

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Zpracování biologicky rozložitelných zbytků  
z potravinářského průmyslu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Barbora Jindrová**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.**

**Konzultant práce: Ing. Tereza Částková**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Zpracování biologicky rozložitelných zbytků z potravinářského průmyslu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18. 4. 2017

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Aleši Hanči, Ph.D. za jeho cenné rady, pomoc a věnovaný čas při vedení diplomové práce a konzultantce Ing. Tereze Částkové. Dále bych chtěla poděkovat celé mé rodině a přítelovi za trpělivost a podporu v nejtěžších chvílích a to nejen během psaní diplomové práce a mého studia.

# Zpracování biologicky rozložitelných zbytků z potravinářského průmyslu

## Souhrn

Cílem mé diplomové práce „Zpracování biologicky rozložitelných zbytků z potravinářského průmyslu“ bylo posoudit vhodnost vermikompostování sladovnického kalu. Tento kal pochází s procesu čištění odpadní vody. Dílčí cíle byly stanoveny: zda se využití metody vermikompostování pro zpracování kalů ze sladoven jeví jako vysoce efektivní, zda spodní část profilu vykazuje lepší agrochemické vlastnosti a stupeň zralosti než vrchní část, zda bude nejvyšší biomasa žížal v horní vrstvě.

Celý pokus byl realizován ve vesnici Veliby u Nymburska, u Pokorný a Vykář a.s.. Pokus trval 12 měsíců a odběr vzorků byl proveden 16. 5. 2016. Bylo odebráno 5 vrstev po 4 opakování. Varianta I obsahovala substrát z hnoje a matoliny, varianty II – V obsahovala směs různého bioodpadu. Směs různého bioodpadu obsahovala sladovnický kal (20% z celku), štěpku, slámu, jablka, trávu, makovinu. Pro vermikompostování jsme použili žížaly rodu *Eisenia*.

Vývoj pH byl pro každou variantu určitý a bylo ovlivněno obsahem různého bioodpadu ve variantách. Nejnižší pH bylo zaznamenáno ve variantě II a nejvyšší ve variantě V. Měrná vodivost (EC) byla nejvyšší u varianty II. Poměr C/N byl největší ve vrchní vrstvě, to značí vysoký stupeň stabilizace vzniklého vermikompostu. Obsahy jednotlivých forem dusíku se výrazně lišily v konečných produktech vermikompostů. U všech variant se projevil nárůst makroprvků (P, K a Mg). Spodní vrstva se ukázala jako zcela odlišná od ostatních vrstev. Nejlépe se žížalám vedlo ve variantě V.

Lze tedy potvrdit, že kal ze sladoven je vhodný pro zpracování pomocí žížal a tím je i využitelný k zemědělským účelům jako plnohodnotné hnojivo.

**Klíčová slova:** Potravinářské zbytky; sladovnický kal; sláma; vermikompostování

# Processing of biodegradable residues from food industry

## Summary

The aim of my thesis "Development of biodegradable residues from the food industry" was to assess the suitability of vermicomposting malting sludge. The sludge comes with the waste water treatment process. Sub-objectives were determined: whether the use of vermicomposting methods for treatment of sludge from malt appears to be highly effective if the lower part of the profile exhibits improved agrochemical properties and degree of maturity than the upside, if the highest earthworm biomass will be in the upper layer.

The entire experiment was conducted in a village near Nymburk Velib, u Pokorný and Vykář a.s.. It lasted 12 months and sampling was made 16. 5. 2016. It was removed after 4 to 5 layers repetition. Variant I contained substrate and manure marc Option II - V comprised a mixture of various biowaste. The mixture of different organic waste sludge containing malt (20% of total), wood chips, straw, apples, grass, poppy. We used for vermicomposting earthworm species Eisenia.

pH development for each variant was certain, and was influenced by the content of bio-waste in various versions. Lowest pH was observed in the variant II, and the highest in the variant V. Various forms of nitrogen contents varied considerably vermicompost end products. For all variants showed an increase of macro- (P, K and Mg). The bottom layer has proved to be quite different from the other layers. Top with earthworms resulted in variant V.

It can therefore confirm that the sludge from the malt is suitable for processing using earthworms and thus is usable for agricultural purposes as a complete fertilizer.

**Keywords:** Food residues; malting sludge; straw; vermicomposting

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a vědecká hypotéza</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Biologicky rozložitelný odpad</b>	<b>4</b>
3.1.1	Možnosti využití BRO	5
3.1.1.1	Anaerobní digesce	5
3.1.1.2	Anaerobní fermentace	5
3.1.2	Možnosti využití BRKO	6
<b>3.2</b>	<b>Zbytky s potravinářského průmyslu</b>	<b>6</b>
<b>3.3</b>	<b>Kompostování</b>	<b>7</b>
3.3.1	Podmínky kompostování	8
	Vlhkost	8
	Teplota	9
	Vzduch	9
	Uhlík a dusík	9
3.3.2	Fáze kompostování	10
<b>3.4</b>	<b>Kompostování v kompostérech</b>	<b>11</b>
<b>3.5</b>	<b>Vermikompostování</b>	<b>12</b>
3.5.1	Počátky vermikompostování	13
3.5.2	Podmínky vermikompostování	13
	pH	14
	teplota	14
	vlhkost	14
	C:N poměr	15
	hustota osazení žížal	16
3.5.3	Metody vermikompostování	16
3.5.4	Postup vermikompostování	17
<b>3.6</b>	<b>Rozdělení vermikompostu</b>	<b>19</b>
<b>3.7</b>	<b>Výhody a nevýhody vermikompostování</b>	<b>19</b>
<b>3.8</b>	<b>Srovnání klasického kompostování a vermikompostování</b>	<b>20</b>
3.8.1	Suroviny vhodné pro vermikompostování	21
<b>3.9</b>	<b>Žížaly</b>	<b>21</b>
3.9.1	Žížaly k produkci vermikompostu	22
3.9.1.1	Žížala hnojní ( <i>Eisenia foetida</i> )	22

3.9.1.2	Žížala kalifornská ( <i>Eisenia andrei</i> ) .....	23
<b>3.10</b>	<b>Zbytky a odpady sladovnického průmyslu .....</b>	<b>23</b>
3.10.1	Výčist (zadní ječmen, zadina) .....	23
3.10.2	Splávky .....	24
3.10.3	Sladový květ .....	24
3.10.4	Odpadní máčecí vody .....	24
3.10.5	Omletky .....	25
3.10.6	Sladové prachy a slupky .....	25
<b>3.11</b>	<b>Ostatní odpad a zbytky .....</b>	<b>25</b>
3.11.1	Sláma .....	25
3.11.2	Štěpka .....	25
3.11.3	Makovina .....	26
3.11.4	Chlévský hnůj .....	26
3.11.5	Matolina .....	26
3.11.6	Jablečný výlisky .....	27
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Popis pokusu .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Agrochemické a biologické analýzy .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Statistická analýza .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuze .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Sušina .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2</b>	<b>pH a vodivost .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Obsah makroprvků .....</b>	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>Celkový obsah uhlíku a dusíku, poměr C:N .....</b>	<b>34</b>
<b>5.5</b>	<b>Dusík .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6</b>	<b>Mikroorganismy .....</b>	<b>36</b>
<b>5.7</b>	<b>Žížaly v průběhu vermikompostu .....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>40</b>



# 1 Úvod

Odpady provázejí lidskou společnost od nepaměti. S rostoucím počtem obyvatel na Zemi a s jejich zvyšujícími se spotřebními nároky roste i množství a škodlivost odpadů. Příroda si s nimi není schopna sama poradit jako před sto lety, kdy se odpady vyvážely za město nebo obydli a tam byly ponechány přírodě. Tehdy odpady nepředstavovaly takovou hrozbu pro životní prostředí a zdraví lidí, neboť byly z přírodního materiálu, který se rozložil za pár let. Tomuto neblahému trendu se snaží lidská činnost v současné době zabránit a dopady produkce odpadů všeobecně minimalizovat.

Potravinářský průmysl denně zatěžuje naši zemi nepřebornými typy odpadů a zbytků, avšak některé typy těchto odpadů a zbytků se daří v dnešní době využít pro jejich další uplatnění například v zemědělské výrobě (Kompostuj, 2011)

Tímto, ne v dnešní době moc rozšířeným typem biologicky zpracování potravinářských zbytků je vermikompostování, kdy dochází k rozkladu organického materiálu pomocí žížal. Slovo „vermikompostování“ vychází z latinského vermes – červ, žížala. Používání žížal místo pouhého skladování organického odpadu na kompostové hromadě tak zaručuje rychlejší získání tmavého, na živiny bohatého hnojiva. Kompostovat může v dnešní době každý. Kompostovat pomocí žížal můžeme ve školách, školkách, kancelářích a domácnostech, takže se dá říci, že vermikompostování je pro každého. Zapojit se do biologického využití potravinářských zbytků může jak firma, tak soukromník ve svém rodinném domě, možné je vermikompostovat na balkoně bytového domu. Žížaly vyžadují minimum péče, netrpí žádnými nemocemi. Získané hnojivo velmi prospívá půdě i všem rostlinám napříč florou (Kosek a Bečvář, 2005).

Jak bylo již zmíněno i přes možnosti vermikompostace, je její využívání převážně mezi obyvateli velmi nízké. Přitom pro založení jednoho domácího vermikompostéru nám postačí přibližně 0,5 kg násady. Násada obsahuje hotový kompost, žížaly různých vývojových stadií včetně vajíček a pomocné organismy, jako jsou půdní bakterie, chvostoskoci a zárodky dalších rozkladačů. V dnešní době jsou firmy zaměřující se na dodávku rodinných vermikompostérů za přijatelnou cenu (ekonakup, 2017).

Zde však narážíme na velmi malé podvědomí lidské populace ČR v tomto segmentu využití odpadů. Jiné je to u firem, hlavně zemědělských, které již v dnešní době vermikompostaci využívají a výsledné hnojivo následně úspěšně zpracovávají na svých polních plochách.

V České republice má Česká asociace odpadového hospodářství (dále ČAOH) jako jednu ze svých priorit postupné prosazení smysluplných a nákladově racionálních technologií na zpracování a využití odpadů. Výhodou vermikompostování je mimo jiné i to, že je možno jej realizovat v menším lokálním měřítku a odpadájí tak náklady na přepravu biologicky rozložitelných odpadů. ČAOH dlouhodobě podporuje zavedení systému třídění biologicky rozložitelných odpadů v obcích a snaží se tak splnit cíl EU definovaný pro rok 2020. Tedy snížením ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky na míru 35 % oproti roku 1995 (ekovermes,2016).

## 2 Cíl práce a vědecká hypotéza

Cílem diplomové práce je především popsat problematiku nakládání se zbytky z potravinářského průmyslu a zhodnotit efektivitu vermikompostování kalu ze sladoven. Postup je posuzován na základě změn agronomických a biologických parametrů žížal během vermikompostování.

Hypotézu pro tuto práci tvoří předpoklady:

1. Využití metody vermikompostování pro zpracování kalů ze sladoven se jeví jako vysoce efektivní.
2. Spodní část profilu bude vykazovat lepší agrochemické vlastnosti a stupeň zralosti než vrchní část.
3. Nejvyšší biomasa žížal bude v horní vrstvě.

### 3 Literární řešerše

#### 3.1 Biologicky rozložitelný odpad

Dle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. se rozložitelným biologickým odpadem rozumí jakýkoliv odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Biologickým rozložitelným odpadem, zkratkou značen BRO, jsou zejména odpady ze zemědělství, lesnictví a potravinářství. Dále odpady z průmyslu papírenského a textilního, odpady ze zpracování dřeva, kůží a dalších výrob. Jde o významnou skupinu. Představují zhruba 23 % veškeré produkce odpadů (Altmann, 2010)

Skupina biologicky rozložitelné komunální odpady, zkratka BRKO, patří rovněž do skupiny BRO, ale jsou významnou skupinou tzv. směšných odpadů. Jejich podíl je kolem 40%. BRKO mají různorodé vlastnosti, proto je jejich sběr, zpracování a odstraňování je problematické. Tyto odpady mají negativní vliv na životní prostředí, jde zejména o tvorbu skleníkových plynů a kyselých výluhů při hydrologických procesech. Životní prostředí může zřetelně ovlivnit i způsob nakládání s nimi (Vrbová, 2003). Některé druhy odpadů, které se řadí do skupiny BRKO, mají jen určitý podíl biologicky rozložitelné složky (viz tabulka č. 1).

Tab. 1: Druhy odpadů tvořící BRKO, dle Katalogu odpadů (*Metodika výpočtu postupného snižování množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů* (Kotoulová, 2004))

Kód odpadu	Název druhu odpadu	Koeficient biologického rozkladu
20 01 01	Papír a lepenka	1
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	1
20 01 10	Oděvy	0,6
20 01 11	Textilní materiály	0,5
20 01 38	Dřevo neuvedené pod č. 20 01 37	1
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	1
20 03 01	Směšný komunální odpad	0,54
20 03 02	Odpad z tržišť	0,8
20 03 07	Objemný odpad (započteno koeficientem dle 1)	0,5

### **3.1.1 Možnosti využití BRO**

Biologicky rozložitelné odpady je možné využít například při anaerobní digesci, anaerobní fermentaci a výrobě kompostu nebo vermikompost. V mé diplomové práci se více zaměřím na využití BRO k výrobě kompostu a vermikompost.

