

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Vermikompostování kalů ze sladoven**

**Diplomová práce**

**Bc. Kristýna Voříšková  
Rozvoj venkovského prostoru**

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

© 2019 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vermikompostování kalů ze sladoven" 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 12.4.2019

---

## **Poděkování**

Rád(a) bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Aleši Hanči, Ph.D. a Ing. Tereze Hřebečkové za odborné vedení práce, nabyté zkušenosti, inspiraci a motivaci. Dále bych ráda poděkovala rodině za trpělivost a podporu, bez nichž by práce nemohla vzniknout.

# Vermikompostování kalů ze sladoven

## Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit chemické a biologické vlastnosti vermikompostovaného kalu ze sladoven v systému postupného přidavku surovin. Na základě výsledků agrochemických a biologických analýz posoudit systém vermikompostování jako vhodné metody pro zpracování kalu ze sladoven. Sladovnický kal použitý v experimentu pocházel z podnikové čističky odpadních vod Sladovny Nymburk. Experiment probíhal v roce 2017 ve Výzkumné stanici Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Červeném Újezdě. Pokus zahrnoval 5 vermikompostérů značky Worm Factory, které využívaly systém průběžného vertikálního krmení. Čtyři vermikompostéry obsahovaly substrát s násadou žížal druhu *Eisenia andrei* a směs bioodpadu složenou z různého poměru sladovnického kalu a slaměných pelet. Pátý vermikompostér byl kontrolní a neobsahoval násadu žížal. Dle systému průběžného krmení byly postupně přidávána patra se směsí bioodpadu. Proces vermikompostování byl ukončen po 7 měsících a z odebraných vzorků byly provedeny biologické analýzy (množství žížal, množství biomasy žížal) a agrochemické analýzy (obsah sušiny, pH, měrná vodivost, poměr C:N, celkové a přístupné množství prvků K, Mg, P). Na základě výsledků bylo zjištěno, že jednotlivé vermikomposty výrazně ovlivnil poměr slaměných pelet. Ideální podmínky pro systém vermikompostování byly zaznamenány u směsi s 25 % sladovnického kalu a 75 % slaměných pelet. Výsledné vlastnosti vermikompostů byly také ovlivněny stářím vrstev. Největší množství žížal a zároveň nejvyšší podíly přístupných prvků obsahovaly nejmladší vrstvy. Naopak nejstarší vrstvy obsahovaly nejvyšší celkové množství K. Použití sladovnického kalu v systému vermikompostování bylo doporučeno pouze za předpokladu kombinace se slaměnými peletami.

**Klíčová slova:** sladovnický kal, vermikompostování, sláma, agrochemické a biologické vlastnosti, průběžné krmení

# Vermicomposting sludge from malting plants

## Summary

Aim of this diploma thesis is to evaluate chemical and biological characteristics of vermicomposted malt sludge in continuous feeding system. Based on results of agrochemical and biological analysis to determine, if vermicomposting system is a suitable mean for processing of malt sludge. Malt sludge samples used during experiment were obtained from wastewater treatment facility at Sladovny Nymburk. Experiment has been performed in 2017 at faculty's experimental station in Červený Újezd. Procedure included five vermicomposters Worm Factory, that utilized continuous vertical feeding system. Four vessels contained substrate with earthworm species *Eisenia andrei* and a mixture of biowaste made of different share of malt sludge and straw pellets. Last vermicomposter was intended as comparative, without any earthworm population. According to continuous feeding system, new layers with biowaste mixture were added. Vermicomposting was finished after 7 months and from extracted samples, biological analysis was performed (population of worms, quantity of worm's biomass) and agrochemical analysis was performed (dry matter content, pH, electrical conductivity, C:N ratio, total and available content of K, Mg, P). According to results acquired it was determined, that performance of individual vermicomposters was strongly influenced by straw pallet ratio. Ideal conditions for vermicomposting were measured by ratio of 25% malt sludge and 75% of straw pellets. Final properties were also influenced by age of particular layers. Highest population of earthworms as well as highest available content of elements was present in youngest layers. On contrary, oldest layers contained highest total content of K. Application of malt sludge was recommended under condition of combination with straw pellets.

**Keywords:** malt sludge, vermicomposting, straw, agrochemical and biological properties, continuous feeding system

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>Cíl práce a hypotézy .....</b>	<b>12</b>
<b>Literární rešerše.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Technologie výroby sladu .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Historie výroby sladu.....	13
1.1.2 Vstupní materiál.....	14
1.1.2.1 Ječmen .....	14
1.1.2.2 Voda .....	16
1.1.3 Výroba sladu .....	17
1.1.3.1 Čištění a třídění.....	18
1.1.3.2 Skladování .....	19
1.1.3.3 Máčení .....	20
1.1.3.4 Klíčení .....	20
1.1.3.5 Hvozdění.....	21
1.1.3.6 Skladování a expedice .....	21
<b>1.2 Vznik odpadu při výrobě sladu.....</b>	<b>21</b>
1.2.1 Sladovnický kal.....	22
1.2.2 Možnosti zpracování kalů z čistíren odpadních vod.....	23
<b>1.3 Kompostování a vermikompostování.....</b>	<b>24</b>
1.3.1 Kompostování.....	24
1.3.1.1 Fáze rozkladu.....	24
1.3.1.2 Fáze přeměny.....	25
1.3.1.3 Fáze dozrávání.....	25
1.3.2 Technologie vermikompostování .....	25

1.3.2.1	Optimální podmínky pro vermikompostování .....	26
1.3.2.2	Vermikompostovací systémy .....	26
<b>Metodika .....</b>		<b>28</b>
<b>1.4</b>	<b>Materiál .....</b>	<b>28</b>
<b>1.5</b>	<b>Průběh pokusu .....</b>	<b>28</b>
1.5.1	Agrochemické a biologické analýzy .....	30
1.5.2	Statistické analýzy .....	31
<b>Výsledky .....</b>		<b>32</b>
<b>1.6</b>	<b>Sladovnický kal a slaměné pelety .....</b>	<b>32</b>
<b>1.7</b>	<b>Vermikompostéry se sladovnickým kalem .....</b>	<b>33</b>
1.7.1	Vermikompostér č. 1 .....	33
1.7.2	Vermikompostér č. 2 .....	35
1.7.3	Vermikompostér č. 3 .....	37
1.7.4	Vermikompostér č. 4 .....	40
1.7.5	Vermikompostér č. 5 .....	42
<b>1.8</b>	<b>Porovnání všech výsledných vermikompostů .....</b>	<b>44</b>
<b>Diskuze .....</b>		<b>49</b>
<b>Závěr .....</b>		<b>55</b>
<b>Literatura .....</b>		<b>56</b>
<b>Samostatné přílohy .....</b>		<b>I</b>

## Úvod

Slad je základní surovina k výrobě piva, které má v České republice neobyčejně významnou roli, neboť Češi jsou největšími konzumenty tohoto nápoje na světě. Výroba sladu je proto neméně důležitým potravinářským odvětvím. S přibližnou produkcí 450 000 t sladu za rok vzniká na každou tunu vyrobeného sladu téměř 7 m<sup>3</sup> odpadních vod. Tyto odpadní vody jsou následně odváděny do čistíren. Vedlejším produktem v procesu čištění je sladovnický kal. Tento biologicky rozložitelný odpadní materiál má vysoký potenciál z hlediska zpracování a dalšího využívání například v zemědělství. V současné době je zároveň kladen vysoký důraz na to, aby veškeré odpady byly v co nejvyšší míře znovu využity a tím bylo eliminováno jejich skládkování, spalování či jiný způsob neefektivní likvidace.

Jednou z možností zpracování tohoto cenného bioodpadu je vermikompostování. Jedná se o jednoduchý biotechnologický proces, při němž se k přeměně biologicky rozložitelných odpadních materiálů v cenný organický vermikompost používají žížaly (Azizi et al. 2014).

Některé druhy žížal mají schopnost konzumovat širokou škálu organických zbytků, jako jsou splaškové kaly, bioodpad z živočišné výroby a zbytky plodin (Atiyeh et al. 2000). Vermikompostování se navíc jeví jako jedna z nejlépe proveditelných alternativních technik ve srovnání s konvenčním aerobním kompostováním. Tento proces je nejen rychlý, snadno kontrolovatelný, nákladově efektivní, energeticky úsporný, navíc s nulovým odpadem, ale zároveň s ním lze dosáhnout co nejefektivnější recyklace organického odpadu a živin (Azizi et al. 2014).

Americká studie uvádí, že 10 000 žížal odvede na zemědělském pozemku srovnatelnou práci jako tři zemědělci, kteří by v průběhu celého roku postupně aplikovali 10 t hnoje (Adhikary 2012). Využití vermikompostu jako půdního hnojiva obvykle zrychluje růst a vývoj sazenic a zvyšuje produktivitu široké škály plodin (Atiyeh et al. 2000).

Tato práce se bude zabývat možností využití systému vermikompostování jako vhodné metody pro zpracování kalu ze sladoven.



## **Cíl práce a hypotézy**

Cílem diplomové práce je popsat experiment s vermikompostováním směsi sladovnických kalů s přídavkem slaměných pelet v různém poměru v systému postupného přídavku surovin a zhodnotit chemické a biologické vlastnosti výsledných vermikompostů. V závěru bude zhodnocen sladovnický kal z hlediska vhodnosti k vermikompostování.

Hypotézy:

1. Budou nalezeny rozdíly v agrochemických a biologických vlastnostech vrstev různého stáří.
2. Vyšší biomasa žížal bude nalezena v horních vrstvách.
3. Přídavek slaměných pelet ke kalu bude mít pozitivní vliv na vermikompostovací proces a kvalitu výsledného produktu.

# Literární rešerše

## 1.1 Technologie výroby sladu

### 1.1.1 Historie výroby sladu

K výrobě sladu se téměř výhradně používá ječmen, což je jedna z nejstarších kulturních plodin na světě. Počátky kulturního pěstování ječmene můžeme hledat v oblastech tehdejší Babylonie a Egypta, a to v období 10 000 let před naším letopočtem. Do Evropy se pak dostává o 3000 – 6000 let později, tedy 7000 – 4000 let před naším letopočtem (Basařová & Čepička 1985).

Domácí výroba sladu, a s tím úzce spjatá výroba piva, se v Českých zemích začínala prosazovat od raného středověku. Postupem času se tato výroba přesouvala do klášterů, popřípadě ke šlechtě a měšťanům, kteří po udělení výsadního práva, vařili pivo v právovárečných domech (Potravinářská komora ČR 2009).

V tomto období postupného rozvoje pivovarnictví se však ke sladování využívá pšenice. Ječmen ji začal nahrazovat v 17. století (Zimolka 2006). Následoval sladovnický boom, který vrcholil v 70. letech 19. století. Rok 1884 můžeme v celé historii sladovnictví označit za zlomový, neboť byla na Hané vyšlechtěna hospodářem Emanuelem Proskowtzem odrůda *Hanácký Pedigree* (Basařová & Čepička 1985), která se stala celosvětově jednou z nejvýznamnějších a vytvořila základ pro šlechtění Hanáckých sladových odrůd (Chloupek 2011). Tato odrůda dominovala až do roku 1990, kdy do Česka začaly pronikat zahraniční odrůdy. V současné době se u nás pěstují odrůdy jarního ječmene, dvouřadého a nícího ječmene (Basařová & Čepička 1985). V tabulce níže (Tab. 1) je uveden celkový počet sladoven, jejich velikost a objem výroby v České republice v roce 2002.

Tabulka 1. Počet sladoven, jejich velikost a objem výroby v České republice v roce 2002 (Pivovarský kalendář 2004).

Sladovny	Ukazatel	Jednotka	Hodnota roku 2002
<b>Pivovarské</b>	Počet		24
	Výroba sladu	t	143 960
		%	31,83
<b>Komerční</b>	Počet		17
	Výroba sladu	t	308 287
		%	68,17
<b>Celkem</b>	Počet		41
	Výroba sladu	t	452 247

## 1.1.2 Vstupní materiál

### 1.1.2.1 Ječmen

Pokud vykopeme plně rostoucí rostlinu, zjistíme, že kořenová soustava není příliš mohutná (Kosař & Procházka 2000). V systému kořenů lze rozeznat zrno, ze kterého rostlina vzešla, a to ve formě skutelu<sup>1</sup> pokrytého membránou. V této části zrna můžeme pozorovat 5 - 10 vyrůstajících jemných vláknitých kořenů, pro něž je typický přímý růst a jejich součástí jsou další, spíše krátké, velmi tenké kořeny (Clemencet & Bergal 1962). Jedná se o zárodečné kořínky, které se utvářejí v průběhu vzcházení ječmene (Kosař & Procházka 2000) a formují růst celého kořenového systému. Současně hrají klíčovou roli pro ukotvení rostliny a její zásobení živinami. Z tuzemských plodin vytváří ječmen největší počet zárodečných kořínků (Chloupek et al. 2005). Na opačnou stranu od zrna a centrálních kořenů vyrůstá hlavní stonek, mezokotyl<sup>2</sup>. Vývoj počtu sekundárních nebo trvalých kořenů je náhodný. Jsou zřetelně větší než hlavní stonek a dosahují různorodých směrů a složitých větvení. V dostatečně provzdušněné půdě jsou schopné proniknout do úctyhodných hloubek. V experimentálních podmínkách až do hloubky 1 metru. Povrch

<sup>1</sup> Štítek. Součást embrya trav. Je považován za orgán homologický s dělohou. Při klíčení uvolňuje do endospermu enzymy, které rozkládají zásobní látky, a dále slouží k čerpání živin z endospermu a jejich přenosu do klíčící rostliny

<sup>2</sup> Část stonku mezi štítkem a pochvou.

obou primárních i sekundárních kořenů je hojně pokryt absorpčními chloupky. Kořenová čepička je obtížně viditelná (Clemencet & Bergal 1962).

Stonk ječmene má strukturu typickou pro trávy a obsahuje sedm až osm internodií<sup>3</sup> (Kosař & Procházka 2000). Každé obsahuje velkou axiální dutinu, které jsou od sebe odděleny uzlovou membránou. Růst stonku probíhá v bazální oblasti každého internodia a přetrvává i dlouho po odkvětu (Clemencet & Bergal 1962). Kratší internodia se nachází u základu stonku a jejich délka se výrazně prodlužuje směrem k vrcholku (Chloupek et al. 2005). Stonk dorůstá do délky 80 – 130 cm (Kosař & Procházka 2000).

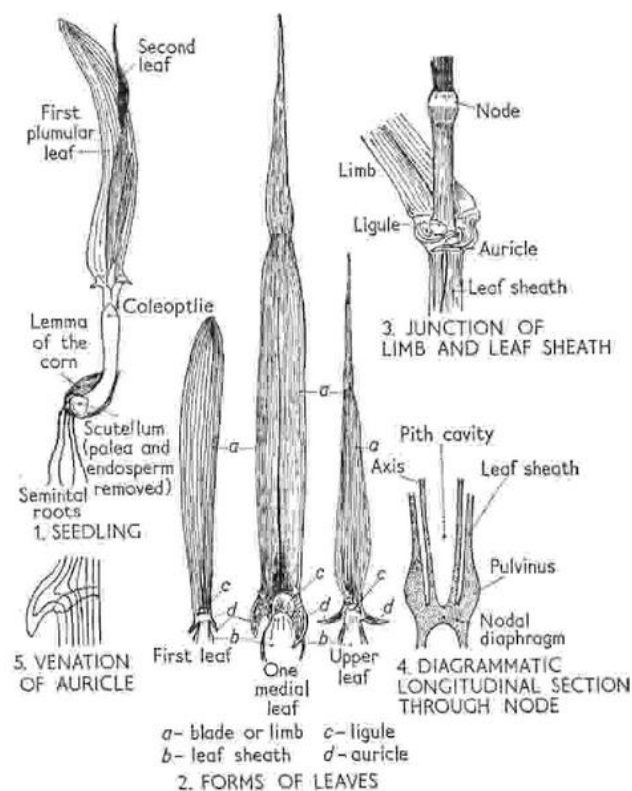
Stonk ječmene je křehký a málo tuhý, takže je z běžných obilovin nejméně odolný pro uskladnění. Standardní rostlina ječmene má variabilní počet stonků. Hlavní stonk lze rozpoznat díky jeho vyššímu stádiu vývoje a mírně většímu vzrůstu (Clemencet & Bergal 1962).

Listy ječmene mají kromě svých obvyklých funkcí také důležitou stabilizační a ochrannou funkci (Clemencet & Bergal 1962). Zároveň velikost plochy listu má podstatný vliv na celkové výnosy (Kosař & Procházka 2000). Morfologicky u listu ječmene nalezneme určité znaky, které ho odlišují od ostatních typů listů (Obr. 1). Podstatným rozdílem je zejména stejný vzhled listové čepule a řapíku. Každý list je zasazen do nodu<sup>4</sup> stonku a následující list se nachází vždy na opačné straně (Clemencet & Bergal 1962). Na stonku jsou listy poskládány ve dvou řadách nad sebou (Chloupek et al. 2005). List se skládá ze dvou částí. Základní bazální list, který se stáčí okolo stonku a čepule, která se odklání od stonku ve větším či menším úhlu. V místě křížení bazálního listu a čepule se nachází příčná průhledná membrána, která má nepatrně nepravidelný okraj a je přitlačována ke stonku. V koncové části se čepel bočně prodlužuje do dvou membránových drápovitě tvarovaných orgánů, které se před stonkem překrývají. Listový plášť je vložený do nodu a tvoří límec. Čepel je lineární, postupně se zužuje do špičky. Ve výšce nodu je patrné mírné zúžení. Viditelné je centrální žebro, podél něhož vede dalších deset až dvanáct sekundárních žebor (Clemencet & Bergal 1962).

