získal z ústního podání zaměstnanců, vedoucích kompostáren a také vlastním šetřením na kompostárnách.

4.1.1 Kompostárna Slavkov u Brna s klasickým kompostováním v pásových hromadách

Kompostárna ve Slavkově u Brna vznikla za účelem splnění cílů Evropské směrnice 1999/31/ES o skládkách, pro omezení množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) ukládaných na skládky. Kompostárna byla uvedena do provozu v roce 2009 a o její provoz se starají Technické služby města Slavkov u Brna, které jsou příspěvkovou organizací a provádí veřejně prospěšné služby při správě majetku obce a veřejné zeleně. Výsledný kompost se používá na biologickou rekultivaci bývalé skládky na zkvalitnění veřejné zeleně města a pro využití občanů města.



Obr. 10: Kompostárna Slavkov u Brna (autor: Lánský TSMS)

Umístění kompostárny

Kompostárna je umístěna přibližně 800 m severozápadně od okraje města a 900 metrů od zámeckého parku. Kolem kompostárny se rozkládají zemědělsky využívané pozemky a golfové hřiště. Kompostárna je dostatečně daleko od obytné zástavby a je zpevněnou komunikací napojena na silniční síť (poznámka autora, tato příjezdová cesta se napojuje na dost frekventovanou komunikaci). Město udržuje 60 ha veřejné zeleně včetně zámeckého parku na 1490 ha území obce s 6250 obyvateli.

Stručný popis kompostárny

Kompostovací plocha je vyasfaltovaná a vodohospodářsky zabezpečená nepropustnou PEHD fólií o rozměrech 40 x 25 m, což je rozloha 1000 m². Tato plocha je vyspádovaná do bezodtokové podzemní jímky o objemu 30 m³, do které je sveden výluh z kompostování a dešťová voda z kompostovací plochy. V areálu se nacházejí otevřené kóje, které slouží pro ukládání jednotlivých složek bioodpadů, hotového kompostu a sběrné nádoby na vyříděné příměsi a materiály nevhodné ke kompostování. Dále je zde přístřešek pro umístění techniky. Celý areál kompostárny je zabezpečen proti vniknutí nepovolaných osob oplocením s uzamykatelnou příjezdovou bránou. Kolem areálu je vybudován záchytný příkop, do kterého jsou svedeny srážkové vody z okolních pozemků tak, aby se nedostaly na kompostovací plochu. Na konci příjezdové

komunikace je umístěna buňka obsluhy a sklad dřeva.

Způsob kompostování

Kompostování bioodpadů se uskutečňuje v pásových hromadách na volné ploše s trojúhelníkovou zakládkou. Pásové hromady mají trojúhelníkový profil o šířce základny 2,5 až 3,0 m a výšce 1,0 až 1,5 m.

Kapacita kompostárny je maximálně 950 tun biologicky rozložitelných odpadů za rok, které vstupují do procesu kompostování.

V kompostárně se pouze zpracovávají následující odpady uvedené tabulce 12.

Tab. 12: Zpracováváný bioodpad v kompostárně Slavkov. (Provozní řád kompostárny)

20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	O
20 03 02	Odpady z tržišť	O

Podle potřeby se jako vstupní surovina taktéž používá statkové hnojivo, které bude podporovat a stabilizovat kompostovací proces. Při aplikaci statkového hnojiva je nutné zachovat požadovaný poměr C : N. V kompostárně se zpracovávají biologicky rozložitelné odpady vzniklé při údržbě veřejné zeleně z katastru města a z údržby zahrad od občanů města.

Manipulace a příprava bioodpadů ke kompostování.

Bioodpad je drcen a míchán již při provádění údržby veřejné zeleně a při sběru od občanů a to v pojízdném drtícím a míchacím voze SEKO Samurai 5 taženém traktorem John Deere 6330 Premium, který je vyobrazen v příloze číslo 6. Po příjezdu na kompostárnu je takto podrcený a homogenizovaný bioodpad distribuován přímo z drtícího vozu pomocí dopravníku na pásové hromady.

Nadbytečné dřevo z prořezávky stromů a další dřevní odpad je samostatně podrcen štěpkovačem nebo sběrným vozem. Štěpka se uskládá ve skladovacích boxech kompostárny a dle potřeby je přidávána do zakládky kompostu.

Materiál se na zakládku ukládá postupně podle momentálně dostupného bioodpadu. Při dosažení konečné šířky a výšky se pásová hromada překope, aby se dosáhlo důkladné homogenizace bioodpadu. Tím dojde k vytvoření optimálních podmínek a nastartování činnosti rozkladných mikroorganismů.

Výskyt nebezpečných druhů odpadů, které se přijímají na kompostárnu, se nepředpokládá vzhledem k tomu, že nakládku odpadů do sběrného vozu zajišťují pracovníci TSMS (Technické služby města Slavkova u Brna). Pokud se nebezpečné odpady vyskytnou, budou okamžitě uloženy do sběrných nádob a poté předány oprávněné osobě. Ostatní odpady nevhodné ke kompostování se roztřídí a uloží do příslušných sběrných nádob a podle potřeby jsou předány odpovědné osobě.

Organizace provozu na kompostárně.

Na kompostárně není trvale přítomna obsluha. Zdržuje se zde jen po dobu nezbytně nutnou pro provedení pracovních úkonů, jako je vyložení a naložení materiálu, překopávání, měření teploty, manipulace s vodou v odpadní jímce, údržba, oprava a podobně. Z tohoto důvodu je v areálu kompostárny umístěna jen buňka obsluhy sloužící k uložení hasících prostředků, ochranných pomůcek, lékárničky, provozního řádu a provozního deníku a dalšího drobného vybavení. V přístřešku pro techniku je instalované chemické WC.

Navážení bioodpadů včetně bioodpadu pocházejícího ze soukromých zahrad, statkového hnojiva a také odvážení kompostu a rekultivačního substrátu zajišťují výhradně TSMS svými dopravními prostředky.

Sledování a řízení kvality biologických procesů při kompostování

K udržení optimálních podmínek pro kompostování je potřeba provádět překopávání a pravidelné sledování teploty a vlhkosti zakládek. Měření teplot se provádí tyčovým teploměrem ve středu profilu kompostovací hromady v minimální hloubce 0,5 m od povrchu zakládky v odstupech 8 – 10 m. Z těchto dílčích hodnot je stanoven aritmetický průměr, který se zapisuje do provozního deníku. Četnost měření teplot je v 1. až 7. dni po založení zakládky 1x denně, v 8. až 24. dnu po založení zakládky 1krát za 3 – 4 dny a od 25. dne do konce vedení zakládky 1krát za 7 dní. Kontrola vlhkosti se provádí orientační zkouškou – zmáčknutí kompostu v dlani, kterou uvádím v kapitole 2.2.2.

Hodnocení a kontrola produktu kompostování

Kontrola a hodnocení je prováděno v souladu s vyhláškou č. 341/2008 Sb. Zajištění odběrů vzorků kompostu a jejich analýzu provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Kompostárna Slavkov u Brna má roční produkci hotového

kompostu do 1000 t a podle právních předpisů se provádí jedna až dvě kontroly za rok.

Vedení evidence odpadů

Vedení evidence odpadů přijatých i odvážených ke konečnému využití se provádí na základě § 39 Zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech a podle § 21 Vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady. Zapisuje se do formulářů zde uvedených. Průběžná evidence se vede podle přílohy č. 20. Obsahuje: datum a číslo zápisu do evidence, jméno a příjmení osoby odpovědné za vedení evidence. Evidence se archivuje po dobu 5 let. Pro veškerou denní činnost jako je překopávání, zakládání hromad a příjem odpadů se vede evidence v provozním deníku. Eviduje se každá zakládka.

Produkt kompostárny

Produktem z kompostárny Slavkov u Brna je podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, registrované hnojivo s názvem „Kompost TSMS, organické hnojivo“, které pod číslem rozhodnutí 3704 registroval Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Vyprodukované organické hnojivo obec používá na přihnojování obecní zeleně a na rekultivaci bývalé skládky. Obec vychází občanům města vstříc tím, že si mohou bezplatně odebrat tento kompost a použít jej na zahrádkách k hnojení a vylepšení půdy.