#### **Anaerobní digesce**

Benešová (2005) uvádí, že pro rozklad organických látek v anaerobním prostředí je zapotřebí koordinovat činnost několika typů mikrobiálních skupin. Rozklad probíhá ve čtyřech hlavních biochemických reakcích, to je hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze. Produktem anaerobní digesce je bioplyn. Bioplyn se skládá z metanu  $\text{CH}_4$  a oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ . Neopomenutelnou složkou je sulfan  $\text{H}_2\text{S}$ , hlavně tam kde je bioplyn používán jako palivo pro kogenerační jednotky, které vyrábí elektrickou energii a teplo. Anaerobní digesce je proces, který stabilizuje bioodpad a produkuje kvalitní bioplyn. Mimo jiné umožňuje kombinovat různé typy bioodpadů.

#### **Anaerobní fermentace**

Při tomto procesu se zpracovávají bioodpady s vysokým procentem sacharidů, jako jsou například zbytky po zpracování cukrové řepy, po zpracování brambor na škrob a podobně. Při anaerobní fermentaci vzniká etanol. Ten vzniká přeměnou sacharidů pomocí mikroorganismů.

Výroba etanolu probíhá ve třech fázích. V první fázi dojde k uvolňování sacharidů z rostlinných pletiv, ve druhé fázi probíhá mikrobiální fermentace sacharidů na etanol a ve třetí fázi dochází k přípravě bezvodého etanolu. V první a ve druhé fázi probíhají mikrobiální aktivity (Zemánek, 2001)

### 3.1.2 Možnosti využití BRKO

S odpady je možno nakládat dvěma základními způsoby:

a) Odpad jako materiál, surovinu lze zpracovávat na zahradách rodinných domů, v zahrádkářských osadách apod. Je to způsob domácího kompostování. Odpad není nikde vykazován, jeho produkce nemůže být zvážena a podle zákona o odpadech jako „odpad“ neexistuje. Jde svým způsobem o předcházení vzniku skutečného odpadu. (Biom, 2010)

b) Odpad, ale již ne jako materiál, je odkládán na vyhrazené místo, jako je kontejner, sběrný dvůr apod. V tento moment je ale již navýšena produkce komunálního odpadu obce nebo města. Jde tedy o samostatný sběr BRKO, který lze provozovat jako systém buď to dovážkový, nebo donáškový. Rozdíl v systému je pouze ve vzdálenosti a umístění nádob na separovaný sběr (Biom, 2010).

### 3.2 Zbytky s potravinářského průmyslu

Potravinářským odpadem se rozumí především odpady ze supermarketů, potravinářského průmyslu a z domácností. Do potravinářského průmyslu patří průmysl mlékárenský, drůbežářský, rybný, mražírenský, cukrovarnický ale také pivovary, sladovny, vinařské závody a další (Cedeberg, 2000)

Jak uvádí Marek a kol. (1996), je nutné si uvědomit, co vše potravinářský průmysl zahrnuje. Potravinářský průmysl lze jednoduše definovat, že zpracovává, vyrábí a produkuje vše, co lidé mohou konzumovat. Patří sem nejen maso, pečivo, potraviny ale i nápoje, pochutiny. Asi 50% odpadů se vrací zpět do zemědělství ke krmení, ostatní musíme zpracovat/zneškodnit jinak.

Odpad z potravinářského průmyslu lze zneškodnit několika způsoby. Mimo jiné se snažit omezit jejich vznik, to znamená minimalizace tvorby odpadů u výrobce. Možnosti

nakládání s odpady z potravinářského průmyslu ekologicky únosným a ekonomicky vhodným způsobem:

- s materiálovým využitím odpadů: recyklací, kompostováním, vermikompostováním, přepracováním apod.
- s energetickým využitím odpadů: spalováním, methanizací nebo pyrolýzou
- ukládáním: skládkováním nebo solidifikací

Hansen (2000) se domnívá, že zpracování a likvidace odpadů z potravinářského průmyslu je důležitou složkou celkové potravinářské produkce.

V mé diplomové práci, se budu více zabírat metodou vermikompostování. Tato metoda je popsána v kapitole 3.4

### **3.3 Kompostování**

Velké množství organických zbytků se často ničí, i když by mohly být kompostovány, a tak podporovat úrodnost půdy. Skládky jsou často přeplněny látkami, které tam nepatří, a proto by se měli tyto odpady omezit a přispět tak k ochraně životního prostředí. V České republice se nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, zkráceně bioodpady, řídí přísnou legislativou. Ta přesně vymezuje vlastnosti těchto odpadů, způsoby jejich úpravy a využití koncových produktů.

Kompostování je definováno jako způsob využívání biologicky rozložitelného odpadu, který za přístupu vzduchu zabezpečuje mikrobiologickou přeměnu organických látek na stabilní humusové látky. Proces kompostování a výsledná kvalita kompostu závisí na sestavení správné surovinové skladby čerstvého kompostu např. výběr odpadů a stanovení jejich poměru (odpadovecentrum, 2017)

Organický rozložitelný odpad neobsahuje žádné látky přirozeně nezpracovatelné a cizí životnímu prostředí. Důležitou výhodou u kompostování je samostatná hygienizace odpadů, protože v průběhu procesu hynou patogenní organismy. Mezi výhody patří také fakt, že kompost je nejlacinější a nejvýhodnější cesta hospodaření s odpady. Z ekologického hlediska kompostování tvoří přirozený způsob likvidace odpadů (Kalina, 1999).

Tabulka 2 znázorňuje, co by se mělo/ nemělo kompostovat v kompostéru. Aby bylo docíleno optimálních podmínek pro vytvoření kompostu, je zapotřebí při výběru surovin kombinovat hrubé suroviny s jemnými; suché s vlhkými; suroviny „hnědé“ (s vysokým obsahem uhlíku) se „zelenými“ (s obsahem dusíku). Stejně znázornění platí také pro klasické komposty.

Tabulka č. 2: Suroviny vhodné / nevhodné pro kompostování v kompostéru (<http://www.odpadovecentrum.cz/jak-kompostovat>)

<b>Suroviny vhodné ke kompostování v kompostéru</b>	<b>Suroviny nevhodné ke kompostování v kompostéru</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ tráva, listí, sláma</li> <li>✓ bioodpad z domácností</li> <li>✓ zbytky ovoce, zeleniny</li> <li>✓ káva, čaj</li> <li>✓ rozdrčené skořápky z vajíček</li> <li>✓ květy, listí</li> <li>✓ posekané, nadrcené, větve</li> <li>✓ třísky, piliny, hobliny, kůra</li> <li>✓ popel ze dřeva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ zbytky potravin (vařené zbytky jídla)</li> <li>✗ kosti, odřezky masa, tuky</li> <li>✗ ryby, mléčné výrobky</li> <li>✗ rostliny množící se řízkováním (maliník, růže...)</li> <li>✗ oddenkový plevel</li> <li>✗ rostliny napadené chorobami</li> <li>✗ pecky, skořápky ořechů, listy ořešáku</li> <li>✗ slupky melounu, kokosu, atp.</li> <li>✗ popel z uhlí, cigaret</li> <li>✗ časopisy, barevně potištěný papír</li> <li>✗ plasty, kovy, sklo, kameny</li> </ul>

### 3.3.1 Podmínky kompostování

#### Vlhkost

Bakterie ke svému životu potřebují vodu. Pokud tedy kompost v kompostéru vyschne, i kdyby byl poměr C:N vyhovující, kompostovací proces probíhat nebude. Je proto zapotřebí kompost umísťovat na zastíněná místa, kde nebude docházet k jeho nadměrnému vysušování.



## Teplota

Vyšší teplota materiálu v počátečních týdnech po založení kompostu je důkazem dobrého průběhu kompostování. Pokud se materiál nezahřívá, tak materiál je hodně suchý, nemá vyhovující složení nebo ho není dostatečné množství.

## Vzduch

Bakterie a houby potřebují obrovské množství kyslíku. Kompostování je proces aerobní. Tento proces znamená, že organismy potřebují ke svému životu vzduch. Jedná se o larvy, žížaly, svinky, roztoče, štírky, stonožky, atd., ale hlavně jsou to plísně a bakterie, které narušují buněčné struktury rostlin a využívají látky, ze kterých jsou buňky vytvořeny, pro svoji potřebu. Pro dostatečný přísun vzduchu je kompost vhodné po 4 – 8 týdnech po jeho založení přehodit.

## Uhlík a dusík

Základní látky, které se v kompostu sledují je uhlík „C“ a dusík „N“ a jejich poměr (viz Obr. 2). Uhlík je zdrojem energie pro bakterie, je tedy pro ně potravou. Dusík je zdrojem pro tvorbu těl bakterií a tedy pro jejich růst a množení. Ideální poměr C:N (uhlíkatého materiálu "C" k dusíkatému "N") je cca 30:1 (Váňa, 2002).

 <b>6-10:1</b> slepíčí a drůbeží trus	 <b>30-34:1</b> slupky a okrojky z ovoce	 <b>37-54:1</b> papírové čajové sáčky, kávové filtry
 <b>10-15:1</b> slupky a okrojky z brambor, okurek a jiné zeleniny	 <b>30-34:1</b> slupky z banánů a jižního ovoce	 <b>50-60:1</b> sláma
 <b>10-15:1</b> zbytky jídla staré pečivo	 <b>30-34:1</b> slupky citrusových plodů	 <b>54-129:1</b> znečištěný papír
 <b>15-20:1</b> travní seč	 <b>20-47:1</b> uvadlé a uschlé květiny	 <b>226:1</b> větvě, dřevní hmota
 <b>15-37:1</b> natě ze zeleniny a bylin	 <b>37-47:1</b> listy stromů a keřů, čerstvé i suché	 <b>500:1</b> piliny, dřevní pelety

Obr. 2 Orientační poměr uhlíku a dusíku C:N

([http://tesprahodonin.cz/wpcontent/uploads/Bioodpad\\_kompostovani.pdf](http://tesprahodonin.cz/wpcontent/uploads/Bioodpad_kompostovani.pdf))

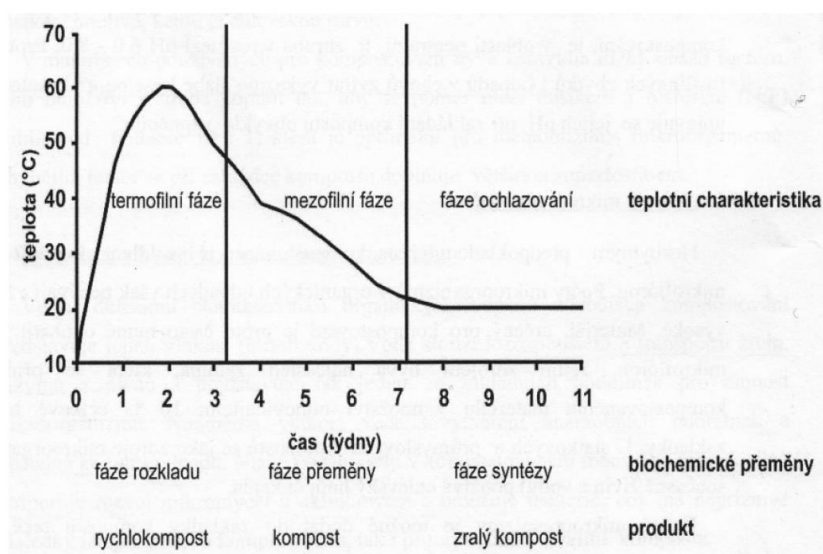
### 3.3.2 Fáze kompostování

Kompostování probíhá ve třech fázích (viz Obr. 3):

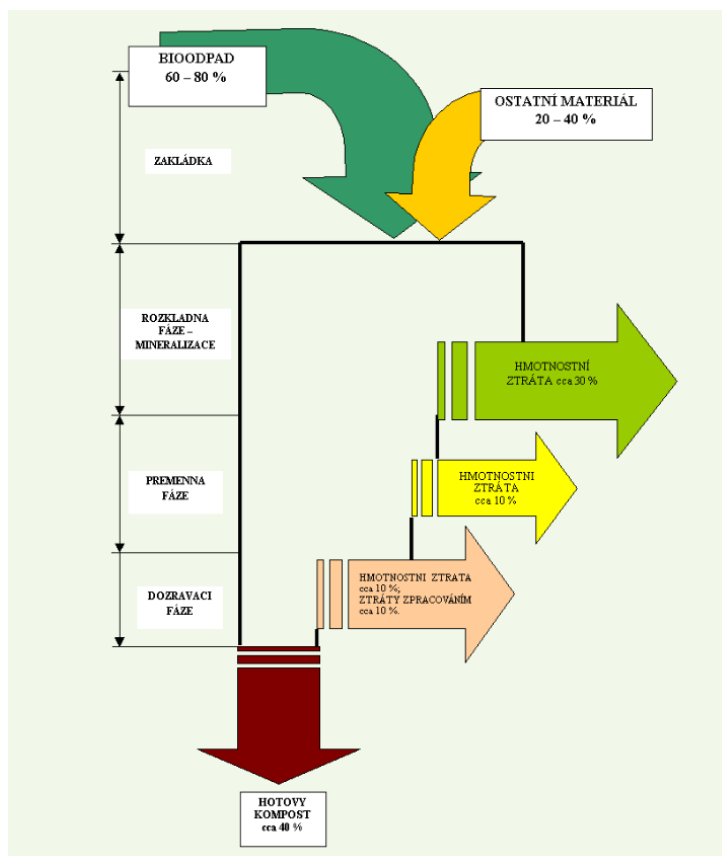
V první fázi, fáze se nazývá termofilní, dochází k prudkému rozvoji bakterií a plísní. Tím prudce roste teplota substrátu na 50 – 70 °C. Růstem teploty se uvolňuje množství CO<sub>2</sub> a pod vlivem tvorby organických kyselin klesá pH. Dochází k rozkladu některých snadno rozložitelných látek a to zejména škrobu, cukru a bílkovin. Začíná kolonizace kompostu termofilními houbami, jež mají důležitou úlohu při pozdější tvorbě humusu. Extrémně termofilní houby snesou teplotu nad 65 °C – uplatňují se např. v nitru kompostu, kde zvyšující se teplota zabije jiné druhy (Klán, 1989). Pro tuto fázi je zapotřebí zajistit dostatečné provzdušňování např. přehazováním.

