

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vermikompostování kávové sedliny v systému průběžného krmení

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Kateřina Kučerová

Obor studia: Technologie zpracování a využití odpadů

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

Konzultant: Ing. Tereza Hřebečková

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vermikompostování kávové sedliny v systému průběžného krmení" 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 11.4.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala především mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. a konzultantce Ing. Tereze Hřebečkové za jejich čas, ochotu, trpělivost, odborné konzultace a cenné připomínky při zpracování této práce.

Zároveň bych také chtěla poděkovat své rodině, která mě po celou dobu studií podporovala.

Vermikompostování kávové sedliny v systému průběžného krmení

Souhrn

Výroba a zpracování kávy představuje velice důležité zemědělsko - průmyslové odvětví. Produkce kávové sedliny každým rokem roste a její odstraňování představuje vážný ekologický problém. Vermikompostování se jeví jako vhodná alternativní varianta. Cílem této práce je zjistit, zda je možné kávovou sedlinu zpracovávat za použití žížal v systému průběžného krmení a zvolit nejvhodnější poměr kombinace kávové sedliny a slaměných pelet pro vermikompostování. V literární rešerši jsou popsány charakteristiky a podmínky, za kterých probíhá vermikompostování i kompostování. Dále je uveden základní přehled o kávě, kávové sedlině a možnostech jejího odstraňování. Stěžejní část tvoří vlastní práce, která se podrobně zabývá samotným experimentem a vyhodnocením výsledků.

Pokus byl založen v dubnu 2018 v laboratoři výzkumné stanice v Červeném Újezdu. Do 5 vermikompostérů byla v různých poměrech se slaměnými peletami umístěna kávová sedlina, která pochází z Kavárny Místo. Celý pokus trval půl roku a pro vermikompostování byly použity žížaly *Eisenia andrei*. Po ukončení procesu byly z každé vrstvy odebrány tři vzorky, které se následně analyzovaly.

Dle zjištěných parametrů se jako nejvhodnější varianta pro vermikompostování jevil podíl 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet, kde výsledný počet a biomasa žížal výrazně převyšovaly ostatní varianty. Dobré vlastnosti (sušina 18,2 - 20 %; pH 6,6 - 7,3; EC 762 - 939 $\mu\text{S}/\text{cm}$, C:N 8,5:1 - 11:1) a zastoupení celkových i přístupných prvků vykazují i ostatní varianty, ale především u vermikompostéru se 100 % a 75 % kávové sedliny docházelo ke značnému zahřívání materiálu a tím i k úhynu žížal. Pro podniky, které produkují velké množství kávové sedliny a chtějí ji zpracovat pomocí vermikompostování, by bylo vhodné přidat buď vysoký poměr slaměných pelet, což by se ale ekonomicky příliš nevyplatilo, nebo kávovou sedlinu předkompostovat. Stejně vhodnou variantou by mohlo být i přidávání kávové sedliny častěji a ve slabších vrstvách.

Klíčová slova: Kávová sedlina; vermikompostování; slaměné pelety; agrochemické a biologické parametry

Vermicomposting of coffee grounds in the continuous feeding system

Summary

Coffee production and processing is a very important agro-industry. The production of coffee grounds grows every year and its disposal is a serious environmental problem. Vermicomposting appears to be a suitable alternative. The aim of this work is to find out whether it is possible to process the coffee grounds using earthworms in the continuous feeding system and to choose the best combination of coffee grounds and straw pellets for vermicomposting. The literature search describes the characteristics and conditions under which vermicomposting and composting take place. The following is a basic overview of coffee, coffee grounds and possibilities of its disposal. The main part consists of my own work, which deals with the experiment itself and the evaluation of the results.

The experiment was established in April 2018 in a research station laboratory in Červený Újezd. In 5 vermicomposts, the coffee grounds from the Kavárna Místo were placed in different proportions with straw pellets. The whole experiment lasted half a year and the worms of *Eisenia andrei* were used for vermicomposting. After the process, three samples were taken from each layer and analyzed.

According to the observed parameters, the most suitable variant for vermicomposting was the proportion of 25 % coffee grounds and 75 % straw pellets, where the resulting number and biomass of earthworms significantly exceeded the other variants. Other variants also show good properties (dry matter 18,2 - 20 %; pH 6,6 - 7,3; EC 762 - 939 $\mu\text{S}/\text{cm}$, C:N 8,5:1 - 11:1) and representation of the total and accessible elements, but especially in the vermicomposter, 100 % and 75 % of the coffee grounds were heavily heated and the earthworms died. For companies that produce large quantities of coffee grounds and want to process it with vermicomposting, it would be appropriate to either add a high ratio of straw pellets, which would not be economically worthwhile, or pre-compost the coffee grounds. The addition of coffee grounds more often and in weaker layers could be an equally suitable option.

Keywords: Coffee grounds; vermicomposting; straw pellets; agrochemical and biological parameters

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Vermikompostování.....	3
3.2	Žížaly vhodné k produkci vermikompostu	5
3.3	Vlastnosti vermikompostování.....	8
3.3.1	pH.....	8
3.3.2	Teplota	8
3.3.3	Vlhkost.....	8
3.3.4	Aerace	8
3.3.5	Poměr C:N	9
3.3.6	Mikroorganismy.....	9
3.4	Kompostování.....	10
3.5	Vermikompostování × kompostování.....	11
3.6	Káva.....	12
3.6.1	Kávová sedlina.....	15
4	Vlastní práce	17
4.1	Materiál a metodika	17
4.1.1	Materiál.....	17
4.1.2	Vermikompostování a příprava vzorků	17
4.2	Agrochemické analýzy	19
4.3	Statistické analýzy	20
4.4	Výsledky	20
4.4.1	Kávová sedlina a slaměné pelety	20
4.4.2	Vermikompostér č. 1.....	21
4.4.3	Vermikompostér č. 2.....	25
4.4.4	Vermikompostér č. 3.....	29
4.4.5	Vermikompostér č. 4.....	33
4.4.6	Vermikompostér č. 5.....	36
4.4.7	Srovnání vermikompostérů.....	39
5	Diskuze	41
6	Závěr.....	46
7	Seznam použité literatury.....	48
8	Přílohy	I

1 Úvod

Ve světě se každým rokem produkuje stále více odpadu a tato skutečnost tvoří významný environmentální problém. Vermikompostování se jeví jako jedna z alternativních variant, při které se organické odpady transformují do vermikompostu, který je užitečný pro půdu a rostliny. Tím dojde ke snížení negativních dopadů na životní prostředí (Edwards 1988). Sharma et al. (2005) označují vermikompostování za nákladově efektivní a přirozený způsob rozkladu biomasy, díky kterému lze například snížit množství odpadu ukládaného na skládky. Za výhodu vermikompostování označuje Wang et al. (2007) relativně krátkou dobu rozkladu bioodpadů. Při vermikompostování dochází s pomocí žížal k provzdušňování, míchání, fragmentaci, enzymatickému štěpení a také mikrobiálnímu rozkladu ve střevě žížal (Nair et al. 2006).

Výroba a zpracování kávy představuje velice důležité zemědělsko - průmyslové odvětví a například v Etiopii tvoří až 65 % vývozu ze země (Wiersum et al. 2008). Podle mezinárodní organizace pro kávu se roční produkce zvýšila ze 140 na 168 milionů 60 kg pytlů od roku 2010, takže minimalizace vedlejších produktů kávy představuje vážný problém (ICO 2018). Kávová zrna jsou jednorázový produkt a při odstraňování zbytků z výroby kávy, mezi které patří i kávová sedlina, vzniká velké množství tuhých i kapalných odpadů, které mají obrovské environmentální dopady (Hue et al. 2006). Salmon (2003) dokonce uvedl pěstování a konzumaci kávy mezi dva největší přispěvatele k negativním dopadům na životní prostředí. Většina kávové sedliny je spalována jako odpad, což má za následek produkci oxidu uhličitého. Další možností je uložení na skládky, při tom se ale tvoří methan, který přispívá ke změně klimatu (Pelupessy 2003). Přitom existují důkazy, že kávová sedlina, která tvoří asi 50 % všech odpadů z kávy, má dobrý potenciál být využívána jako hnojivo bohaté na živiny. Problém je v tom, že v současné době neexistuje žádná propracovaná infrastruktura, která by se zabývala odstraňováním tohoto odpadu (Brendan & Tien, 2018). Adi & Noor (2009) tvrdí, že kávovou sedlinu je možné rozložit pomocí vermikompostování. Vhodné využití sedliny je také při stabilizaci kuchyňského odpadu, který pak poskytuje lepší prostředí pro populační růst žížal a produkuje vysoce kvalitní vermikompost.