Možné negativní vlivy kompostárny

Kompostování bioodpadů může být při nedodržení technologické kázně zdrojem zápachu, TZL (tuhých znečišťujících látek), vyššího výskytu hmyzu a drobných živočichů. Tyto negativní vlivy se dají výrazně eliminovat správným dodržováním kompostovacího procesu. Protože je kompostárna v dostatečné vzdálenosti od obytné zástavby, nebude obtěžovat obyvatele Slavkova případným zápachem a hmyzem. Pro snížení emisí TZL při překopávání kompostu se doporučuje udržovat kompostovací zakládku v optimální vlhkosti. Vyšší výskyt TZL (prašnost) se může projevit při prosévání kompostu proto, že sušší kompost se lépe prosévá. Případné výluhy z kompostovací zakládky jsou jímány v bezodtokové jímce.

Strojní a technické vybavení kompostárny ve Slavkově u Brna

Pro zajištění provozu na kompostárně se používá následující strojní a technické vybavení:

- kolový traktor se lžící John Deere 6330 Premium (vyobrazený při tažení překopávače v příloze číslo 7) se používá k manipulaci a k nakládání kompostu a také k tahání drtícího a míchacího vozu SEKO Samurai 5 a tahání překopávače;
- drtící a míchací vůz SEKO Samurai 5 s integrovanou váhou a podávacím ramenem je určen pro svoz a drcení bioodpadu;
- čelní kolový nakladač UNC 750 (znázorněný spolu s bubnovým prosévačem v příloze číslo 8) se většinou využívá při svozu a nakládání bioodpadu do drtícího a míchacího vozu SEKO Samurai 5;
- překopávač kompostu SANDBERGER CMC-ST-250 (tažený traktorem John Deere vyobrazený v příloze číslo 7) slouží k překopávání pásových hromad;
- bubnový prosévací třídič NOVER BP o výkonu 15 – 30 m³ za hodinu s vlastním pohonem je využit ke konečné úpravě kompostu před jeho distribucí;
- tyčový vpichovací digitální teploměr SUMMIT SDT 9 je k měření vývinu teploty v kompostovací hromadě;
- čerpadlo se využívá k zavlažování pásových hromad;
- elektrocentrála pro pohon čerpadla.

Veškeré strojní vybavení nutné pro provoz kompostárny pořídila obec Slavkov u Brna současně s výstavbou kompostárny. Čelní kolový nakladač UNC, který se taktéž používá na kompostárně, byl v majetku technických služeb již před výstavbou této kompostárny.

4.1.2 Kompostárna Strážnice s vermikompostováním v pásových hromadách

Kompostárna ve Strážnici vznikla tak jako předchozí kompostárna za účelem splnění cílů evropské směrnice 1999/31/ES o skládkách, pro omezení množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) ukládaných na skládky. Provoz kompostárny byl zahájen vložением násady žížal 1. listopadu roku 2012. Chod kompostárny zajišťují pracovníci „Centra pro nakládání s odpady“, jehož součástí je i skládka komunálního odpadu. Kompostárna zpracovává bioodpad vzniklý z údržby veřejné zeleně a z údržby zahrad občanů města. Výsledný vermikompost se používá na zkvalitnění veřejné zeleně města a pro využití občanů města.

Umístění kompostárny

Město Strážnice zřídilo „Centrum pro nakládání s odpady“, které je přibližně vzdáleno 1 km jihovýchodně od města, což je dostatečná vzdálenost od obytné zástavby. Kolem tohoto areálu jsou zemědělsky využívané pozemky. Areál je napojen zpevněnou komunikací na stávající silniční síť. Město Strážnice udržuje 15 ha veřejné zeleně, dalších 45 ha zámeckého parku s přilehlým skanzenem na 3140 ha území obce s 5690 obyvateli.

Stručný popis kompostárny

V areálu „Centra pro nakládání s odpady“ je umístěna skládka komunálního odpadu, plocha pro úpravu a třídění stavebního odpadu, sběrné nádoby na tříděný odpad, velkoobjemové kontejnery pro objemný odpad a také se zde nachází vermikompostárna. Kompostovací plocha je vodohospodářsky zabezpečená nepropustnou HDPE folií o tloušťce 1,2 mm a je vyspádovaná do bezodtokové jímky o užitečném objemu 125 m³. Zachycená voda se případně použije na zvlhčování kompostu.

Celková plocha činí 4410 m². Tato plocha se skládá z plochy pro příjem BRO (1600 m²), plochy pro kompostování (1200 m²), plochy pro shromažďování hotového produktu (1190 m²) a provozních komunikací (420 m²). Vedle kompostovací plochy je umístěný ocelový přístřešek na ukládání hotového produktu (vermikompostu) a vytríděného dřevěného odpadu pro další využití (foto 11). U příjezdové brány je umístěn přístřešek a garáž pro techniku, a dále administrativní budova s místností pro obsluhu a sociálním zázemím. Je zde také místnost vážného, který zapisuje přijaté odpady. Ve vjezdu do areálu je mostová váha, která je zapuštěna do úrovně vozovky.



Celý areál je zabezpečen proti vniknutí nepovolaných osob oplocením a vybaven uzamykatelnou příjezdovou bránou.

Obr. 11: Pásová hromada vermikompostu a přístřešek pro hotový vermikompost v kompostárně Strážnice (foto autor)

Způsob kompostování

Kompostování, nebo lépe řečeno v tomto případě vermikompostování, probíhá v pásových hromadách přibližně lichoběžníkového tvaru na volné ploše v takzvaných krechtech znázorněných v příloze číslo 9. Používá se systém předkompostování, kde v první hromadě proběhne termofilní fáze kompostovacího procesu s nárůstem vysoké teploty, která je pro žížaly nevhodná. Po skončení této horké fáze a po poklesu teploty na 25 – 30°C se z předkompostovaného materiálu zakládají nové krechty, do nichž se přidává násada žížal. Po té, co žížaly zkonzumují navrstvený materiál, se přidá další vrstva předkompostovaného materiálu, která je vysoká 15 – 20 cm. Takto se pokračuje až do výšky 1,0 – 1,5 m.

Kapacita kompostárny je 1900 tun bioodpadu za rok, které vstupují do procesu

vermikompostování.

Zpracovávané suroviny

Kompostárna zpracovává pouze bioodpad – trávu, listí, větve, atd., obsažené v následující tabulce 13, které vznikly při údržbě veřejné zeleně a z údržby zahrad občanů na katastru města. Tento bioodpad se dotřídí a zbaví se nežádoucích příměsí, které se následně předají oprávněné osobě k likvidaci. V kompostárně se nezpracovávají odpady z kuchyní a odpady splňující definici vedlejšího produktu živočišného původu podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002.

Tab. 13: Zpracovávaný bioodpad v kompostárně Strážnice. (Provozní řád kompostárny)

Katalogové číslo	Název druhu odpadu	Kategorie
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv	O
02 01 07	Odpad z lesnictví	O
20 01 38	Dřevo neobsahující nebezpečné látky	O
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	O
20 03 02	Odpad z tržišť	O

Manipulace a příprava bioodpadů ke kompostování

Bioodpad se průběžně naváží do kompostárny a ukládá se na větší hromadu. Drcení tohoto bioodpadu se řeší formou služby externí firmou, většinou dvakrát do roka, nebo podle aktuálního množství nashromážděného bioodpadu. Podrcený bioodpad se čelním nakladačem promísí a poté se skladuje ve větších hromadách, kde proběhne termofilní fáze předkompostování. Podle potřeby se odebere část takto připraveného materiálu a ukládá se do pásových hromad. Silné dřevo a další dřevní odpad se zpracovává samostatně. Nevhodný odpad ke kompostování se roztřídí a uloží do příslušných sběrných nádob.