---

<sup>3</sup> Článek. Část stonku mezi jednotlivými připojeními listů.

<sup>4</sup> oblast stonku, ke které se připojuje list nebo listy a kde může docházet k větvení stonku



Obrázek 1. Formy listu (Clemencet & Bergal 1962).

Pro sladování je nejdůležitější částí rostliny ječmenné zrna, botanicky známé jako obilka. Dlouhá štětinka, kterou je zrna zakončeno, se odlamuje. Během zrání zrna vysychá a zmenšuje svůj objem, zároveň se do značné míry stává pomačkaným, a to v závislosti na růstových podmínkách a odrůdě. Počet vrásek a jejich jemnost jsou pak určujícím znakem pro sladovnickou hodnotu ječmene a lze dle nich určit, zda chemické složení takového zrna bude vhodné pro sladování (Clemencet & Bergal 1962). Ječmenné zrna by měla ve zralém stavu obsahovat minimálně 12 – 14 % vody (Zimolka 2006). Obsah vlhkosti zrna ovlivňuje především období dozrávání a průběh sklizně. Přílišnou vlhkost lze redukovat sušením (Kosař & Procházka 2000), naopak příliš nízká vlhkost může zásadně ovlivnit enzymatickou rovnováhu a schopnost klíčení (Pelikán et al. 1996).

#### 1.1.2.2 Voda

Kanagachandran & Jayaratne (2006) uvádějí, že pivovarnický průmysl společně se sladařským jsou jedním z největších spotřebitelů vody.

Celkovou náročnost na spotřebu vody při výrobě sladu, mohou výrobci výrazně ovlivnit výrobními principy a technickou úrovní technologického zařízení. Pro lepší představu o závislosti sladoven na spotřebě vody následuje (Tab. 2), která sleduje spotřebu vody

v období let 2005 až 2007 v závislosti na objemu výroby. V tabulce si lze všimnout výrazné závislosti měrných spotřeb na velikostní skupině zařízení. Dále je patrné, že k podstatnému zvýšení spotřeb dochází při poklesu výroby pod úroveň 10 – 20 tisíc tun roční výroby. Výjimku tvoří skupina velmi malých sladoven s převažujícím řemeslným charakterem výroby, které vyrábí přibližně stovky tun sladu ročně. Tyto podniky vykazují velice nízkou surovinovou náročnost na vodu (Lohrová 2010).

Tabulka 2. Závislost spotřeby vody ve sladovnách na objemu produkce (ČR) m<sup>3</sup>/t (VÚPS 2000).

výroba tis.t/rok	studie VÚPS	literární údaje VÚPS <sup>5</sup> 2000	
		střední hodnota	optimální hodnota
< 1	4,3	4,8	3,6
1 – 2	8,5		
2 – 5	7,9		
5 – 10	6,9		
10 – 50	5,3	3,5	2,6
> 50	5,8		
<i>sladovny celkem</i>	<b>6,6</b>	-	-

### 1.1.3 Výroba sladu

Sladování je nejdůležitějším okamžikem lihovarského a pivovarnického průmyslu. V podstatě se jedná o řízené klíčení zrna, které probíhá za kontrolovaných podmínek a cílem je modifikace zrna (Benešová et al. 2017).

Proces sladování obvykle vede k fyzikálním změnám endospermu u ječmenných zrn, což přispívá ke vzniku takzvané mladiny neboli sladkého roztoku (Schuster 1962), který obsahuje různé druhy enzymů a další barevné a aromatické látky, které jsou žádoucí pro následnou výrobu specifických druhů piv a jiných výrobků. Sladovnický proces se skládá ze tří klíčových technologických úseků, a to máčení, klíčení a hvozďení (Basařová & Čepička 1985).

<sup>5</sup> výzkumný ústav pivovarský a sladařský

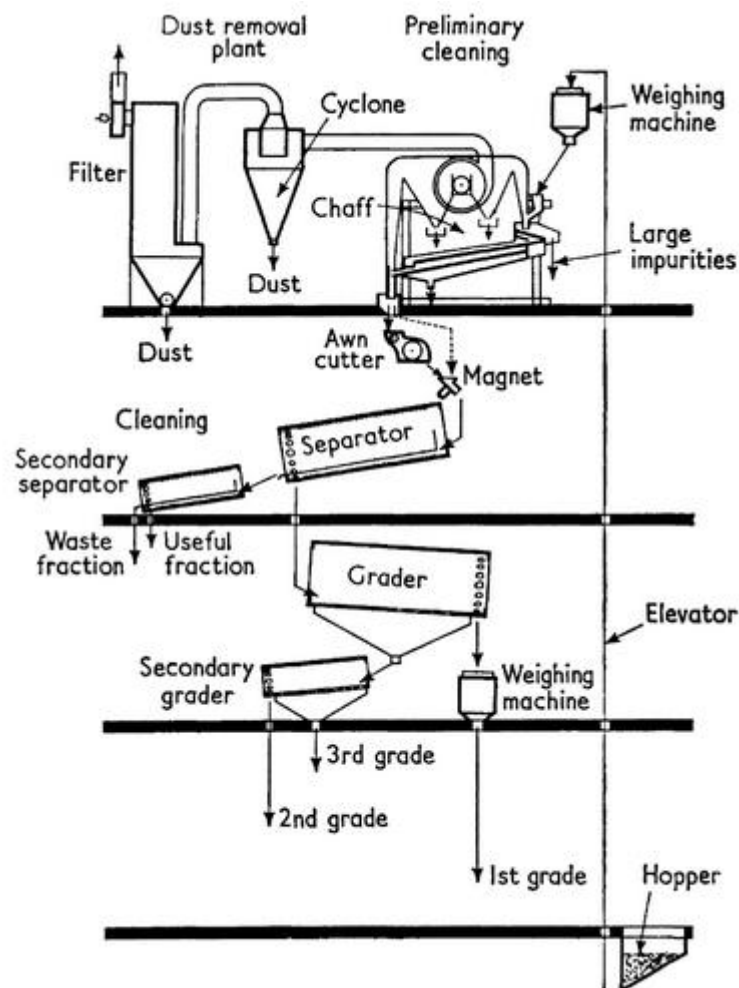
Základním kamenem procesu klíčení je činnost proteolytických enzymů, které svým působením napomáhají k aktivaci dalších enzymů, a především také k degradaci zásobních bílkovin (Benešová et al. 2017). Za nejdůležitější enzymy lze označit hydrolázy a oxidoreduktázy (Havlová 1999). Důležitým aspektem celého procesu, který ovlivní výslednou kvalitu sladů a s tím související kvalitu navazujících výrobků, je rozluštění zrna, konkrétněji rozrušení buněčných stěn, a na to navazující rozštěpení bílkovinných řetězců a rozštěpení škrobových zrn. V celém procesu klíčení dochází ke snižování obsahu škrobu a zvyšování obsahu cukrů. Celkového snížení obsahu bílkovin se docílí tak, že se nerozpustné vysokomolekulární bílkoviny přemění v rozpustné nízkomolekulární štěpné produkty. Důležitou roli v celém sladovnickém cyklu hrají enzymy. Doprovázejí celý sladařský proces v různé míře a projevují se v každé jednotlivé fázi vývoje zrna. Hotový produkt, tedy sladovnický ječmen v posklizňové zralosti, obsahuje mimo jiné velké množství enzymů a jejich prekurzorů (Benešová et al. 2017).

Samotná technologie výroby sladu je v každé zemi trochu odlišná, a ačkoliv historické i obecné přírodní faktory hrají svou roli při utváření přesné formy výroby, nejdůležitějším aspektem při výběru správné výrobní technologie je charakter hlavní suroviny, ječmene. Tím pádem, rozšíření používání dvouřadého ječmene v Evropě a šestiřadého ječmene ve Spojených státech a dalších částech Ameriky, vedlo na těchto dvou kontinentech k výrazným rozdílům v technologii sladování. Ačkoliv vybavení a různorodost sladovnických technologií je opravdu pestrá, všechny pojí sjednocující vlastnost a tou je přeměna jakékoliv odrůdy ječmene ve slad, který je optimálně vyroben pro další zpracování. Rozhodujícími faktory, které jsou směrodatné při výrobě sladu, jsou kvalita výsledného sladu, výtěžek sladu z daného množství ječmene, efektivita procesu s přihlédnutím k množství práce a vynaložené energie a v neposlední řadě také množství spotřebované vody (Schuster 1962).

#### 1.1.3.1 Čištění a třídění

Kvalitní slad může být vyroben pouze z ječmene, který byl nejprve pečlivě vyčištěn a vytříděn (Obr. 2). Cílem procesu je zaprvé odstranit ze zrna všechny cizorodé nečistoty a zadruhé roztřídit zrna dle velikostí. Tato zrna je následně nutné roztřídit dle velikosti, neboť různá velikost znamená i různé chemické vlastnosti, různá aktivita enzymů, různé změny zabarvení, a celkově různé chování zrna během sladovacího procesu. Výsledkem čistících a třídících procesů je produkce velkého množství prachů, které musejí být odstraňovány,

neboť vytvářejí nezdravé pracovní prostředí a zároveň roste nebezpečí vzniku požáru. Proto je prach odváděn do speciálních filtračních zařízení, kde je následně odstraněn (Schuster 1962).



Obrázek 2. Schéma procesu čištění a třídění (Schuster 1962).

### 1.1.3.2 Skladování

Při skladování dochází k procesu sekundárního dozrávání. Tento proces je nutný zejména pro jarní ječmen, který z důvodu vstupu do stavu dormance špatně a nevyrovnaně klíčí (Fišerová et al. 2010). Během přibližně pěti týdnů dojde za určitých podmínek (vlhkost nepřesáhne 15 %, je zajištěno odvětrávání a zamezení přítomnosti hmyzu a škůdců) k eliminaci látek, které by mohly bránit zrna v klíčení. Nebezpečí vzniká při nedodržení potřebných skladovacích podmínek, kdy hrozí napadení hnilobnými a houbovými chorobami a zrna se tak stává nevhodné pro skladování (Schuster 1962).



### 1.1.3.3 Máčení

Podstatou namáčecího procesu je ponoření zrn do vody nebo souvislý postřik prováděný po dobu 24 - 80 hodin (Schuster 1962), jehož cílem je zvýšit vlhkost obsaženou v zrnech na hodnotu 42 - 48% (Kosař & Procházka 2000). Namáčení obvykle probíhá ve vertikálních nádržích kuželovitého tvaru (náduvníky). Do těchto tanků je perforovaným potrubím přiváděn vzduch. V celém procesu je zásadní teplota vody. Za ideální teplotu je obvykle považováno 15 °C. Vyšší teplota způsobuje nadměrný mikrobiální růst a zároveň snižuje množství kyslíku pro příjem rostlinného embrya. Zcela zásadní je také úprava intervalů pro aplikaci vzduchu, který zajistí aerobní podmínky a zároveň redukuje vyzářené teplo a odvětrá vyprodukovaný oxid uhličitý. Provzdušňovací proces obvykle probíhá v hodinových cyklech. Po prvních 12 - 24 hodinách (v závislosti na celkové délce máčení) je obvykle proces přerušen vysoušením a kompletní výměnou vody (Ramesh & Rosell 2017). V okamžiku, kdy zrno v průběhu procesu máčení absorbuje vodu, aktivuje embryo, které začne využívat kyslík rozpuštěný v máčecí vodě a využije ho k buněčnému dýchání. Výsledkem celého procesu je, že v ječmenných zrnech, v případě dodržení zmíněných fyzikálních podmínek, je katalyzován proces klíčení (Schuster 1962).

### 1.1.3.4 Klíčení

Klíčící proces je charakterizován embryonálním růstem, projevuje se růstem kořínků, prodloužením výhonku a souběžnou přeměnou obsahu endospermu. Změna endospermu začíná hydrolytickým rozkladem vysokomolekulárních materiálů, a to díky enzymům a proteinům. Délka procesu klíčení závisí na potřebném stupni modifikace zrna dle požadovaného druhu sladu. Obvykle se pohybuje v rozmezí 6 – 9 dní. Před procesem klíčení je zrno přesunuto z náduvníků do prostor vhodných pro klíčení. Klíčení se zpravidla provádí na podlahách (tato technologie klade vysoké nároky na rozlohu klíčících místností) v tzv humnech. Jsou to místnosti, ve kterých je možné udržovat stálou teplotu a tím zabránit vysychání zrn či naopak zabránit přílišné vlhkosti (Schuster 1962). Za ideální rozmezí teplot považují Rop & Hrabě (2009) 12 – 18 °C v závislosti na druhu sladu. Zrno je také zapotřebí neustále zásobovat čerstvým vzduchem, je tedy nutné zajistit kvalitní odvětrávání a pravidelně zrno obracet. V průběhu klíčení je nutná neustálá kontrola zrn a podmínek na humnech (Schuster 1962). Důležitý je neustálý přísun čerstvého a čistého vzduchu (Rop & Hrabě 2009). Kořínky musí být svěží, pružné, než zvadlé a hnědé. Musí být zajištěno,

aby dorostly do maximální délky jednou až dvakrát delší, než je celková délka zrna (Schuster 1962).

#### 1.1.3.5 Hvozdění

Účelem hvozdění je zachovat v naklíčeném (zeleném) sladu vlastnosti, kterých bylo dosaženo v procesu klíčení. V první fázi je prováděn vysoušecí proces, ve kterém je ze zeleného sladu za poměrně nízké teploty (přibližně 50 °C) odstraněna voda. V druhé fázi dochází ke zvýšení teploty (mezi 80 až 105 °C) (Schuster 1962). Tato tzv. dotahovací teplota se udržuje po dobu 4 hodin (Janatka 1976). V této fázi se ze zrna odstraní zbylá 3 – 4 % objemu vody. Důležitějším faktem však jsou znatelné změny enzymaticko-chemické povahy, které výrazně mění vlastnosti sladu (Schuster 1962).

V procesu hvozdění zajišťuje tepelný režim ohřívání vzduch, který proudí vrstvami vysoušeného zeleného sladu. U tradičních hvozdů se o cirkulaci postará přirozený tah. U moderních vysokovýkonných hvozdů je proud vzduchu zajišťován umělým tahem. Přibližná spotřeba vzduchu je u moderního vysokovýkonného jednolískového hvozdu 4500 m<sup>3</sup>/t.h odsušeného sladu. Potřeba vzduchu postupně klesá a v konečné fázi se dostává asi na polovinu (Lohrová 2010).

Na konci procesu by měl být slad na omak drobivý a neměl by být výrazně scvrklý (Schuster 1962). Po hvozdění je zapotřebí ze sladu odstranit klíčky, ty jsou pro následné zpracování nežádoucí.

#### 1.1.3.6 Skladování a expedice

Čerstvý odklíčený slad je nutné skladovat 2 – 4 týdny před dalšími procesy výroby, neboť čerstvé slady mají tendenci vytvářet mladiny, které se obtížněji zpracovávají, mají větší náchylnost k fermentaci a neuspokojivé organoleptické vlastnosti. Během skladování vstřebá slad malé množství vody, nepatrně naroste na objemu a dochází ke zkrácení sladu s ohledem na drobivost a přeměnu zrna, zvláště pokud bylo zrno nedostatečně modifikované. Nejlepších skladovacích podmínek lze dosáhnout při použití betonových či ocelových sil (Schuster 1962). Po dostatečně dlouhém skladování je finální produkt odvážen k zákazníkovi.

## 1.2 Vznik odpadu při výrobě sladu

Odpadní materiál, který vzniká ve sladovnách, lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou pevné odpady. Sladařský průmysl vytváří obecně malé objemy pevných

odpadů. Největší podíl tvoří komunální odpad tvořený nerecyklovatelnými materiály, které jsou určené ke skládkování. Recyklovatelných materiálů vzniká ve sladovnách poměrně málo (nejvýznamnější položkou je kovový šrot). Zanedbatelný je také objem nebezpečných látek (Lohrová 2010). Jednotlivé skupiny odpadů a jejich vyprodukované množství jsou uvedeny v tabulce (přílohy Tab. I).

Druhou skupinu tvoří odpadní vody, které jsou ve většině případů odvedeny do podnikové čističky odpadních vod, kde dochází k jejich vyčištění, popřípadě je možné jejich následné využití jako hnojná závlaha.

Mielcarek et al. (2013) uvádějí, že zpracování odpadních vod vzniklých při výrobě sladu dle vládních předpisů a požadavků pro provoz ekologicky šetrných výroby, je pro sladovny nákladnou záležitostí. Merwe (2002) dodává, že přestože existují odvětví, ve kterých dochází k větším spotřebám vody, jsou ve sladovnickém průmyslu četné příležitosti ke snižování objemů odpadních vod a účinným nástrojem pro řízení a snižování těchto objemů je celková vodní bilance. Ta udává, jaké množství vody je spotřebováno na jednotku produkovaného výrobku.

Množství emisí vypouštěného objemu odpadních vod také závisí na velikosti provozovny. V současné době je pozitivním trendem vysoká úroveň účinnosti čištění odpadních vod ze sladoven, které obstarávají čističky odpadních vod (Lohrová 2010). Tabulky zobrazují výsledky vodního hospodářství provozů českých sladoven (přílohy Tab. II, III). Údaje v tabulce IV (přílohy) jsou získány vyhodnocením údajů pěti čističek odpadních vod na sladařské odpadní vody.

### **1.2.1 Sladovnický kal**

Kal obecně vzniká v procesu čištění odpadních vod, kdy se nežádoucí složky oddělují a koncentrují do objemově menšího podílu (Váňa et al. 2009).