Tato diplomová práce zpracovává základní literární přehled o vermikompostování a charakteristice kávové sedliny a následně pokus, ve kterém byla kávová sedlina v laboratorních podmínkách vermikompostována v různých poměrech se slaměnými peletami.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda je kávová sedlina vhodná k vermikompostování v systému průběžného krmení žížal. Prostřednictvím agrochemických a statistických analýz pak určit nejvhodnější variantu a ověřit stanovené hypotézy.

Stanovené hypotézy:

1. Parametry jednotlivých vrstev vermikompostovaných substrátů se budou lišit.
2. Vyšší biomasa žížal bude zjištěna v horních vrstvách.
3. Přídavek slaměných pelet bude mít pozitivní vliv na vermikompostování kávové sedliny.

3 Literární rešerše

3.1 Vermikompostování

První cíleně vytvořený vermikompost vznikl pravděpodobně ve druhé polovině 20. století v USA. V návaznosti na to došlo roku 1981 k sepsání Sborníku workshopu, jehož autorkou je M. Appelhof a pojednává o funkci a významu žížal v procesu rozkladu organických zbytků. I díky této publikaci se dostalo vermikompostování do širšího povědomí veřejnosti. Počátky vermikompostování se realizovaly v prostředí farem, později vznikaly vermikomposty i v domácích podmínkách (Singh 2014).

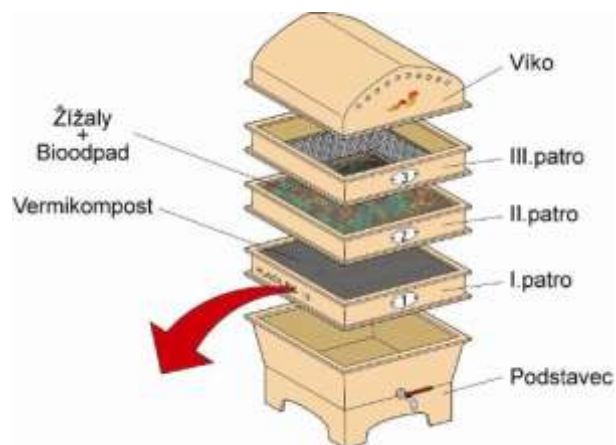
Dle Domíniguae & Edwardse (2004) lze vermikompostování popsat jako proces dekompozice, v jejímž průběhu dochází k oxidaci a následné stabilizaci materiálů organického původu za působení mikroorganismů a žížal. Zjednodušeně se jedná o klasický kompostovací proces, pouze s využitím žížal. Ty se snaží vytvořit kvalitní hnojivo narušováním, fragmentací a provzdušňováním struktury bioodpadu (Edwards et al. 2010). Střídá se zde biooxidace s procesem stabilizace organické hmoty. Žížaly zkonzumují kompostovanou biomasu, která následně projde trávicím traktem, kde se organické látky změny v exkrementy (Jamaludin & Mahmood 2010). Střevem žížal procházejí při aktivní fázi organické látky současně s mikroorganismy a dochází zde k přidavku sacharidů a enzymů (Domínguez et al. 2011a). Organický materiál, který projde žížalím traktem je zpravidla vyloučen v časovém rozmezí 2,5 až 7 hodin a má formu koprolitů (Zajonc 1992). Koprolity (exkrementy) jsou bohaté na živiny a tvoří tedy podstatu vermikompostu, který se pak dá využít jako kvalitní hnojivo. Kromě koprolitů vylučují žížaly ještě hlen a močovinu (Domínguez et al. 2011a). Jistým přínosem je i samotná metabolická aktivita žížal, která vede ke snižování poměru C:N a zvyšování obsahu metabolitů. To vše napomáhá k zefektivnění a zkvalitnění mikrobiálních procesů (Hussian et al. 2016). Dle Romero et al. (2007) se velká část původní organické hmoty během vermikompostování mineralizuje na oxid uhličitý, vodu a amoniak. Zbylá část se pak transformuje na stabilní hmotu organického původu. Samotné vermikompostování má dle Váňi (1994) význam z důvodu zastoupení enzymů, které podporují klíčení rostlin. Při léčbě onemocnění rostlin houbového původu se dají využít také výluhy z vermikompostu. Hotový vermikompost, nebo také biohumus, má po vysušení podobu jemné lesní půdy. Předností vermikompostu je především velké zastoupení mikroorganismů, které příznivě ovlivňují růst rostlin, a značně vysoká vodní kapacita. Krom

jiného obsahuje také značný podíl huminových kyselin, přírodních enzymů a regulátorů růstu např. gibbereliny, auxiny, cytokininy a další (Pecl 2007).

Při velké produkci můžeme vermikompostovat v pásových hromadách, kde zraje vermikompost v rozmezí 4 – 12 měsíců, nebo ve vermireaktorech, které se průběžně dokrmují, a celý proces proběhne za 30 – 60 dní (Domínguez & Edwards 2011b). Maloprodukční vermikompostování probíhá zpravidla v zakrytém vermikompostéru, který tvoří několik nádob a je možné ho zkonstruovat i v domácích podmínkách. Vhodná teplota během vermikompostování se pohybuje okolo 20 °C, a tak můžeme vermikompostér umístit například v bytě, na chodbu, v kanceláři nebo třeba na balkon. Pokud dodržíme správné zásady vermikompostování, měl by být zápach minimální. Vzhledem k fotofobnosti žížal je vhodné vermikompostér umístit na stinnější místo. Pokud chceme mít vermikompostér venku, je třeba ho v zimě dostatečně zaizolovat (teplota nesmí klesnout pod 0 °C) a naopak v létě nevystavovat přímému slunečnímu záření. Vermikompostér, který můžeme vidět na obrázku č. 1. a 2. je konstruovaný z několika pater (Plíva 2016).



Obrázek č.1: Vermikompostér (<https://www.plastia.cz/produkt/urbalive/vermikomposter/>)



Obrázek č. 2: Schéma vermikompostéru (Hanč & Plíva 2013)

Nejspodnější vrstva slouží ke shromažďování přebytečného výluhu z vermikompostu. Ten je možné ho po naředění s vodou využít jako hnojivo. Další vrstvy slouží k plnění bioodpadem (Plíva 2016).

Vhodné dávkování bioodpadu do vermikompostéru je třeba provádět pravidelně a ideálně v menších dávkách, aby nedocházelo k množení nežádoucího hmyzu nebo tvorbě zápachu. Při dodržení ideálních podmínek by se měl počet žížal za tři měsíce zdvojnásobit (Plíva 2016).

Za vhodné krmivo pro žížaly můžeme označit klasický kuchyňský bioodpad s přídavkem papíru. Tato kombinace zvyšuje celkový obsah živin (Hanč & Plíva 2013). Jako potrava pro žížaly mohou sloužit také odpady z pivovarnictví (odpadní pivovarské kvasnice, mláto, slad), z pekáren a cukrářství, kaly z čistíren, zbytky obilí, siláž, zbytky z palíren, ovocné výlisky nebo třeba biologicky rozložitelný odpad z domácností a zahrad (papír, tráva, listí) (Abbasi et al. 2015). Sinha et al. (2010) tvrdí, že pokud mají žížaly pro vermikompostování ideální podmínky, jsou schopny zpracovat libovolný organický materiál. Mezi ten řadí také zbytky, ze zemědělství, živočišné odpady nebo i odpady z průmyslu. Přítomnost žížal pomáhá navýšit aktivitu plísní a bakterií, které následně mění svou rozkladovou dráhu při zpracování zbytků čerstvé zeleniny a ovoce (Huang et al. 2014). Za nevhodný materiál můžeme dle Sinhy et al. (2008) z důvodu tvorby značného množství tepla při rozkladu označit čerstvou travu a listí. Nežádoucí je také cibule, která zapříčiňuje nižší pH substrátu či mléčné výrobky, maso nebo třeba zbytky z citrusů (Sinha et al. 2008). Dle Singha (2014) nemají žížaly schopnost zpracovat také masné výrobky, ryby a olej, který zamezuje správnému průchodu kyslíku v kompostovaném materiálu. Za nepřijatelné suroviny pro vermikompostování můžeme označit všechny, které obsahují toxické látky. V odpadních materiálech se pak sleduje obsah solí, který by měl vykazovat hodnoty pod 0,5 % a obsah amoniaku, který by neměl být vyšší než 1 mg/g. Takto rizikové a toxické substráty se proto nechávají předkompostovat (Dominíguez & Edwards 2011b). Dle Hanče (2017) se nejlépe kompostuje materiál, který je co nejvíce různorodý. Mnoho autorů však uvádí za nejvhodnější materiál pro vermikompostování samotný hnůj (Pommeresche et al. 2010; Munroe 2007).