Ve druhé fázi, která se nazývá mezofilní nebo také fáze hlavního zrání, probíhá rozklad obtížněji rozložitelných látek jako je celulóza, lignin, proteiny. Teplota začíná klesat na 40 – 45°C a kompost získává hnědou barvu a zemitou strukturu. Vlivem intenzivního tlení si materiál sedá a snižuje se možný přísun vzduchu. Hromadu je zapotřebí po 1 – 2 měsících přehodit a znovu promíchat (tespra-hodonin, 2015)

Ve třetí fázi je kompost prakticky vyzrálý. Tato fáze nastává po cca 5 – 12 měsících od založení kompostu. Zralý kompost má homogenní strukturu a vůně je přirovnána k lesní půdě. Při použití kompostéru se doba vzniku kompostu snižuje o polovinu (odpadovecentrum,2017)



Obr. 3 Průběh teploty při jednotlivých fázích procesu kompostování: (Tesařová et al. 2010)



Obr. č. 4 Sankeyův diagram poklesu hmotnosti během jednotlivých fází kompostování (<http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/doporuc/ekolog/senkey.gif>)

### 3.4 Kompostování v kompostérech

Kompostovat se dá různými způsoby, např. na hromadě, v podomácku vyrobených zásobnících z různého materiálu a konstrukce nebo v zakoupených plastových kompostérech. Hlavní výhodou kompostování v kompostérech je to, že dokážeme jednodušším způsobem cíleně korigovat rozklad kompostovaného materiálu. Znamená to, že použitím vhodného kompostéru minimalizujeme vliv vnějšího prostředí na rozkladný proces, jako jsou povětrnostní podmínky, ale také střídání dne a noci (menejodpadu, 2017).



Obr. 5 Plastové kompostéry

([http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Organizace\\_kompostovani.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Organizace_kompostovani.html))

### 3.5 Vermikompostování

Suther a Singh (2008) definovali vermikompostování jako biotechnologický proces, při kterém dochází k oxidaci a organický odpad je pomocí žížal přeměněn na vermikompost, zatím co Jamaludin a Mahmood (2010) jej definují jako kompostování s využitím žížal. Vermikompost oproti klasickému kompostu je více kvalitní a objemově menší. Na rozdíl od kompostu vermikompost nezahrnuje termofilní fázi rozkladu, ačkoli kompost získaný pomocí žížal dosahuje vyššího stupně přeměny organické hmoty než běžný kompost (Hlavatá, 2004). Vermikompostování je v dnešní době považováno za nejpokročilejší metodu kompostování, Tato metoda je plně přátelská k životnímu prostředí.

Jak již bylo řečeno, základním předpokladem, bez kterého by se vermikompostování neobešlo, jsou žížaly. Ty zajišťují fyzikální děje, které zahrnují substrátovou aeraci, mixování, promíchávání substrátu a jeho rozměňování, a dále pak biochemické pochody. Biochemickými pochody se rozumí mikrobiální dekompozice substrátu ve střevě žížal (Albenell et al, 1988; Ali et al., 2015). I přesto že vzniklý vermikompost taktéž biohumus, neobsahuje žádné minerální částice, tak je jeho předností značná vodní kapacita a četné množství

mikroorganismů, které kladně ovlivňují růst rostlin (Kalina, 2014). Jak uvádí Sinha et al. (2010), vzniklý vermikompost je velmi bohatý na živiny, obsahuje velice kvalitní humus, enzymy a látky které jsou schopné chránit rostliny před škůdci a chorobami.

Metoda vermikompostování se hodí k použití na zahrádkách, ale také v domácnostech. Pro ideální průběh vermikompostování musejí být dodržovány určité podmínky. Tyto podmínky jsou rozepsány v kapitole 3.5.2

### **3.5.1 Počátky vermikompostování**

Počátky studií vermikompostování se datují na počátku sedmdesátých let, kdy Japonsko začalo zpracovávat zemědělské odpady pomocí dešťovek. I když tato technologie vyvolávala značnou nedůvěru, rozšířila se do Německa a do Spojených států amerických (Hartenstein and Mitchell, 1977; Edwards, 2011). Do tehdejší Československé republiky se technologie vermikompostování dostala v roce 1985 (Kalina, 2005).

První pokusy probíhali ve 30. letech v USA, kde se vědci snažili vyšlechtit žížaly vyhovující průmyslovému zpracování organických odpadů. První středisko vzniklo v roce 1959, ve kterém se k vermikompostování používala nově vyšlechtěná forma žížaly. V roce 1976 byl tento druh přivezen do Itálie pod názvem kalifornská žížala (*Eisenia andrei*), odtud byla rozšířena do Francie a zbytku Evropy (Zajonc, 1992). Postupně však zájem u nás i ve světě upadal a velký rozmach nastal v roce 2004 (Abbasi and Nayeem-Shah, 2015).

V dnešní době je kompostování pomocí žížal novým trendem ve zpracování bioodpadů v mnoha domácnostech. Vermikompost si mohou samy vyrobit i nájemníci panelových bytů, mohou je umístit na balkón, terasu či přímo do bytu.

### **3.5.2 Podmínky vermikompostování**

Pro samotnou technologii vermikompostování je žádoucí dodržení určitých podmínek, který zajistí správných průběh, při kterém žížaly zpracují uložený bioodpad a vytvoří kvalitní biohumus. Existuje několik základních faktorů, které přímo ovlivňují vermikompostovací proces, růst žížal a produkci kokonů žížal. Při procesu je důležité dohlížet na pH, teplotu,

vlhkost, kyselost substrátu a další vlivy, které zamezí negativní ovlivnění žížal, v horším případě může dojít i k jejich úhynu.

## **pH**

Pro vyhovující činnost žížalích jedinců je zapotřebí udržovat pH nejlépe v neutrální oblasti. Žížaly nicméně snášejí rozsah pH od 4,5 do 9, vždy záleží na jejich citlivosti a chemických vlastnostech odpadu (Edwards and Lofty, 1997; Ali et al., 2015). Postupnou dekompozicí organického odpadu vznikají meziprodukty jako je amoniak anebo huminové kyseliny, jejichž nabitě částice mohou pozitivně nebo negativně pozměnit pH na neutrální nebo kyselé (Pramanik et al., 2007). Při počátečním stádiu se pH pohybuje v mírně alkalické oblasti v rozmezí mezi 8,3 – 7,2 a postupně přechází do neutrálního pH až na 8,5 – 6,7 (Yadav and Garg, 2011; Ali et al., 2015). Konečné kyselé pH je přikládáno ke vzniku oxidu uhličitého a akumulaci organických kyselin během procesu vermikompostování (Ali et al., 2015).

## **teplota**

Existuje mnoho studií, které se zabývají optimální teplotou pro průběh kompostování. Pro správný metabolismus, aktivitu, růst, dýchání a reprodukci žížal je ideální rozmezí teploty mezi 25 – 37 °C (Reinecke et al, 1992; Ali et al, 2015). Sinha et al (2002) uvádí, že žížaly jsou schopné snést teplotu pohybující se v rozmezí od 5°C do 29 °C.

Každý druh žížaly si klade jiné nároky na teplotní podmínky:

- Jak uvádí Zajonc (1992) žížala hnojní (*Eisenia fetida*) snáší i vysoké teploty okolo 35°C, naopak když teplota klesá, dochází k jejich úhynu.
- Pro žížalu kalifornskou (*Eisenia andrei*) je ideální teplota okolo 20°C a teploty vyšší než 30°C nejsou pro ni vhodné (Honzová a Poklembová, 2014)

## **vlhkost**

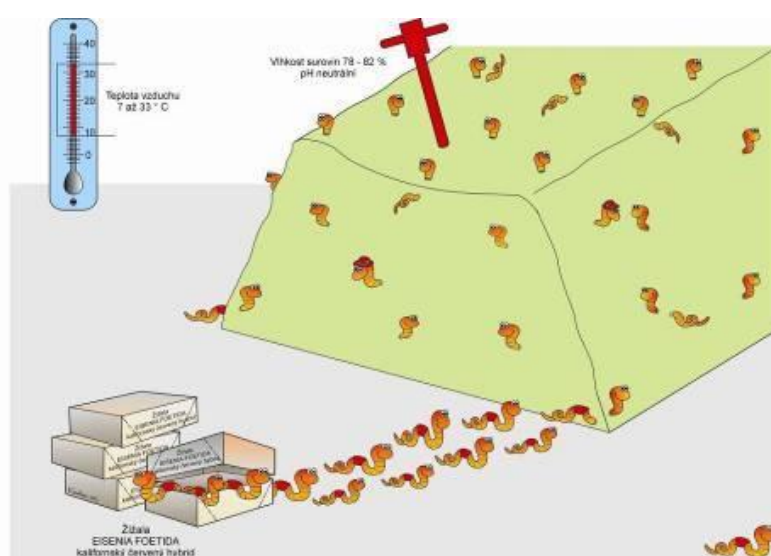
Žížaly dýchají celým svým tělem, proto je pro ně vlhkost důležitým faktorem. Optimální vlhkost pro žížaly se pohybuje mezi 55-80 % (Havelka, 2014), maximální vlhkost by neměla

překročit 90%. V případě poklesu vlhkosti pod 50% je tento stav pro žížaly nebezpečný (Domínguez and Edwards, 2007).

Optimální vlhkost je opět odlišná pro různé druhy žížal:

- Pro žížalu hnojní je ideální vlhkost 70% (Renecke and Venter, 1985; Ali et al., 2015)
- Naopak žížala obecnou (*Lubricus terrestris*) prosperuje i ve velmi suchých podmínkách (Kaplan et al., 1980)
- Vlhkost okolo 80% je ideální pro žížalu kalifornskou (*Eisenia andrei*).

Při praktickém provozování se vlhkost může snížit přidáním odpadu s vysokým obsahem uhlíku (např. nebarvená papírová lepenka, piliny nebo sláma). Naopak, pokud je vermikompost velmi suchý kropí se vodou nebo se přidává navlhčený papír.



Obr. 6 Podmínky pro optimální prostředí během vermikompostování (Hanč a Plíva, 2013)

### C:N poměr

Poměr zastoupení uhlíku a dusíku v substrátu hraje významnou roli v buněčné syntéze, růstu a metabolismu žížal. Jak uvádí Ndewga et al. (2000), pro správnou výživu žížal musí být uhlík a dusík ve vhodném poměru. Poměr C:N je jedním z nejdůležitějších indikátorů, přičemž stabilizace nám ukazuje, že je kompost zralý (Kaushik and Garg, 2003). V jedenácti studiích bylo vermikompostování považováno za skončené při poměru C:N 20 – 30:1 (Addasi et al., 2015). Poměr závisí na rychlosti rozkladu surovinové zakládky u čerstvě založeného kompostu,

poměr se pohybuje v rozmezí 30 – 35:1 a ve zralém vermikompostu 25-30:1. Jak udávají Ndegwa a Thompson (2001), optimální poměr C:N je 25:1. Po skončení vermikompostování je maximální poměr uhlíku a dusíku uváděn jako 30:1 (Slejška, 1999)

### **hustota osazení žížal**

Na populační hustotu žížal v kompostovaném materiálu má vliv několik faktorů jako je počáteční kvalita a množství substrátu, teplota, vlhkost a struktura materiálu (Edwards and Bohlen, 1996). Dominguez et al (1997) provedl studii na žížale kalifornské, kde bylo prokázáno, že biomasa žížal roste s hustotou osazení substrátu žížalami. Ndehwa et al. (2000) testoval čtyři různé hustoty osazení žížalami: 0,80; 1,20; 1,60 a 2,00 kg žížal na m<sup>2</sup>. Zkoumán byl především vliv hustoty žížal na produkční stabilitu, biomasu žížal, pH a živiny, soustředěno na dusík a fosfor. I tyto výsledky ukázaly, že biomasa žížal roste s hustotou osazení, ale zastavuje se při hustotě 2 kg žížal na m<sup>2</sup>. Z různých studií vyplývá, že pro přeměnu pevného bioodpadu žížalami je ideální hustota osazení 1,60 kg žížal na m<sup>2</sup> (Ndehwa et al., 2000)

### **3.5.3 Metody vermikompostování**

Jak uvádí Dominguez et al. (1997), pro domácí vermikompostování se často používají dřevěné nebo plastové boxy, které jsou obvykle z více regálů/ vaniček.