Organizace provozu na kompostárně

Obsluha kompostárny je celosezónně zajištěna v rámci obsluhy „Centra pro nakládání s odpady“ s určenou otevírací dobou, šest dnů v týdnu. U vjezdu do areálu je administrativní budova s kanceláří, kde jsou uloženy potřebné dokumenty, provozní řád a provozní deník. Dále je zde místnost pro obsluhu, kde jsou umístěny ochranné pomůcky, lékárnička, hasicí přístroje a drobné vybavení, také je zde sociální zázemí. V

budově se nachází stanoviště vážného. Přivezený bioodpad se zváží na mostové váze, zapíše a zkontroluje obsluhou, jestli neobsahuje nežádoucí příměsi. Pak se uloží na určeném místě.

Sledování a řízení kvality biologických procesů při kompostování

Dodržení optimální teploty je důležité pro zajištění kvalitních životních podmínek žížal. Optimální teplota je 25 °C. Četnost měření se provádí dle potřeby pomocí tyčového teploměru. V případě dosažení teploty nad 30 °C je nutné tuto teplotu snížit závlahou hromady. Správná vlhkost je také ukazatel kvalitního průběhu vermikompostování. Kontrola vlhkosti se provádí orientační zkouškou – zmáčknutí kompostu v dlani, jež uvádím v kapitole 3.1.2.2.

Hodnocení a kontrola produktu

Kontrola a hodnocení je prováděno v souladu s vyhláškou č. 341/2008 Sb. Zajištění odběrů vzorků kompostu a jejich analýzu provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Kompostárna Strážnice má roční produkci hotového kompostu nad 1000 t a podle právních předpisů se provádí čtyři kontroly za rok.

Vedení evidence odpadů

Vedení evidence odpadů přijatých i odvážených ke konečnému využití se provádí na základě § 39 Zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech a podle § 21 Vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady. Zapisuje se do formulářů zde uvedených. Průběžná evidence se vede podle přílohy č. 20. Obsahuje: datum a číslo zápisu do evidence, jméno a příjmení osoby odpovědné za vedení evidence. Evidence se archivuje po dobu 5 let. Veškerá denní činnost jako je přikrmování žížal, zakládání hromad a příjem odpadů, se eviduje v provozním deníku. Eviduje se každá zakládka.

Produkt kompostárny

Produkt kompostárny Strážnice je registrované hnojivo s názvem „Vermikompost, organické hnojivo“. Registrace proběhla na základě zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech. Rozhodnutí o registraci číslo 4012 udělil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Obec Strážnice toto organické hnojivo používá na úpravu a hnojení veřejné zeleně. Dále je toto organické hnojivo nabízeno zájemcům z řad občanů města k použití na zahradách.

Možné negativní vlivy kompostárny

Kompostování bioodpadů může být při nedodržení technologické kázně zdrojem zápachu, TZL (tuhých znečišťujících látek), vyššího výskytu hmyzu a vyšších živočichů. Tyto negativní vlivy se dají výrazně eliminovat správným dodržováním kompostovacího procesu. Areál kompostárny je v dostatečné vzdálenosti od obytné zástavby a tak nedochází k obtěžování obyvatel Strážnice případným zápachem a hmyzem. Výskyt emisí TZL (tuhých znečišťujících látek) při absenci překopávání kompostu je téměř vyloučen. Emise TZL se omezeně vyskytují jen při prosévání proto, že se suší kompost lépe prosévá. Případné výluhy z kompostovací zakládky jsou jímány v bezodtokové jímce.

Strojní a technické vybavení vermikompostárny ve Strážnici

Kompostárna ve Strážnici používá k zajištění bezproblémového provozu následující strojní a technické vybavení:

- čelní kolový nakladač MANITOU MLT 741-120 turbo pro manipulaci s kompostem a navážení předkompostovaného materiálu na pásové hromady;
- bubnový prosévací třídič NOVER k finální přípravě hotového kompostu;
- tyčový vpichovací teploměr na sledování teploty v zakládce;
- čerpadlo s hadicí k zalévání hromad pro udržení vhodné vlhkosti;
- formou služby se používá rychloběžný drtič biomasy DOPPSTADT AK 635 s výkoností $21\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ pro drcení bioodpadu.

Obec Strážnice konkrétně pro potřeby kompostárny pořídila bubnový prosévací třídič, vyobrazený v příloze číslo 10, dále tyčový teploměr a čerpadlo. Čelní kolový nakladač obec používala již před vybudováním kompostárny. Rychloběžný drtič, vyobrazený v příloze číslo 11, je pro potřeby kompostárny zajištěn formou služby od externí firmy, většinou dvakrát do roka. Obec ještě vlastní malý drtič biomasy, který je využíván jen příležitostně a k drcení veškeré biomasy pro kompostárnu je nedostatečný.

4.1.3 Hodnocené produkty kompostáren

Pro hodnocení produktů sledovaných kompostáren byly odebrány vzorky ze dvou zakládek z každé kompostárny. První sada vzorků byla odebrána 4. 9. 2015 ve Slavkově z březnové zakládky připravené k expedici a 5. 9. 2015 ve Strážnici ze

zakládky z předchozího rok. Tyto vzorky byly 7. 9. 2015 předány na rozbor. Druhá sada vzorků byla odebrána 21. 11. 2015 ve Strážnici z části zakládky určené k odebrání a 25. 11. 2015 ve Slavkově z červencové zakládky, taktéž tyto vzorky byly předány 25. 11. 2015 na rozbor do laboratoře Mendelovy university v Brně.

Vzorky se odebíraly ze dvou zakládek z každé kompostárny. Odběr vzorků proběhl podle normy ČSN 465735 Průmyslové komposty, a to tak, že z kontrolované zakládky bylo odebráno 10 dílčích vzorků z hloubky 20 cm, tyto dílčí vzorky byly promíseny a metodou kvartace vzorku byl vytvořen průměrný vzorek přibližně o objemu 3 litry. Takto vzniklý vzorek byl uzavřen do plastového sáčku, který byl neprodyšně uzavřen a označen s údaji o kompostárně a o odebraném vzorku. Připravené vzorky kompostů byly dopraveny na rozbor do laboratoře Mendelovy university v Brně. Rozbory dodaných vzorků byly odborně provedeny Ing. Machů Ph.D.

4.1.4 Metodika hodnocení produktů kompostování a zařízení kompostáren

Výsledné produkty kompostování z obou sledovaných kompostáren budou hodnoceny podle vyhlášky 341/2008 O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Tato, vyhláška nám v příloze 5 udává, jaké jsou limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků, dále znaky jakosti rekultivačního kompostu a četnost provádění kontrol výsledného produktu kompostování.

Podle normy ČSN 465735 se budou provádět odběry vzorků hodnocených kompostů a dále se bude podle této normy stanovovat vlhkost, spalitelné látky a celkový dusík.

Tato norma přímo popisuje postup laboratorních zkoušek, které následně uvádím níže.

Odběr vzorků hotového kompostu

Postup odběru vzorků jsem popsal v předchozí kapitole.

Stanovení vlhkosti (sušiny)

Ze vzorku se odváží 20 g s přesností na $\pm 0,03$ g. Dále se tento vzorek suší v sušárně do konstantní hmotnosti při 105 °C, po vychladnutí v exsikátoru se vzorek zváží a vypočítá se % sušiny.

Stanovení spalitelných látek (ztráta žíháním)

Použijeme vysušený vzorek, který se rozmělní a beze zbytku proseje sítem s oky 0,5 mm, a dá se znovu vysušit asi na půl hodiny při 105 °C. Nechá se vychladnout v exsikátoru a poté se naváží 5 g vzorku na analytických vahách do vyžíhaného a zváženého spalovacího kelímku. Vzorek se v kelímku spálí nad plamenem a pak se vloží do pece, kde se spaluje při teplotě 550 °C, po vychladnutí v exsikátoru se vzorek

zváží.