3.2 Žížaly vhodné k produkci vermikompostu

Pokud chceme úspěšně vermikompostovat, je nejdůležitější zajistit především dostatečné množství vhodného druhu žížal. Ty by měly splňovat určité podmínky, mezi které patří například rychlá reprodukce a s tím související rychlý vývoj a růst mláďat nebo také

rychlá spotřeba organické hmoty i za méně příznivých podmínek (Domínguez & Edwards 2004). Na světě se vyskytuje mnoho druhů žížal, avšak ne všechny můžeme použít pro efektivní rozklad odpadů organického původu. Podle místa výskytu můžeme žížaly rozdělit na anektické, endogeické a epigeické. Anektické žížaly se vyskytují ve velkých hloubkách, kde si tvoří své chodbičky v minerálních vrstvách půdy. Jejich potravu tvoří čerstvě odumřelá biomasa, pro kterou vylézají na povrch především v noci. Endogeické druhy se zdržují v horních částech minerální vrstvy a živí se rozkládající se biomasou navázanou na půdní částice. Na povrchu je můžeme spatřit jen výjimečně. Naproti tomu epigeické druhy žijí na úplném povrchu půdy a jejich potravu tvoří čerstvě odumřelá rozkládající se organická hmota. Tyto druhy jsou také nejvhodnější k procesu vermikompostování (Munroe 2007).

Mezi nejčastěji používané druhy patří *Eisenia andrei* B. (žížala kalifornská) a *Eisenia fetida* S. (žížala hnojní). Tyto druhy jsou využívány především kvůli rychlé reprodukci a schopnosti uvolňovat živiny do vrchních vrstev zeminy. Jde o žížaly menšího vzrůstu a kratší životnosti (Singh 2014). *Eiseina fetida* se přirozeně vyskytuje v silně zamokřených biotopech a můžeme jí nalézt v půdě jehličnatých i listnatých lesů. Žížaly druhu *Eisenia andrei* u nás naproti tomu ve volné přírodě přirozeně nenalezneme. Původní rozšíření tohoto kroužkovce je v jižní Evropě, především ve Francii a Itálii. Z důvodu vhodnosti použití tohoto druhu při vermikompostování byla *E. andrei* rozšířena po celém světě (Pižl 2002).

E. fetida, kterou můžeme vidět na obrázku č. 3, má zbarvení do rudohněda a dorůstá do velikosti 3 – 12 cm. Ideální teplotou pro život *E. fetida* je 25 °C. S tím souvisí i rychlejší zpracování organického materiálu a také vyšší spotřeba potravy. Při rozmnožování klade vajíčka do kokonů a celý proces vylíhnutí i dospívání mláďat je velmi rychlý (Zajnoc 1992).

Za účelem pokusů se však především kvůli výborným fyziologickým vlastnostem využívá nejvíce druh *E. andrei* (obrázek č. 4), která je pro účely rozkladu organického materiálu speciálně vyšlechtěná z volně žijící žížaly hnojní (*E. fetida*) (Borkovcová & Žáková 2015). Jedná se o velmi přizpůsobivý druh odolný i nepříznivým podmínkám. Žížaly jsou schopny sníst denně něco přes polovinu své hmotnosti a tak je důležitým požadavkem především dostatek potravy (Sulzberger & Minátová 1996).

Úkolem žížal při vermikompostování je především usnadnění rozkladu biologického materiálu a tím i urychlení procesu mineralizace (Částková & Hanč 2017). Vermikompostovaný produkt se při průchodu střevem žížaly transformuje na žížalí exkret, který je obohacený o růstové rostlinné hormony, mikrobiální aktivitu a mimo jiné i repelenty (Adhikari 2012).



Obrázek č. 3: *Eisenia fetida* S. (<https://alchetron.com/Eisenia-fetida>)



Obrázek č. 4: *Eisenia andrei* B. (<https://alchetron.com/Eisenia-andrei>)

Na celém rozkladném procesu se však nepodílejí jen žížaly. Doprovází je řada mikroorganismů, se kterými jsou ve vzájemné interakci. Jejich hlavní funkcí je efektivně biochemicky rozložit organickou hmotu. Ve stěnách žížalích chodeb najdeme mikroorganismy, které fixují vzdušný dusík. Ty se živí především cukry vyloučenými žížalami (Pommeresche et al. 2010). Velkou většinu mikroorganismů najdeme především v těle žížal. Samotné zastoupení jednotlivých mikroorganismů se liší z důvodu odlišnosti pozřitého materiálu. Nejběžněji však nacházíme bakterie aerobní, mezi které patří například *Micrococcus ssp.* nebo *Pseudomonas ssp.* (Singh 2014). Mikroorganismy doprovází při rozkladu také hlístice, roupice, roztoči nebo prvoci (Edwards et al. 2011). Za hlavní zdroj energie jsou pro žížaly považovány bílkoviny a celulóza, které mohou získat při trávení bakterií a prvoků. Na další úroveň můžeme zařadit mravence, stonožky a dravé roztoče, pro které se naopak stávají žížaly potravou (Singh 2014) Mezi predátory můžeme rovněž zařadit i krtky a ptáky (Munroe 2007).

3.3 Vlastnosti vermikompostování

3.3.1 pH

Dle Munroe (2007) dokážou žížaly přežít v rozmezí hodnot pH od 5 do 9. Optimální je však škála pH od 7,5 do 8. Koncentrace iontů vodíku však působí na různé druhy žížal odlišně. Většina vědců se však shoduje na tom, že pro žížaly je ideální pH neutrální. Citlivost žížal na změny pH dle Singh et al. (2005) značně ovlivňuje jejich výsledný počet, distribuci a druhové zastoupení. Při dekompozici odpadu organického původu dochází ke vzniku meziproductů, mezi které patří například huminové kyseliny nebo amoniak. Právě jejich kladně nebo záporně nabitě částice mění pH na kyselé nebo neutrální (Pramanik et al. 2007). Výsledné pH značně ovlivňuje také zvolený typ substrátu a systém vermikompostování (Elvira, 1998). Yadav & Garg (2011) dle svých pokusů tvrdí, že po vermikompostování kyselých materiálů se výsledné pH ustálilo na neutrálních hodnotách.

3.3.2 Teplota

Teplota je dalším významným činitelem, který má vliv na metabolismus, růst, rozmnožování a aktivitu žížal (Domínguez & Edwards 2011b). Žížaly snášejí teploty pouze do 35 °C a na druhou stranu při teplotě nižší než 10 °C dochází k poklesu aktivity a rozmnožovacích procesů. Při těchto extrémních teplotních výkyvech se žížaly zpravidla zavrtávají do nižších vrstev materiálu. Ideální teplota pro vermikompostování se tedy pohybuje v rozmezí od 15 do 20 °C (Munroe 2007).

3.3.3 Vlhkost

Dýchání probíhá u žížal celým povrchem těla a z toho důvodu je třeba zajistit stálou vlhkost vermikompostovaného substrátu v rozmezí 60 - 70 % (Domínguez & Edwards 2011b). V případě, že by byl materiál moc suchý, dojde ke snížení aktivity žížal i všech mikroorganismů. Naopak při velké vlhkosti může dojít k vyčerpání kyslíku. Vlhkost je důležitá i jako médium pro transport živin během vermikompostování a zajišťuje průběh chemických procesů (Yadav & Garg 2011).

3.3.4 Aerace

Výskyt a aktivita organismů závisí především na dostatku kyslíku. V případě nedostatečného množství se prostředí stává anaerobním. V tomto případě začne odpad zapáchat a začnou se tvořit plyny jako methan nebo amoniak. V případě vermikompostování

zajišťuje provzdušnění dostatečný počet žížal, které substrát kypří vlastním pohybem (Sulzberger & Minátová, 1996).

3.3.5 Poměr C:N

Obecně se za nevhodnější poměr pro mikrobiální rozklad považuje 25:1 (C:N). Znalost poměrů C:N je pro efektivnost a kvalitu procesu vermikompostování velmi důležitá (Ndegwa et al. 2000). Pokud se v substrátu objevuje nadměrné množství dusíku, nastává příliš rychlý rozklad, který nastartuje i nadměrné vypařování a jeho následnou ztrátu. Naopak při vyšším obsahu uhlíku dochází ke zpomalení rozkladného procesu. Poměr C: N není při vermikompostování stálý a neustále se mění. Je to zapříčiněno například metabolickými procesy u žížal, které obsah dusíku zvyšují nebo dýcháním, kdy dochází k úniku uhlíku ve formě CO₂ (Nagavallemma et al. 2004).