Sladovnický kal je odpadní materiál, který vzniká při výrobě sladu ze sladovnického ječmene. Schuster (1962) uvádí, že při procesu sladování dochází k několika po sobě jdoucím procesům, přičemž sladovnický kal je odpadním produktem v takzvaném procesu máčení ječmene.

V průběhu celého procesu je z povrchu nádrže odstraňován a separován vzniklý kal (nečistoty). Tato odpadní látka má vysokou schopnost biologické rozložitelnosti (Mielcarek et al. 2013) ovšem žádoucí je její následné zpracování a využití ve výživě rostlin za pomoci kompostování (Kanagachandran & Jayaratne 2006). Obsahuje směs nerozpuštěných látek, které vznikají při celé škále procesů probíhajících při čištění odpadních

vod. Materiál se následně odvodňuje na 20 – 35 % sušiny (Váňa et al. 2009) a kromě vody představuje suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách (Dohányos 2006). Je významným zdrojem organické hmoty, stopových prvků i základních živin. Při následném využití v půdě může významně zlepšovat její biologické i fyzikálně – chemické vlastnosti (Váňa et al. 2009).

Lohrová (2010) uvádí, že vzniklý odpadní materiál se nazývá splavky, přičemž znečištění odpadní vody při procesu máčení je přibližně 5 – 6 kg BSK<sup>6</sup> na tunu ječmene a množství splavků tvoří 0,1 – 1% z celkového objemu zpracovaného ječmene.

### 1.2.2 Možnosti zpracování kalů z čistíren odpadních vod

Snižování, recyklace a opětovné využití organického odpadu je velkým problémem pro vlády všech zemí světa, v současnosti ve větší míře těch rozvojových. Produkce odpadu se zvyšuje rychleji díky urbanizaci, industrializaci, rychlému rozšiřování měst a migraci lidí z venkovských oblastí do městské oblasti a v důsledku zvyšování životní úrovně obyvatel (Sharma & Yadav 2017).

Váňa et al. (2009) uvádějí několik možností následného využívání kalů produkovaných čističkami odpadních vod. Předpokladem je, že produktem čištění je upravený kal, který prošel zákonnými procesy pro zajištění jeho stabilizace, tedy že je bez obsahu patogenních mikroorganismů. Nejčastější stabilizační metodou v Evropských zemích je anaerobní a aerobní digesce, která se uplatňuje ve 20 zemích Evropské Unie (Kelessidis & Stasinakis 2012).

Možnosti následného využití takto upravených kalů jsou: zemědělské využití čistírenských kalů, látkové využití čistírenských kalů (kompostování, hygienizace vápnem a následné zavádění do půdy, další chemické a fyzikální způsoby hygienizace kalů), energetické využití kalů, odstraňování kalů spalováním a v neposlední řadě využití za účelem produkce alternativních biopaliv (Váňa et al. 2009).

Ve většině zemí Evropské Unie jsou kaly z části opětovně využívány například k přímé aplikaci na zemědělskou půdu nebo ke kompostování, přičemž z celkové produkce země opětovně využijí až 53 % kalu. 21 % kalu je v těchto zemích spáleno. Ostatní země (jedná se

---

<sup>6</sup> biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní, tzn. biologický ukazatel znečištění; jeho hodnota (uváděná obvykle v mg/l) vypovídá, jak velká část znečištění je biologicky čistitelná; vody z domácností mají průměrnou hodnotu obvykle 300 - 400 mg/l, vyčištěné vody pak obvykle méně než 30 mg/l

především o členské státy, které přistoupily po roce 2004) dávají přednost skládkování (Kelessidis & Stasinakis 2012).

Legislativní rámec pro nakládání s kaly by měla zaštiťovat Evropská unie. Otázka kalů však v současné době zůstává pro evropskou legislativu stále otevřená, neboť současný stav zákonů je značně zastaralý a roztržitý a zveřejňované údaje o úpravě a odstraňování kalů jsou často neúplné a nehomogenní (Kelessidis & Stasinakis 2012). Podmínky využití řeší v České republice vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (Matějů et al. 2018).

### **1.3 Kompostování a vermikompostování**

#### **1.3.1 Kompostování**

Váňa et al. (2009) uvádějí, že kompostování je uměle vyvolaný proces, při němž se simulují podmínky přirozené degradace organických sloučenin v přírodních podmínkách, která se obvykle přirozeně vyskytuje v půdách a sedimentech, na povrchu půdy nebo ve vodních útvarech (Insam & Bertoldi 2007). Ačkoliv v případě kompostování je možné, za předpokladu vytvoření optimálních podmínek, získat humusové látky rychleji a produktivněji (Váňa et al. 2009). Výsledný produkt, tedy kvalitní kompost, není jediným benefitem, který kompostování přináší. Sundberg (2005) uvádí, že se jedná o technologii pro zpracování odpadů, kterou je možné provádět v jakémkoliv měřítku. Zároveň analýza Německých environmentálních systémů dospěla k závěru, že z hlediska většiny kategorií vlivů na životní prostředí bylo kompostování, zejména domácí kompostování, lepší metodou zpracování bioodpadů pro domácnost než spalování nebo anaerobní digesce (Vogt et al. 2002).

Váňa et al. (2009) uvádějí, že k dosažení výsledného efektu je zapotřebí několika fází:

##### **1.3.1.1 Fáze rozkladu**

Jedná se o fázi, u které dochází k zahřívání substrátu, a to na teplotu 50 – 60 °C. Složitější látky (škrob, celulóza, bílkoviny) se rozkládají na nižší. Dochází ke snižování pH a zároveň k uvolňování oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Objem substrátu se redukuje. Fáze rozkladu trvá od 2 týdnů až do 2 měsíců.

### 1.3.1.2 Fáze přeměny

Teplota klesá na 40 – 45 °C. Kompost mění svou strukturu a stává se drobovitým. Původní složku odpadu již nelze rozeznat. Vzhled kompostové hmoty je nyní kompaktní. Vykazuje stejnou barevnost (hnědá barva) a charakteristickou vůni po lesní zemině.

### 1.3.1.3 Fáze dozrávání

Dochází k vytváření humusových látek, které zvyšují svou molekulovou hmotnost a tím zvyšují stabilitu kompostu. Teplota klesá, pH se zvyšuje a živiny jsou zabudovány do chemických vazeb.

Nejoptimálnějšího procesu kompostování lze dosáhnout vytvořením ideálních podmínek pro rozvoj žádoucích mikroorganismů. Tyto podmínky lze zabezpečit úpravou poměru uhlíku a dusíku kompostovaného bioodpadu, kontrolou vlhkosti, zamezením výskytu fosforu, regulací pH, ovlivněním homogenity a zrnitosti kompostované hmoty, provzdušňováním a regulací teploty (Váňa et al. 2009).

## 1.3.2 Technologie vermikompostování

Vermikompostování se od běžného kompostování liší především využitím žížal. Dalším rozdílem je, že při vermikompostování je kladen důraz na spolupráci mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů (Hanč & Plíva 2013). Zároveň zde neprobíhá termofilní fáze (fáze rozkladu) (Domínguez & Edwards 2011). Dalším důležitým rozdílem je, že při konvenčním kompostování je ideální vlhkost 45 – 60 °C (Munroe 2007), naopak při vermikompostování je ideální rozmezí vlhkosti 70 – 90 °C (Domínguez & Edwards 1997). Jedná se o biooxidační proces, při němž žížaly a mikroorganismy hrají společnou roli při přeměně organického odpadu na zralý a stabilizovaný vermikompost. Přestože mikroby jsou odpovědné za biochemickou degradaci organické hmoty, žížaly jsou důležitým hnacím motorem procesu, upravují vlastnosti substrátu a mění biologické aktivity (Sharma & Yadav 2017).

Žížaly se také do určité míry starají o provzdušňování a upravují zrnitost materiálu. Jedná se tedy o pokročilejší technologii kompostování, jejíž výsledný produkt – vermikompost – vytvořený prostřednictvím interakcí mezi žížalami a mikroorganismy, podporuje růst klíčivosti, kvetení a výnosy řady skleníkových, polních i zahradnických plodin (Arancon et al. 2007). Široké možnosti využití kvalitních vermikompostů ve své práci uvádí Hanč & Plíva (2013): lze jej aplikovat jako účinná hnojiva do zemědělské půdy, k odstranění

kovových iontů z odpadních vod, jako náplň do filtrů k filtraci vzduchu – např. lze využít i na bioplynových stanicích, použití jako absorbentu k imobilizaci těžkých kovů v půdě nebo v jiných materiálech. Samotné vermikompostování pak lze alternativně využít jako nástroj k rozkladu organických polutantů.

#### 1.3.2.1 Optimální podmínky pro vermikompostování

Pro úspěšné založení a fungování vermikompostu je nutné zabezpečit optimální prostředí. Toto prostředí je dáno požadavky hlavních aktérů vermikompostování, tedy žížalami. Hanč & Plíva (2013) uvádějí, že mezi hlídané parametry je nutné zahrnout dostatečný přísun biologických odpadů, které slouží jako krmivo pro žížaly.

Žížaly dokáží přijmout objem potravy odpovídající polovině jejich hmotnosti za každý den (Safdar & Kor 2014). Dále je nutné zabezpečit optimální teplotu 19 – 22 °C. Kritické jsou pro žížaly teploty pod 7 °C a nad 33 °C. Důležitá je také optimální vlhkost 78 – 82 % a zároveň je nutné hlídat hladinu pH (Váňa et al. 2009), pro žížaly je ideální pH neutrální (okolo 7 nebo lehce vyšší) (Georg 2004). Žížaly dýchají kyslík a nepřežijí v anaerobních podmínkách. Je tedy nutné zajistit dostatečný přísun čerstvého vzduchu (Munroe 2007). Žížaly dále nesnáší sluneční paprsky, vítr a nežádoucí je pro ně krmivo, které by obsahovalo příliš čpavku, bílkovin nebo jakákoliv rezidua pesticidů (Váňa et al. 2009). Kvalita a čas potřebný pro zralý vermikompost závisí na složení zpracovávané počáteční odpadové směsi (Sharma & Yadav 2017).

#### 1.3.2.2 Vermikompostovací systémy

Vermikompostovací zařízení můžeme rozdělit dle velikosti na vermikomposty malých a velkých měřítek, kdy vermikomposty malých měřítek (Obr. 3) jsou kapacitně vhodnější do domácností nebo kanceláří (Hanc et al. 2017). Lleó et al. (2012) uvádějí, že domácí kompostování (známé také jako zahradní kompostování) přináší řadu výhod pro průmyslové zpracování organických částí komunálního nebo biologického odpadu. Domácí kompostování snižuje nečistoty přítomné v ošetřovaném komunálním odpadu a teoreticky snižuje materiálové a energetické náklady na proces likvidace směsného odpadu.

Hanč & Plíva (2013) uvádějí, že domácí vermikompostér je uzavřená dřevěná nebo plastová nádoba, která do jisté míry chrání obsah před teplotními změnami (Munroe 2007) a která umožňuje postupně vrstvit jednotlivá patra a tím postupně zpracovávat

biodpad (Hanč & Plíva 2013). Jednotlivé vrstvení nad sebe využívá vertikální migraci žížal (Munroe 2007).



Obrázek 3. Příklad malého vermikompostéru Worm Factory ([online]. Dostupné z: <http://www.ecb.cz/ekoporadna/vermikompostovani.php>).

Vermikomposty velkých měřítek se naopak hodí pro zpracování velkých objemů biologicky rozložitelných odpadů, pocházejících nejčastěji z potravinového průmyslu nebo zemědělství. Jedná se o komerční produkci vermikompostu. Tyto lze dále rozdělit na vermikomposty s využitím jednoduchých technologických systémů (vermikompostování plošné a boxové) a na vermikomposty se složitějšími technologickými systémy (vermireaktory s kontinuálním procesem, dvoumodulové vermireaktory) (Hanc et al. 2017).



## Metodika

### 1.4 Materiál

Sladovnický kal používaný v experimentu pocházel z podnikové čističky odpadních vod Sladovny Nymburk (příloha Obr. I). Odpadní voda přiváděná ze sladovny do čističky pochází z procesu máčení ječmene, obsahuje prach a pluchy ječmene. Kal má malé množství sušiny a je chudý na živiny.

### 1.5 Průběh pokusu

Pokus byl založen v květnu 2017 na Výzkumné stanici Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Červeném Újezdě. V této výzkumné stanici byla pro účely pokusu poskytnuta speciálně upravená vermikompostovací laboratoř, ve které bylo možné udržovat stabilní podmínky. Teplota vzduchu byla 22 °C. Neustálé světlo zabraňovalo žížalám (z důvodu jejich světloplachosti) opustit vermikompostéry. Pokus probíhal ve vermikompostérech značky Worm Factory (Obr. 4) a násada žížal obsahovala druh *Eisenia andrei*. Vermikompostéry využívají systém průběžného vertikálního krmení, a přirozená migrace žížal je zajištěna perforovanými dny mezi jednotlivými patry. Součástí každého vermikompostéru pak byla ve spodní části sběrná miska s odtokovým kohoutkem, ve které se shromažďovala odpadní voda. Pravidelným odpouštěním tekutiny bylo zabráněno přílišné vlhkosti a úhynu žížal.



Obrázek 4. Vermikompostér Worm Factory s jedním založeným patrem (zdroj vlastní).

V experimentu bylo založeno pět variant vermikompostérů. V každém vermikompostéru byl namíchán jiný poměr sladovnického kalu a slaměných pelet (přílohy Obr. II). Pátá varianta obsahovala směs kalu a pelet, ovšem neobsahovala násadu žížal (přílohy Obr. III). Schéma pokusu je zobrazeno v následující tabulce (Tab. 3).

Tabulka 3. Přehled založených vermikompostérů.

Složení bioodpadu	Číslo vermikompostéru	Násada žížal
<b>Slad. kal 100 % obj.</b>	1	ANO
<b>Slad. kal 25 % obj. + sláma 75 % obj.</b>	2	ANO
<b>Slad. kal 50 % obj. + sláma 50 % obj.</b>	3	ANO
<b>Slad. kal 75 % obj. + sláma 25 % obj.</b>	4	ANO
<b>Slad. kal 50 % obj. + sláma 50 % obj.</b>	5	NE

Při zakládání pokusu byla nejprve do spodního patra 1. – 4. vermikompostéru umístěna násada žížal, která obsahovala přibližně 10 litrů substrátu s přibližným počtem žížal 50 ks/L. Nad substrát s žížalami bylo pak položeno druhé patro, které již obsahovalo směs bioodpadu (sladovnický kal) a slámy. 5. vermikompostér (kontrolní) z důvodu absence násady žížal obsahoval pouze 1 patro se směsí bioodpadu. Přibližný objem vrstvy bioodpadu

byl vždy 15 litrů. Předpokladem bylo, že dokrmování žížal, tedy přidání dalšího patra s bioodpadem, bude probíhat každé 1 – 2 měsíce (podle fáze rozkladu bioodpadu). Na konci pokusu měl tedy každý vermikompostér obsahovat 4 patra, ze kterých měly být odebrány 3 kontrolní vzorky o hmotnosti 1000 g. Z důvodu úhynu žížal byly vermikompostéry č. 1 a 4 dokrmeny pouze dvakrát, kdy namísto jednoho krmení byla přidána nová násada žížal. V těchto dvou vermikompostérech byly tedy na konci pokusu pouze 3 patra.

Pokus byl ukončen v prosinci 2017, kdy byly z každé vrstvy odebrány potřebné vzorky a současně byly také pro komplexnost experimentu odebrány vzorky z použitého kalu ze sladovny.

Z každého odebraného vzorku vermikompostu byly vybrány žížaly, které byly následně omyty vodou, zváženy a spočítány. Výsledky počtů a hmotností sloužily k vyhodnocení celkové biomasy žížal. Po odebrání žížal se výsledný substrát rozdělil na dvě poloviny, kdy první polovina byla uskladněna do lednice se stálou teplotou 4 °C a dále byla využita pro stanovení pH a měrné vodivosti. Druhá polovina substrátu byla zvážena a usušena při teplotě 35 °C. Takto připravený substrát byl následně použit ke stanovení sušiny a pro další analýzy stanovení celkového obsahu prvků a přístupného obsahu prvků a následně ke stanovení poměru uhlíku a dusíku (C:N).

### **1.5.1 Agrochemické a biologické analýzy.**

Pro stanovení měrné vodivosti (EC) a pH bylo naváženo 10 g čerstvého (chlazeného) vermikompostu a následně byla přidána demineralizovaná voda v poměru 1:5 dle normy ČSN EN 15933. Směs byla promíchána a přefiltrována (přílohy Obr. IV). Hodnota pH byla měřena kalibrovaným přístrojem WTW pH/ION 340i a hodnoty EC kalibrovaným přístrojem WTW Cond730 inoLab (přílohy Obr. V a VI).

Pro stanovení poměru C:N bylo zapotřebí nejprve stanovit celkové množství C a N. Tato analýza probíhala v přístroji CHNS Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) tak, že se nejprve cca 25 g vzorku spálilo v katalytické peci a následně se za pomoci tepelně kondukčního detektoru stanovilo celkové množství uhlíku a dusíku.

Celkové obsahy prvků K, Mg a P byly stanoveny za pomoci metody rozkladu na mokré cestě v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem. K této analýze byl použit přístroj Ethos 1 (MLS GmbH, Germany). U stejných prvků byla také provedena analýza pro stanovení přístupných obsahů pro rostliny, a to pomocí extrakčního činidla CAT s koncentrací 0,01 mol/L CaCl<sub>2</sub> a 0,002 mol/L kyseliny dietylenetriaminpentaoctové (DTPA). Ta proběhla dle normy ČSN EN 13651. Dále byly celkové i přístupné prvky podrobeny

měřením optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem ICP – OES (Varian Vista pro, Varian, Austrálie).