Vermikompostér se může pořídit již hotový v obchodě nebo si ho můžeme vyrobit sami. Pokud použijeme již hotový vermikompostér, žížaly se vloží do horního regálu na již připravenou podestýlku. V případě, že si vermikompostér vyrábíme sami, jako podestýlku můžeme použít novinový papír, půdu či listí. Dolní díl boxu vermikompostéru necháme prázdný, bude tam odtékat přebytečná vlhkost, které lze použít jako hnojivo. Regál s žížalami postupně plníme kuchyňským nebo jiným odpadem až do jeho zaplnění. Posléze je možné přidat jednoduše další díl, kam se žížaly, poté až nebudou mít v dané vrstvě co jíst, přesunou samy. Přeměna odpadu zpravidla trvá 2 – 3 měsíce (Ekolist,2012)





Obr. 7: Vermikompostér z plastu (<http://www.ekonakup.cz>)



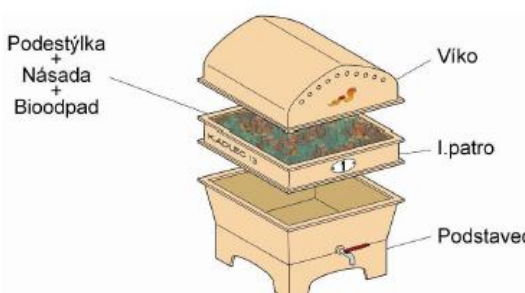
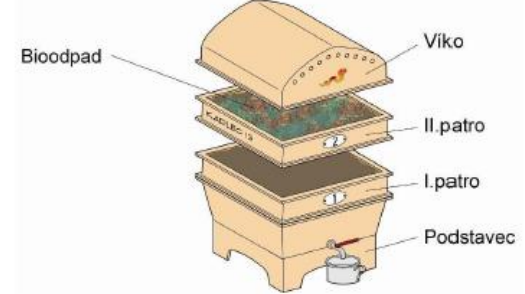
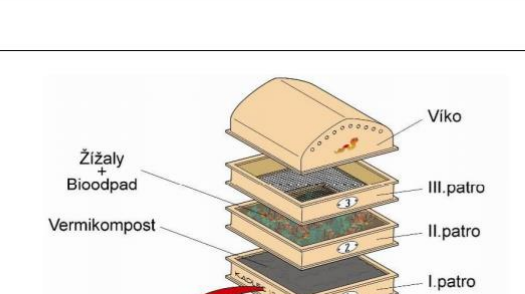
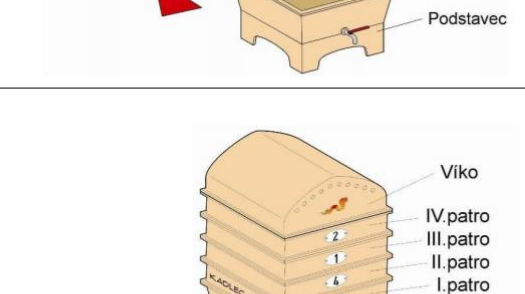
Obr. 8: Vermikompostér ze dřeva (<http://www.magazin-lohas.cz/blog/120/KOMPOSTOVani-II-zizaly-design-a-urodna-puda/#.WM7xKIU1-po>)

#### **3.5.4 Postup vermikompostování**

Postup kompostování bioodpadů z domácností v malém domácím vermikompostéru je schematicky znázorněn v tabulce 3.

Tabulka č. 3 Postup kompostování v malém vermikompostéru

([http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Systemy\\_vermikompostovani.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Systemy_vermikompostovani.html))

<b>Tab. 1 Postup kompostování v malém domácím vermikompostéru</b>	
<b>1</b>	 <p>Na podstavec vermikompostéru – zásobník s kohoutem na odvod tekutiny je umístěno <b>I. patro</b> (nejnižší) vermikompostéru, do kterého se umístí podestýlka (tráva, listí, roztrhaný a navlhčený papír, rašelina, hobliny nebo kokosové vlákno). Na podestýlku se vloží násada žížal a vhodné kousky bioodpadů menší než 5 cm.</p> <p>Po aklimatizaci žížal je přidáván další bioodpad až po naplnění <b>I. patra</b>.</p> <p>Na <b>I. patro</b> je umístěno víko vermikompostéru. Víko je umístováno na nejvyšší patro vermikompostéru vždy bez ohledu na počet pater.</p>
<b>2</b>	 <p>Po naplnění <b>I. patra</b> je do něj, přímo na zpracovávány obsah, vloženo vyšší - <b>II. patro</b>, do kterého se začnou vkládat další bioodpady.</p> <p>Jakmile žížaly všechno v <b>I. patře</b> zpracují (cca 2 – 3 měsíce), zanechávají hotový vermikompost a stěhují se vzhůru do vyššího patra.</p> <p>Během procesu zpracování je nutné pravidelně vypouštět tekutinu ze zásobníku s kohoutem na odvod tekutiny.</p>
<b>3</b>	 <p>Podle množství zpracovávaných bioodpadů a násady žížal je po naplnění <b>II. patra</b> přidáno <b>III. patro</b>.</p> <p>Současně s jeho přidáním je odebráno patro s hotovým vermikompostem (<b>I. patro</b>), které je vyprázdněno a je připraveno pro založení dalšího (opět nejvyššího) patra pro vkládání dalších bioodpadů.</p>
<b>4</b>	 <p>Koloběh s odebráním patra s hotovým vermikompostem, jeho vyprázdněním a přidáním do sestavy vermikompostéru je neustále opakováno bez <b>nutnosti přidávání nové násady žížal</b>.</p> <p>Současně může být domácí vermikompostér složen z podstavce a čtyř pater.</p>

### 3.6 Rozdělení vermikompostu

Jak uvádí Pelc (2007), vzniklý vermikompost je možné rozdělit na tři druhy, podle jeho struktury:

- **Polohrubý** – hrubé struktury, je možné s ním nahradit statkový hnůj
- **Jemný zahradní** – jemné struktury, náhrada za statkový hnůj, vhodný pro pokojové rostliny a také parkové trávničky apod.
- **Speciální jemný golfový** – přímá aplikace na nově vznikající nebo již vzrostlý trávník

### 3.7 Výhody a nevýhody vermikompostování.

Pro vlastníka vermikompostéru je výhodou vznik nejen vysoce kvalitní vermikompost, který je bohatý na minerální látky, živiny a enzymy, ale i vznik výluhu worm tea, který může být použit jako postřik rostlin nebo jako hnojivo do půdy. Materiál získaný vermikompostováním je kvalitnější nežli materiál získaný při klasickém kompostování. Celý proces je technicky jednoduchý a zajišťuje zpracování bioodpadu přímo u zdroje.

Mezi výhody patří to, že vermikompostér je malý box nenáročný na prostor a materiál nezapáchá, mohou ho využívat i lidé žijící v bytech, kteří nemají zahradu. Hlavní nevýhodou jsou nízké reakční teploty, při nichž nedochází k úplné likvidaci patogenních mikroorganismů, což znamená, že si vermikompostér neporadí s patogenními mikroorganismy, rostlinami napadenými škůdci nebo s plevele (Edwards et al., 1995). Vermikompostování je sice provozně nízkonákladový proces, ale jeho počáteční investice do nákupu vermikompostéru a násady žížal jsou vyšší. Nádoba na vermikompostování stojí od 2 500 do 4 500 Kč. Mimo jiné se musí udržovat optimální podmínky vhodné pro žížaly jako je zajišťovat správnou vlhkost, teplotu a dávat do vermikompostéru správné suroviny (Juráš, 2013).

Další výhody uvádí Skleničková (2011) ve své diplomové práci, že účinnost vermikompostu v porovnání s účinností chlévského hnoje 60 až 70 krát vyšší, obsahuje stimulatory růstu, růstové hormony a enzymy. Dále má velký vnitřní povrch, to znamená i dobré sorpční vlastnosti, a tím se zabraňuje vysychání zeminy a optimalizuje vodní a vzdušný

režim půdy. Hlavní výhodou je, že nezatěžuje životní prostředí, což umožňuje jeho použití v oblastech ochranného pásma vodních zdrojů. Na rozdíl od kompostu se vermikompost nemusí překopávat, dělají to samy žížaly, tudíž se o něj člověk nemusí nijak zvlášť starat

### 3.8 Srovnání klasického kompostování a vermikompostování

Domfnguez et al. (1997) publikovali, že kompostování a vermikompostování jsou vysoce žádané biologické procesy pro transformaci organických odpadů. Pokud budeme srovnávat vermikompostování s klasickým způsobem kompostování, je zapotřebí říci, že výsledná kvalita vždy závisí na původním materiálu a proto není možno zcela zhodnotit, který z těchto dvou způsobů vytváří kvalitnější produkt.

I přesto, že se u obou způsobů jedná o biooxidativní procesy, které stabilizují organickou hmotu, existují mezi nimi značné rozdíly. Kompostování zahrnuje termofilní fázi, během níž je účinnost patogenů snížena (Golueke, 1991), zatímco u vermikompostování termofilní fáze chybí. Dalším rozdílem je, že vermikompostování vyžaduje obsah vlhkosti 70 až 90% (Edwards et al., 1995), to je o mnoho vyšší, než je požadováno u kompostování. U kompostování je požadována hodnota 40 až 60 % (Gelueke, 1991).

Pro přehled srovnání základních sledovaných parametrů kompostování a vermikompostování uvádím tabulku č. 4.

Tab. 4: Obsah organických látek, živin a mikroorganismů v kompostech a vermikompostech ve srovnání s půdou (Tesařová et al., 2010)

	Půda	Kompost	Vermikompost
Organické látky(%)	1-9	25-40	65-75
N(%)	0,1-0,8	0,6-1,5	1,0-2,0
C:N	25-40:1	12-30:1	8-15:1
Bakterie*	$10^6$ - $10^9$	$10^3$ - $10^{11}$	
Mikromycety*	$10^4$ - $10^5$	$10^3$ - $10^7$	
Aktinomycety*	$10^3$ - $10^4$	$10^4$ - $10^8$	

\*počet v 1 g sušiny

### 3.8.1 Suroviny vhodné pro vermikompostování

Celková skladba substrátu se odlišuje od místa, kde vznikl. Vhodným materiálem pro vermikompostování jsou např. kávová či čajová sedlina, ovoce a zelenina, zbytky obilovin, zbytky papíru a použité papírové kapesníky. Toto se týká především domácího vermikompostování.

V zemědělské výrobě může být skladba živého substrátu velmi rozmanitá. Jedním z nevhodnějších substrátů je dobře vyžralý chlévský hnůj, který by měl dosahovat pH 6,5 – 8,0 (Slejška, 1999). Nejlepší hnůj je od koní, skotu, ovcí a za nevhodný je považován trus drůbeží. Pokud je substrát příliš kyselý, lze ho upravit přidáním mletého vápence v množství asi 0,7 kg na 1 m<sup>3</sup> (Kalina, 2004).

Zároveň jak uvádí Sinha et al. (2008) jsou materiály, které k vermikompostování nejsou úplně vhodné. Je to materiál s vysokým obsahem solí a kořeněné potraviny, tuky a oleje. Citrusy a oleje snižují pH substrátu, tím mohou omezit aktivitu žížal. Exkrementy domácích zvířat patří do skupiny potenciálně patogenních materiálů. Také čerstvé listí a tráva, během rozkladu může uvolňovat větší množství tepla, ovšem pokud se před-kompostují nebo se přikrmují ve slabých vrstvách, žížalám nevadí. Mezi nevhodné materiály patří také masné a mléčné výrobky.

V mém experimentu byly surovinou pro vermikompostování zbytky a odpady sladovnického průmyslu. Této surovině se více věnuji v kapitole 3.12.

## 3.9 Žížaly

Žížaly patří do kmene kroužkovců (*Annelida*), podkmene opaskovců (*Cittelata*) a třídy máloštětinatců (*Oligochaeta*). Na celém světě žije kolem 5 500 druhů žížal. V České republice žije okolo 50 druhů a poddruhů žížal. Mezi druhy, které se často vyskytují v České republice, patří žížala obecná (*Lumbricus terrestris*), žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*), žížala červená (*Lumbricus rubellus*), žížala růžová (*Aporrectodea rosea*), žížala dlouhá (*Aporrectodea longa*) a žížala hnojní (*Eisenia fetida*). Nejhojnější je žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*) (Pommeresche et al, 2010).

### 3.9.1 Žížaly k produkci vermikompostu

Na světě existuje více druhů žížal, epigeické a endogeické (Ismal, 1995). Při vermikompostování se využívají druhy epigeické. To jsou druhy, které žijí ve svrchní vrstvě půdy a nevytváří trvalé nory a živí se organickou hmotou a humusem z povrchu půdy (Mc Lean, Parkinson, 1998)

Jak zmiňuje autor Slejška (1999), nejvíce využívaných druhů pro vermikompostování je: vyšlechtěná žížala kalifornská (*Eisenia andrei*), žížala hnojní (*Eisenia foetida*), žížala načervenalá (*Lumbricus rubellus*), evropská dešťovka (*Dendrobaena veneta*), africká dešťovka (*Eudrilus eugeniae*) a tzv. „modrý červ“ (*Perionyx exvatus*). V České republice žije okolo 50 druhů a poddruhů žížal a několik druhů žížal ale také dešťovek jsou vhodné pro vermikompostování.