Stanovení celkového dusíku

Dusík v různých formách se převede varem s kyselinou fenolsírovou a účinkem zinku za přítomnosti katalyzátoru na amoniak, který se po destilaci stanoví titračně. Do kjeldahlizační baňky se naváží 3 až 5 g upraveného vzorku (dle předpokládaného obsahu dusíku, aby v navážce bylo cca 60 mg N). Přidáme 30 ml kyseliny fenolsírové a po ochlazení přidáme 2 g práškového zinku a min. po 40 minutách 10 g katalyzátoru. Získaný destilát se titruje odměrným roztokem hydroxidu sodného na směsný indikátor.

Vlastní hodnocení zařízení sledovaných kompostáren provádím jen vzájemným porovnáním a posouzením jeho nezbytnosti pro správný průběh kompostovacího procesu.

Vyhláška č. 341/2008 Sb. nám pouze udává, jaké má být nezbytné vybavení kompostáren. Typ a velikost se určuje podle technologie a velikosti kompostárny.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Srovnání technologie a technického vybavení sledovaných kompostáren

Jak uvádí Hanč a Plíva (2013) je vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše nejjednodušší způsob vermikompostování, který je nenáročný na investice a techniku. Hromady není potřeba překopávat, jen se udržuje optimální vlhkost a pravidelně se přikrmují žížaly navrstvováním 20 až 30 cm čerstvého substrátu.

Porovnáním investičních a provozních nákladů klasického kompostování v pásových hromadách a vermikompostování taktéž v pásových hromadách se zabývali Hanč a Plíva (2013) a zjistili, že celkové náklady na vermikompostování jsou nižší, protože se nemusí investovat do překopávače a samotného překopávání. Tyto ušetřené náklady se investovaly do pořízení násady žížal. Ale vzhledem k tomu, že vermikompostovací cyklus je zhruba třikrát delší než u klasického kompostování, tak se i náklady na vermikompostování zvyšují. Jelikož se násada žížal pořizuje jen jednou při nastartování vermikompostování, náklady se postupně srovnají. Po určitém časovém období se náklady na vermikompostování oproti klasickému kompostování snižují

právě proto, že není nutné překopávání.

Takovéto finanční porovnání různých systémů kompostování je dost zavádějící, jelikož je zde mnoho proměnných faktorů, jež zkreslují, který z kompostovacích systémů je finančně výhodnější. Každý kompostovací systém je originální a mírně se odlišuje od druhého. Tyto faktory ovlivňují a zkreslují přesné určení nákladů na provoz sledovaných kompostáren. Vzhledem k tomu, že provoz v kompostárně Slavkov byl zahájen 24. dubna 2009 a ve Strážnici se provoz zahájil násadou žížal 1. listopadu 2012, došlo za toto období 3,5 roku k posunu pořizovacích cen. Dále se musí vzít v úvahu, že některé strojní vybavení bylo v majetku obcí ještě před výstavbou kompostáren. Využívá se nejen pro účely kompostárny. Navíc různé stroje mají různou spotřebu energií a náročnost na údržbu.

Nutně se musí vzít v úvahu, jak rozdělit a objektivně vyčíslit náklady na provoz pojízdného drtícího a míchacího vozu SEKO Samurai 5 taženého traktorem v obci Slavkov u Brna. Tento drtící vůz jezdí po obci, a tím provádí svoz bioodpadu, ale zároveň i drcení a homogenizaci tohoto bioodpadu, který poté ihned vyloží na pásovou hromadu na kompostárně. V obci Strážnice je svoz bioodpadu prováděn externí firmou, která provádí i svoz komunálního odpadu. Drcení bioodpadu v obci Strážnice se provádí také externí firmou, a to dvakrát do roka.

Další položkou, která se promítá, do nákladů na provoz kompostárny je výše mzdy pracovníků, která se může lišit. Zde se musí vzít v potaz i počet nasazených pracovníků, kteří se podílí na konkrétní činnosti spojené s kompostárnou.

Abychom mohli jednoznačně určit, který kompostovací systém je finančně výhodnější, musely by mít obě kompostárny stejné parametry stavebního vybavení, používat stejné stroje a zpracovávat stejný substrát ve stejném množství. *Proto nelze objektivně stanovit, jestli je finančně výhodnější vermikompostování v pásových hromadách nebo klasické kompostování v pásových hromadách ve sledovaných kompostárnách. Z tohoto důvodu se zaměřuji na strojní a technologické vybavení, které je nutné pro provoz kompostárny.*

Obě sledované kompostárny musí mít při kompostování bioodpadů nad 150 tun za rok (podle vyhlášky 341/2008 O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady) vodohospodářsky zabezpečenou plochu a jímku na zadržování srážkových vod. Jedná se o jednu z největších investic, která se odvíjí z nabídky dodavatelské firmy. Dále podle zákonných požadavků musí být objekt zabezpečen proti vstupu nepovolaných osob, kompostárna musí být vybavena také administrativní

budovou s prostorem pro obsluhu a pro uložení potřebných dokumentů, hasicích přístrojů a provozního deníku. Také je nutná váha na vážení bioodpadů za účelem jejich evidence a pro určení správného poměru složek.

Tab. 14: Porovnání vybavenosti kompostáren

	Klasické kompostování Slavkov u Brna	Vermikompostování Strážnice
Vodohospodářsky zabezpečená plocha	Ano	Ano
Záchytná jímka	Ano	Ano
Administrativní budova	Ano	Ano
Mostová váha	Ano	Ano
Přístřešky a sklady	Ano	Ano
Oplocení kompostárny	Ano	Ano

Administrativní budova je na kompostárně Slavkov řešena pomocí obytné buňky, na kompostárně Strážnice je tato budova součástí „Centra pro nakládání s odpady“.

Kompostárna Strážnice má klasickou mostovou váhu, v kompostárně Slavkov je nahrazena vážicím zařízením, které je zabudované přímo v pojízdném drtícím a míchacím voze SEKO Samurai 5.

Z tabulky 14 lze usoudit, že vybavenost pro obě kompostárny je stejná a bude se lišit jen drobnými rozdíly ve velikosti a použitým materiálem.

Vyhláška č. 341/2008 Sb., udává, jaké má být nezbytné vybavení kompostáren. Jde o: *zařízení ke sledování teploty, zařízení pro zvlhčování, a zařízení pro provzdušňování (překopávání)*. Ale výběr tohoto zařízení je odvislý od používané technologie kompostování, množství kompostovaného materiálu a od toho, jestli bude obec toto strojní vybavení používat i mimo kompostárnu. Přesto lze očekávat určité vybavení, které je pro správný provoz kompostárny nezbytný. Toto nezbytné základní strojní vybavení uvádím v tabulce 15, kde jeho nutnost porovnávám mezi oběma kompostárnami. Pro klasické kompostování je překopávač nezbytný k dosažení provzdušnění substrátu, u vermikompostování tuto úlohu přebírají samotné žížaly.

Drcení bioodpadů probíhá v kompostárně Slavkov u Brna přímo při svozu bioodpadu v pojízdném drtícím a míchacím voze SEKO Samurai 5, který je tažený

traktorem. Kompostárna Strážnice provádí drcení bioodpadu formou služby, většinou dvakrát ročně externí firmou a to rychloběžným drtičem biomasy DOPPSTADT AK 635.

Násada žížal se pořizuje jen při zakládání vermikompostování a při správně probíhajícím procesu se žížaly obnovují a rozmnožují samovolně.

Tab. 15: Nezbytné základní strojní a technologické vybavení

	Klasické kompostování Slavkov u Brna	Vermikompostování Strážnice
Překopávač kompostu	Ano	Ne
Drtič	Ano	Ano
Čelní nakladač	Ano	Ano
Násada žížal	Ne	Ano

Z tabulky 15 tedy vyplývá, že základní strojní vybavení je pro oba způsoby kompostování shodné, liší se pouze u způsobu provzdušňování. U klasického kompostování je nutný překopávač, u vermikompostování provzdušňují kompost žížaly.