Poměr C:N lze u vermikompostovaného materiálu upravit přidavkem materiálu, který má vyšší obsah dusíku (C:N = 10-15:1), jedná se například o prasečí kejdu nebo čistírenský kal (Garg & Gupta 2009). V případě, že v substrátu chybí naopak uhlík, můžeme ho dodat přidavkem například pilin nebo slámy (Sinha et al. 2009). Na poměry C:N u jednotlivých surovin se můžeme podrobněji podívat na obrázku č. 5.



Obrázek č. 5: Poměr C:N u jednotlivých surovin
(http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze_procesu_kompostovani.html)

3.3.6 Mikroorganismy

V průběhu vermikompostování se odehrává mnoho chemických procesů, za kterými stojí z velké většiny mikroorganismy. Rozklad polysacharidu celulózy je považován za jeden

z nejdůležitějších chemických procesů, který díky proteáze a celuláze zvládne několik bakterií a hub. Patří mezi ně například *Citeromyces matritensis*, *Arthrobotrys oligospora*, *Aminobacter aminovorans* nebo *Bacteroides reticulotermitis* (Huang et al. 2014).

Monry et al. (2008) tvrdí, že žížaly jsou schopny některé bakterie značně redukovat. Je prokázáno, že *Eisenia fetida* dokáže až o 98 % eliminovat populaci koliformních bakterií. Důležité však je, že žížaly svým konáním zpřístupňují další výživově bohatý materiál bakteriím a houbám a tím napomáhají i růstu a diverzitě mikrobiálních společenstev (Flack et al. 2008).

3.4 Kompostování

Nejznámější a nejpoužívanější metodou pro využití biologicky rozložitelného materiálu je kompostování. Za přístupu vzduchu se zde rozkládají organické látky v kompostovaném materiálu. Konečným akceptorem elektronů je tedy kyslík. Cílem celého procesu je převod nestabilních surovin na stabilní kompost. Během kompostování se vlivem činnosti mikroorganismů, které rozkládají složitější organické sloučeniny na jednodušší, snižuje obsah vody, objem a hmotnost materiálu a dochází k eliminaci nežádoucích mikroorganismů ve vstupních surovinách (Hlavatá 2006).

V první fázi kompostování se při transformaci organických látek uvolňuje teplo a substrát obvykle dosahuje teploty od 50 do 60 °C. Dochází zde současně k rozkladu škrobu, celulózy, hemicelulózy, tuků a bílkovin na nižší sloučeniny, ale také k tvorbě organických kyselin a tím k navýšení celkové kyselosti substrátu. Při kompostování vzniká také oxid uhličitý, a pokud obsahuje materiál hodně dusíku, dochází k uvolňování čpavku. Celý objem počáteční hmoty se v první fázi značně redukuje. Obvykle tento proces trvá 2 až 3 týdny. V případě, že kompost obsahuje dřevní štěpku, se první fáze může prodloužit až na 2 měsíce (Plíva et al. 2009).

Na první fázi navazuje fáze přeměnná, která trvá přibližně od osmého do desátého týdne a probíhá za podstatně nižších teplot. Celkový vzhled substrátu se mění a původní suroviny už nelze rozeznat. V této fázi se tvoří hnědá drobtovitá struktura kompostu, která může vonět po lesní půdě. Překopáváním je nutné zajistit dostatečný přísun kyslíku (Vaněk 2012).

Během poslední fáze dochází ke zvyšování stability a dozrávání kompostu. U humusových látek se navyšuje molekulová hmotnost, vznikají huminové kyseliny a celková kyselost substrátu se zmenšuje. Teplota se v poslední fázi rovná té okolní (Slejška 2014).

Jednotlivé fáze se do jisté míry prolínají a délka celého procesu záleží především na skladbě surovin a podmínkách, za kterých kompostování probíhá. Pravidelná překopávka, kterou můžeme vidět na obrázku č. 6, celý proces značně urychlí. Je dobré ji provádět především v úvodních kompostovacích fázích a celkem minimálně dvakrát (Vaněk 2012). Kompostování je důležité především kvůli navrácení velkého množství organických látek a živin zpět do půdy (Plíva 2009).



Obrázek č. 6: Mechanizovaná překopávka kompostu (Vaněk 2012)

Vstupní suroviny kompostování jsou u nás upraveny vyhláškou 341/2008, podle které podléhají hygienizaci, jež je definována jako „*úprava biologicky rozložitelného odpadu, která snižuje počet patogenních organismů, které mohou způsobit onemocnění člověka nebo zvířat pod stanovenou hodnotu.*“ (MŽP, Vyhláška č. 341/2008) Za vhodné suroviny se považují biologické odpady z domácností, ze zahrad nebo třeba statková hnojiva, která jsou velkým zdrojem mikroorganismů. Kompostovat lze také popel ze spalování biomasy nebo čistírenské kaly (Plíva et al. 2009).

3.5 Vermikompostování × kompostování

Hlavní rozdíl mezi vermikompostováním a kompostováním je v odlišném způsobu stabilizace vstupní biomasy. Proces vermikompostování je zpravidla efektivnější a rychlejší, zároveň však vyžaduje náročné dodržení optimálních podmínek. Proti obyčejnému kompostování zde chybí především termofilní fáze rozkladu. Cílem je, aby byl celý proces co nejefektivnější a počet žížal co nejvyšší (Munroe 2007). Poměr C:N je u obou procesů stejný

a to zhruba 25:1 až 30:1. Velikost počátečních částic může být u kompostování o něco větší, v rozmezí 10 – 20 mm. Vlhkost je nižší u kompostování a pohybuje se v intervalu od 55 do 60 % (vyšších hodnoty jsou pouze při použití pilin nebo slámy). U vermikompostování se vlhkost pohybuje v rozmezí od 80 do 85 %. Přístup kyslíku je u kompostování zajištěn pravidelným překopáváním a jeho hladina se udržuje ve výši 10–18 %. U vermikompostování se o dostatečné provzdušnění starají žížaly. Dalším důležitým faktorem je teplota, která se v případě kompostování dosahuje až 60 °C. V případě vermikompostování je značně nižší a to zhruba od 15 °C do 25 °C. Významným faktorem je také výška, která u kompostované hmoty nesmí přesáhnout 3 m. V případě vermikompostování se volí libovolná délka i šířka a výška zpravidla do 50 cm. U vyšší vrstvy by mohlo dojít ke zpomalení nebo dokonce zastavení procesu. U kompostování probíhá zhruba týden termofilní fáze a pak nastává několik dalších měsíců při mesofilních teplotách. U vermikompostování trvá rozklad od 4 do 12 měsíců, ve vermireaktorech zhruba 30 - 60 dní (Edwards at al. 2010).

3.6 Káva

Káva patří mezi nejoblíbenější nápoje na světě a tak za posledních 150 let stále více narůstá obchodní význam této komodity. V obchodovatelnosti se ve světovém měřítku řadí hned na druhé místo za ropu. Mezi pěstitele kávy patří asi 80 zemí z celého světa. Roku 2010 překročila roční světová produkce zrn kávy 8 milionu tun a od té doby stále narůstá (Murthy et al. 2012). Největším vývozcem a producentem kávy je v současné době Brazílie (Obruca et al. 2014) Nejvyšší spotřeba kávy je však evidována v Evropě (velkou část konzumentů tvoří Skandinávci), USA a Austrálii. Káva je tedy nepopíratelně světovým fenoménem. Jedna část světa se stará o produkci a druhá o konzumaci. Průmyslové zpracování se však v dnešní době neomezuje jen na země produkující kávu, ale například Evropská unie má silný průmyslový segment, který se zabývá úpravou a zpracováním kávy. Roku 2012 se Evropa podílela na zpracování dokonce zhruba 40 % celkové světové produkce kávy (3,12 mil. tun) (Obruca et al. 2014).

Původ slova káva sahá až do 13. století, kdy Arabové poprvé přinesli kávové boby z Etiopie na Arabský poloostrov a vysadily zde první plantáže. Původní označení pro kávu bylo Quahweh. Za první pěstitelskou oblast kávy Arabica v Etiopii se označuje provincie Kaffa. Výrobou kávy vznikne v přepočtu na 1 tunu zhruba 650 kg kávové sedliny. Právě tento materiál se využívá jako výchozí surovina pro výrobu mnoha sloučenin. Patří mezi ně bioethanol, bionafta, polyfenoly nebo třeba mannanoligosacharidy. Většina kávové sedliny

však zůstává nevyužitá a je buď spálena, nebo vypouštěna do životního prostředí (Obruca et al. 2014).