### **1.5.2 Statistické analýzy**

Statistická analýza probíhala za pomoci programů Microsoft Excel 2007 (Microsoft, USA) a Statistica 13 (Tibco Software, USA) za podpory testů normality a homogenity. Následně byla provedena jednofaktorová ANOVA a Tukey HSD test.

## Výsledky

### 1.6 Sladovnický kal a slaměné pelety

V tabulce (Tab. 4) vidíme rozdíly mezi agrochemickými vlastnostmi sladovnického kalu a slaměnými peletami. Sladovnický kal má menší obsah sušiny 11,8 % oproti peletám, které mají 34,1 %. Kal taktéž vykazuje vyšší míru pH 8,26 a měrné vodivosti 2088  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Velký rozdíl vykazuje hodnota poměru C:N, kde sladovnický kal dosahuje z důvodu vysokého obsahu dusíku hodnot 5,99. Pelety mají naproti tomu nižší obsah dusíku, hodnota poměru C:N je 65,7.

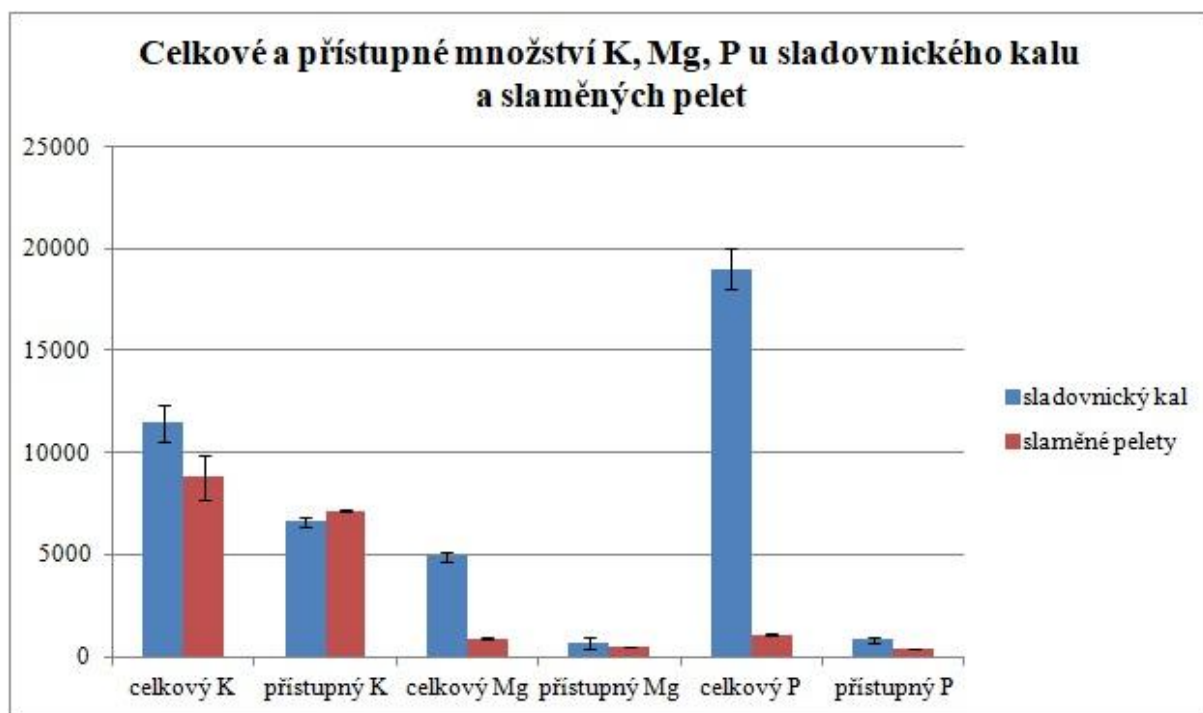
Tabulka 4. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností sladovnického kalu a slaměných pelet.

materiál	sušina [v %]	pH	vodivost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	poměr C:N
sladovnický kal	11,8 $\pm$ 0,65	8,26 $\pm$ 0,07	2088 $\pm$ 517,94	5,99 $\pm$ 0,088
slaměné pelety	34,2 $\pm$ 2,39	7,93 $\pm$ 0,076	1345 $\pm$ 59,10	65,7 $\pm$ 6,7

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3).

Z grafu níže (Obr. 5) je na první pohled patrné, že sladovnické kaly obsahují více přístupného množství i celkového množství prvků K, Mg, P. Výjimku tvoří pouze přístupný K, u kterého vykazují pelety nepatrně vyšší hodnotu. Naopak výrazně více obsahuje kal celkového fosforu, a to 17krát oproti peletám.

Pokud se zaměříme na podíl obsahu přístupných prvků v závislosti na celkovém obsahu prvků zjistíme, že větším podílem disponují pelety, u kterých přístupné prvky tvoří vždy větší část prvků celkových. U draslíku je to 81 % přístupného množství z celkového obsahu, u hořčíku je to 58 % a u fosforu je to 35 %. Kal si v případě tohoto ukazatele vede výrazně hůře. Z celkového obsahu prvků tvoří přístupný draslík 58 %, hořčík 13 % a fosfor pouhé 4 %.



Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3).

Obrázek 5. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P u sladovnického kalu a slaměných pelet.

## 1.7 Vermikompostéry se sladovnickým kalem

### 1.7.1 Vermikompostér č. 1

Obsah biomasy žížal byl nulový, neboť žížaly během pokusu zahynuly a jejich populace se neobnovila ani po nové násadě žížal, která proběhla namísto prvního krmení. V tomto případě lze tedy porovnávat pouze agrochemické analýzy.

Z tabulky níže (Tab. 5) lze vyčíst, že všechny vrstvy kompostéru vykazovaly podobný podíl sušiny, který se pohyboval v rozmezí hodnot 10,3 – 11,8 %. Největší podíl obsahovala první, tedy nejstarší vrstva, s průměrnou hodnotou 11,8 %. Ta zároveň dominovala i v poměru C:N, kdy vykazovala hodnotu 7,8. Hodnoty sušiny a poměru C:N ve vrstvě III se statisticky významně lišily od vrstvy II a I.

Nejvyšší míru pH i měrné vodivosti měla třetí vrstva, kdy průměry dosahovaly hodnot 5,9 u pH a 2003  $\mu\text{S}/\text{cm}$  u měrné vodivosti. Oba ukazatele měly vzestupnou tendenci od nejnižší po nejvyšší vrstvu. Hodnoty se statisticky významně nelišily.

Tabulka 5. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostěru č. 1.

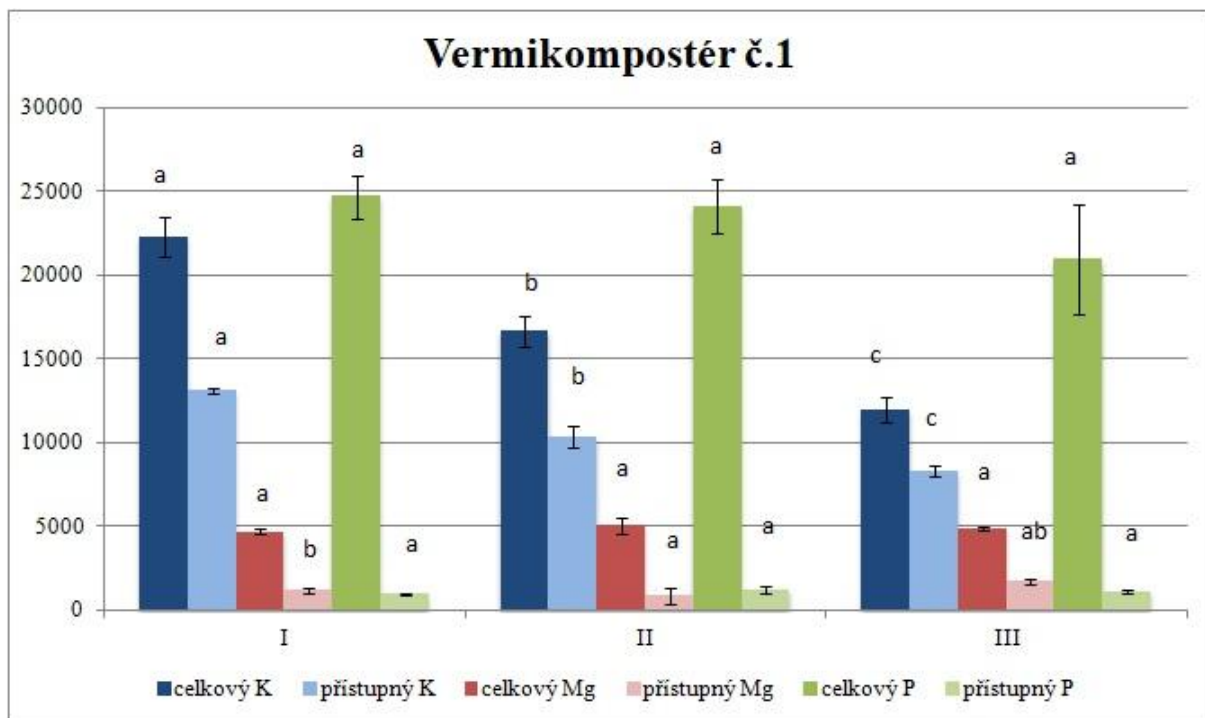
Vrstva	sušina [v %]	pH	vodivost [ $\mu\text{S/cm}$ ]	poměr C:N
<b>III</b>	10,5 $\pm$ 0,28 <sup>b</sup>	5,9 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>	2003 $\pm$ 491,55 <sup>a</sup>	6,08 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>
<b>II</b>	10,3 $\pm$ 0,32 <sup>a</sup>	5,57 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	1793 $\pm$ 81,95 <sup>a</sup>	6,02 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>
<b>I</b>	11,8 $\pm$ 0,57 <sup>a</sup>	5,43 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>	1622 $\pm$ 118,09 <sup>a</sup>	7,75 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Z grafu níže (Obr. 6) je patrné, že obsahy celkových živin rostou se stářím vrstvy. V nejmladší třetí vrstvě bylo nejmenší celkové množství K i P. Ty vykazovaly hodnoty 11947 mg/kg (K) a 20946 mg/kg (P). Nejvyšší hodnoty vykazovala první vrstva, kde bylo množství K 22314 mg/kg a množství P 24695 mg/kg. Výjimku tvořil Mg, jehož nejmenší množství se nacházelo v první vrstvě v hodnotě 4682 mg/kg a nejvyšší množství v druhé vrstvě 5070 mg/kg.

Stejný trend můžeme v případě přístupného množství živin pozorovat pouze u draslíku, kdy množství se stářím vrstvy rostlo, a to z 8323 mg/kg na 13092 mg/kg. U ostatních dvou prvků přístupné množství různě kolísalo. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán u všech hodnot celkového i přístupného K.

Největší podíl přístupných prvků z celkového množství živin byl naměřen u nejstarší vrstvy. Ta vykazovala hodnoty 70 % (K), 35 % (Mg) a 5 % (P). Podíl přístupných prvků z celkového množství živin u zbylých dvou vrstev kolísal v hodnotách 59 - 62 % (K), 17 - 26 % (Mg) a 4 - 5% (P).



Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou. Písmena udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Obrázek 6. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 1.

### 1.7.2 Vermikompostér č. 2

Počty žížal se od spodní k horní vrstvě zvyšovaly (Tab. 6). Výjimku tvořila druhá vrstva, kdy počet žížal poklesl z hodnoty 294 ks/kg na hodnotu 256 ks/kg. S další vrstvou se poté opět zvýšil na 321 ks/kg a nejvyšší počet byl zaznamenán ve čtvrté (nejčerstvější) vrstvě, a to 409 ks/kg. Hodnota počtu žížal vrstvy I se statisticky významně lišila od hodnoty vrstvy III. Biomasa taktéž kopírovala rostoucí trend, tedy v nejmladší čtvrté vrstvě byla nejvyšší s hodnotou 51,3 g/kg a směrem dolů klesala až k nejnižší vrstvě na hodnotu 16 g/kg. Hodnoty ve vrstvě III a IV vykazovaly statisticky významné rozdíly. Hodnoty biomasy žížal vrstvy III a IV se statisticky významně lišily od všech ostatních vrstev. Hodnoty vrstvy I a II se statisticky významně lišily od vrstvy III a IV.



Tabulka 6. Počet žížal a jejich biomasa pro jednotlivé vrstvy vermikompostéru č. 2.

Vrstva	počet žížal [ks/kg]	biomasa žížal [g/kg]
<b>IV</b>	409±101,68 <sup>ab</sup>	51,3±3,31 <sup>b</sup>
<b>III</b>	321±25,42 <sup>a</sup>	45,8±6,20 <sup>c</sup>
<b>II</b>	256±28,36 <sup>ab</sup>	28,2±1,63 <sup>a</sup>
<b>I</b>	294±33,45 <sup>b</sup>	16±1,41 <sup>a</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test, P ≤0,05).

Procentuální podíl sušiny byl ve všech vrstvách téměř totožný a pohyboval se v rozmezí 14,7 - 15,1 % (Tab. 7). Výrazněji nižší pH bylo zaznamenáno ve čtvrté vrstvě s hodnotou 6,4. Průměr ostatních vrstev byl 7,59 a hodnota vrstvy I vykazovala významné statistické rozdíly od vrstvy III a IV. Nejvyšší měrná vodivost byla naměřena v nejmladší vrstvě, zaznamenána byla hodnota 1907 µS/cm. Nejnižší měrnou vodivost měly dvě nejstarší vrstvy (I a II) s téměř totožnou hodnotou, která dosahovala průměru 1328 µS/cm. Situace se statistickými rozdíly byla naprosto shodná jako v případě hodnot pH. Nejmenší poměr C:N jasně vykazovala nejmladší vrstva IV. Hodnoty rostly společně se stářím vrstev, nicméně u nejstarší vrstvy I pak mírně poklesly na hodnotu 11,3. Hodnota vrstvy I se statisticky významně lišila od hodnoty vrstvy III.

Tabulka 7. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 2.

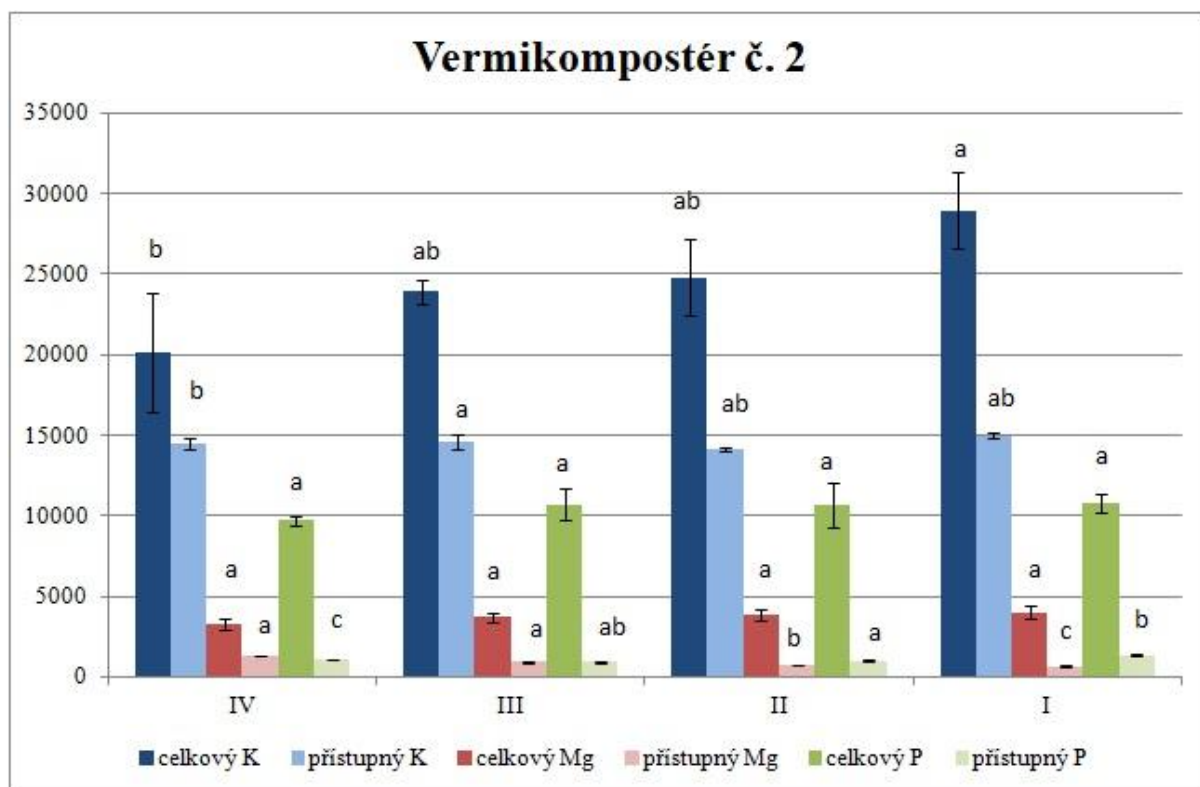
vrstva	sušina [v %]	pH	vodivost [µS/cm]	poměr C:N
<b>IV</b>	15±0,05 <sup>a</sup>	6,40±0,82 <sup>a</sup>	1907±291,95 <sup>a</sup>	10,8±0,13 <sup>ab</sup>
<b>III</b>	14,7±0,22 <sup>a</sup>	7,21±0,36 <sup>a</sup>	1573±185,05 <sup>a</sup>	11,7±0,09 <sup>b</sup>
<b>II</b>	15±0,25 <sup>a</sup>	7,79±0,09 <sup>ab</sup>	1326±29,74 <sup>ab</sup>	11,9±0,69 <sup>ab</sup>
<b>I</b>	14,8±0,23 <sup>a</sup>	7,76±0,14 <sup>b</sup>	1331±89,27 <sup>b</sup>	11,3±0,06 <sup>a</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test, P ≤0,05).