Pro zajištění správného průběhu, monitorování a vyskladnění kompostu je nutné další vybavení a pomůcky, které jsou pro oba způsoby kompostování stejné. V tabulce 18 porovnávám vybavení obou kompostáren. Čerpadlo je nutné pro aplikaci kapaliny k zajištění vhodné vlhkosti a teploměr pro sledování průběhu teploty při procesu kompostování. Dále je nutné vybavení k odběru vzorků. Aby se mohl hotový kompost expedovat k dalšímu využití, je potřeba ho prosít prosévacím zařízením k oddělení příliš velkých částí, které se nestačily rozložit. K udržování čistoty a k drobné manipulaci s kompostem se používá ruční nářadí jako lopaty, hrábě, košťata a podobně.

Na obou kompostárnách se k vlhčení zakládky používá kapalina čerpaná ze záchytné jímky a pomocí hadice se ručně aplikuje na zakládku. K prosévání používají obě kompostárny téměř shodné zařízení jen s tím rozdílem, že ve Slavkově se k pohonu používá benzinová elektrocentrála, ve Strážnici se prosévací stroj připojuje přímo kabelem k síti. V obou kompostárnách uvádějí, že zvolené prosévací zařízení má nedostatky v nevhodně konstruované násypce, kde se vlhký kompost při nasypávání pomocí lžíce nakladače zhutní a dojde k ucpání hrdla násypky. V tom případě musí

obsluha lopatou postrkovat takto uvízlý kompost, nebo musí pomocí lopaty kompost ze lžíce nakladače postupně dávkovat, aby nedošlo k zahlcení násypky, což je zdlouhavé a fyzicky náročné.

Tab. 16: Vybavení pro správný průběh, monitorování a vyskladnění kompostu

	Klasické kompostování Slavkov u Brna	Vermikompostování Strážnice
Čerpadlo pro aplikování kapaliny k udržení optimální vlhkosti	Ano	Ano
Zapichovací teploměr	Ano	Ano
Vybavení k odběru vzorků	Ano	Ano
Lopaty, hrábě	Ano	Ano
Prosévací zařízení	Ano	Ano

Tabulka 16 nám udává, že vybavení pro monitorování, vlhčení a prosévání kompostu je pro oba způsoby stejné. Toto vybavení se bude lišit jen velikostí a dodavatelem.

Shrnutím celé kapitoly srovnání technologie a technického vybavení sledovaných kompostáren, jsem došel k názoru, že veškeré strojní, technické a stavební vybavení je pro oba způsoby kompostování téměř shodný. U vermikompostování se nepoužívá překopávač, ale je vykompenzován nutností pořízení násady žížal.

5.2 Porovnání výsledného produktu obou kompostáren

Obě kompostárny mají svůj kompost registrovaný jako hnojivo. Pro tuto registraci si obě kompostárny nechaly udělat analýzu, kterou provedl Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Obě kompostárny se svými produkty vyhověly zákonu o hnojivech č. 156/1998 Sb., a platnému znění přílohy č. 1 k vyhlášce č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů a byl jim udělen certifikát pro registrované hnojivo.

V následujících tabulkách 17 a 18 uvádím výsledky těchto analýz kompostů ve srovnání s požadavky normy ČSN 465735 Průmyslové komposty, jak se provedly při registraci kompostů na hnojivo.

Tab. 17: Kompostárna Strážnice (Převzato z protokolu registrace hnojiva)

Vermikompost z kompostárny Strážnice			
Chemická a fyzikální vlastnost	Požadovaná hodnota		Výsledky analýz
Vlhkost v %	od - do	40,0 – 65,0	56,6
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min.	25	29,6
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min.	0,6	1,2
Hodnota pH	od - do	7,0 – 9,5	8,5
Poměr C:N	max.	30	13
Nerозložitelné příměsi v %	max.	5	nestanoveno

(pokračování tabulky 17)

Vermikompost z kompostárny Strážnice			
Rizikové prvky	Limitní hodnota		Výsledky analýz
Arsen v mg As·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	20	4,65
Kadmium v mg Cd·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	2	0,323
Chrom v mg Cr·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	100	23,1
Měď v mg Cu·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	150	40,6
Rtuť v mg Hg·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	1	0,082
Molybden v mg Mo·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	20	1,26
Nikl v mg Ni·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	50	17,2
Olovo v mg Pb·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	100	21,2
Zinek v mg Zn·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	600	190

Tab. 18: Kompostárna Slavkov u Brna (Převzato z protokolu registrace hnojiva)

Kompost z kompostárny Slavkov u Brna			
Chemická a fyzikální vlastnost	Požadovaná hodnota		Výsledky analýz
Vlhkost v %	od - do	40,0 – 65,0	30,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min.	25	26,4
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min.	0,6	1,3
Hodnota pH	od - do	7,0 – 9,5	8,42

Poměr C:N	max.	30	10,2
Nerозložitelné příměsi v %	max.	5	nestanoveno

(pokračování tabulky 18)

Kompost z kompostárny Slavkov u Brna			
Rizikové prvky	Limitní hodnota		Výsledky analýz
Arsen v mg As·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	20	6,09
Kadmium v mg Cd·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	2	0,48
Chrom v mg Cr·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	100	26,6
Měď v mg Cu·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	150	37,7
Rtuť v mg Hg·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	1	0,109
Molybden v mg Mo·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	20	<2,50
Nikl v mg Ni·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	50	22,8
Olovo v mg Pb·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	100	23
Zinek v mg Zn·kg ⁻¹ vysušeného vzorku	max.	600	164

Vedle těchto rozborů, který provedl Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský při registraci kompostu na hnojivo, byly dále v laboratoři Mendelovy university provedeny laboratorní analýzy odebraných vzorků kompostu z obou kompostáren. Tyto vzorky byly odebrány ze dvou zakládek kompostu z každé kompostárny na stanovení sušiny, ztrátu žiháním a na procentuální obsah dusíku v sušině.

Analýza dvou vzorků ze Strážnice:

Vzorek č. 1

sušina 63,68 %, což znamená 36,32% vlhkost;

ztráta žiháním nám udává 31,87 % spalitelných látek v sušině;

dusík v % sušiny 0,81 %

Vzorek č. 2

sušina 59,91 %, což znamená 40,09% vlhkost;

ztráta žiháním nám udává 31,50 % spalitelných látek v sušině;

dusík v % sušiny 0,96 %

Při porovnání obou vzorků je zjištěna nižší vlhkost kompostu, která je zapříčiněna tím, že hotový vermikompost je uskladněn v přístřešku. Průměr z obou vzorků je 38,2% vlhkost, což je 1,8 % pod požadavkem. Hodnota spalitelných látek je u obou vzorků v požadovaném limitu a průměrná hodnota z těchto vzorků je 31,68 %. Celkový dusík je u obou vzorků v limitu a průměrná hodnota těchto vzorků je 0,89 %.

I v kompostárně Slavkov u Brna byly odebrány dva vzorky kompostu a podrobeny analýze na stanovení sušiny, ztrátu žíháním a na procentuální obsah dusíku v sušině.

Analýza dvou vzorků kompostu ze Slavkova u Brna:

Vzorek č. 3

sušina 61,95 %, což znamená 38,05% vlhkost;
ztráta žíháním nám udává 31,16 % spalitelných látek v sušině;
dusík v % sušiny 0,92 %.

Vzorek č. 4

sušina 58,85 %, což znamená 41,15% vlhkost;
ztráta žíháním nám udává 32,14 % spalitelných látek v sušině;
dusík v % sušiny 1,04 %.

Při porovnání vzorků ze Slavkova je pod číslem 3 nižší vlhkost, než je požadováno, ale u vzorku s číslem 4 je vlhkost v limitu. Průměr z obou vzorků je 39,6% vlhkost, to jest 0,4% pod stanoveným požadavkem. Spalitelné látky jsou v požadovaném limitu a průměrná hodnota obou vzorků je 31,65 %. Celkový dusík je u obou vzorků ve stanoveném limitu a průměrná hodnota z obou vzorků je 0,98 %.

Z laboratorních rozborů vzorků z obou kompostáren, které jsou podrobně rozepsány v kapitole 7.1.3, vyplývá, že spalitelné látky jsou v požadovaném limitu. Hodnoty dusíku jsou také u obou kompostáren téměř shodné. Nižší vlhkost kompostu ve Strážnici je ovlivněna tím, že je kompost uskladněn pod přístřeškem. Podle vyjádření obsluhy z obou kompostáren je sušší kompost výhodnější pro prosévání, protože nedochází k ucpávání násypky prosévače.