Rostlina kávovníku je stálezelená vytrvalá rostlina patřící do čeledi Mořenovitých (Rubiaceae) a kmene Coffeae. Tento kmen čítá okolo 80 druhů, které se vyskytují převážně na africkém kontinentu a Madagaskaru (Murthy et al. 2012). Plod kávovníku (jinak také třešeň nebo bobule) je složen z tvrdé, hladké vnější slupky (perikarpu) a v nezralém stavu je zelený. Během dozrávání se však zbarvení mění přes červeno-fialovou až po sytě červenou barvu. Pod oplodím najdeme vláknitou, měkkou a lehce nažloutlou dužinu (mesokarp). Poté následuje vrstva slizu, která je tenká, průsvitná, značně viskózní a hydratovaná (pektin). Dále je zde tenký pergamen nažloutlé barvy nazývaný se endokarp. Nakonec pokrývá kávové zrno (endosperm) stříbrná blanka (Esquivel et al. 2012).

Hlavní činnost kávového průmyslu je přeměna surové kávy na tekutou formu. Existují dvě primární metody zpracování kávy, které se liší kvalitou a složitostí provedení. Jedná se o suchou a mokrou metodu. Káva, která projde procesem mokré metody, se obvykle nazývá pergamenovitá nebo umytá káva. Ovocná dužina, kterou pokrývají semena, se odstraní pomocí rozmělnovače. Vše je potřeba udělat před tím, než semena vyschnou. Metoda vyžaduje dostatečně velký přívod čisté vody a kvalitní rozmělnovací zařízení. Pokud chceme získat opravdu kvalitní kávu, je nutné zajistit důkladné odstranění slizové vrstvy. Naopak při zpracování kávových bobů suchou metodou se sklizené boby rovnoměrně rozloží na připravenou vyčištěnou plochu k sušení. Dále probíhá asi hodinové promíchávání. Když zrnka kávy vydávají chrastivý zvuk, můžeme je považovat za vysušené. Při této metodě se vůbec nepoužívá voda. Je to hlavně z důvodu možného vzniku plísní, které by mohly ovlivnit výslednou kvalitu (Murthy et al. 2012).

Při zpracování kávy vzniká řada vedlejších produktů. Průmyslově se káva zpracovává tak, že se oddělí kávový prášek. Toho dosáhneme po odstranění kávové slupky, která tvoří asi 45 % zrna a slizové části. Tyto důležité vedlejší produkty se dále zpracovávají pro získání kofeinu nebo polyfenolů bohatých na živiny. Hlavní složení těchto produktů najdeme v tabulce (Murthy et al. 2012).

Tabulka č. 1: Složení vedlejších produktů kávy (Murthy et al. 2012; Pujol et al. 2013)

Složení (%)	slupka	dužina	stříbrná blanka	kávová sedlina
Celulóza	43 ± 8	63 ± 2,5	17,8 ± 6	8,6 ± 1,8
Hemicelulóza	7 ± 3	2,3 ± 1	13,1 ± 9	36,7 ± 5
Proteiny	8 ± 5	11,5 ± 2	18,6 ± 4	13,6 ± 3,8
Tuky	0,5 ± 5	2 ± 2,6	2,2 ± 1,9	neurčeno
Celková vláknina	24 ± 5,9	60,5 ± 2,9	62,4 ± 2,5	neurčeno
Celkové polyfenoly	0,8 ± 5	1,5 ± 1,5	1 ± 2,0	1,5 ± 1
Celkové cukry	58 ± 20	14,4 ± 0,9	6,65 ± 10	8,5 ± 1,2
Pektiny	1,6 ± 1,2	6,5 ± 1	0,02 ± 0,1	0,01 ± 0,005
Lignin	9 ± 1,6	17,5 ± 2,2	1 ± 2	16,67
Taniny	5 ± 2	3 ± 5	0,02 ± 0,1	0,02 ± 0,1
Chlorogenová kyselina	2,5 ± 0,6	2,4 ± 1	3 ± 0,5	2,3 ± 1
Kofein	1 ± 0,5	1,5 ± 1	0,03 ± 0,6	0,02 ± 0,1

Chemické složení rostliny závisí především na podmínkách prostředí a tak se může u různých rostlin značně lišit (Cruz et al. 2014) Kávová zrna tvoří ze 45 – 50 % polysacharidy, dále pak lipidy, bílkoviny, anorganický materiál a nerozpustný lignin (Pujol et al. 2013).

Důležité složky kávy:

Celulóza

Celulózu tvoří polymer, který se skládá z několika tisíc D-glukózových jednotek. Ty jsou k sobě navázány β - (1,4) – glykosidovými vazbami. Opakující se stavební jednotkou je celobióza. V přírodě tvoří celulóza především základní složku rostlinných materiálů. Její nerozpustnost ve vodě je nezbytná pro správnou funkci v rostlinných buňkách. Celulóza je tvořena amorfními a krystalickými oblastmi. Podíl hmotnosti krystalických oblastí v polymeru udává krystalicita, která ovlivňuje především zpracování enzymy. Hydrolýza probíhá rychleji v případě, že má celulóza neuspořádanou formu. V krystalické formě je značně pomalejší (Wyman et al. 2004).

Hemicelulóza

Hemicelulóza tvoří s pektiny výplň mezi vlákny celulózy a obsahuje hlavní cukerný zbytek, který mohou tvořit například mannany, xylany a glukany. Hemicelulózy můžeme rozdělit do dvou základních kategorií, které jsou založeny na míře hydratace vláken. Glukuronoxylany, arabinoxylany, lineární mannany a xyloglukany mají nízkou schopnost

hydratace. Tato skupina zajišťuje stabilitu buněčných stěn skrz atom vodíku (kovalentní vazby s ligninem a vazebné interakce s celulózou). Druhá skupina má naopak vlákna s vysokou schopností hydratace a patří sem glukomannany, galaktoglukomannany a galaktomannany. To jsou zároveň i základní hemicelulózy, které tvoří kávovou sedlinu. H-glukany slouží obvykle k udržení vody v organismech (Wyman et al. 2004).

3.6.1 Kávová sedlina

Při výrobě nápoje z kávových zrn dochází ke kontaktu s horkou vodou a tak se do nápoje uvolní aromatické složky a případné další látky. Zbytek po přípravě oblíbeného nápoje tvoří právě kávová sedlina, která nemá sama o sobě žádnou obchodovatelnou hodnotu, a tak bývá odstraňována jako běžný odpad. Jen malé procento je využíváno k dalším účelům, jako je kompostování, hnojivo nebo krmivo pro zvířata. Kávová sedlina se dá definovat jako organický zbytek s vysokou vlhkostí (40 – 60 %) a malou velikostí částic (Esquivel et al. 2012).

Kávová sedlina napomáhá růstu kvasinek a bakterií. V případě, že sedlinu přidáme do kompostu, zajistíme tak potřebné množství glukózy, manózy, arabinózy, vápníku, fosforu a proteinů, které napomáhají zvýšit mikrobiální činnost a podpořit produkci enzymů. Díky tomu se organické odpady rychleji rozkládají a zkrátí se tak celková doba kompostování (Pandey et al. 2000). Zhanh et al. (2014) naopak uvádí, že kávová sedlina může být za určitých podmínek toxická a způsobovat například imobilizaci rostlinných živin a tím může dojít k fytotoxicitě.

V průmyslu se kávová sedlina dá využít k výrobě bioplynu, bionafty, etanolu, jako krmivo pro zvířata, k pěstování hub a také pro přípravu kompostů. Odpady z kávy mohou být také využity jako samostatné hnojivo a v půdě podporují zvýšenou retenci živin a vody. I přes četné vědecké výzkumy není v současné době zrealizován návrh řešení, který by efektivně eliminoval a zpracoval podíl kávové sedliny a ta z toho důvodu představuje stále značný ekologický problém (Murthy et al. 2012).

Na kávovou sedlinu je možné pohlížet buď jako na značně problematický odpad, nebo jako na cennou surovinu. Sedlina obsahuje látky, které po předchozí úpravě slouží jako krmivo pro biotechnologicky důležité mikroby. V tabulce č. 2 můžeme najít přibližné chemické složení kávové sedliny a je zřejmé, že lógr obsahuje poměrně značný obsah oleje, který se pohybuje v rozsahu od 10 do 20 % hm. Vyextrahovaný olej je možné dále použít například pro výrobu bionafty. Konverzi oleje na bionaftu však komplikuje značný obsah mastných kyselin (Obruca et al. 2014). Kávová sedlina po extrakci oleje je ideálním

materiálem pro zahradní hnojivo a vstupní surovinou pro výrobu etanolu (Kondamudi et al. 2008). Další zajímavou metodou je využití oleje jako živného substrátu pro bakterii *Cupriavidus necator*. Ta je schopna koncentrovat polymer - polyester polyhydroxybutyrát. Technologické a mechanické vlastnosti tohoto polymeru jsou velmi podobné některým synteticky vyráběným polymerům (dá se přirovnat k polypropylenu) (Obruca et al. 2014). Kávová sedlina má poměrně vysoké spalné teplo a tak je možné ji odstraňovat i pomocí spalování v průmyslových kotlích. Výchřevnost této komodity je podobná jako u ostatních zemědělsko-průmyslových zbytků a pohybuje se okolo 5000 kcal/kg (Murthy 2012). Kávová sedlina může sloužit také jako chemická surovina pro výrobu D-manózy, což je cenný produkt ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu (Stahl & Turek 1991). Výzkum Šafaříka et al. (2012) ukazuje, že je možné kávovou sedlinu snadno přeměnit na magnetickou formu. Magnetická kávová půda má pak značný potenciál k odstranění vybraných xenibiotik, jako jsou třeba barviva.