Dle grafu níže (Obr. 7) vidíme, že jediným prvkem, který výrazněji měnil své celkové množství, byl draslík. U něj můžeme pozorovat rostoucí tendenci směrem od nejmladší k nejstarší vrstvě. Celkové množství rostlo z hodnoty 20129 mg/kg na hodnotu 28947 mg/kg, to znamená, že celkové množství K vzrostlo na 144 % původního obsahu.

V nejstarší vrstvě bylo taktéž nejvyšší celkové množství hořčíku (3990 mg/kg) i fosforu (10826 mg/kg). Mezi hodnotami celkových živin nebyly statisticky významné rozdíly zaznamenány u celkového množství K vrstev I a IV.

Podíl přístupných prvků z celkového množství živin vykazoval u všech sledovaných prvků (K, Mg, P) rostoucí tendenci od nejmladší k nejstarší vrstvě, kdy draslík rostl postupně z 52 % až na 72 %. Hořčík zvýšil svůj obsah o 24 % a fosfor zvýšil poměr přístupných živin z celkového množství na 14 % z původních 6 %. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi vrstvou III a IV u přístupného K, u přístupného Mg se od všech ostatních vrstev statisticky významně lišily vrstvy I a II, a v případě přístupného P se vrstva IV lišila od všech ostatních vrstev. Současně se také mezi sebou lišily vrstvy I a II.



Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Písmena udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Obrázek 7. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 2.

### 1.7.3 Vermikompostér č. 3

Průměrný počet žížal byl v průřezu všech vrstev 47 ks/kg, nicméně z následující tabulky (Tab. 8) můžeme jasně vyčíst výrazné rozdíly v množství žížal mezi jednotlivými

vrstvami. Ve vzorku z první vrstvy se nacházelo v průměru 3 ks/kg žížal. Jejich počet rostl směrem k horním vrstvám, kdy ve vzorku z druhé vrstvy se již nacházelo v průměru 15 ks/kg. Ve třetí vrstvě to pak již bylo 72 ks/kg a nejvyšší hodnotu vykazovala vrstva IV s průměrnou hodnotou 99 ks/kg žížal. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány ve všech vrstvách.

Stejný růst můžeme pozorovat i u hodnot biomasy žížal, kdy nejvyšší vrstva vykazovala také nejvyšší obsah biomasy žížal s průměrnou hodnotou 33,6 g/kg. Statisticky významně se od všech ostatních vrstev lišily vrstvy I a II.

Tabulka 8. Počet žížal a jejich biomasa pro jednotlivé vrstvy vermikompostéru č. 3.

Vrstva	počet žížal [ks/kg]	biomasa žížal [g/kg]
<b>IV</b>	99±5,86 <sup>a</sup>	33,6±2,67 <sup>a</sup>
<b>III</b>	72±4,36 <sup>b</sup>	13,3±2,05 <sup>a</sup>
<b>II</b>	15±2,08 <sup>c</sup>	2,27±0,21 <sup>b</sup>
<b>I</b>	3 ±1,53 <sup>d</sup>	0,5±0,26 <sup>c</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test, P ≤0,05).

Nejvlhčí vrstva se nacházela nejnižší, naopak nejsušší vrstva s největším podílem sušiny (15,1 %) se nacházela v horní vrstvě (Tab. 9). Je tedy patrné, že voda stékala vermikompostérem do spodních vrstev. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi vrstvami I a II. Dále se statisticky významně lišila vrstva IV (od vrstev I a II).

Hodnota pH kolísala v rozmezí hodnot 7,07 – 8,04 a nejvyšší hodnotu vykazovala třetí vrstva. Vrstva I se statisticky významně lišila od ostatních vrstev.

Odlišné ukazatele byly pro jednotlivé vrstvy změřeny i v případě měrné vodivosti. Minimální hodnoty evidujeme u vrstvy II, maximum bylo zaznamenáno ve vrstvě IV. Situace se statisticky významnými rozdíly byla stejná jako u hodnot pH.

Poměr C:N byl napříč všemi vrstvami poměrně vyrovnaný. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 10,6 – 12,3. Maxima dosahovala vrstva III, minima vrstva I. Statisticky významný rozdíl byly opět shodné s rozdíly hodnot pH a měrné vodivosti.

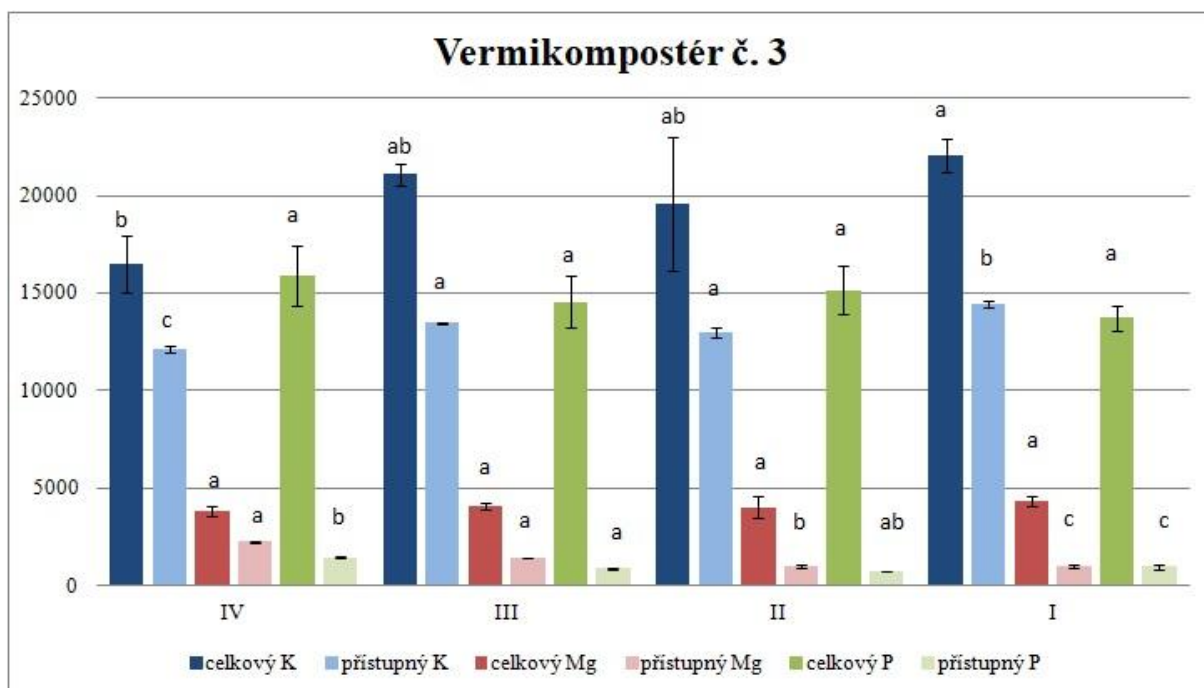
Tabulka 9. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostěru č. 3.

vrstva	sušina [v %]	pH	vodivost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	poměr C:N
<b>IV</b>	15,1 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	7,07 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>	1337 $\pm$ 197,35 <sup>a</sup>	11,1 $\pm$ 0,46 <sup>a</sup>
<b>III</b>	13,0 $\pm$ 0,30 <sup>ab</sup>	8,04 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	918 $\pm$ 30,73 <sup>a</sup>	12,3 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>
<b>II</b>	13,4 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	7,93 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	894 $\pm$ 63,38 <sup>a</sup>	11,2 $\pm$ 0,16 <sup>b</sup>
<b>I</b>	12,8 $\pm$ 0,19 <sup>c</sup>	7,77 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	1040 $\pm$ 72,55 <sup>b</sup>	10,6 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Největší množství celkového obsahu prvků K a Mg se nacházelo v nejstarší vrstvě I (Obr. 8). Celkový obsah P byl nejvíce zastoupen ve vrstvě IV, ta vykazovala hodnotu 15867 mg/kg. Nejméně celkového K a Mg bylo v nejmladší vrstvě IV, kde K byl zastoupen v množství 16481 mg/kg a Mg v množství 3810 mg/kg. Nejnižší množství P bylo zaznamenáno v nejmladší vrstvě IV, s průměrným obsahem 13736 mg/kg. Hodnoty se od sebe navzájem statisticky významně lišily jen případě vrstvy I a IV celkového množství K.

Podíl přístupného K z celkového množství živin byl s hodnotami 65 %, 66 % a 64 % ve vrstvě I - III téměř vyrovnaný. Vyšší podíl se nacházel ve vrstvě IV, kde vzrostl o 9 % oproti předchozí vrstvě. Podíl hořčíku klesal se stářím vrstev ze 60 % (ve vrstvě IV) na 22 % (ve vrstvě I). Fosfor vykazoval celkově nejnižší hodnoty ze všech sledovaných prvků s minimem ve vrstvě II (5 %) a maximem (9 %) ve vrstvě IV. Mezi hodnotami přístupných makro živin byly zaznamenány statisticky významné rozdíly.



Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Písmena udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Obrázek 8. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 3.

#### 1.7.4 Vermikompostér č. 4

Ve vermikompostéru populace žížal během pokusu uhynula a její obnovení nebylo úspěšné ani po nové násadě, která proběhla namísto prvního krmení. Proto byl vermikompostér hodnocen pouze dle agrochemických vlastností. Vermikompostér měl z důvodu absence prvního krmení pouze tři vrstvy.

Dle tabulky níže (Tab. 10) vidíme, že vrstva s nejmenším podílem sušiny (11,7 %) se nacházela nahoře. Podíl sušiny rostl směrem ke spodní vrstvě a dosáhl maximální hodnoty 13,5 %. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi vrstvami I a II, a I a III.

Stejnou tendenci vykazovaly také hodnoty měrné vodivosti. Nejnižší hodnota byla změřena ve vrstvě III, a to 787  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Statisticky významné rozdíly byly taktéž zaznamenány mezi vrstvou I a II, a I a III.

Hodnota pH byla naopak ve vrstvě III nejvyšší (7,36) oproti spodnějším vrstvám, kde se pohybovala téměř na stejné úrovni (6,87 a 6,88). Statisticky významný rozdíl byl mezi I. a II. vrstvou.

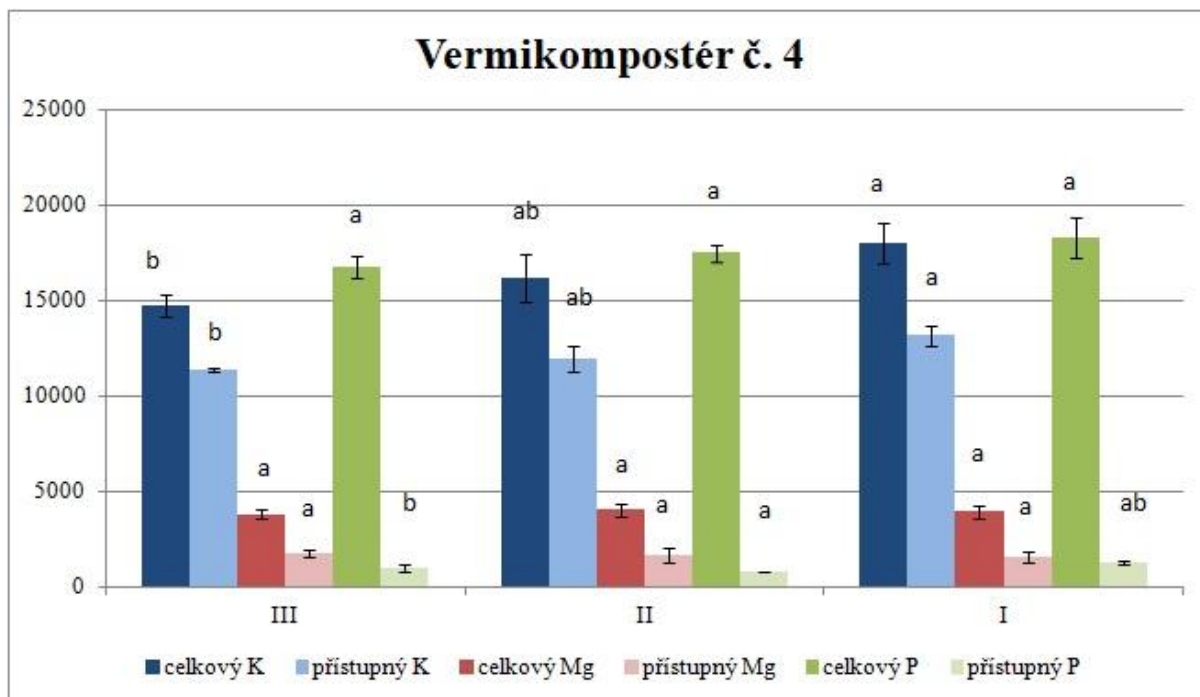
Vyšší poměr C:N vykazovaly dvě nejstarší vrstvy. Nejnižší hodnota byla zaznamenána pro vrstvu III (7,56).

Tabulka 10. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostěru č. 4.

vrstva	sušina [v %]	pH	vodivost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	poměr C:N
<b>III</b>	11,7 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	7,36 $\pm$ 0,10 <sup>ab</sup>	787 $\pm$ 102,37 <sup>a</sup>	7,56 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>
<b>II</b>	13,4 $\pm$ 0,57 <sup>a</sup>	6,87 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>	1117 $\pm$ 296,70 <sup>a</sup>	9,58 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>
<b>I</b>	13,5 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	6,88 $\pm$ 0,26 <sup>b</sup>	1180 $\pm$ 36,47 <sup>b</sup>	9,36 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

K prozkoumání celkového obsahu živin K, Mg, P nám poslouží graf níže (Obr. 9). Na první pohled je patrné, že se stářím jednotlivých vrstev rostl i celkový obsah prvků K (18048 mg/kg v maximu) a P (18301 mg/kg). Z tohoto množství bylo v přístupné formě 13160 mg/kg draslíku (tedy 73 %) a 1297 mg/kg fosforu (tedy 7 %). Celkový obsah Mg kolísal mezi hodnotami 3823 mg/kg - 4042 mg/kg a maximum bylo naměřeno ve vrstvě II. Přístupný Mg byl pak nejvíce zastoupen ve vrstvě III. Jeho podíl z celkového obsahu byl 46 %. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán u hodnot přístupného P mezi vrstvami II a III. Současně také v případě celkového i přístupného množství K mezi vrstvami I a III.



Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Písmena udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Obrázek 9. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 4.

### 1.7.5 Vermikompostér č. 5

Vermikompostér byl zakládán jako kontrolní varianta a již od začátku neobsahoval násadu žižal. Jednotlivé vrstvy se přikládaly současně s krměním předchozích vermikompostérů.

Vlhkost jednotlivých vrstev kolísala s průměrnou hodnotou 12,9 % sušiny za všechny vrstvy (Tab. 11). Stejně tendence vykazovaly i hodnoty pH, které taktéž kolísaly napříč všemi vrstvami a pohybovaly se v rozmezí 7,00 – 7,99. Maximální měrná vodivost byla zaznamenána v nejstarší vrstvě I. Její hodnota byla 1155  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nejnižší hodnotu měrné vodivosti obsahovala vrstva III (789  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Nepatrně větší výkyv pak zaznamenala vrstva II s hodnotou 10,1 poměru C:N, což bylo zároveň i maximum ze všech vrstev vermikompostéru. Minimum se nacházelo o jedno patro níže ve vrstvě I s hodnotou 8,45. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi některými vrstvami u všech sledovaných parametrů.