Při shrnutí poznatků z kapitoly Porovnání výsledného produktu obou

kompostáren jsem došel k závěru, že oba produkty jsou shodné v požadavcích právních norem na množství rizikových prvků a na znaky jakosti kompostů.

5.3 Porovnání eliminací nežádoucích příměsí

Obě sledované kompostárny zpracovávají shodný vstupní materiál i se shodných lokalit. Jak kompostárna Slavkov tak i kompostárna Strážnice udržují zámecké parky a veřejná prostranství. Dále obě kompostárny zpracovávají bioodpad ze zahrad občanů města. Zde je největší riziko kontaminace bioodpadu nežádoucí příměsí. Tyto příměsi jsou z pohledu kompostování nežádoucí a některé z nich mohou být až nebezpečné pro správný průběh kompostovacího procesu. Kompostárna Slavkov u Brna tyto případné příměsi eliminuje tím, že zaměstnanci technických služeb města, kontrolují bioodpad získaný od občanů při vhazování nebo vsypávání do pojízdného drtícího a míchacího vozu SEKO Samurai 5 při svozu těchto bioodpadů. Přímý dovoz bioodpadů na kompostárnu je kontrolován obsluhou kompostárny.

Kompostárna Strážnice řeší tento problém s nežádoucími příměsemi tak, že svozová firma kontroluje kontejnery před vsypáním do svozového vozu. Systém kontroly na nežádoucí příměsi je v kompostárně Slavkov u Brna účinnější proto, že ji provádějí přímo zaměstnanci obce a kontrolují celý objem vstupní suroviny. V kompostárně Strážnice tuto kontrolu provádí zaměstnanci svozové firmy a to ještě tak, že kontrolu provádí jen ve vrchní části kontejneru a zbytek obsahu nekontrolují. Tak se do kompostárny dostávají nežádoucí příměsi ve vstupní surovině. Zaměstnanci kompostárny prohlédnou vysypaný obsah svozového vozu přímo na kompostárně a dotřídí případné příměsi.

Vermikompostovací technologie ve Strážnici je náchylná na amoniak NH_3 který je v koncentraci nad 0,1 % pro žížaly již smrtelný, další nebezpečí pro žížaly taktéž představují rezidua pesticidů, organické polutanty a možné znečištění chemickými látkami. Další nevýhodou je to, že vermikompostování jednodruhového bioodpadu převážně aromatických surovin jako je odpad z cibule, česneku a dalších, vede k nedokonalému procesu a zpomalení vermikompostování vlivem horšího zpracování

těchto surovin žížalami.

Oproti vermikompostování má standardní kompostovací proces ve Slavkově tu výhodu, že snese i slabší příměsi nebezpečných látek a větší podíl jednodruhového aromatického bioodpadu.

6 ZÁVĚR

Ve své práci jsem se zaměřil na porovnání zařízení pro vermikompostování na kompostárně ve Strážnici a kompostování v pásových hromadách na kompostárně ve Slavkově a výsledného produktu z nich. Po podrobném literárním přehledu, v němž je představena podstata kompostování a jednotlivé kompostovací technologie, detailně popisují vermikompostování a různé technologie tohoto způsobu kompostování. V oddíle „Vlastní práce“ je pak pojednáno o sledovaných kompostárnách, odběru vzorků a metodice hodnocení produktů kompostování. Důraz je kladen na strojní, technické a technologické vybavení a výsledný produkt kompostáren. Je také částečně pojednáno o ekonomické stránce projektů.

U strojního, technického a technologického vybavení jsou sice rozdíly, ale nezbytná nutnost pořízení tohoto technického a technologického vybavení poukazuje na to, že i investiční náklady budou shodné pro oba způsoby kompostování. Ve Strážnici sice nemají překopávač, ale na druhé straně museli pořídit násadu žížal, čímž se tyto náklady srovnají se Slavkovem u Brna.

Protože délka vermikompostovacího cyklu je oproti klasickému kompostování přibližně 3,3 krát delší a zdržení surovin na kompostárně se výrazně prodlouží, zvednou se tím i náklady na vermikompostování. Z delšího časového úseku se dá usoudit, že při absenci překopávání se náklady na vermikompostování sníží oproti klasickému kompostování, kde je nutné opakované překopávání.

Klasický proces kompostování v pásových hromadách je vhodný pro rychlé a jednoduché zpracování velkého množství bioodpadů pomocí relativně jednoduchého strojního vybavení. V současné době je tato metoda využívána nejvíce. U vermikompostování v pásových hromadách se dá předpokládat větší prostorová a časová náročnost u tohoto způsobu kompostování v důsledku delšího zdržení zpracovávaného materiálu na ploše kompostárny, ale tato náročnost je vykompenzována

nižší pracností. Z toho se dá usoudit, že vermikompostování je technicky a pracovně výhodnější než klasické kompostování. Nevýhodami se jeví vyšší citlivost žížal na nežádoucí látky a 3,3 krát delší doba kompostování a s tím spojené nároky na využití plochy kompostárny. Nicméně vermikompostování se dá použít v širokém spektru zpracovávaného množství bioodpadu a to od domácího vermikompostování až po zpracování 2000 tun ročně v průmyslových vermikompostárnách.

Shrnutím předchozích poznatků se dá říct, že pro kompostárny stejné velikosti, pro obě technologie kompostování v pásových hromadách je stavební vybavení shodné a bude se jen lišit množstvím a druhem použitého materiálu. Taktéž technologické vybavení

obou kompostáren je téměř shodné až na způsob provzdušňování. Z toho se dá usoudit, že mezi klasickým kompostováním a vermikompostováním v pásových hromadách na vodohospodářsky zabezpečené ploše o stejné velikosti kompostáren při použití podobných stavebních materiálů a podobné techniky není výrazný rozdíl. Výsledky rozborů vzorků hotových kompostů na rizikové prvky a znaky jakosti kompostu prokázaly, že obě kompostovací metody jsou v tomto ohledu shodné.

7 Seznam použité literatury

[1] Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J., 2006: C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. *European Journal of Soil Biology* Volume 42, Supplement 1, November 2006, Pages S127–S131

Dostupné

na:

<http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=cf276b42-e0bd-4723-a821-7bcd0b9009a5%40sessionmgr4001&hid=4102>

(<http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/10/C-to-N-ratio-strongly-affects-population-structure-of-E-fetida-in-vermicomposting-systems.pdf>)

[2] Altmann, V., Badalíková, B., Bartlová, J., Burg, P., Hůla, J., Jelínek, A., Kovaříček, P., Mimra, M., Plíva, P., Pospíšilová, L., Roy, A., Vlášková, M., Zemánek, P., 2013: *Využití kompostu pro optimalizaci vodního režimu v krajině*. ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad oslavou, 101 s., ISBN 978-80-87226-26-1

[3] Červená, K., Lyčková, B., Beneš, J., 2014: *Využití biologicky rozložitelných odpadů při výrobě rekultivačních substrátů*. Hornické sympozium 2014, Zahlazování následků hornické činnosti v ČR. Příbram. Dostupné na: <http://slon.diamo.cz/hpvt/2014/Z/Z%2004.pdf>

[4] Dominguez, J., Edwards, C.A., Subler, S., 1997: *A Comparison of Vermicomposting and Composting*. Dostupné na: <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2016/04/Comparison%20of%20vermicomposting%20and%20composting.pdf> *BioCycle; Apr97, Vol. 38 Issue 4, p57*

[5] Groda, B., 1995: *Technika zpracování odpadů*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 260 s., ISBN 80-7157-164-4