Tabulka č. 2 : Složení kávové sedliny (Obruca et al. 2014)

Parametr	Obsah (hm. %)
Celulóza	8,6 – 13,3
Hemicelulózy	30 - 40
Proteiny	6,7 – 13,6
Olej	10 - 20
Lignin	33,6
Polyfenoly	2,5
Kofein	0,02

4 Vlastní práce

4.1 Materiál a metodika

4.1.1 Materiál

Pro tento vermikompostovací pokus byla použita kávová sedlina z kavárny Místo v pražských Dejvicích. Káva podávaná v této kavárně pochází ze tří zemí. Jedná se o druhy Nikaragua La Divina Providencia, Keňa Karuhiu Utheri a Etiopie Nensebo. Po převzetí tohoto materiálu byla kávová sedlina skladována v chladu v tmavých uzavřených pytlích.

4.1.2 Vermikompostování a příprava vzorků

Laboratorní vermikompostovací pokus byl založen 19.4.2018 na pokusné stanici FAPPZ v Červeném Újezdě (obrázek č.7). Probíhal ve speciálně upravené laboratoři ve vermikompostérech značky Worm Factory, který je celý z plastu a skládá se z podstavce, zásobníku na výluh, jednotlivých pater s perforovanými dny o rozměrech 40 x 40 x 18 cm a víka. Pokus probíhal za stálého světla a teploty 22 °C. Pro tento pokus byly použity žížaly *Eisenia andrei*. Celkem byly založeny čtyři varianty vermikompostů a jedna kontrolní varianta bez žížal. Jako bioodpad byla použita kávová sedlina a slaměné pelety. Každá z variant se lišila druhem přidaného materiálu (viz tabulka č. 3).

Tabulka č. 3: Schéma pokusu

Číslo vermikomopstéru	Složení	Substrát se žížalami	Objem bioodpadu (L)
1	KS 100% obj.	Ano	15
2	KS 75 % obj. + pelety 25 % obj.	Ano	15
3	KS 50 % obj. + pelety 50 % obj.	Ano	15
4	KS 25 % obj. + pelety 75 % obj.	Ano	15
5	KS 50 % obj. + pelety 50 % obj.	Ne	15

KS = kávová sedlina



Obrázek č. 7: Založení pokusu (foto vlastní)

Nejprve byla umístěna do první vrstvy vermikompostéru č. 1 – 5 textilní síťka a poté násada s 10 L žížal a přibližnou hustotou 50 ks/L. Na to byla přidána další vrstva s vermikompostovaným odpadem v požadovaném poměru. Vermikompostér č. 5 neobsahoval žížaly a tak byla do prvního patra vložena síťka a poté rovnou bioodpad. Každý měsíc a půl byla pravidelně přidávána do každého vermikompostéru další vrstva bioodpadu. Vršek vermikompostéru byl zakryt kompostovací textilií a plastovým víkem. Každý týden až 14 dní byly vermikompostéry zavlažovány na přibližnou vlhkost cca 80 %.

Pokus byl ukončen v říjnu. Každý vermikompostér měl 4 patra (vrstvy). Nejmladší vrstva byla označena číslem IV a nejstarší číslem I. Z každé vrstvy byly odebrány 3 vzorky, které vážily přibližně 1 kg.

Z každého odebraného vzorku byly v laboratoři vybrány, spočítány a následně zváženy všechny žížaly (příloha Obr. 4). Ze zbylého vzorku bylo asi 50 g odebráno do ledničky (teplota 4 °C) a později v něm bylo změřeno pH (příloha Obr. 5) a měrná vodivost. Další část o hmotnosti 500 g byla umístěna do sušárny. Vzorky se sušily zhruba 14 dnů při konstantní teplotě 35 °C a následně v nich byl stanoven obsah sušiny. Usušené vzorky byly namlety (příloha Obr. 6). Namleté vzorky byly použity pro analýzu celkových a přístupných obsahů prvků.

4.2 Agrochemické analýzy

Pro stanovení měrné vodivosti (EC) a pH bylo naváženo do uzavíratelných nádob 10 g čerstvého vzorku z lednice a následně zalito 50 ml demineralizované vody. Směs byla poté umístěna na 10 minut na mechanickou třepačku a bylo v ní změřeno kalibrovaným pH metrem WTW 340i pH. Poté se vzorek zfiltroval a dle normy ČSN EN 15933 se změřila měrná vodivost konduktometrem WTW cond 730.

Pro stanovení celkového dusíku a uhlíku byl použit analyzátor CHNS Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany). Přibližně 25 mg vzorku bylo spáleno v katalytické peci a pomocí termálně kondukčního detektoru byl následně stanoven celkový obsah uhlíku a dusíku, ze kterých se určil poměr C:N.

Metodou rozkladu na mokré cestě, který probíhá v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem, byly stanoveny celkové obsahy prvků (P, K, Mg, Ca). K tomuto procesu byl použit přístroj Ethos 1 (MLS GmbH, Germany). Přístupné obsahy prvků (P, K, Mg) pro rostliny byly stanoveny dle normy EN 13651 pomocí extrakčního činidla CAT (pH = 2,6, kyselina diethylenetriaminopentaoctová, $c = 0,002 \text{ mol/L}$; chlorid vápenatý, $c = 0,01 \text{ mol/L}$). 10 g vysušeného a namletého vzorku bylo naváženo do uzavíratelných nádob a zalito 50 ml roztoku CAT. Nádoba byla poté umístěna na mechanickou třepačku po dobu 1 hodiny a následně byl vzorek zfiltrován (obrázek č. 8) a převeden do zkumavek. Přístupné i celkové obsahy prvků byly stanoveny optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem.



Obrázek č. 8: Filtrace vzorků (foto vlastní)

4.3 Statistické analýzy

Ke zpracování dat byl použit program MS Excel 2007, ve kterém byly vyhodnoceny směrodatné odchylky a průměry z jednotlivých vrstev. Ke statistickým analýzám byl použit program IBM SPSS Statistics 25. Tak aby byly splněny předpoklady pro testování, byla ověřována normalita dat prostřednictvím Shapiro - Wilkova testu a homogenita rozptylů pomocí Levenova testu. Pokud byly tyto dva předpoklady splněny, byla použita ANOVA. V případě rozdílností mezi vrstvami byl aplikován Tukeyův test. Pokud nebyly předpoklady splněny, byl aplikován Kruskal - Wallisův test, který má sníženou vypovídající schopnost, neboť se jedná o neparametrický test, který pracuje s pořadovými hodnotami. V případě zjištění rozdílu mezi vrstvami byl využit modul SPSS, který provedl bonferriho korekci a na základě ní byl zjištěn rozdíl mezi konkrétními vrstvami.

4.4 Výsledky

4.4.1 Kávová sedlina a slaměné pelety

Dle výsledků v tabulce č. 4 můžeme konstatovat, že se parametry sušiny a pH vstupních surovin příliš nelišily. Sušina byla u kávové sedliny i slaměných pelet naměřena shodně 34 %. Hodnota pH byla lehce zásaditější u slaměných pelet a to 7,9. pH kávové sedliny se pohybovalo okolo hodnoty 6. Měrná vodivost 1345 $\mu\text{S}/\text{cm}$ byla u slaměných pelet zhruba 2 x tak velká než u kávové sedliny. Největší rozdíl mezi vstupními surovinami byl zaznamenán v poměru C:N. Naměřený poměr 65,7:1 (C:N) u slaměných pelet byl asi 4 x vyšší než u kávové sedliny.