#### **Žížala hnojní (*Eisenia foetida*)**

Tento druh žížaly je nejvhodnějším druhem ke zpracování zbytků ovoce a zeleniny, papírenského odpadu, listí a trávy, odpadů z květin odpadu z bavlny, čistírenského kalu a obecně zahradního a kuchyňského odpadu (Huang et al, 2014). Žížale hnojní se dobře vede při teplotě 25 °C, tato teplota jinému druhu žížal nevyhovuje. S teplotou souvisí také vyšší spotřeba potravy, tím dochází i k rychlejšímu zpracování kompostovaného materiálu (Zajonc, 1992). Žížala hnojní je využívána po celém světě.



Obr. 9: Žížala hnojní (<http://hnojnizizaly.cz/>)



### **Žížala kalifornská (*Eisenia andrei*)**

Tento druh žížaly je speciálně vyšlechtěným druhem z volně žijícího druhu žížaly hnojní. Oproti žížale hnojní je žížala kalifornská vhodná pro zpracování oliv, zbytků kávových zrn (Degefe et al, 2012), odpadů ze skleníkové zeleniny (Gómez et al, 2010), ale jak uvádí Degefe et al (2012) stejně jako žížala hnojní, také pro zpracování klasicky pěstované zeleniny a ovoce. Kalifornské žížaly dobře snášejí teploty kolem 15°C až 25°C. Právě díky tomu se hodí pro kompostování v interiéru. Při teplotách nad 32°C kalifornské žížaly hynou stejně tak jako při teplotách pod bodem mrazu. Žížala kalifornská zpracovává organický materiál mnohem rychleji oproti ostatním druhům (Pšenička, 2009).



Obr. 10: Žížala kalifornská

([http://relax.lidovky.cz/foto.aspx?r=ln\\_veda&foto1=TER32a885\\_shutterstock\\_14465704.jpg](http://relax.lidovky.cz/foto.aspx?r=ln_veda&foto1=TER32a885_shutterstock_14465704.jpg))

## **3.10 Zbytky a odpady sladovnického průmyslu**

### **3.10.1 Výčist (zadní ječmen, zadina)**

Jsou to zbytky vznikající při třídění ječmene, které propadají sítím s velikostí otvorů 2,2 mm. Výčistky představují přibližně 4 % hmotnosti zpracovaného ječmene a používá se jako krmivo (Anonym)

### **3.10.2 Splávky**

Splávky jsou lehká ječmenná zrna a příměsi, které vyplouvají na povrch při máčení ječmene. Jejich podíl představuje 0,2 – 0,5 % zpracovaného ječmene. Splávky mají podobné složení a krmnou hodnotu jako zadní ječmen. Splávky se po usušení na volné kapacitě hvozdu přidávají zpravidla k zadině a spolu s ní se zkrmuji (Pelikán, Dudáš, Míša, 2004).

### **3.10.3 Sladový květ**

Jsou to ulámané zárodečné kořínky, získané při odkličování vysušeného sladu. Jsou velmi křehké a lámou se. V průměru se získávají 4 % sladového květu z hmotnosti vyrobeného sladu. Jedná se o nejhodnotnější druhotnou surovinu produkovanou ve sladovnickém průmyslu.

Má vysoký obsah stravitelných látek, vitamínů a enzymů. Složení sladového květu je ovlivněno surovinou a způsobem sladování, čím rychleji zrno klíčí, tím je sladový květ chudší na bílkoviny, neboť výživa kořínků nepostupuje souběžně s jejich růstem. Hodnotnější je sladový květ ze světlých sladů. Vysoký obsah hrubého proteinu a úzký výživný poměr vytvářejí ze sladového květu velmi hodnotné krmivo. Obsah bílkovin se pohybuje od 21-22 % a škrobová hodnota kolem 46 %. Dále obsahují značné množství minerálních látek s převahou fosforečnanů. Sladový květ je bohatým zdrojem vitamínů (A, B, D, E) a enzymů. Proto se má zkrmovat přednostně mladému skotu a dojnicím. Při použití většího množství může být příčinou intoxikace zvířat, souvisejícím s rozvojem plísní. Široké uplatnění našel jako složka mikrobiálních médií a extrahovaný tuk ze sladových klíčků se používá při výrobě kosmetických krémů speciálního určení (Pelikán, Dudáš, Míša, 2004).

Je významným zdrojem dusíkatých látek (až 250 g/kg) a je vhodný zejména do krmných dávek skotu. Mimoto působí i aromaticky a zchutňuje krmnou dávku (Jedlička, 2004).

### **3.10.4 Odpadní máčecí vody**

Vznikají jako odpad po máčení ječmene, používaném k iniciaci klíčení zrna. Používají se buď k závlaze, nebo se čistí a vypouštějí do vodních toků



### **3.10.5 Omletky**

Vznikají při leštění sladu a mají podobné složení jako sladový květ. Obsahují asi o 5 % méně hrubého proteinu, o 1 % méně vody a o 3 % více vlákniny (Pelikán, Dudáš, Míša, 2004).

### **3.10.6 Sladové prachy a slupky**

Obsahují přibližně 190g/kg dusíkatých látek a oproti sladovému květu mají vyšší obsah vlákniny. Tyto sladařské odpady, dodávané v původní formě, jsou pro svůj vyšší obsah bezdusíkatých látek výtažkových vhodné k doplňování krmných dávek skotu (Jedlička, 2004).

## **3.11 Ostatní odpad a zbytky**

V mém experimentu byl sladovnický kal směsí různého bioodpadu, jako je: štěpka, sláma, jablka, tráva, matolína. O těchto bioodpadech se zmiňuji v následujících podkapitolách.

### **3.11.1 Sláma**

Sláma je univerzálním organickým hnojivem, které se používá ve všech výrobních podmínkách. Je vedlejším produkt sklizně obilovin, olejnin, luskovin. V České republice jsou dva hlavní druhy slámy – z obilovin a z řepky olejné. Jak uvádí Bejlek (2004) sláma z obilovin a i z řepky se čím dál častěji využívá jako palivo.

Buchtová (2013) uvádí, pokud je sláma aplikována rozumně, je její vliv na proces pozitivní. Zároveň příznivě ovlivňuje obsah humusu v půdě. Sláma se také podílí na zvyšování obsahu přijatých živin do půdy a biologickou činnost.

### **3.11.2 Štěpka**

Lesní štěpka, resp. dřevní je strojně na krácená a nadrcená dřevní hmota na částice o délce od 3 – 250 mm. Je získávána z odpadů lesní těžby a průmyslového zpracování dřeva nebo rychle rostoucích dřevin (Biom, 2016)

### 3.11.3 Makovina

Pěstování máku je známé na celém světě. Pěstuje se v mnoha kultivarech přizpůsobených a poskytujících dobré výnosy ve velmi rozmanitých půdních a klimatických podmínkách. Mák patří mezi naše tradičně pěstované plodiny. Kromě semen poskytuje mák i suché tobolky, neboli makovinu, která slouží jako surovina pro farmaceutický průmysl. U máku jsou možné dva směry využití, na produkci semen nebo alkaloidů (Popovec, 1998).

### 3.11.4 Chlévský hnůj

Jedná se o čerstvou směs podestýlky a tuhých, tekutých výkalů hospodářských zvířat, která se po správné fermentaci (zrání) stává chlévským hnojem. Při výrobě chlévského hnoje je hlavním úkolem uchování co největšího množství organických látek, uchování maximálního množství živin.

Obsah organických látek, sušiny a živin v chlévském hnoji je závislý na použitém krmivu, druhu hospodářských zvířat, podestýlce a také na způsobu ošetření chlévské mrvy. Složení chlévského hnoje může být variabilní. V průměru obsahuje 75 – 80% vody, 20 – 25 % sušiny a z toho 16 – 18 % tvoří sušina organických látek. Průměrný obsah živin v hnoji je:

- N – 0,4 – 0,5 %
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,15 – 0,25 %
- MgO – 0,1 %
- K<sub>2</sub>O – 0,6 – 0,7 %
- CaO – 0,6 %
- Poměr C: N = 20 – 30 : 1

Chlévský hnůj obsahuje všechny ostatní makro – i mikroelementy jako S, Fe, B, Mn, Cu, Zn, Mo atd. Dusík je přítomen ze 70% v organické formě, 29% činí N – NH<sub>4</sub> a 1% N – NO<sub>3</sub>. Nejbohatší druh chlévského hnoje je hnůj králíčí, slepičí a husí (Hlušek, 2004).

### 3.11.5 Matolina

Matolina je druhem BRO z vinic a jsou to výlisky z hroznů. Matolina je tvořena z 8 % semeny, z 10 % stopečkami a úlomky třapin, z 25 % slupkami vylisovaných bobulí a z 57 % dřeni bobulí.

Množství a kvalita matoliny je ovlivněna několika faktory, jako je např. odrůda, způsob sklizně, zpracování v příjmové části a způsob lisování (z 3 tun hroznů lze získat 1 tunu matoliny). Matolína má vysokou vlhkost, nad 60 % a tím brzdí rozvoj aerobních organismů a podporuje kvasné procesy a rozvoj octových bakterií. (Zemánek, 2010).

### **3.11.6 Jablečný výlisky**

Jablečné výlisky neboli sušená jablečná dřeň, vznikají jako vedlejší produkt při lisování jablečné šťávy. Je to směs suché dužniny, slupek, jadřinců a stopek z jablka (30% podíl z jablka). Tato směs je sušena pro delší trvanlivost a lepší skladování. Jsou zdrojem polyfenolů, vlákniny, minerálních látek a antioxidantů (Sudha et al., 2005)

Jablečné výlisky tvoří objemově největší podíl odpadů u průmyslu konzervářského. Mimo jiné se jablečné výlisky přidávají jak v sušeném, tak i v rostlinném stavu do ovocných čajů. Dále se jablečné výlisky používají při výrobě pektinu. Pektin je používán v potravinářském průmyslu jako rosolotvorná látka (Dobiáš, 2004). Další využití jablečných výlisků jako substrát pro výrobu kyseliny citronové pěti kmeny *Aspergillus niger*. Touto metodou je vyráběno velké množství kyseliny citronové v přítomnosti 4% methanolu (Hang, Woodmas, 1984).

## 4 Metodika

### 4.1 Popis pokusu

Pro můj experiment, který trval 12 měsíců, byly použity vzorky složené ze sladovnického kalu, kde složení kalu bylo asi 20% z celku. Kal pochází s procesu čištění odpadní vody (zkratkou ČOV) v čistírně odpadních vod ze Sladovny Nymburk. Tato voda přichází do ČOV z procesu namáčky ječmene, který obsahuje prach a pluchy ječmene. Kal má málo sušiny a je chudý na živiny. Rozbory dělá sladovna a poskytuje je odběrateli. Kal ze sladoven je černá rosolovitá hmota (obr. č. 11) a nelze ji aplikovat samotnou, proto byla smíchána se slámou a dalšími surovinami.



Obr. č. 11 Sladovnický kal (zdroj vlastní)

Vermikompostování bylo zřízeno na půdorysu 3 x 20 m a výška kolem 1 m stojícím na rovném asfaltovém povrchu. Podestýlka s biologickým odpadem byla umístěna jako první. Vrstvy se žížaly byli přidány průměrně každý měsíc. Výška přidávaných vrstev byla cca 20 cm. Odběr vzorků byl odebrán 16. 5. 2016 z pěti vrstev po čtyřech opakování.

Tab. č. 5: Počet vrstev a stáří vermikompostu pro pokus s kalem ze sladoven a směsí dalšího různého bioodpadu ve Velelibách u Nymburku

Vrstva	Stáří vermikompostu	Výška vrstev
V. vrstva	< 3 měsíce	0 – 20 cm
IV. vrstva	6 – 3 měsíce	20 – 40 cm
III. vrstva	9 – 6 měsíců	40 – 60 cm
II. vrstva	12 – 9 měsíců	60 – 80 cm
I. vrstva	> 12 měsíců	80 – 100 cm

Tyto vzorky byly tvořeny směsí různého bioodpadu (tab. č. 6). Vzorky obsahovaly cca 20 % kalu ze sladoven, dále štěpka, sláma, jablečné výlisky, tráva a makovina.

Tab. č. 6: Složení surovin v jednotlivých vrstvách

Vrstva	Složení surovin
V. vrstva	20 % kalu ze sladoven, dále štěpka, sláma, jablečné výlisky, tráva a makovina
IV. vrstva	20 % kalu ze sladoven, dále štěpka, sláma, jablečné výlisky, tráva a makovina
III. vrstva	20 % kalu ze sladoven, dále štěpka, sláma, jablečné výlisky, tráva a makovina
II. vrstva	20 % kalu ze sladoven, dále štěpka, sláma, jablečné výlisky, tráva a makovina
I. vrstva	Násada se žížalami (hnůj a matolina)



Obr. č. 12 Odebírání vzorků (zdroj vlastní)

Na obrázku č. 12 je vidět hromada substrátu, kde nejstarší vrstvy jsou v dolní části. Postupně se vrstvy každý měsíc po cca 20 cm přikrmovaly. Poté se nakladačem vjelo z boku podélné hromady a udělal se příčný řez, z kterého se braly vzorky.

Hmotnost každého vzorku byla asi 5 kg. Vzorek podstoupil čtvrcení, aby dosáhnul 1 kg homogenizovaného vzorku. Žížaly byly odděleny, zváženy a zlyofilizovány. Jedna část vzorku vermikompostu byla uchována v chladničce při teplotě 4 °C, pro stanovení pH a elektrické vodivosti (EC). Druhá část vzorku se sušila při teplotě 30°C do konstantní hmotnosti. Tento vzorek byl poté použit pro analýzu celkového a dostupného obsahu prvků,  $C_{tot}$ ,  $N_{tot}$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ , DOC, IEC. Finální část vzorku byla zmrazena a lyofilizována pro stanovení skupin mikroorganismům.