- [6] Hanč, A., Plíva, P., 2013: *Vermikompostování bioodpadů*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 35 s. ISBN: 978-80-213-2422-0
- [7] Hejátková, K., Dvorská, I., Jalovecký, J., Kohoutek, A., Kollárová, M., Mičánková, K., Plíva, P., Valentová, L., Vorlíček, Z., 2007: *Kompostování přebytečné travní biomasy*, ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad Oslavou, 77 s., ISBN 80-903548-6-6
- [8] Hejátková, K., Jelínek, A., Macourek, M., Novák, P., Ostratický, R., Plíva, P., Šrefl, J., Vostál, D., Vostoupal, B., Zemánek, P., Zimová, M., 2003: *Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním kompostováním*, Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 64 s., ISBN 80-238-9749-7
- [9] Hlavatá, M., 2004: *Odpadové hospodářství*. VŠB, Ostrava, 174s., ISBN 80-248-0737-8.
- [10] Chudárek, T., Čech, L., Doležal, T., Horsák, Z., Kuchaříková, M., Mitošinka, J., Nejedlý, S., Špičák, P., Toman, M., Truchlík, M., Vysloužil, L., 2013: *Odpadové hospodářství v praxi*, Masarykova univerzita v Brně, Brno, 158 s., ISBN 978-80-210-6601-4
- [11] Juchelková, D. & Raclavská, H., 2009: *Energetické využití biomasy*. Databáze online [cit. 2015-02-17]. Dostupné na:
<http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Index.html>
- [12] Junga, P., Vítěz, T., Vítězová, M., Geršl, M., 2015: *Technika pro zpracování odpadů II*, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 156 s.
- [13] Kalina, M., 2004: *Kompostování a péče o půdu*. Grada, Praha, 116 s. ISBN 80-247-0907-4.
- [14] Kollárová, M., Altmann, V., Jelínek, A., Plíva, P., 2008: *Zásady pro zpracování zbytkové biomasy z údržby TTP*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha, 35 s. ISBN 978-80-86884-32-5
- [15] Paleček, R., 2011: Zařízení pro měření teplot kompostu. Biom.cz. Databáze online [cit. 2014-08-09]. Dostupné na: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zarizeni-pro-mereni-teplot-kompostu>>. ISSN: 1801-2655.
- [16] Plíva, P., Využití biomasy rostlinného původu kompostováním. In: VÚZT. CZ [online]. [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/doporuc/ekolog/pliva.pdf>
- [17] Plíva, P., Banout, J., Habart, J., Jelínek, A., Kollárová, M., Roy, A., Tomanová,

D., 2006: *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*, Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 65 s., ISBN 80-86884-11-2

[18] Plíva, P., Kollárová, M., *Technika pro kompostování zemědělských odpadů*. Dostupné na:

<http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/clanky/zivotniprostredi/0511kompost.pdf?menuid=153>

[19] Suthar, S., 2010: Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering* 36, 1028-1036

Dostupné 26.3.2015 z http://www.zpsmarmara.com/en_ar-ge/ZPS-ARGE7.pdf

[20] Šrefl, J., 2009: Řízená biotechnologie kompostování a úloha sekce kompostárenství CZ BIOM pro její aktivaci, s. 22-24. In: Šedivá, Z., „ed.“: *Co se zbytkovou biomasou v zemědělství – hnojivo, energie, suroviny?*, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., s., 66, ISBN 978-80-86884-45-5

Dostupné na <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2009/146.PDF> 2. 2. 2015.

[21] Tesařová, M., Filip, Z., Szostková, M., Morscheck, G., 2010: *Biologické zpracování odpadů*. Mendelova universita, Brno. ISBN 978-80-7375-420-4

[22] Tharmaraj, K., et. al., 2011: *Vermicompost – A Soil Conditioner cum Nutrient Supplier*. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives* 2011; 2(6):1615-1620. [ISSN 0976 – 3333](http://www.ijpba.info)

Dostupné na <http://www.ijpba.info/ijpba/index.php/ijpba/article/view/472>

[23] Vrba, V., Huleš, L.: *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda*. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.

[24] Zajonc, I., 1992: *Chov žížal a výroba vermikompostu*, Animapress, Povoda, 64 s., ISBN 80-85567-07-5

[25] Zemánek, P., 2001: *Speciální mechanizace - mechanizační prostředky pro kompostování*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 114 s., ISBN 80-7157-561-5

[26] *Zelená kniha o nakládání s biologickým odpadem v Evropské unii*, 2008: [cit. 2015-02 -20]. Dostupné na:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:CS:PDF>

[27] Technická norma ČSN 465735 „Průmyslové komposty“

8 Seznam tabulek

- Tab. 1: Poměry C : N u kompostovaných materiálů. (Juchelková et al., 2009)
- Tab. 2: Rozsahy teplot podle spektra převládajících druhů mikroorganismů. (Hejátková, et al., 2007 str. 15)
- Tab. 3: Tabulka určení stability kompostu pomocí samozáhřevného testu. (Plíva 2006, str. 28)
- Tab. 4: Hodnota indexu klíčivosti ve vztahu k stabilitě kompostu. (Plíva, 2006 str. 33)
- Tab. 5: Znak jakosti průmyslového kompostu podle ČSN 465735
- Tab. 6: Změny v počtech a aktivitě půdních mikroorganismů po průchodu trávícím traktem žížal. (Tesařová, 2010 str. 48)
- Tab. 7: Nároky žížal na podmínky prostředí. (Tesařová, 2010 str. 49)
- Tab. 8: Obsah mikroorganismů ve vermikompostu. (Zajonc, 1992)
- Tab. 9: Obsah růstových regulátorů ve vermikompostu. (Zajonc, 1992)
- Tab. 10: Srovnání počtů mikroorganismů. (Převzato a upraveno od Tharmaraj et al. 2011)
- Tab. 11: Obsah živin v kompostu v % sušiny. (Kalina, 2004 str. 61)
- Tab. 12: Zpracováváný bioodpad v kompostárně Slavkov. (Provozní řád kompostárny)
- Tab. 13: Zpracováváný bioodpad v kompostárně Strážnice. (Provozní řád kompostárny)
- Tab. 14: Kompostárna Strážnice
- Tab. 15: Kompostárna Slavkov u Brna
- Tab. 16: Porovnání používané infrastruktury
- Tab. 17: Nezbytné základní strojní a technologické vybavení
- Tab. 18: Vybavení pro správný průběh, monitorování a vyskladnění kompostu

9 Seznam obrázků

- Obr. 1: Průběh teploty při kompostování v pásových hromadách. (Kollárová et al., 2008 str. 15)
- Obr. 2: Orientační zkouška vlhkosti. (Kollárová, et al., 2008 str. 17)
- Obr. 3: Rozmístění mikroorganismů podle průběhu teploty při kompostovacím procesu. (Paleček, 2011)

- Obr. 4: Optimální průběh teploty při kompostování dle ČSN 456735. (Plíva, et al., 2006)
- Obr. 5: Sankeyův diagram pro proces kompostování. (Juchelková & Raclavská, 2009)
- Obr. 6: Schéma funkce pásových zakládek s pasivním provzdušňováním. (Junga et al. 2015)
- Obr. 7: Schéma funkce pásových zakládek s aktivním provzdušňováním. (Junga et al. 2015)
- Obr. 8: Schéma domácího vermikompostéru. (Hanč a Plíva 2013)
- Obr. 9: Schéma Dvoumodulového vermireaktoru. (Hanč a Plíva 2013)
- Obr. 10: Kompostárna Slavkov u Brna. (autor: Lánský TSMS)
- Obr. 11: Pásová hromada vermikompostu a přístřešek pro hotový vermikompost v kompostárně Strážnice (foto autor)