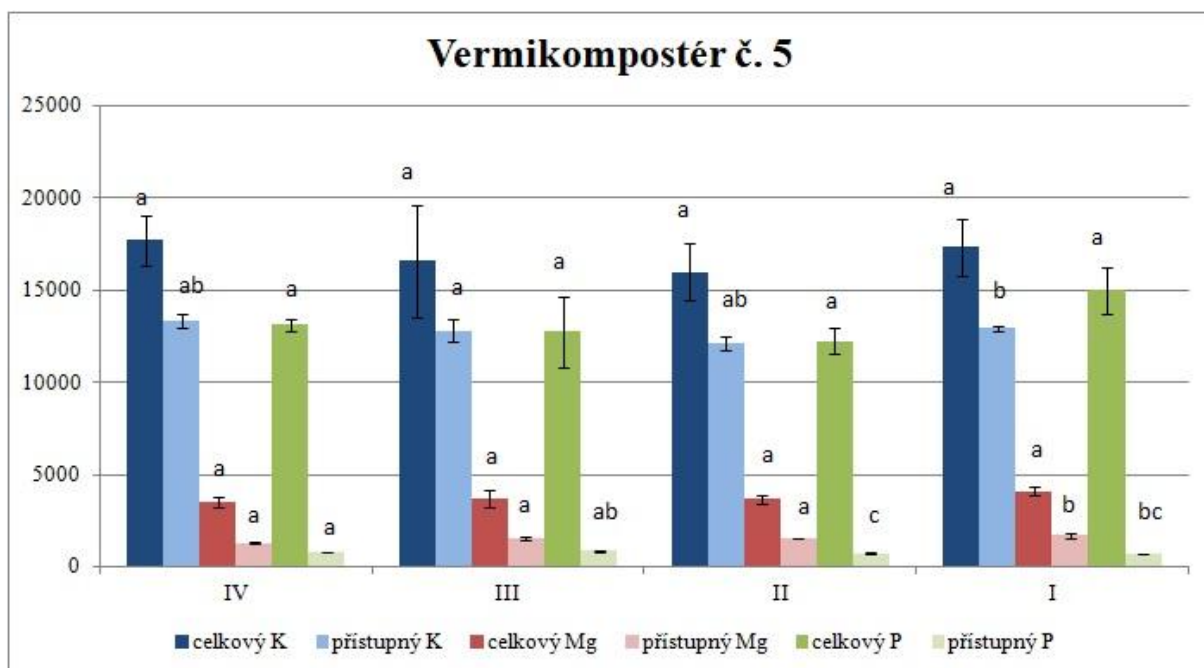
Tabulka 11. Průměrné hodnoty agrochemických vlastností pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostěru č. 5.

vrstva	sušina [v %]	pH	vodivost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	poměr C:N
<b>IV</b>	13,3±0,22 <sup>b</sup>	7,9±0,03 <sup>b</sup>	837±60,07 <sup>b</sup>	9,76±0,08 <sup>b</sup>
<b>III</b>	12,8±0,33 <sup>a</sup>	7,7±0,24 <sup>a</sup>	789±39,15 <sup>a</sup>	9,59±0,12 <sup>c</sup>
<b>II</b>	13,5±0,52 <sup>ab</sup>	7,99±0,10 <sup>a</sup>	810±46,49 <sup>a</sup>	10,1±0,03 <sup>a</sup>
<b>I</b>	12,1±0,45 <sup>a</sup>	7,00±0,46 <sup>a</sup>	1155±166,50 <sup>a</sup>	8,45±0,13 <sup>a</sup>

Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Indexy udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Hodnoty celkového obsahu živin nepravidelně kolísaly (Obr. 10). Shodný byl obsah minimálního množství K a P, které se v obou případech nacházelo ve vrstvě II. Tato vrstva obsahovala 15994 mg/kg draslíku a 12250 mg/kg fosforu. Průměrná hodnota obsahu Mg byla 3744 mg/kg za všechny vrstvy. Mezi vrstvami nebyly statisticky významné rozdíly. V procentuálním zastoupení přístupných prvků z celkového obsahu živin pak nebyly zřejmé žádné výraznější výkyvy. Hodnoty K se pohybovaly v rozmezí 75 – 77 %, Mg v rozmezí 36 – 42 % a P v rozmezí 5 – 7 %. Statisticky významné rozdíly byly v případě přístupných prvků zaznamenány u hodnot Mg (mezi vrstvou I a ostatními vrstvami) a u hodnot P (mezi vrstvami II a III, a III a IV).





Hodnoty vyjadřují průměry se směrodatnou odchylkou (n=3). Písmena udávají statisticky významné rozdíly mezi vrstvami (Tukeyův HSD test,  $P \leq 0,05$ ).

Obrázek 10. Graf celkového a přístupného obsahu prvků K, Mg, P pro jednotlivé vrstvy ve vermikompostéru č. 5.

## 1.8 Porovnání všech výsledných substrátů

Do porovnávání počtu žížal a celkové biomasy žížal zahrneme pouze vermikompostéry č. 2 a č. 3. V ostatních vermikompostérech žížaly uhynuly nebo se jednalo o kontrolní vzorek bez žížal (č. 5).

Z těchto dvou vermikompostérů vykazoval výrazně vyšší počet žížal vermikompostér č. 2., jehož maximální počet žížal v 1000 g vzorku byl 409 ks/kg, což je více než čtyřnásobek maximálního počtu druhého srovnávaného vermikompostu. Obě maxima se nacházela v nejmladší vrstvě.

Nejnižší podíl sušiny se nacházel ve vermikompostéru č. 1, kde se pohyboval na hodnotě 10,9 % v průměru. Tento vermikompostér obsahoval bioodpad s obsahem 100 % sladovnického kalu. Samotný sladovnický kal měl 11,8 %. Nejvyšší hodnota 15,1 % sušiny byla zaznamenána shodně ve dvou vzorcích, které byly odebrány z vermikompostéru č. 2 (vrstva II) a vermikompostéru č. 3 (vrstva IV). Tyto jediné dva vermikompostéry obsahovaly na konci pokusu žížaly.

Výrazně kyslejší prostředí se nacházelo ve vermikompostéru č. 1, ve kterém byl bioodpad složený ze 100 % sladovnického kalu, a který vlivem úhynu neobsahoval žížaly.

Hodnoty pH se zde pohybovaly v rozmezí od 5,43 do 5,9. Na hranici neutrálního pH pak kolísaly hodnoty ve vermikompostéru č. 2 a č. 4. Zásadité prostředí se nacházelo ve vermikompostéru č. 3 a č. 5., kde nejvyšší hodnoty byly zaznamenány ve vrstvě III vermikompostéru č. 3 s hodnotou 8,04. Byl to také jediný vzorek, který překročil hodnotu 8,0. Samotný sladovnický kal přitom vykazoval hodnotu pH 8,26.

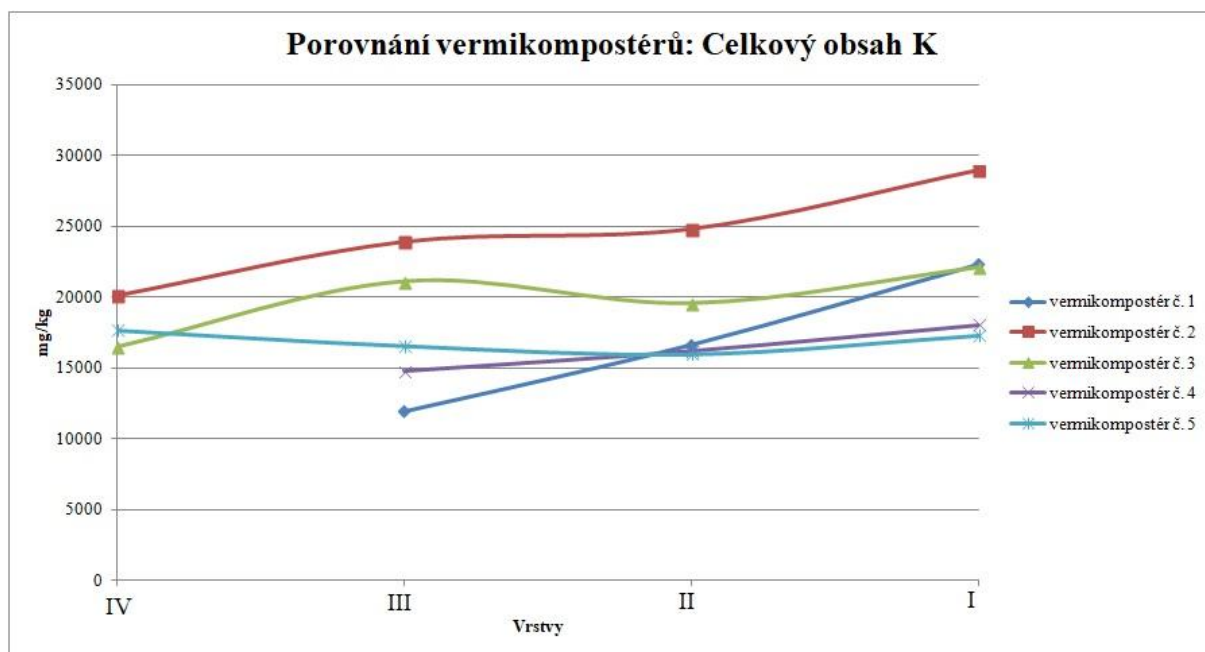
Nejvyšší měrná vodivost byla nalezena u samostatného vzorku sladovnického kalu (2088  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), což korespondovalo i s nálezem nejvyšší měrné vodivosti mezi jednotlivými vermikompostéry, který se vyskytoval v prvním vermikompostéru se 100 % kalu (vrstva III). Vzorek dosahoval hodnoty 2003  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Jiná hodnota přesahující hranici 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nebyla v tomto pokusu zaznamenána. Nejnižší hodnota byla naměřena ve vermikompostéru č. 4 – 787  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (vrstva III).

Průměrný poměr C:N byl 7,14. Nejnižší podíl C oproti N se nacházel ve vermikompostéru č. 1 (100 % kalu s uhynulou násadou žížal), kde se ve všech vrstvách držel v rozmezí hodnot 6,02 – 7,75. Tyto hodnoty se opět držely na stejné úrovni jako samotný kal, u kterého byla naměřena hodnota 5,99 podílu C:N. Nejvyšší byl ve vermikompostéru č. 3 s hodnotou 12,31 (vrstva III).

Pro úplný přehled celkového obsahu makro prvků byly sestrojeny následující grafy (Obr.11; 12; 13), ve kterých jsou znázorněny celkové obsahy živin K, Mg a P.

V prvním grafu (Obr. 11) vidíme situaci s celkovým obsahem draslíku, kde výrazněji vyšší množství obsahoval ve všech vrstvách vermikompostér č. 2. Nejvyšší množství se pak téměř vždy nacházelo v nejstarší vrstvě (I), výjimku tvoří vermikompostér č. 5, kde maximum K bylo zaznamenáno v nejmladší vrstvě (IV). Tento vermikompostér byl kontrolní a neobsahoval násadu žížal.

Nejvyšší podíl přístupného K z celkového počtu živin obsahovala ve většině případů nejmladší vrstva. Výjimku opět tvořil kontrolní vermikompostér bez žížal (č. 5), kde maximum bylo zaznamenáno ve vrstvě III.

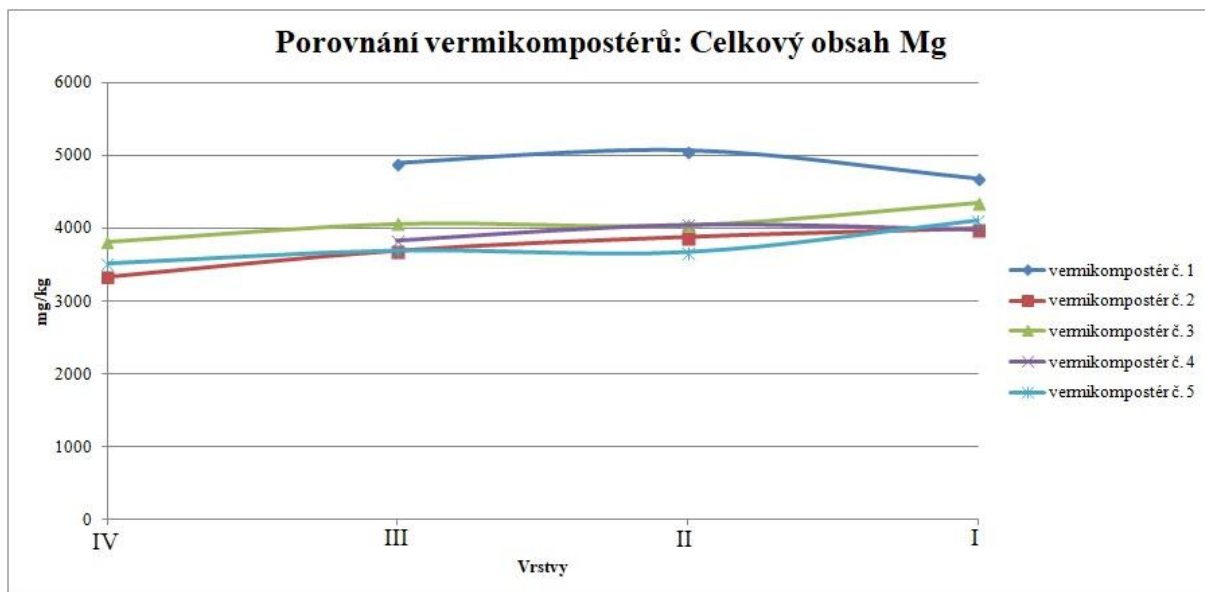


Hodnoty vyjadřují průměry (n=3).

Obrázek 11. Graf celkového obsahu prvku K všech výsledných substrátů.

Další graf v pořadí (Obr. 12) porovnává celkový obsah hořčíku výsledných substrátů. Zde je jasně patrné, že v celkovém množství ostatní vermikomposty převyšoval vermikompostér č. 1 (úhyn násady žížal). Mírně rostoucí tendenci celkového obsahu směrem k nejstarším vrstvám pak můžeme vidět u vermikompostérů č. 2, č. 3 a č. 5.

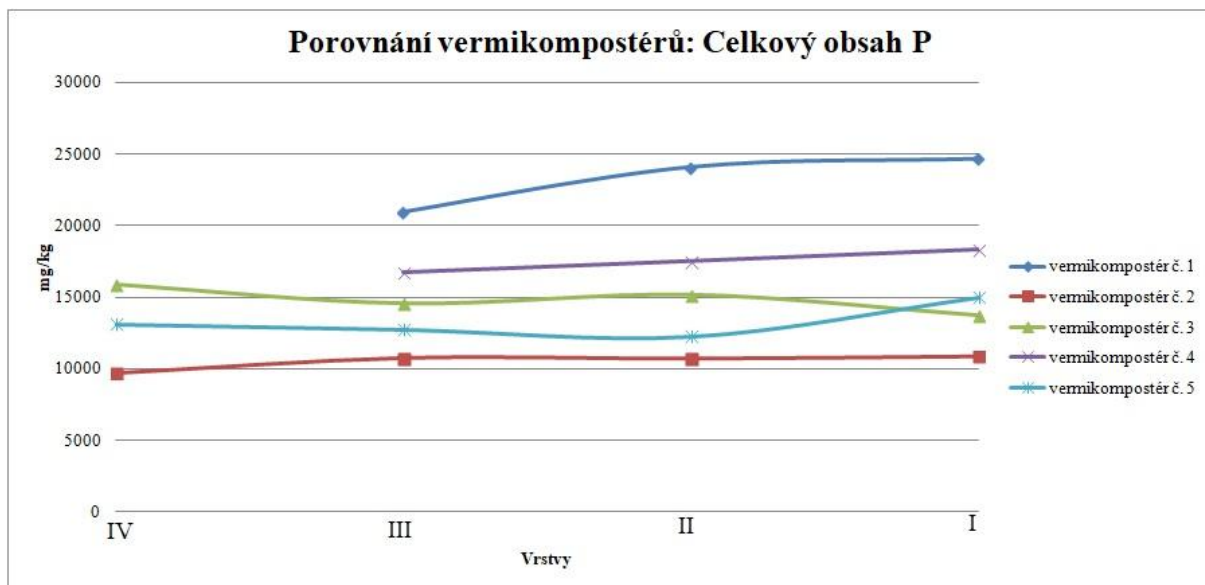
Nejvyšší podíl přístupného hořčíku z celkového množství pak vykazovala téměř ve všech případech nejmladší vrstva. Výjimkou byl opět vermikompostér č. 5 (kontrolní bez žížal), který stejně jako v předchozím případě obsahoval maximum podílu přístupného Mg ve starší vrstvě (II).



Hodnoty vyjadřují průměry (n=3).

Obrázek 12. Graf celkového obsahu prvku Mg všech výsledných substrátů.

V grafu níže (Obr. 13), který zobrazuje celkový obsah P u všech výsledných substrátů, je vidět, že nejvyšší obsah se opět vyskytoval ve vermikompostéru č. 1. Nejméně fosforu bylo naměřeno ve všech vrstvách druhého vermikompostéru. Rostoucí tendence celkového obsahu pak můžeme pozorovat směrem k nejstarší vrstvě u vermikompostérů č. 1, č. 2, č. 4 a č. 5. Situace s nejvyšším podílem přístupného P z celkového objemu se pak opakovala dle předchozích trendů (u K a Mg) následovně: Nejvyšší podíly se téměř vždy nacházely v nejmladší vrstvě, výjimku tvoří vermikompostér č. 5 (od počátku experimentu bez žížal), kde se nejvyšší podíl nacházel ve vrstvě III.



Hodnoty vyjadřují průměry (n=3).

Obrázek 13. Graf celkového obsahu prvku P všech výsledných substrátů.

## Diskuze

K úhynu žížal došlo ve 2 vermikompostérech, které obsahovaly v prvním případě 100 % kalu a v druhém případě směs 75 % kalu a 25 % slaměných pelet. Podobný úbytek biomasy žížal i celkového počtu kusů zaznamenal ve své studii Azizi et al. (2011), který se zabýval vermikompostováním kalů pocházejících z čistíren komunálních odpadních vod. V jeho pokusu biomasa žížal klesala s větším podílem kalu. Navíc nejvyšší úmrtnost a rychlost ztráty biomasy byly zaznamenány ve vrstvě se 100 % kalu. Ke stejným závěrům se ve své studii dopracovali také Gupta & Garg (2008), kteří vermikompostovali primární čistírenský kal. Jedním z důvodů úhynu žížal mohou být chuťové a chemické kvalitativní vlastnosti kalu, které mohou přímo ovlivňovat míru přežití, růst a reprodukční potenciál žížal (Azizi et al. 2011). Ke stejným závěrům došli i Aira et al. (2006), kteří zkoumali vliv poměru C:N na populační strukturu žížal *Eisenia fetida* ve vermikompostérech s prasečí kejdou, když tvrdí, že kvalita potravy ovlivňuje nejen velikost populace žížal, ale i jejich růst a míru reprodukce.

K úhynu žížal docházelo také ve 150ti denním pokusu s vermikompostováním bioodpadu z rajčat skleníkové produkce Fernández-Gómeze et al. (2010), kteří úhyn žížal přisuzovali vzrůstu hodnoty pH a měrné vodivosti. V jejich studii dosáhla maximální hodnota pH na 9,5 a měrná vodivost dosahovala hodnot až 4800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  v maximu. Maximální hodnoty v našem pokusu dosahovaly 8,04 pH a 2003  $\mu\text{S}/\text{cm}$  měrné vodivosti.