Tab. č. 4: Agrochemické parametry vermikompostovaných materiálů

Materiál	Sušina (%)	pH (H₂O)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C:N
Kávová sedlina	34,5 \pm 0,98	6,1 \pm 0,25	722,7 \pm 47,4	17,7 \pm 1,30
Slaměné pelety	34,2 \pm 2,39	7,9 \pm 0,08	1345 \pm 59,1	65,7 \pm 6,99

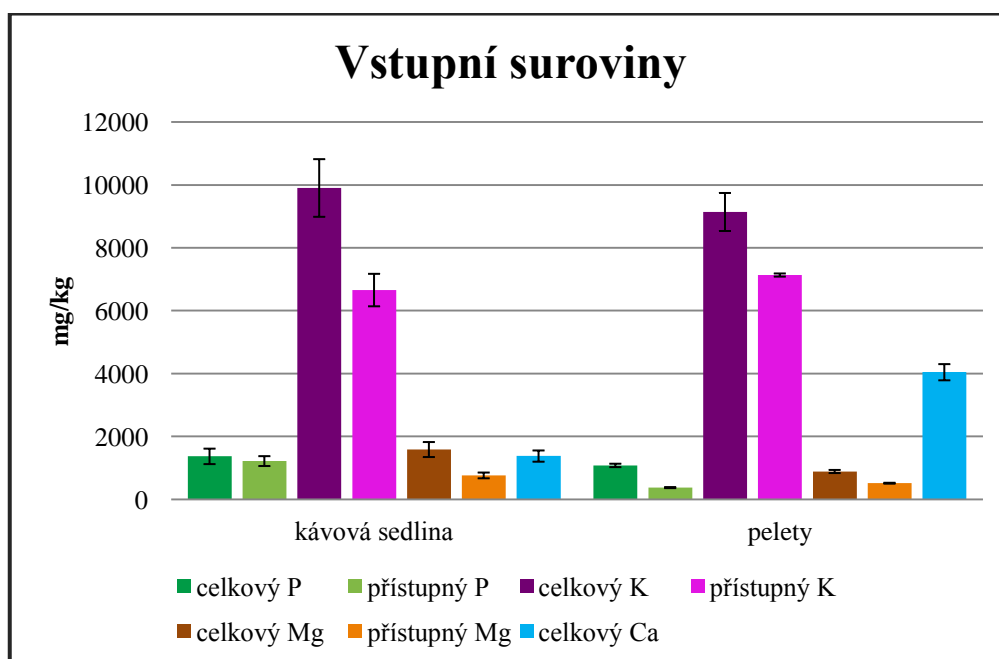
Hodnoty jsou průměry, \pm směrodatná odchylka (n=3).

Z grafu č. 1 je patrné, že obsahy celkových prvků byly kromě vápníku o něco vyšší u kávové sedliny. Obsah celkového fosforu měl u obou vstupních surovin podobnou hodnotu, která se pohybovala v rozmezí od 1081 mg/kg (pelety) do 1368 mg/kg (káva). Obsah přístupného fosforu byl mnohem vyšší u kávové sedliny a tvořil téměř 90 % z celkového obsahu P. U pelet byl obsah přístupného fosforu pouze 35 % z celkového P.

U obsahu celkového draslíku byla zjištěna vyšší hodnota u kávové sedliny (9904 mg/kg). Slaměné pelety obsahovaly 9141 mg/kg celkového draslíku, z toho tvořil přístupný draslík téměř 80 %. U kávové sedliny byl obsah přístupného draslíku o něco nižší a tvořil 67 %.

Stanovená hodnota obsahu celkového hořčíku byla vyšší u kávové sedliny a pohybovala se v rozmezí od 888 mg/kg do 1586 mg/kg. U obou surovin se obsah přístupného hořčíku pohyboval v podobném rozmezí. O 10 % vyšší obsah přístupného hořčíku byl evidován u slaměných pelet (58 % z celkového Mg).

Největší rozdíl byl registrován u celkového obsahu vápníku, jehož hodnota byla u slaměných pelet 4045 mg/kg. U kávové sedliny byl obsah celkového vápníku téměř 3 x nižší.



Graf č. 1: Průměrné hodnoty vybraných prvků u vstupních surovin se směrodatnou odchylkou (n=3).

4.4.2 Vermikompostér č. 1

U vermikompostéru č. 1 se 100 % kávové sedliny (příloha Obr. 1) byl zaznamenán nejvyšší počet žížal ve čtvrté a třetí vrstvě. Oproti druhé vrstvě se zde počet žížal zvýšil asi 7 x.

Výsledky počtu žížal kopíruje i biomasa, která byla o něco vyšší u třetí vrstvy. Hmotnost jedné žížaly se zvýšila z 0,2 g u vrstvy II na 0,3 g u vrstvy III.

Tab. č. 5: Počet a biomasa žížal ve vermikompostéru č. 1 se 100% kávové sedliny

Číslo vrstvy	Počet žížal (ks/kg)	Biomasa žížal (g/kg)
IV	42 ± 4,58	12 ± 1,7
III	41 ± 18,15	13 ± 5,63
II	6 ± 3,6	1,2 ± 0,76
I	-	-

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

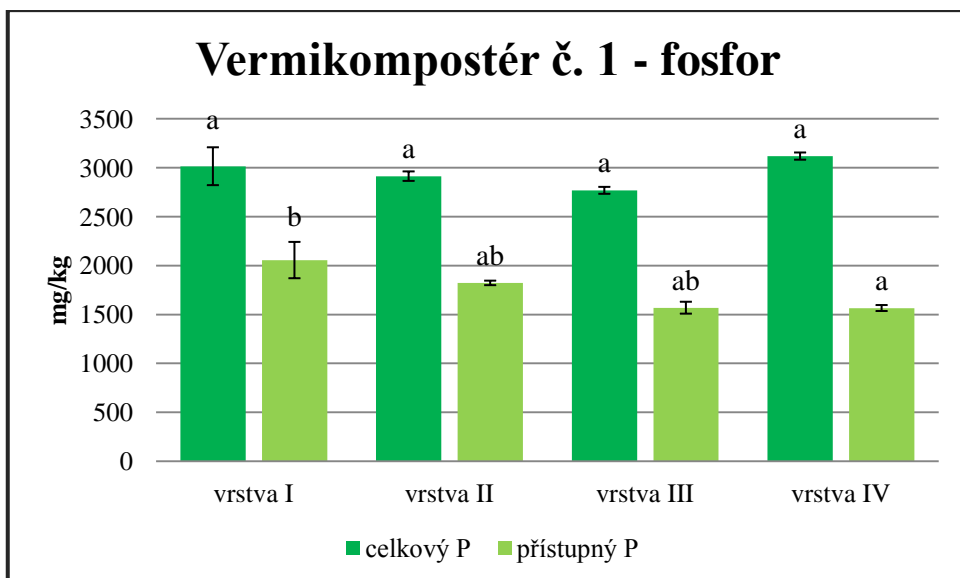
U obsahu sušiny si ve vermikompostéru č. 1 můžeme všimnout, že byly nižší hodnoty naměřeny u starších vrstev I a II (tab. č. 6). Bylo to pravděpodobně z důvodu průsaku vody z vyšších pater. Nejmenší sušina (18,5 %) a tedy nejvyšší obsah vody byl naměřen ve druhé vrstvě. Nejvyšší obsah sušiny byl v nejmladší čtvrté vrstvě a oproti druhé vrstvě vzrostl o 2,6 %. Statisticky významný rozdíl u sušiny byl zaznamenán mezi vrstvami II a III a II a IV. Hodnoty pH se ve vermikompostéru se 100 % kávové sedliny pohybovaly okolo 6,6. Nejvyšší pH bylo v nejmladší čtvrté vrstvě a nejnižší pH bylo naměřeno shodně v první a druhé vrstvě. Měrná vodivost (EC) se pohybovala v rozmezí od 776 do 849 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nejvyšší byla naměřena ve čtvrté vrstvě, u ostatních byly hodnoty podobné. Poměr C:N se u vrstev pohyboval okolo stejných hodnot. Rozdíl mezi nejstarší první vrstvou a nejmladší druhou vrstvou tvořil jen tři desetiny. U hodnot pH, EC a poměru C:N nebyl mezi vrstvami zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl.