## 4.2 Agrochemické a biologické analýzy

Měření pH a měrná vodivost (EC) bylo provedeno takto: Do plastových třepacích baněk bylo naváženo 10 g suchého rozemletého vzorku. K němu bylo přidáno 50 ml demineralizované vody. Suspenze se dala třepat na 10 minut do třepačky a poté byla zfiltrována, aby se z extraktu mohla proměřit vodivost. Po skončení třepání bylo pH měřeno za použití pH metru WTW pH 340 a po zfiltrování suspenze byla vodivost změřena konduktometrem TESTO 240.

Stanovení celkového uhlíku ( $C_{tot}$ ) a dusíku ( $N_{tot}$ ) bylo provedeno analyzátozem CHNS Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany). V tomto přístroji bylo spáleno asi 25 mg vzorku v katalytické peci a následně byl stanoven  $C_{tot}$  a  $N_{tot}$  pomocí tepelně vodivostního detektoru.

Pro stanovení celkových obsahů prvků, P; K a Mg, je zapotřebí odstranění organické matrice vzorku a přesunutí analytu do roztoku, z důvodu následného proměření spektrometrem. Pro mineralizaci vermikompostu byl vybrán rozklad na mokré cestě v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem v přístroji Ethos 1 (MLS GmbH, Germany) s následnou optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, AGILENT 700).

Obsah amonného dusíku ( $N-NH_4^+$ ), dusičnanového dusík ( $N-NO_3^-$ ) a obsah dostupných prvků P; K a Mg byl stanoven pomocí extrakčního činidla CAT (0,01 mol/l  $CaCl_2$  a 0,002 mol/l

kyseliny dietyltriaminpentaoctové (DTPA) v poměru 1:10 (w/v) podle normy EN 13651). Obsahy  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$  v extraktech byly měřeny kolometricky pomocí Skalar SANPLUS®. Koncentrace prvků byly stanoveny pomocí sdružené plazmové optické emisní spektrometrie (ICP-OES, Varian VistoPro, Varian, Austrálie) s axiální konfigurací plazmy. Intovýměnná kapacita (IEC) byla změřena konduktometricky dle Sandhoffa.

Vzorky pro analýzu obsahu mikroorganismů, analýzu fosfolipidů mastných kyselin (PLFA) se extrahovaly třikrát za použití směsi chloroformu, methanolu a fosfátového pufru (1: 2: 0,8, v / v / v). Extrakty byly analyzovány pomocí plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS, 450-GC, 240-MS Varian, Walnut Creek, CA, USA). Methylové mastné kyseliny byly identifikovány podle jejich hmotnostního spektra směsi chemických norem získaných od Sigma. Bakterie byly stanoveny na základě 17: 0, 16: 1 ω 9, 15: 0 a 16: 1 ω 7. Biomasa gram-pozitivních (G+) bakterií byly kvantifikovány jako součet I14: 0, I15: 0, 15: 0, I16: 0, I17: 0 a 17: 0. Gram negativní (G-) bakterie byly stanoveny na základě 16: 1ω7, 18: 1ω7, cy17: 0, cy19: 0, 16: 1ω5. 10Me-17: 0, 10Me-18: 0, 10Me-16: 0 byly použity pro aktinobakterie a 18: 2ω6,9 pro houby. Celková biomasa byla kvantifikována jako součet všech vzorků spolu s 16: 0 a 18: 1ω9 (Šnajdr et al., 2011).

### **4.3 Statistická analýza**

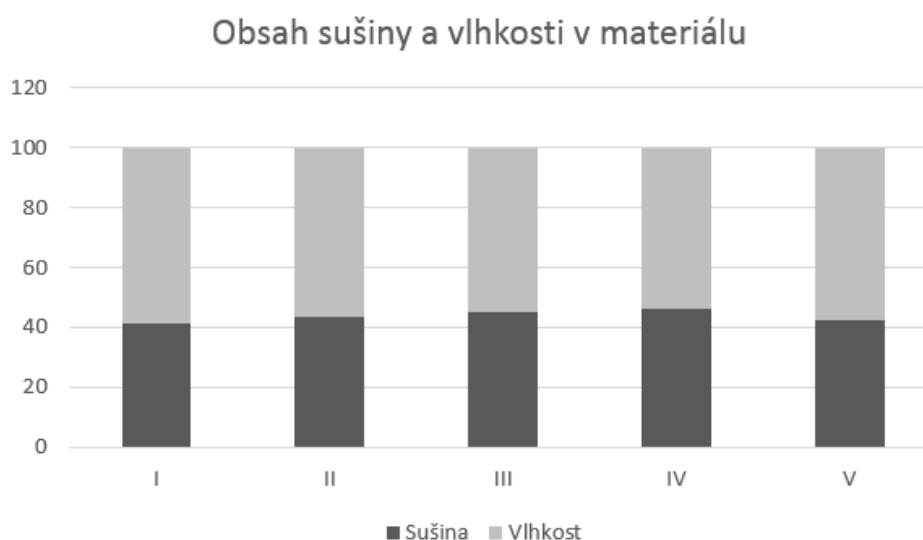
Statické analýzy byly určeny pomocí programu STATISTICA 9.0 software. Analýza rozptylu byla provedena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA) s použitím úrovně spolehlivosti 95 %. Následně byl proveden Tuckeyho HSD test, metoda pro vyvážený model.

## 5 Výsledky

Průběh vermikompostování byl hodnocen podle základních agronomických vlastností jednotlivých vrstev. Bylo nutné dodržovat optimální podmínky pro žížaly a zároveň podle nich určit vhodnost procesu. Hlavními parametry, které byly zkoumány v mé diplomové práci jsou: změny a vývoj pH, měrná vodivost (EC), poměr C:N a změny obsahů makroprvků – dusíku a jeho forem, fosforu, draslíku a hořčíku. Všechny tyto základní vlastnosti jsou vyhodnoceny v následujících kapitolách.

### 5.1 Sušina

Graf č. 1 nám ukazuje vývoj vlhkosti z mého pokusu. Je patrné, že se stoupajícím obsahem sušiny v materiálu, klesá vlhkost. Spodní vrstva ukázala nízký obsah sušiny a tím i vysoký obsah vlhkosti, což bylo pravděpodobně způsobeno absorpcí dešťové vody zadržené na asfaltovém povrchu, kde pokus probíhal. Varianty II – IV měly zhruba stejný vývoj, směsi měly na začátku cca 45 % sušiny a tedy 55 % vlhkosti. Podobný obsah sušiny, kolem 42%, byl také pozorován ve vrchní části pokusu, kde příčinou byli srážky a odpařování vody. Největší obsah sušiny byl nalezen ve variantě IV, kde hodnota obsahu sušiny byla v průměru 46 % a vlhkost 54 %.



Graf č. 1 Obsah sušiny a vlhkosti v materiálu



## 5.2 pH a vodivost

Pozorováním hodnoty pH nám ukázalo, že vrchní vrstva se výrazně liší od spodní vrstvy. Vyšší hodnota pH ve třech horních vrstvách může být způsobeno použitím výchozích materiálů a přítomností žížal.

Jak je znázorněno v tabulce č. 7, ve variantě III a IV a nejvyšší ve variantě V. V této variantě dosahuje hodnota pH průměrně 8,82. Nejnižší hodnota pH je zaznamenána ve variantě II, kde hodnota pH byla v průměru 8,18.

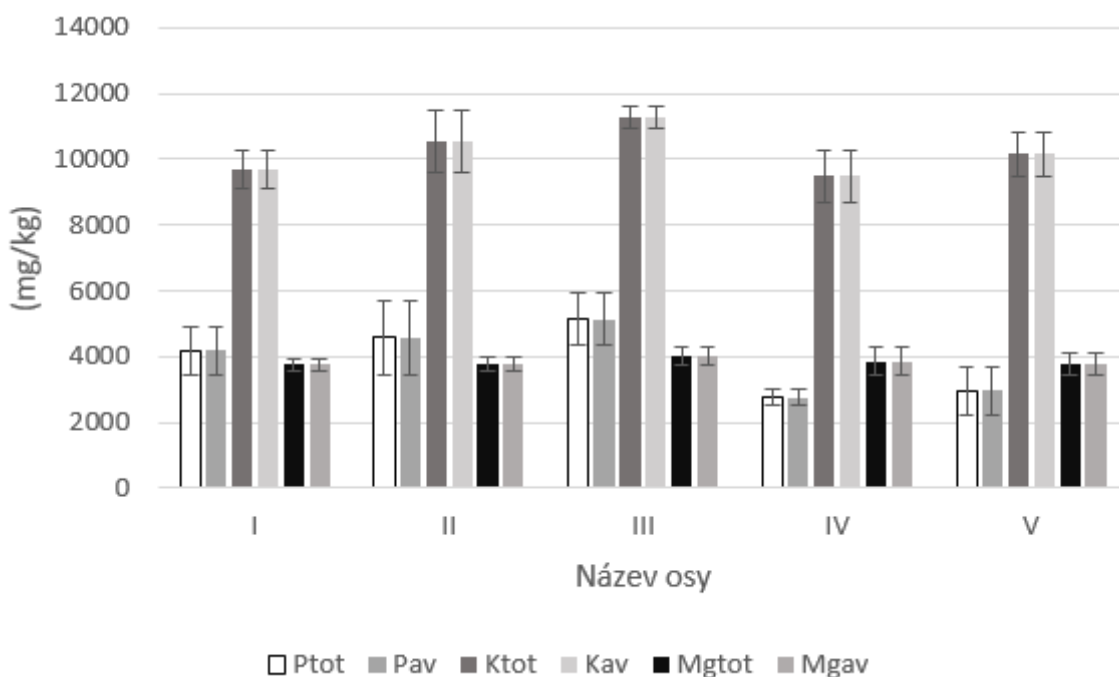
Tab. č. 7: Základní agrochemické parametry. Hodnoty jsou průměry  $\pm$  SD ( $n = 4$ ). Písmena poukazují na významné rozdíly ve vrstvách určené Tuckeyovým testem.

Varianta	pH	Vodivost ( $\mu\text{S/cm}$ )
V	$8,82 \pm 0,153^a$	$1098 \pm 120^a$
IV	$8,80 \pm 0,101^a$	$1368 \pm 133^{ab}$
III	$8,57 \pm 0,103^a$	$1131 \pm 254^a$
II	$8,18 \pm 0,083^b$	$1539 \pm 257^b$
I	$8,28 \pm 0,201^{ab}$	$1483 \pm 88^{ab}$

Jak zmiňuje Garg et al. (2006), žížaly jsou velmi citlivé na obsah soli v substrátu, neboli také elektrické vodivosti (ES). Z tabulky č. 7 je zřejmé, že ve spodní vrstvě, tedy u varianty I se vodivost pohybovala kolem  $1483 \mu\text{S/cm}$  a tím byla vyšší než u vrchní vrstvě. Dále je patrné, že u varianty II je nejvyšší hodnota vodivosti ( $1539 \mu\text{S/cm}$ ).

## 5.3 Obsah makroprvků

Sledovanými makroprvky byly fosfor (P), draslík (K) a hořčík (Mg). Jak je znázorněno na grafu č. 2, dostupný P nejprve ukázal rostoucí tendenci a poté klesající tendenci. V případě prvku K, nebyla významná variace mezi vrstvami. Obsah Mg se postupně snižoval. Spodní vrstva je zcela odlišná od ostatních vrstev. Průměrné poměry celkového obsahu prvků ve spodní vrstvě a vrchní vrstvě jsou zvýšené v následujícím pořadí: P, K, Mg.



Graf č. 2 znázornění makroprvků P, K a Mg a Pav, Kav a Mg av

#### 5.4 Celkový obsah uhlíku a dusíku, poměr C:N

Celkový obsah uhlíku ( $C_{tot}$ ) a dusíku ( $N_{tot}$ ) jsou značeny v tabulce č. 8. Dále je v tabulce značen poměr C/N.

Tab. č. 8: Hodnoty  $C_{tot}$ ,  $N_{tot}$  a poměru C/N. Hodnoty jsou průměry  $\pm$  SD ( $n = 4$ ). Tabulka ukazuje rozdíly mezi hodnotami na základně Tukeyho testu.

Varianta	$C_{tot}$	$N_{tot}$	C/N
V	$15,04 \pm 3,52^a$	$1,12 \pm 0,28^a$	$13,43 \pm 0,79^a$
IV	$14,17 \pm 2,36^a$	$1,07 \pm 0,19^a$	$13,28 \pm 0,50^a$
III	$17,05 \pm 2,57^a$	$1,74 \pm 0,34^b$	$9,90 \pm 0,57^b$
II	$15,05 \pm 1,35^a$	$1,34 \pm 0,15^{ab}$	$11,27 \pm 0,44^{bc}$
I	$16,78 \pm 1,78^a$	$1,34 \pm 0,06^{ab}$	$12,58 \pm 1,49^{ac}$

Největší obsah  $C_{tot}$  se nachází ve variantě I (16,78). Postupný pokles byl v důsledku ztráty těkavých pevných látek ve formě  $CO_2$ . U  $N_{tot}$  se obsah zvyšuje s věkem vrstvy, ale v mém experimentu nebyl obsah  $N_{tot}$  statisticky významný. Průměr C/N byl vypočten z  $C_{tot}$  a  $N_{tot}$  byla největší ve vrchní vrstvě s hodnotou 13. Tato hodnota byla jen proto, že výchozí materiál

intenzivně mineralizovaly žížaly a mikroorganismy. Průběh C/N byl po dobu trvání experimentu pro všechny varianty dosti podobné. Nejvýraznější rozdíl byl u varianty III, kde průměr C/N byl 9,90.