10 Seznam příloh

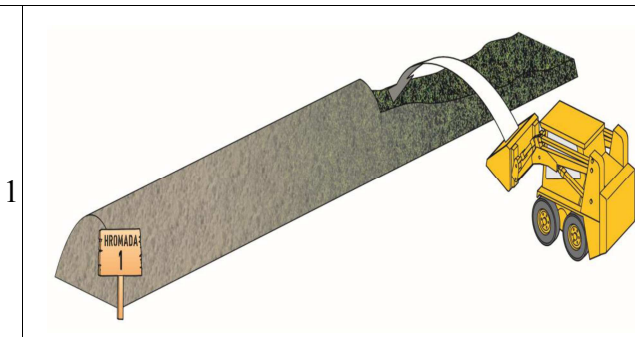
- Příloha 1: Domácí vermikompostéry (vlevo plastový, vpravo dřevěný). (Hanč a Plíva, 2013)
- Příloha 2: Způsob vermikompostování v pásových hromadách. (Převzato a upraveno Hanč a Plíva 2013 str. 12)
- Příloha 3: Dvoumodulový vermireaktor v rozpojeném stavu s hlavním řídicím panelem (Hanč a Plíva 2013)
- Příloha 4: Vermireaktor se souvislým procesem (Hanč a Plíva 2013)
- Příloha 5: Složení vermikompostu. (Tharmaraj et al. 2011)
- Příloha 6: Pojízdny drtící a míchací vůz SEKO Samurai 5 (autor: Lánský TSMS)
- Příloha 7: Překopávač kompostu SANDBERGER CMC-ST-250 (autor: Lánský TSMS)
- Příloha 8: Bubnový prosévací třídič NOVER BP (autor: Lánský TSMS)
- Příloha 9: Pásové hromady vermikompostu v kompostárně Strážnice (foto autor)
- Příloha 10: Bubnový prosévací třídič NOVER (foto autor)
- Příloha 11: Rychloběžný drtič DOPPSTADT AK 635 (ilustrační foto http://www.profistroje.cz/rychlomezny-drtic-doppstadt-ak-635-sa_3811.html)
- Příloha 12: Chemická analýza vermikompostu. (Zajonc, 1992)

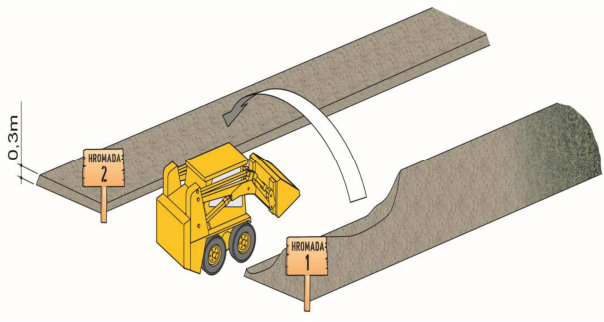
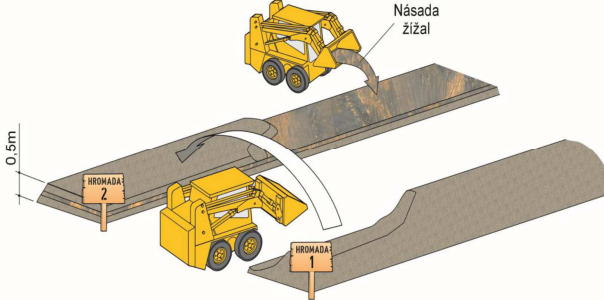
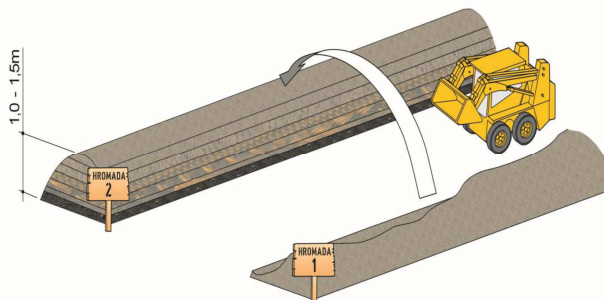
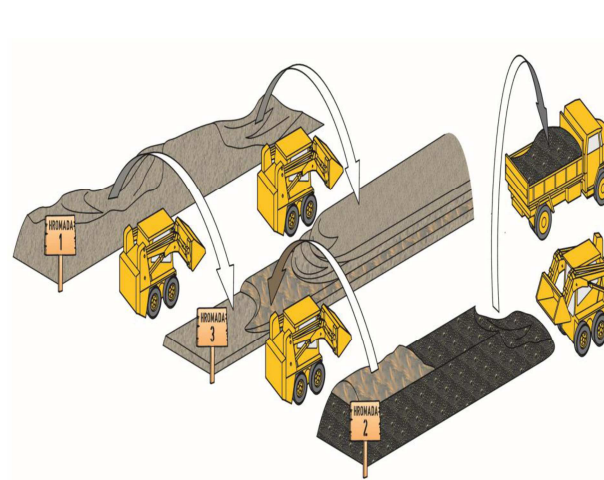
Přílohy

Příloha 1: Domácí vermikompostéry (vlevo plastový, vpravo dřevěný). (Hanč a Plíva, 2013)



Příloha 2: Způsob vermikompostování v pásových hromadách. (Převzato a upraveno Hanč a Plíva 2013 str. 12)

Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše	
	<p>Podrcený a zhomogenizovaný bioodpad je pomocí čelního kolového nakladače založen do pásové hromady č. 1, bez násady kalifornských žízal.</p> <p>V hromadě č. 1 proběhne první fáze kompostovacího procesu – (zahřátí a hygienizace) s vysokými teplotami které jsou pro žízaly nepřijatelné.</p>

<p>2</p> 	<p>Po průběhu zahřátí jsou zpracovávané suroviny z jednoho konce hromady č. 1 čelním nakladačem odebírány a využity pro založení hromady č. 2 – na její podkladní vrstvu.</p> <p>Hromada č. 1 je dle potřeby z druhé strany doplňována novým bioodpadem.</p>
<p>3</p> 	<p>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.</p> <p>Po založení by měla být celková výška pásové hromady č. 2 max. 0,5 m.</p>
<p>4</p> 	<p>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.</p> <p>Nutným předpokladem pro další případné vrstvení je monitorování teploty uvnitř pásové hromady č. 2 a dodržení max. přípustné teploty 35 °C.</p>
<p>5</p> 	<p>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.</p> <p>Po odebrání veškerých surovin s násadou kalifornských žížal z hromady č. 2 je možno hotový vermikompost vyskladnit.</p> <p>Tímto postupem je zajištěn nepřetržitý provoz zpracovávání bioodpadů bez nutnosti dodatečných nákladů za další dodávku násady kalifornských žížal.</p>

Příloha 3: Dvoumodulový vermireaktor v rozpojeném stavu s hlavním řídicím panelem



(Hanč a Plíva 2013)

Příloha 4: Vermireaktor se souvislým procesem. (Hanč a Plíva 2013)



Příloha 5: Složení vermikompostu. (Tharmaraj et al. 2011)

Humus	30-50%
N	0,72%
K	0,74%
C	40-57%
H	4-8%
O	33-54%
pH	4-9
C/N	20/1

Příloha 6: Pojízdný drtící a míchací vůz SEKO Samurai 5 (autor: Lánský TSMS)



Příloha 7: Překopávač kompostu SANDBERGER CMC-ST-250 (autor: Lánský TSMS)



Příloha 8: Bubnový prosévací třídič NOVER BP (autor: Lánský TSMS)



Příloha 9: Pásové hromady vermikompostu v kompostárně Strážnice (foto autor)





Příloha 10: Bubnový prosévací třídič NOVER (foto autor)

Příloha 11: Rychloběžný drtič DOPPSTADT AK 635 (ilustrační foto
http://www.profistroje.cz/rychlobezny-drtec-doppstadt-ak-635-sa_3811.html)



Příloha 12: Chemická analýza vermikompostu. (Zajonc, 1992)

Obsah látek	
Voda	51,60 %
pH	6,5
C (celkový)	16,78 % suché hmotnosti
C (neorganický)	1,37
N (celkový)	1,63
N (-NO ₃)	0,4
P (celkový)	0,92
P (-PO ₄)	0,14
K (K ₂ O)	1,16
Ca (celkový)	8,6
Ca (přijatelný)	0,14

Mg (celkový)	2,51
Mg (přijatelný)	0,45
Na	3,03
Fe	910,10 $\mu\text{g}/1\text{g}$ suché hmotnosti ($\mu\text{g} = \text{mikrogram} - 10^{-6} \text{g}$)
Mn	218,4
Cu	7,2
B	0,35
Zn	68,3