Maximální přírůstky žížal i biomasy byly v našem pokusu zaznamenány ve vermikompostéru s 25 % sladovnického kalu a 75 % slaměných pelet. Maximální průměrný počet kusů žížal v 1 kg vzorku byl 409 ks. Naprosto shodný výsledek s maximální hodnotou biomasy žížal zaznamenal i Azizi et al. (2011), který uvedl, že maximum přírůstku a biomasy žížal se nacházelo ve vermikompostu s poměrem 25 % kalu a 75 % vyplozeného substrátu hub.

Dalším aspektem, který může ovlivnit chování biomasy žížal je také pečlivý výběr druhu žížal. Toto potvrzují i Hu & Liu (2012), kteří na základě matematického modelování vermikompostovacího systému vyvozují závěr, že pokud jsou vybrány správné druhy žížal, je možné dosáhnout stálé stabilní činnosti systému vermikompostování. Například Aira et al. (2006) ve své studii využili žížaly druhu *Eisenia fetida* a popsali u nich zvýšené enzymatické schopnosti, které jim umožňují získat energii z alternativních zdrojů, jako jsou organické C a N rezervoáry.

Populaci žížal mohou dále ovlivňovat vlastnosti bioodpadu a počáteční množství organické hmoty. Dalším důvodem pro úhyn žížal může být přílišná vlhkost potravy (Adhikary 2012).

V našem pokusu byly v obou vermikompostérech obsahujících žížaly nalezeny jejich maximální koncentrace v nejmladších vrstvách, což potvrzují i Aira et al. (2006), Částková & Hanč (2019) a Jindrová (2017). Poslední zmíněná prováděla 12ti měsíční pokus vermikompostování kalů ze sladovny s příměsí dalších druhů zemědělských odpadů. Nárůst žížal až na dvojnásobné hodnoty zaznamenali ve svém pokusu také Fernández-Gómez et al. (2010).

Edwards (1988) uvádí, že ve vermikompostovacích systémech se optimální obsah vlhkosti pro většinu druhů žížal pohybuje v rozmezí 50 % až 90 %.

V našem pokusu se obsah vlhkosti držel mezi hodnotami 85 – 89 %, přičemž nejvyšší podíl sušiny byl nalezen ve vermikompostérech s vyšším podílem slaměných pelet (37,2 % sušiny). Naopak nejnižší podíl sušiny byl dle očekávání zaznamenán ve vermikompostéru se 100 % sladovnického kalu.

Jednoznačný trend vzrůstajících či klesajících hodnot sušiny v souvislosti se stářím vrstev nebyl v našem pokusu zaznamenán. Celkový růst vlhkosti se stářím vrstev byl objeven pouze u vermikompostéru č. 3, který na konci experimentu obsahoval žížaly.

V 18ti měsíční studii vermikompostování kravského hnoje se obsah vlhkosti také časem zvyšoval, bez ohledu na to, zda kompost obsahoval či neobsahoval žížaly. S žížalami se hodnoty pohybovaly od 77 % do 81 % a bez nich od 77 % do 84 % (Atiyeh et al. 2000).

Gómez-Brandón et al. (2013) ve svém pokusu udržovali ve vermikompostérech vlhkost v rozmezí od 66 % do 76 % pravidelným rosením.

Ve studii kompostování odpadních kalů z čističky komunálních odpadních vod změřili MacGregor et al. (1981) 76% počáteční obsah vlhkosti, který se během 15ti dnů kompostování (bez žížal) snížil na 22 %.

Pokud se pro srovnání zaměříme v našem pokusu také na vermikompostéry, ve kterých v závěru žížaly chyběly, zjistíme, že se tento trend nepotvrdil, neboť u samotného kalu došlo v průběhu pokusu ke zvýšení obsahu vlhkosti z 88 % na 90 %.

Jindrová (2017) zaznamenala obsah sušiny v hodnotách 42 – 46 %, v tomto případě se jednalo o venkovní pokus a vliv na celkovou vlhkost měly také srážky.

Většina druhů žížal toleruje prostředí, jehož pH se pohybuje v rozmezí 5 – 9, ale pokud se ve vermikompostéru nachází v průřezu vrstev různé pH, dávají žížaly přednost spíše v kyselému materiálu, s preferencí pH 5,0 (Domínguez et al. 2005).

Kyselejší prostředí se v našem pokusu nacházelo ve vermikompostéru se 100 % sladovnického kalu, avšak navzdory předchozímu tvrzení zde žížaly uhynuly. Předchozí domněnku nepotvrzuje ani fakt, že největší koncentrace žížal se nacházela ve vermikompostéru s neutrálním pH a druhá nejvyšší koncentrace se pak nacházela ve vermikompostéru s absolutně nejvyšším naměřeným pH (8,04).

Hodnotám pH se ve svém 200 dní dlouhém pokusu s vermikompostováním králíčího hnoje věnovali i Gómez–Brandón et al. (2013), kteří zjistili, že v průběhu celého pokusu se hodnoty pohybovaly okolo 8,3. Avšak současně s hloubkou vrstev hodnoty pH klesaly. Nejnižší pH bylo zaznamenáno na konci pokusu (7,57, tato hodnota je blízká hodnotě králíčího hnoje (7,75)). Snížení pH pak potvrzují i další autoři (Ndegwa & Thompson 2000; Garg et al. 2006; Khwairakpam 2009; Jindrová 2017; Hanc & Vasak 2015).

Další snížení bylo zaznamenáno i v 18ti měsíční studii vermikompostování kravského hnoje, která zahrnovala i kontrolní vzorky bez žížal, kdy hodnoty pH ve vermikompostérech s násadami žížal mírně poklesly, zatímco bez žížal se hodnota pH hnoje zvýšila a posunula směrem k neutralitě. Rozdíly v pH mezi vermikomposty s žížalami a komposty bez žížal považují autoři experimentu za velmi podstatné (Atiyeh et al. 2000).

V dalších studiích týkajících se našeho pokusu však bylo zaznamenáno také celkové zvýšení hodnot pH, a to například i v experimentu s vermikompostováním hroznových výlisků, ve kterém se hodnota pH během procesu vermikompostování zvýšila (Hanč & Částková 2019).

Toto zjištění dále potvrzuje další studie kompostování odpadních kalů z čistíčky komunálních odpadních vod (MacGregor et al. 1981). V tomto pokusu byla výchozí hodnota pH 6,3 ta se zvýšila na přibližnou hodnotu 8,2.

V našem pokusu se prokazatelně zvýšila hodnota pH se stářím vrstev pouze ve vermikompostéru č. 2 se směsí 25 % kalu a 75 % slaměných pelet. V ostatních vermikompostérech trend růstu nebo poklesu nelze jednoznačně určit.

Zvyšující se hodnota pH pozorovaná během procesu vermikompostování je pravděpodobně způsobena tvorbou meziproductů alkalického typu při rozkladu organických kyselin působením mikroorganismů (Romero et al. 2007).

V prvních třech vermikompostérech (č. 1, 2, 3) z celkových pěti obsahovala nejmladší vrstva také nejvyšší hodnotu měrné vodivosti. U zbylých dvou vermikompostérů to bylo naopak (nejvyšší hodnota v nejstarší vrstvě). Celkově nejvyšší hodnota byla však zaznamenána u vstupního sladovnického kalu (2088  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



Postupné snižování měrné vodivosti zaznamenala také Jindrová (2017) s hodnotami 1098 - 1539  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nicméně jiná studie (Částková & Hanč 2019) uvádí, že v průběhu procesu vermikompostování došlo ke zvyšování EC. Zvýšení měrné vodivosti zaznamenali také Hanc & Vasak (2015) při experimentálním vermikompostování separovaného digestátu.

Objevují se i poznatky, které hovoří o nevýznamných rozdílech mezi hodnotami měrné vodivosti napříč různě starými vrstvami vermikompostérů. Gómez-Brandón et al. (2013) pozorovali celkově nízké hodnoty měrné vodivosti podobné hodnotám vstupní suroviny (kravský hnůj).

Poměr C: N je tradičně používán jako ukazatel pro odhad zralosti a stability kompostu. Senesi (1989) uvádí rozmezí hodnot, které i přes možný pokles od počáteční hodnoty C:N, indikuje obecně pokročilý stupeň stabilizace organické hmoty výsledného vermikompostu a je považován za žádoucí. Toto rozmezí stanovil na hodnotách ne větších než 30 a ne menších než 20. Ovšem Fernando-Gómez (2010) dodává, že u konkrétních substrátů, se tento index nepovažuje za spolehlivý ukazatel, protože použité suroviny mohou mít velmi variabilní poměr ligninu a celulózy, nebo mohou obsahovat jinou odolnou složku, která mění jejich biologickou odbouratelnost a tím i výsledný poměr C:N.

Růst či pokles hodnoty C:N v souvislosti se stářím vrstev v našem experimentu nelze jednoznačně určit. Nejnižší podíl C:N byl zaznamenán ve vstupním kalu a ve vermikompostéru se 100 % kalu (6,02). Nejvyšší hodnoty se pohybovaly okolo 12 C:N.

Situací s koncentracemi C a N a jejich poměru se zabývala také 18ti měsíční studie vermikompostování kravského hnoje. Autoři uvádí, že poměr C:N je jeden z nejpoužívanějších ukazatelů zralosti organických odpadů a ve zmíněném experimentu se postupně snižoval. Toto celkové snížení poměru C: N bylo spojeno se zvýšením celkového dusíku (Atiyeh et al. 2000).

V jiném pokusu s vermikompostováním rostlinného odpadu obohaceného více zdroji zemědělsko-průmyslového odpadu (předev ším kravským hnojem) byl jeden z výsledných poměrů C:N menší než 20 (19,62) a znamenal pokročilý stupeň stabilizace organické hmoty a zároveň odrážel uspokojivý stupeň zralosti organického odpadu. Naopak v této studii se objevil v jiném vermikompostéru vysoký výsledný poměr C: N (27,17), ten naopak indikoval pokles biologické aktivity a následně zpomalení degradace v důsledku úmrtnosti žížal (Azizi et al. 2014).

Ve studii Airy et al. (2006) vyšlo najevo, že po 36 týdnech kompostování prasečí kejdy poměr C:N významně ovlivnil celkové množství žížal (sedmkrát větší množství bylo objeveno ve vysokém poměru C: N) a jejich populační strukturu. Ve vermikompostéru

s nízkým poměrem C: N tak byla populace složena převážně z dospělých jedinců (až 60 % z celkové populace) s vyšší průměrnou hmotností, než ve vermikompostéru s vysokým poměrem C:N, kde se populace skládala převážně z většího počtu juvenilních<sup>7</sup> a líhních žížal (až 70 %).

V jiných studiích zůstával poměr C:N konstantní v hodnotách od 11 do 12 (Fernández-Gómez et al. 2010), v další studii v rozmezí 9,9 – 14,43 (Jindrová 2017).

Další studie potvrzují vyšší podíl C:N v nejmladších vrstvách z důvodu mineralizace přidávaného krmení (bioodpadu), intenzivnější činností žížal a dalších mikroorganismů (Jindrová 2017; Částková & Hanč 2019).

Nejvyšší hodnotu K obsahovaly především nejstarší vrstvy (20128,5 mg/kg) a přístupné formy tvořily maximálně 77 % z celkového objemu. Nejvyšší hodnota Mg se nacházela ve vermikompostéru se 100 % kalu s uhynulými žížalami v hodnotě 5069,8 mg/kg. Maximální přístupná forma tvořila 60 % z celkového objemu (3810,2 mg/kg) ve vermikompostéru č. 3. Nejvyšší hodnota celkového P (24695,3 mg/kg) byla zaznamenána ve vermikompostéru č. 1, nejvyšší podíl přístupného prvku dosahoval 14 %. Všechny přístupné prvky se ve většině případů v největších podílech objevovaly v nejmladších vrstvách. Arthur et al. (2012) tvrdí, že množství přístupných živin ovlivňují právě žížaly.

Podobnou hodnotu množství celkového draslíku zaznamenali ve svém pokusném vermikompostu s rajčatovým bioodpadem a příměsí ovčího hnoje také Gómez-Brandón et al. (2013), kdy došlo k navýšení celkového K z původních 8900 na 22 700 mg/kg. Konečná hodnota celkového Mg byla 7200 mg/kg a celkového P 2040 mg/kg.

Při výzkumném vermikompostování rostlinného odpadu obohaceném více zdroji zemědělsko-průmyslového odpadu (především kravským hnojem) se snížil obsahu celkového K a P (Azizi et al. 2014).

V našem pokusu došlo naopak převážně ke zvyšování celkového množství K. P nepravidelně kolísalo.

Stejně tak jako v experimentu Částkové & Hanče (2019) byla i v našem pokusu nalezena nejvyšší hodnota P v nejstarší vrstvě. Jejich naměřená hodnota byla 5522 mg/kg, což je téměř 5krát méně než v našem pokusu. Maximální hodnotu K naměřili 17 790 mg/kg a největší celkový obsah Mg 5 518 mg/kg. Zároveň zaznamenali výrazně vyšší podíl přístupného P (20 – 42 %), přibližně stejný podíl přístupného K (65 – 79 %) a výrazně nižší podíl přístupného Mg (11 – 13 %).

---

<sup>7</sup> Nedospělý, zatím neschopný rozmnožování.

Celkové navýšení všech sledovaných makroprvků zaznamenali ve své studii Hanc & Vasak (2015).

Azizi et al. (2011) pro dosažení co nejlepšího výsledného vermikompostu doporučují proces předkompostování. Systémem předkompostování lze dosáhnout optimálního pH 7 a teploty přibližně 27 °C. V průběhu předkompostování je zapotřebí substrát provzdušňovat převrácením. Dalším benefitem je účinná inaktivace patogenů.

Systém předkompostování využili ve svém experimentu vermikompostování separovaného digestátu také Hanc & Vasak (2015). Jednalo se o dvoutýdenní proces s řízeným systémem provzdušňování a se stálou teplotou 25 °C.

Vzhledem k výsledkům ve své studii doporučuje Azizi et al. (2011) v případě vermikompostování kalů nižší podíl samotného kalu a vyšší podíl přídatného materiálu. V našem případě slaměných pelet.

K úpravě konečných hodnot pH kompostovaných kalů z čistíren odpadních vod doporučují Wong & Fang (2000) použití vápna v množství <1,0% z celkového objemu kompostu.

Zralý vermikompost představuje produkt s přidanou hodnotou, který doporučují Fernández-Gómez et al. (2010) použít pro ekologickou úpravu zemědělských půd.

## Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit chemické a biologické vlastnosti vermikompostovaného kalu ze sladoven v systému postupného přidavku surovin a potvrdit či vyvrátit následující hypotézy:

1. Budou nalezeny rozdíly v agrochemických a biologických vlastnostech vrstev různého stáří. Hypotéza byla potvrzena u parametrů žížal (viz hypotéza č. 2). V případě množství sušiny byla hypotéza potvrzena částečně (jednoznačně potvrzena pouze u vermikompostéru č. 3, kde byl prokázán pokles se stářím vrstev). Vlastnosti pH potvrzují hypotézu částečně (jednoznačně pouze u vermikompostéru č. 2, kde došlo ke zvýšení hodnot se stářím vrstev). Měrná vodivost byla z hlediska této hypotézy neprůkazná, neboť se v experimentu jednalo o protichůdné výsledky u jednotlivých vermikompostérů. Stejně tak byly neprůkazné hodnoty C:N. V případě celkových obsahů živin byla hypotéza potvrzena částečně, neboť maximální hodnoty K se nacházely v nejstarších vrstvách, to platilo částečně i u Mg, P nelze jednoznačně určit. Přístupné prvky hypotézu potvrdily tím, že maximální hodnoty převažovaly v nejmladších vrstvách.

2. Vyšší biomasa žížal bude nalezena v horních vrstvách. Tato hypotéza byla jednoznačně potvrzena u dvou vermikompostérů ze čtyř. Pouze tyto dva vermikompostéry (č. 2 a 3) obsahovaly žížaly i na konci experimentu. V ostatních žížaly uhynuly.

3. Přídavek slaměných pelet ke kalu bude mít pozitivní vliv na vermikompostovací proces a kvalitu výsledného produktu. Jednoznačně potvrzen pozitivní vliv na vermikompostovací proces, a to především tím, že čím vyšší přídavky slaměných pelet, tím příznivější prostředí pro žížaly a lepší podmínky pro jejich činnost. Přídavky slaměných pelet měly vliv na kvalitu výsledného produktu pouze částečně, a to především z hlediska celkového množství K, množství sušiny a poměru C/N.

Vhodnost samostatného sladovnického kalu jako materiálu k vermikompostování hodnotí práce po všech předchozích zjištěních jako nevyhovující. K vermikompostování je sladovnický kal vhodný pouze po smíchání se slaměnými peletami, a to ideálně v poměru 25 % kalu a 75 % slaměných pelet. Do dalších studií tohoto bioodpadu by bylo vhodné zahrnout otázky týkající se možnosti využití jiného druhu žížal, předkompostování nebo případně zpracování sladovnického kalu pouze procesem kompostování bez násad žížal, nikoliv vermikompostováním, při kterém by bylo možné zpracovávat větší podíly kalu bez rizika úhynu nasazených žížal.