## 5.5 Dusík

Stabilita vermikompostů může být vyjádřena pomocí parametrů  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ , DOC, iontovýměnné kapacity (IEC) a  $\text{IEC}/\text{C}_{\text{tot}}$ . Tyto parametry jsou uvedené v tabulce č. 9.

Tab. č. 9: Vliv hloubky a stáří profilu na vybrané ukazatele splatnosti. Hodnoty jsou průměry  $\pm$  SD (n = 4). Tabulka ukazuje rozdíly mezi hodnotami na základně Tukeyho testu.

Varianta	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/kg)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/kg)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	DOC (mg C/kg)	IEC (mmol <sub>+</sub> /100g)	IEC/C <sub>tot</sub>
V	60,55 $\pm$ 5,72 <sup>b</sup>	16,24 $\pm$ 10,82 <sup>a</sup>	5,18 $\pm$ 3,10 <sup>b</sup>	5618 $\pm$ 471 <sup>a</sup>	33,50 $\pm$ 5,45 <sup>a</sup>	2,35 $\pm$ 0,86
IV	52,62 $\pm$ 4,69 <sup>ab</sup>	48,71 $\pm$ 9,75 <sup>a</sup>	1,11 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	5217 $\pm$ 346 <sup>a</sup>	24,50 $\pm$ 17,82 <sup>a</sup>	1,85 $\pm$ 1,42
III	51,37 $\pm$ 3,90 <sup>ab</sup>	276,74 $\pm$ 17,54 <sup>b</sup>	0,19 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	5584 $\pm$ 139 <sup>a</sup>	39,75 $\pm$ 9,14 <sup>a</sup>	2,31 $\pm$ 0,23
II	50,68 $\pm$ 9,32 <sup>ab</sup>	483,18 $\pm$ 95,86 <sup>c</sup>	0,11 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	5362 $\pm$ 305 <sup>a</sup>	30,75 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	2,05 $\pm$ 0,20
I	46,83 $\pm$ 3,28 <sup>a</sup>	326,95 $\pm$ 85,66 <sup>b</sup>	0,15 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	5266 $\pm$ 147 <sup>a</sup>	34,00 $\pm$ 11,52 <sup>a</sup>	1,99 $\pm$ 0,49

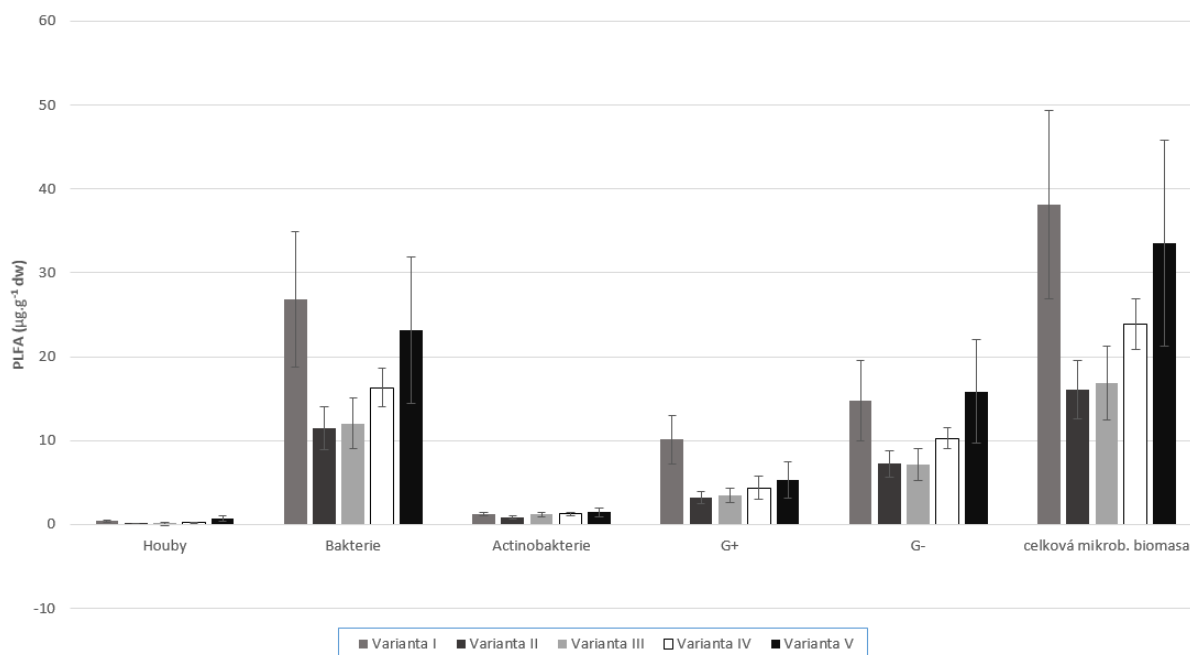
Amonný dusík se může považovat za parametr zralosti. Čím je poměr nižší, tím je to zralejší. Jak je patrné z tabulky č. 9, tak obsah amonného dusíku se výrazně nelišil. Nitrátový dusík by měl stoupat, a čím je varianta zralejší, tím by ho tam mělo být více. Nejnižší obsah dusíku nitrátového byl nalezen ve spodní vrstvě. Dosud neexistuje žádná prahová hodnota poměru  $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$  pro stabilní vermikompost, ale jak uvádí Abouelwafa et al. (2008), pro tento parametr byla navržena hodnota  $<1,0$  pro zralý kompost.

Rozpuštěný organický uhlík (DOC) je neaktivnější složka uhlíku a její koncentrace se doporučuje jako jednoduchá metoda stanovení zralosti kompostu (Wu et al., 2000). Největší DOC hodnota byla ve variantě V 5618 mg C/kg.

Další parametr, který je uveden v tabulce č. 9 je iontovýměnná kapacita. Tento parametr stanovovali na univerzitě v Českých Budějovicích. Schůdné IEC hodnoty ve tvaru klasické křivky nebyly ve dvou vrchních vrstvách identifikovány. Pokud vrstva není zralá, tak křivka nemá klasický tvar, nejedná se tedy o zralý kompost nebo vermikompost. Poměr IEC/C<sub>tot</sub> zohledňuje mineralizaci organické hmoty. Hodnoty poměru IEC/C<sub>tot</sub> se rapidně nemění a jsou v rozmezí mezi 1,99 až 2,35. Ve variantě V je hodnota poměru IEC/ C<sub>tot</sub> (2,35) nejvyšší.

## 5.6 Mikroorganismy

Mikroorganismy obsahují houby, bakterie, actinobakterie, G+, G- bakterie a celkovou mikrobiální biomasu. Tyto analýzy byly provedeny ve spolupráci s mikrobiologickým ústavem AV ČR. V těchto výsledcích neurčujeme obsah mikroorganismů, ale obsahy fosfolipidů mastných kyselin (PLFA), které jsou v mikroorganismech.



Graf č. 3 Obsah mikroorganismů

Graf č. 3 nám znázorňuje, že koncentrace hub PLFA ve vrchní vrstvě je vyšší ve srovnání se spodními vrstvami. Houby jsou v rozmezí od 0,4 do 1,05  $\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{dw}$ . Bakterie jsou v rozmezí od 31,5 do 30,3  $\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{dw}$ . Actinobakterie jsou v rozmezí mezi 1,3 až 1,5  $\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{dw}$ . Gram plus byl

mezi hodnotami 11,7 až 5,7 a gram mínus byl mezi 17,3 až 22,4  $\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{dw}$ . Co se týče celkové mikrobiální biomasy, tam jsou hodnoty v rozmezí od 45,0 do 43,6  $\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{dw}$ .

## 5.7 Žížaly

Jak můžeme vidět z tabulky č. 10, tak počet žížal na 1 kg a biomasa žížal na 1 kg byla zkoumaná pouze v horních dvou vrstvách, neboť ve spodních vrstvách nebyly žížaly nalezeny. Počet žížal byl ve variantě V (67,1 ks/kg) rapidně větší než u varianty IV (4,2 ks/kg). Podobná situace byla zjištěna v případě biomasy žížal, kde varianta V byla větší než varianta IV. Průměrná hmotnost žížal [g] v 600 g substrátu byla v rozmezí od 0,77 – 4,03 g a nebyly zjištěny žádné významné rozdíly mezi těmito dvěma vrstvami.

Tabulka č. 10 Znárodnění počtu žížal a biomasy žížal

Varianta	počet [ks] v 1 kg	Biomasa žížal [g] v 1 kg
V	67,1 ± 72,2	6,7 ± 2,4
IV	4,2 ± 4,2	1,3 ± 0,5
III	0 ± 0	0 ± 0
II	0 ± 0	0 ± 0
I	0 ± 0	0 ± 0

## 6 Diskuze

Výsledky lze porovnat se studií Suthar (2010). Ta zjistila, že snížení pH (z hodnoty 8,6 na 7,3) proběhlo i při vermikompostování zemědělsky – průmyslového kalu. Garg et al. (2006) se domnívají, že pokles pH může být v důsledku mineralizace organických látek. Tím se zvýší obsah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ , a organických a huminových kyselin.

V mém experimentu mohlo být zvýšené pH způsobeno přítomnými mikroorganismy, kteří degradovali organické kyseliny a z části je také zkonsumovali. Nejnižší hodnoty pH byly pravděpodobně v důsledku převládajících anaerobních podmínkách a také přidáním bioodpadu, který ve spodní vrstvě nebyl. Dalším dopadem nízkého pH by mohlo být vysoký obsah organických kyselin.

Lazcano et al. (2008) stanovili prahovou hodnotu měrné vodivosti 3 mS/cm pro bezpečné agronomické použití konečného vermikompostu. Tato prahová hodnota nebyla ani v jedné z variant překročena. Důsledkem rozdílu ES v mém experimentu by mohlo být fakt, že u varianty I byla násada se žížalami (substrát s hnoje a matoliny) a v dalších variantách byl poté přidán biologický odpad. U varianty II byla pozorována nejvyšší hodnota vodivosti, to může být v důsledku zůstatku hnoje z první varianty.

Při obsahu makroprvků, především fosforu, draslíku a hořčíku se spodní vrstva ukázala jako zcela odlišná od ostatních vrstev. To znamená, že v první vrstvě je substrát z matoliny a hnoje a v dalších vrstvách je přidán bioodpad s možností výskytu hnoje, a proto může docházet k nejasným výsledkům obsahů sledovaných makroprvků.

Ndegva a Thompson (2000) se zabývali účinky poměru C/N na proces vermikompostování z biologicky rozložitelného odpadu a došli k závěru, že nejideálnější výchozí poměr C/N v substrátu ke krmení žížal je 25:1. Ze studií z poslední doby, bylo sledováno jakékoliv snížení poměru C/N jako velmi mírné.

Nejvýraznější rozdíl poměru C/N u mé diplomové práce byl u varianty III, u které nejsou známy přesné poměry různého biologického materiálu, který byl dodán do jednotlivých variant.

Hanč a Plíva (2013) provedli experiment s vermikompostováním z kuchyňského biologického odpadu, ten představoval podíl  $\text{N-NO}_3^-$  7%. V mém pokusu se nízký obsah  $\text{N-NO}_3^-$  ve vermikompostu přisuzuje k přítomnosti hnoje nejen v první vrstvě, ale také v dalších vrstvách. V mém experimentu je vidět, že vrchní vrstvy nejsou zcela humifikovány. Ve spodní vrstvě je rozdíl v tom, že tato vrstva obsahuje hnůj. Bakterie a houby se považují za důležité potravinové zdroje pro žížaly. Jelikož koncentrace actinobakterií a plísní (hub) byla poměrně nízká, tak je zřejmé, že vzorek bakterií odpovídal vzoru gramnegativních bakterií. Je možné učinit závěr, že gramnegativní bakteriální biomasa se zúčastnila v podstatě všech fází procesu.

Garg et al. (2012) uvádějí, že při vermikompostování kalů z potravinářského průmyslu ve směsi s jinými biologickými odpady nabývají žížaly největší biomasy mezi 7 až 10 týdnem. Gupta a Garg (2009) zjistili ve své studii, že maximální biomasa žížal byla dosažena mezi 4. a 5. týdnem vermikompostování. Jako substrát byl použit odpad z nerecyklovaného papíru. V jiném pokusu vermikompostování rostlinného odpadu s přídavkem kravského hnoje a slámy zjistili Gupta a Garg (2009), že nejvyšší biomasa žížal byla po 4 týdnech. Je tedy zřejmé, že dosažení nejvyšší biomasy žížal je při procesu vermikompostování vždy individuální a záleží na složení a povaze substrátu.

## 7 Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo především popsat problematiku nakládání se zbytky z potravinářského průmyslu a zhodnotit efektivitu vermikompostování kalu ze sladoven, což bylo v práci splněno.

Výsledky byly ovlivněny vlivy, které se v laboratorních podmínkách nevyskytují. Zejména usazování přidané látky a dále změny teploty a srážek spojených s odpařováním nebo absorpcí přebytečné kapaliny skrz profil.

pH dosahovalo hodnot v rozmezí mezi 8,28 – 8,82. Vývoj pH byl pro každou variantu určitý a bylo ovlivněno obsahem různého bioodpadu ve variantách. Nejnižší pH bylo zaznamenáno ve variantě II a nejvyšší ve variantě V. Měrná vodivost (EC) byla nejvyšší u varianty II, kde hodnota vodivosti byla 1539  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Měrná vodivost u spodní vrstvy byla celkově vyšší než vrchní vrstva.

Výsledný poměr C/N, který byl vypočten z  $C_{\text{tot}}$  a  $N_{\text{tot}}$ , byl největší ve vrchní vrstvě, kde hodnota dosahovala 13. Nejvýraznější rozdíl byl u varianty III, kde průměr C/N byl 9,90. Obsahy jednotlivých forem dusíku se výrazně lišily v konečných produktech vermikompostů. U všech variant byl sledován nárůst makroprvků (P, K a Mg). Spodní vrstva se ukázala jako zcela odlišná od ostatních vrstev. Nejlépe se žížalám vedlo v V vrstvě.

Vzhledem ke snadnosti oddělení vrstev pomocí nakladače, může být horní vrstva použita pro nový pokus vermikompostování. U spodních vrstev je předem stanoveno, že je užitečná jako hnojivo.

I za předpokladu, že nebyly přesně definované obsahy částí směsi bioodpadu, který byl ve variantách II – V použit, lze i tak tvrdit, že kal ze sladoven je vhodný pro zpracování pomocí žížal a následný produkt (vermikompost) je využitelný k zemědělským účelům jako plnohodnotné hnojivo.

Moji hypotézou pro tento experiment bylo využití metody vermikompostování pro zpracování kalů ze sladoven se jeví jako vysoce efektivní a to se nám také potvrdilo. Hypotéza, že spodní část profilu bude vykazovat lepší agrochemické vlastnosti a stupeň zralosti než vrchní část. Tato hypotéza byla také prokázána a to tím, že vrchní dvě vrstvy nejsou zcela



zmumifikovaný. A také poslední hypotéza: Nejvyšší biomasa žížal bude v horní vrstvě, se nám tento fakt potvrdil, jelikož v dolních vrstvách nezůstaly žádné žížaly.

## Seznam literatury

Anonym, Využívání druhotných surovin a odpadů z potravinářského průmyslu, (citováno 25. 1. 2017), [www.mendelu.cz/af/agrochem/studenti/potroodpady\\_skripta.doc](http://www.mendelu.cz/af/agrochem/studenti/potroodpady_skripta.doc)

Abouelwafa R, Ait Baddi G, Souabi S, Winterton P, Cegarra J and Hafidi M (2008) Aerobic biodegradation of sludge from the effluent of a vegetable oil processing plant mixed with household waste: physical-chemical, microbiological, and spectroscopic analysis. *Bioresource Technology* 99: 8571-8577.

Ansari, A. A., Ismail, S. A. 2012. Earthworms and Vermiculture Biotechnology, Management of Organic Waste, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-925-7, InTech, Available. dostupné z [www:http://www.intechopen.com/books/management-of-organicwaste/earthworms-and-vermiculture-biotechnology](http://www.intechopen.com/books/management-of-organicwaste/earthworms-and-vermiculture-biotechnology)

Cederberg C.: Life cycle assessment of animal products. V knize: Mattsson B. a Sonesson U. (Edits.): Environmentally-friendly food processing. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge.

Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M. 2009. Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes. In: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (eds.). *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Springer. ISBN: 978-3-624-04042-9. 12.

Domínguez J and Gómez-Brandón M (2013) The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. *Waste Management & Research* 31: 859-868.

Domínguez, J., Edwards, c. a. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology & Biochemistry*. 1997, č. 29, s. 743-746. DOI 10.1016/S0038-0717(96)00276-3.

Domínguez, J., Edwards, C.A. 2004. Vermicomposting organic wastes: a review. In: Hanna, S.H.S., Mikhail, W.Z.A. (eds.). Soil zoology for sustainable development in the 21st century. Self-Publisher. Cairo. 369-395. ISBN: 9-7717-1903-3.

Garg, V.K., Gupta, A., Satya, S., 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*. 97, 391-395.

Garg, V.K., Suthar, S., Yadav, A., 2012. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. *Bioresource Technology*. 126, 437-443.

Gupta, P. K. 2004. Vermicomposting for sustainable agriculture. *Biotechnology and Agrobios, India*. 26.

Gupta, R., Garg, V.K., 2009. Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. *J. Hazard. Mater.* 162, 430-439.

Hanc, A., Chadimova, Z., 2014. Nutrient recovery from apple pomace waste by vermicomposting technology. *Bioresource Technology* (2014). Article in press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.031>

Hanc, A., Pliva, P., 2013. Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *J. Mater. Cycles Waste Manage.* 15, 431-439. 31.

Hanč, A., Plíva, P. 2013. Vermikompostování bioodpadů - certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze. 1. vydání. 35 stran. ISBN: 978-80-213-2422-0

Hansen C.L. (2000): Waste treatment. V knize: Mattsson B. a Sonesson U. (Edits.): Environmentally-friendly food processing. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge

HLAVATÁ, M. Odpadové hospodářství. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TUO, 2004.174 s. ISBN 80-248-0737-8.

Huang, K., Wei, Y., Li, F., Fu, X., Chen, X.(2014): Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource technology*: 45-52.

Jedlička, M., *Nové kapacity na pivovarské a sladařské vedlejší produkty*, *Náš chov*, prosinec 2004, roč. LXIV., číslo 12, str. 16-17

Kalina M. 2004. *Kompostování a péče o půdu*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s. 116 s.

KOMPOSTUJ. *Jak využít kompost*. [online]. [cit. 2017-04-1]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/jak-vyrabet-kompost/jak-vyuzit-kompost/>.

MAREK Miroslav, Hana OPATOVÁ a Michal VOLDŘICH. *Odpady a druhotné suroviny v zemědělsko-potravinářském komplexu*. Ostrava: Vysoká škola báňská. Technická univerzita, 1996, 125 s. Phare, 32. ISBN 8070783826

Ndegva, P.M., Thompson, S.A., 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 75, 7-12. 50.

Ndegwa, P.M.; Thompson, S.A.; Das, K.C. (1998). "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids". *Bioresource Technology* 71: 5–12. doi:10.1016/S0960-8524(99)00055-3.

Pelikán, M., Dudáš, F., Míša, D., *Technologie kvasného průmyslu*, I.vyd.-dotisk, Brno, Ediční středisko MZLU, 2004, 135 str., ISBN 80-7157-578-X, Kapitoly 2.5, str. 48, kap.3.7, str.67, kap. 1.6, str. 22

PŠENIČKA, P. Jsou kalifornské žížaly rizikové řešení? Jak moc je kalifornský druh 47 invazní?. [online]. 2009-04-23 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: [http://www.kompostuj.cz/index.php?id=162&backPID=162&tx\\_faq\\_faq=63](http://www.kompostuj.cz/index.php?id=162&backPID=162&tx_faq_faq=63).

Slejška A. 2002. Porovnání v ČR dostupných kompostérů. Biom.cz [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/porovnani-v-cr-dostupnych-komposteru>.

Slejška A., 1999. Vermikompostování. *Regena* 5/99, IX ročník, s. 19

Slejška, A. Vermikompostování. *Regena*. 1999, č. 5, s. 19. ISSN 1212-2289.

Skleničková, A. Zpracování biologicky rozložitelného odpadu vermikompostováním. Ostrava, 2011. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta.

Suthar, S. 2010. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering* 36 (2010) 1028-1036. 68.

Suthar, S., Singh, S. (2008): Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). *International Journal of Environmental Science & Technology*: 99-106.

Suthar, S., Singh, S., 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavates* and *Perionyx sansibaricus*). *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 5, 99-106.

Šnajdr, J., Cajthaml, T., Valášková, V., Merhautová, V., Petránková, M., Spetz, P., Leppänen, K., Baldrian, P., February 2011, Transformation of *Quercus petraea* litter: successive changes in litter chemistry are Reflected in differential enzyme activity and changes the microbial community composition, *FEMS Microbiology Ecology* 75 (2), 291-303.

Váňa, J. 1997. Výroba a využití kompostů v zemědělství. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, Praha, 40 s. ISBN 80-7105-144-6. 73.

Váňa, J. 2002. Kompostování odpadů. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z WWW: . ISSN: 1801-2655.

Váňa, Jaroslav: Kompostování odpadů. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.

Vermikompostování: Chov, poradenství a prodej kalifornských žížal [Internet]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z <http://www.vermikompostovani.cz>.

Wu L, Ma LQ and Martinez GA (2000) Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. Journal of Environmental Quality 29: 424-429.

ZAJONC, I. Chov žížal a výroba vermikompostu. 1. vyd. Povoda: ANIMAPRESS, 1992, 59 s. ISBN 80-85567-07-5.

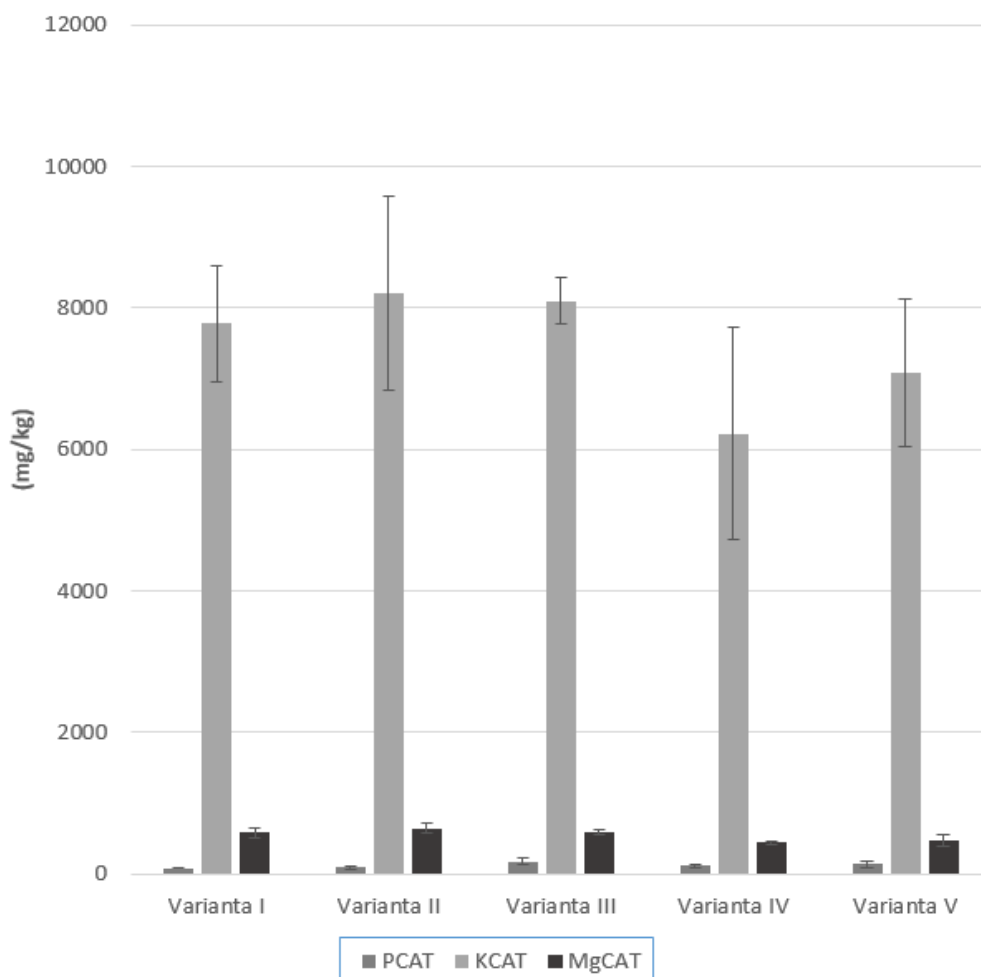
## Seznam použitých zkratk

BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
EC	Měrná vodivost
VK	Vermikompost

## Příloha č. 1 – tabulková

Obsahy fosforu, draslíku a hořčíku stanovených ve výluhu CAT

Graf č. 5 Celkový obsah draslíku, hořčíku a fosforu CAT



Tabulka č. 11 Změny obsahu fosforu, draslíku a hořčíku (mg/g) stanoveny pomocí extrakčního činidla CAT

Varianta	PCAT	KCAT	MgCAT
V	139 ± 41 <sup>ab</sup>	7084 ± 1040 <sup>a</sup>	469 ± 76 <sup>c</sup>
IV	116 ± 18 <sup>ab</sup>	6226 ± 1494 <sup>a</sup>	439 ± 17 <sup>c</sup>
III	175 ± 46 <sup>b</sup>	8104 ± 319 <sup>a</sup>	589 ± 42 <sup>ab</sup>
II	88 ± 16 <sup>a</sup>	8208 ± 1380 <sup>a</sup>	647 ± 62 <sup>b</sup>
I	85 ± 8 <sup>a</sup>	7786 ± 822 <sup>a</sup>	580 ± 72 <sup>ab</sup>



## Příloha č. 2 – obrázková

Obrázek č. 13 Odebírání vzorků 16. 5. 2016



Obrázek č. 14 Příčný řez ve vrstvách vermikompostu



Obrázek č. 16 Sladovnický kal