## Literatura

- Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*. 3 (7). 905-917.
- 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*. 42. 127 – 131.
- Arancon N. Q., Edwards C. A., Dick R., Dick L. 2007. Vermicompost Tea Production and Plant Growth Impacts. *BioCycle*. 11. 51 – 52.
- Arthur G. D., Aremu A. O., Kulkarni M. G., Van Staden J. 2012. Vermicompost Leachate Alleviates Deficiency of Phosphorus and Potassium in Tomato Seedlings. *Hortscience*. 47(9). 1304–1307.
- Atiyeh R., M., Domínguez J., Subler S., Edwards C., A. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*. 44. 709 – 724.
- Azizi A. B., Noor Z. M., Jaime A. T. da S., Noorlidah A., Adi, A. J. 2011. Vermicomposting of Sewage Sludge by *Lumbricus rubellus* Using Spent Mushroom Compost as Feed Material: Effect on Concentration of Heavy Metals. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 16. 1036-1043.
- Azizi A. B., Syarifah N., A., S., M., G., Noor Z., M., Noorlidah A. 2014. Vermicomposting of Vegetable Waste Amended with Different Sources of Agro-Industrial By-Product Using *Lumbricus rubellus*. *Polish Journal of Environmental Studies*. 23 (5). 1491-1498.
- Basařová G., Čepička J. 1985. *Sladařství a pivovarství*, SNTL, Praha. 256 s. ISBN 05-025 85.

Benešová K., Běláková S., Mikulíková R., Svoboda Z. 2017. Aktivita proteolytických enzymů v průběhu sladování a výroby piva. *Kvasný průmysl*. 63 (1). 2 – 7.

Clemencet M., Bergal P. 1962., The Botany of Barley Plant. Pages 1 – 17 in Cook A. H. Editor. *Barley and Malt: Biology, Biochemistry, Technology*. Academic Press New York and London. New York.

Částková T., Hanč A. 2019. Change of the parameters of layers in a large-scale grape marc vermicomposting system with continuous feeding. *Waste Management & Research*. January 11, 2019.

ČSN EN 13651. 2002. Půdní melioranty a stimulanty růstu - Extrakce živin rozpustných v chloridu vápenatém / DTPA (CAD). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

ČSN EN 15933. 2013. Kaly, upravený bioodpad a půdy – Stanovení pH. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

Dohányos M. 2006. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.

Domínguez J., Edwards C. A. 2011. Relationships between composting and vermicomposting. *Vermiculture Technology* (Eds C.A. Edwards, N.Q. Arancon & R. Sherman). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. 11-25.

Domínguez J., Edwards C. A., Subler, S. 1997. A Comparison of Vermicomposting and Composting. *BioCycle*. April. 57 – 59.

Domínguez J., Velando A., Ferreiro A., 2005. Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché (1972) (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species? *Pedobiologia* 49, 81–87.

Edwards C.A., 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by arthworms. Pages 21 – 31 in Edwards C.A., Neuhauser E.F. (Eds.), *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB The Hague, The Netherlands.

Fernández-Gómez M., J., Nogales R., Insam H., Romero E., Goberna M. 2010. Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops. *Waste Management*. 30 (2010). 2461–2468.

Fišerová H., Prokeš J., Helánová A., Hartmann J. 2010. Kvality sladu v průběhu posklizňového dozrávání ječmene. *Kvasný průmysl*. 56 (2). 93 – 99

Garg V.K., Yadav Y.K., Sheoran A., Chand S., Kaushik P., 2006. Livestock excreta management through vermicomposting using an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Environmentalist* 26, 269–276.

Georg. 2004. Feasibility of Developing the Organic and Transitional Farm Market for Processing Municipal and Farm Organic Wastes Using Large-Scale Vermicomposting. Good Earth Organic Resources Group. Halifax. Nova Scotia, 2004.

Gómez-Brandón M., Lores M., Domínguez J. 2013. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. *Bioresource Technology*. 128 (2013). 310–316.

Gupta R., Garg V. K. 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *J. Hazard. Mater.* 153. 1023- 1030.

Hanc A., Castkova T., Kuzel S., Cajthaml T. 2017. Dynamics of a vertical-flow windrow vermicomposting system. *Waste Management & Research*. 35 (11). 1121 – 1128.

Hanc A., Vasak F. 2015. Processing separated digestate by vermicomposting technology using earthworms of the genus *Eisenia*. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* (2015) 12. 1183–1190.

Hanč A., Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů (certifikovaná metodika). Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 38s. ISBN 978-80-213-2422-0

Havlová P. 1999. Hydrolytické a oxidoredukční enzymy ječného sladu. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 43s. ISBN: 80-7271-040-0.

Hu E., Liu H. 2012. Qualitative analysis of the stability of a continuous vermicomposting system. *Bioresource Technology*. 126 (2012). 345–349.

Chloupek O. 2011. Historie šlechtění sladového ječmene na území České republiky. *Kvasný průmysl : odborný časopis pro výrobu nápoju a biochemické technologie*. 57/ 2011 (7–8). 180 – 181.

Chloupek O., Procházková B., Hrudová E. 2005. Pěstování a kvalita rostlin: pěstitelský rádce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno. 178 s. ISBN 978-80-7157-897-02009.

Insam H., de Bertoldi M. 2007. Microbiology of the composting process. *Waste Management Series*. 8 (3). 25 – 48.

Janatka F. 1975. Moderní technologie sladování. *Kvasný průmysl*. 21 (12). 268 – 270.

Jindrová B. 2017. Zpracování biologicky rozložitelných zbytků z potravinářského průmyslu [Diplomová práce]. ČZU, Praha.

Kanagachandran K., Jayaratne R. 2006. Utilization Potential of Brewery Waste Water Sludge as an Organic Fertilizer. *Journal of The Institute of Brewing*. 112 (2). 92 - 96.

Kelessidis A., Stasinakis A. S. 2012. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*. 32 (6). 1186 – 1195.



Khwairakpam M., Bhargava R., 2009. Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species. *Bioresour. Technol.* 100, 5846–5852.

Kosař K., Procházka S. 2000. *Technologie výroby sladu a piva. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský.* Praha. 398s. ISBN: 80-902658-6-3.

Lleó T., Albacete E., Barrena R., Font X., Artola A., Sánchez A. 2013. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. *Journal of Cleaner Production.* 47. 70 – 76.

Lohrová D. 2010. *Manuál k praktickému využití nejlepších dostupných technik (BAT) v pivovarech a sladovnách s přihlédnutím k rozsahu využívání specifických výrobních postupů v rámci pivovarsko - sladařského výrobního odvětví s přihlédnutím ke specifikacím CHZO „České pivo“.* Plzeň. 73s.

Matějů L., Boščíková Z., Zimová M., Státní zdravotní ústav. 2018. Rizika a výhody při využití čistírenských kalů na zemědělské půdě. *Odpadové Fórum.* 2018 (3). [online]. Dostupné z WWW: <https://www.tretiruka.cz/news/rizika-a-vyhody-pri-vyuziti-cistirenskych-kalu-na-zemedelske-pude/>.

Merwe A. 2002. Water management at a malted barley brewery. *Water SA.* 28 (3). 313 – 318.

Mielcarek Y., Janczukowicz A., Ostrowska W., Jóźwiak K., Kłodowska T., I., Rodziewicz J., Zieliński M. 2013. Biodegradability evaluation of wastewaters from malt and beer production. *Journal of The Institute of Brewing.* 119. 242 - 250.

Munroe G. 2007. *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture.* OACC. Kanada. p. 56.

MacGregor S. T., Miller F. C., Psarianos M. K., Finstain M. S. 1981. Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature. *Applied and environmental microbiology*. 41 (6). 1321 – 1330.

Ndegwa P.M., Thompson S.A., 2000. Effect of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 75 (1), 7–12.

Pelikán M., Dudáš F., Míša D. 2004. *Technologie kvasného průmyslu*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno. 129s. ISBN: 80-7157-578-X.

Pivovarský kalendář 2004 (Výzkumný ústav pivovarský a sladařský Praha, 2003).

Ramesh C. R., Rosell C. M. 2017. *Microbial Enzyme Technology in Food Applications*. Taylor and Francis Group, LLC. Londýn. p. 505. ISBN: 9781498749831.

Romero E., Plaza C., Senesi N., Nogales R., Polo A. (2007) Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes. *Geoderma*, vol. 139, 397-406.

Rop O., Hrabě J. 2009. *Nealkoholické a alkoholické nápoje*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín. 129s. ISBN 978-80-7318-748-4.

Safdar A., H., A., Kor N., M. 2014. Vermicompost and vermiculture: structure, benefits and usage. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2 (3). 775 - 782.

Senesi N., 1989. Composted materials as organic fertilizers. *Sci. Total Environ.* 81– 82.

Schuster K. 1962. Malting Technology. Pages 271 – 302 in Cook, A. H. Editor. *Barley and Malt: Biology, Biochemistry, Technology*. Academic Press New York and London. New York.

Sharma D., Yadav K. D. 2017. Vermicomposting of Flower Waste: Optimization of Maturity Parameter by Response Surface Methodology. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 1 (1). 15 – 18.

Sunberg C. 2005. Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH. *SLU Service/Repro. Uppsala*. p. 49. ISBN: 91-576-6902-3.

Váňa J., Hanč A., Habart J. 2009. Pevné odpady. Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Praha. 190 s. ISBN 978-80-213-1992-9.

Vogt R., Knappe F., Giegrich Detzel A. J. 2002. Ökobilanz bioabfallverwertung. Erich Schmidt Verlag. Berlin. p. 455.

Wong J. W. C., Fang M. 2000. Effects of lime addition on sewage sludge composting process. *Water Research*. 34 (15). 3691-3698.

Zimolka J. 2006. Ječmen - formy a užitkové směry v České republice. Profi Press. Praha. 200s. ISBN 80-86726-18-5.

## Samostatné přílohy



Obrázek I. Sladovnický kal (zdroj vlastní).



Obrázek II. Vážení slaměných pelet (zdroj vlastní).





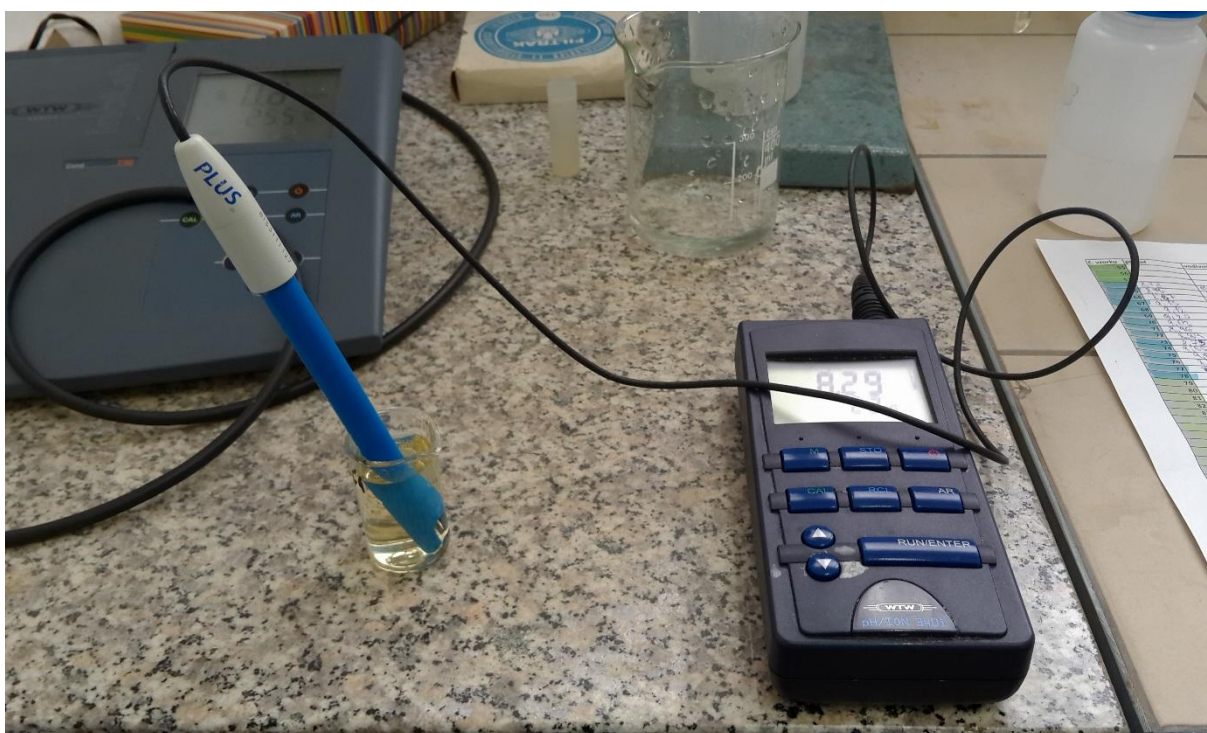
Obrázek III. 5 pokusných vermikompostérů s různým poměrem bioodpadu (zdroj vlastní).



Obrázek IV. Filtrování vzorků (zdroj vlastní).



Obrázek V. Stanovení měrné vodivosti (zdroj vlastní).



Obrázek VI. Stanovení pH (zdroj vlastní).

Tabulka I. Vedlejší produkty a pevné odpady ze sladoven ČR pro období 2005 – 2007 (Lohrová 2010).

Charakteristika	<i>Vedlejší produkty v kg / t vyrobeného sladu</i>				
	Sladový květ	Splavky a odpady z čištění sladu a ječmene		<i>Celkem</i>	
<b>vážený Ø</b>	34,6	21,7		<b>56,3</b>	
<b>aritm. Ø</b>	37,0	13,7		<b>50,8</b>	
<b>medián</b>	36,5	7,6		<b>47,2</b>	
<b>Rozpětí</b>	21,2 - 47,2	4,4 – 46,4		<b>24,4 – 89,2</b>	
	<i>Odpad na skládku v kg / t vyrobeného sladu</i>				
	Pryž, sklo	Suť	Komunální odpad	<i>Celkem</i>	
<b>vážený Ø</b>	0,004	0,14	0,94	<b>1,08</b>	
<b>aritm. Ø</b>	0,002	0,06	1,89	<b>1,96</b>	
<b>medián</b>	0,000	0,000	1,54	<b>1,62</b>	
<b>Rozpětí</b>	0 – 0,01	0 – 0,35	0,16 – 4,28	<b>0,16 – 4,26</b>	
	<i>Recyklovatelné odpady v kg / t vyrobeného sladu</i>				
	Skleněné střeby	Kovy	Plasty, folie	Papír	<i>Celkem</i>
<b>vážený Ø</b>	0,002	0,124	0,003	0,011	<b>0,139</b>
<b>aritm. Ø</b>	0,001	0,218	0,006	0,013	<b>0,238</b>
<b>medián</b>	0,000	0,137	0,001	0,006	<b>0,177</b>
<b>Rozpětí</b>	0 – 0,008	0,078 – 0,818	0,0004- 0,0265	0,001-0,053	<b>0,012 – 0,818</b>
	<i>Nebezpečné odpady v 10<sup>-3</sup> kg / t vyrobeného sladu</i>				
	Akumulátory	Oleje	Sorbentové textilie	Elektroodpad	<i>Celkem</i>
<b>vážený Ø</b>	2,6	5,8	2,5	1,0	<b>11,9</b>
<b>aritm. Ø</b>	2,1	3,4	1,6	0,9	<b>8,1</b>
<b>medián</b>	0,0	1,5	0,0	0,9	<b>5,8</b>
<b>Rozpětí</b>	<b>0 – 10,8</b>	<b>1,5 – 18,1</b>	<b>2,2 – 6,9</b>	<b>0,5 – 1,6</b>	<b>1,4 - 29,7</b>



Tabulka II. Spotřeba vody a objem odpadních vod v českých sladovnách pro období 2005 – 2007 (Lohrová 2010).

<b>Velikostní skupina sladoven</b>	<b>Typ charakteristiky</b>	<b>Spotřeba vody m<sup>3</sup> / t</b>	<b>Odpadní vody m<sup>3</sup> / t</b>
<b>nad 50 tis.t/rok</b>	vážený průměr	6,0	5,2
	aritmetický průměr	6,1	5,3
	medián	5,3	5,1
	rozpětí	4,0 – 8,3	3,3 – 7,4
<b>5 – 10 tis.t/rok</b>	vážený průměr	7,1	6,1
	aritmetický průměr	7,0	6,2
	medián	6,8	5,5
	rozpětí	6,0 – 8,4	5,3 – 8,2
<b>1 – 2 tis.t/rok</b>	vážený průměr	9,5	8,8
	aritmetický průměr	9,3	8,6
	medián	6,7	6,0
	rozpětí	3,9 – 20,9	3,2 – 19,8
<b>sladovny celkem</b>	vážený průměr	6,2	5,3
	aritmetický průměr	7,2	6,9
	medián	6,4	5,6
	<i>rozpětí</i>	<i>3,9 – 11,3</i>	<i>3,3 – 10,6</i>

Tabulka III. Emise do vody z provozů českých sladoven pro období 2005 – 2007 (Lohrová 2010).

<b>Velikostní skupina sladoven</b>	<b>Typ charakteristiky</b>	<b>BSK mg / l odpadní vody</b>	<b>Nerozpustné látky mg / l odpadní vody</b>
<b>Sladovny nad 50 tis.t/rok</b>	průměrná hodnota	738	344
	rozpětí	531 – 938	170 - 599
<b>Sladovny celkem</b>	průměrná hodnota	760	339
	<i>rozpětí</i>	<i>531 – 1193</i>	<i>40 - 599</i>



Tabulka IV. Účinnost čistíren odpadních vod ve sladovnách pro období 2005 – 2007 (Lohrová 2010).

Ukazatel	BSK		Nerozpuštěné látky		Kaly	Účinnost čištění v %	
	před ČOV	za ČOV	před ČOV	za ČOV	za ČOV	BSK <sub>5</sub>	nerozp. látky
<b>g/t sladu</b>	3958,0	50,3	1776,0	82,2	1918,0	98,8	<b>95,8</b>
<b>g/m<sup>3</sup> o.v.<sup>8</sup></b>	<b>759,9</b>	<b>8,8</b>	<b>339,3</b>	<b>14,4</b>	<b>385,0</b>		

---

<sup>8</sup> odpadní vody