Tab. č. 6: Agrochemické parametry vrstev ve vermikompostéru č. 1 se 100% kávové sedliny

Číslo vrstvy	sušina (%)	pH (H ₂ O)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Poměr C:N
IV	21,1 ± 0,77 ^a	6,9 ± 0,13 ^a	849 ± 102,0 ^a	8,5 ± 0,20 ^a
III	20,2 ± 0,63 ^a	6,8 ± 0,1 ^a	776 ± 23,2 ^a	8,5 ± 0,09 ^a
II	18,5 ± 0,27 ^b	6,4 ± 0,2 ^a	778 ± 44,1 ^a	8,6 ± 0,1 ^a
I	19,8 ± 0,63 ^{ab}	6,4 ± 0,35 ^a	780 ± 85,2 ^a	8,2 ± 0,21 ^a

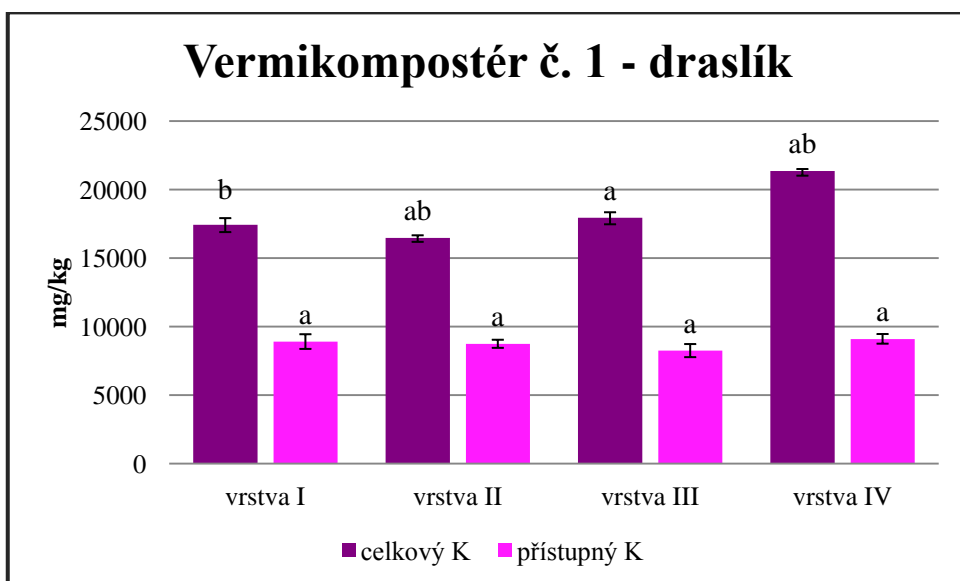
Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

U celkového obsahu fosforu ve vermikompostéru č. 1 můžeme dle grafu č. 2 konstatovat, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny v nejstarší vrstvě I (3015 mg/kg) a nejmladší vrstvě IV (3118 mg/kg). O něco nižší obsahy byly detekovány u vrstvy číslo II. Nejméně pak bylo celkového obsahu fosforu ve vrstvě III (2768 mg/kg). U celkového obsahu P nebyl zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl. Přístupný obsah fosforu byl nejvyšší u nejstarší čtvrté vrstvy a postupně se snižoval. Z celkového obsahu fosforu tvořil přístupný P 68 % (vrstva I), 63 % (vrstva II), 57 % (vrstva III), 50 % (vrstva IV). Statisticky významný rozdíl u přístupného obsahu P byl zaznamenán mezi vrstvou I a IV.



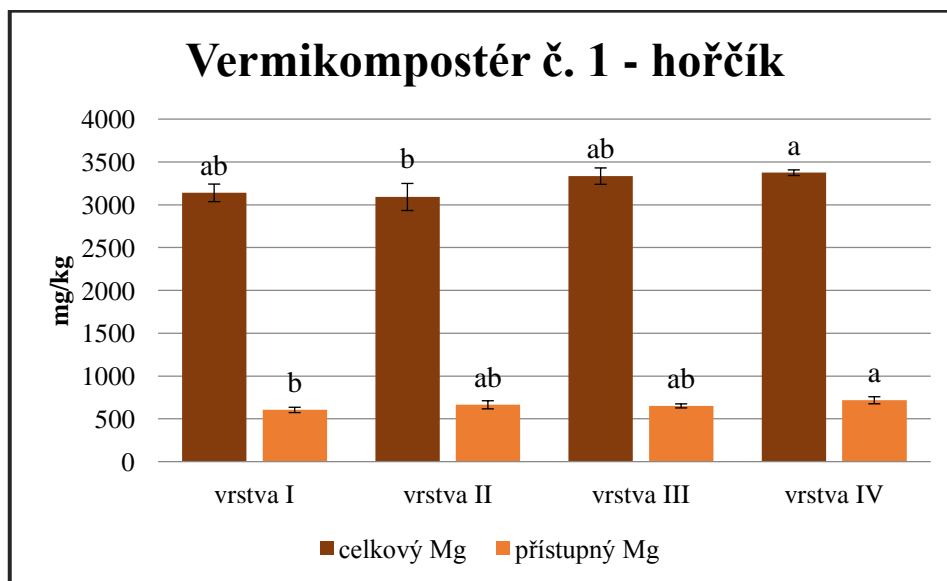
Graf č. 2: V1 - celkový a přístupný obsah fosforu. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkový i přístupný obsah draslíku byl u vermikompostéru č. 1 značně vyšší než obsahy fosforu. U vrstvy číslo I, II a III dosahoval celkový obsah draslíku podobných hodnot, které se pohybovaly v rozmezí od 16741,83 mg/kg do 17937 mg/kg. Nejvíce bylo celkového obsahu draslíku naměřeno u nejmladší čtvrté vrstvy (21360,2 mg/kg). Statisticky významný rozdíl byl u celkového obsahu K zaznamenán mezi I a III vrstvou. Přístupný obsah draslíku byl naopak nejvyšší u nejstarší první vrstvy a tvořil 51 % z celkového K. Nejméně přístupného obsahu draslíku bylo ve vrstvě IV (42 % z celkového K). U přístupného obsahu K nebyly zaznamenány statisticky významné rozdíly.



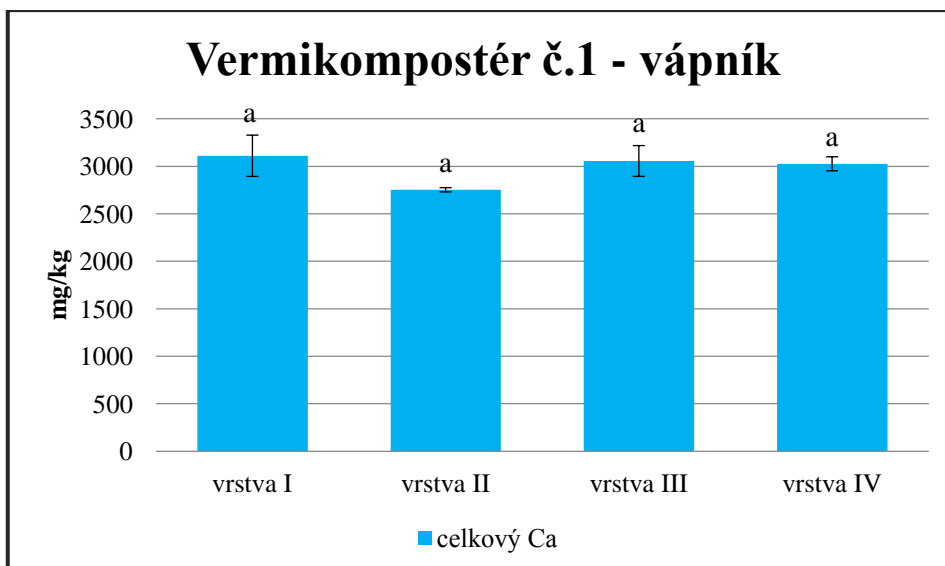
Graf č. 3: V1 - celkový a přístupný obsah draslíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Obsahy hořčíku dosahovaly dle grafu č. 4 u varianty se 100 % kávové sedliny podobných hodnot. Nejvíce celkového (3375,4 mg/kg) i přístupného (21 % z celkového Mg) obsahu hořčíku bylo naměřeno u nejmladší čtvrté vrstvy. Nejméně bylo celkového obsahu hořčíku (3092,066 mg/kg) ve druhé vrstvě a přístupného obsahu v první vrstvě (19 % z celkového Mg). Statisticky významný rozdíl u celkového obsahu Mg byl zaznamenán mezi II a IV vrstvou. U přístupného obsahu Mg byl rozpoznán statisticky významný rozdíl mezi I a IV vrstvou.



Graf č. 4: V1 - celkový a přístupný obsah hořčíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Ani celkové obsahy vápníku se v jednotlivých vrstvách vermikompostéru č. 1 příliš nelišily a dle grafu č. 5 se pohybovaly v rozmezí od 2751,93 mg/kg do 3110,26 mg/kg. Nejméně ho bylo ve druhé vrstvě a nejvíce v nejstarší první vrstvě. Mezi vrstvami nebyl zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl.



Graf č. 5: V1 - celkový obsah vápníku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkově můžeme zhodnotit, že u vermikompostéru č. 1 se 100 % kávové sedliny dosahoval nejvyšších obsahů celkových prvků draslík, kde se hodnoty u všech vrstev pohybovaly v rozmezí nad 16000 mg/kg. Obsahy ostatních prvků byly značně nižší a pohybovaly se do 3500 mg/kg. Přístupné obsahy prvků dosahovaly poměrně vysokých hodnot. Nejvíce bylo přístupného obsahu fosforu, kde se hodnoty pohybovaly okolo 60 % z celkového množství P. Nejméně bylo přístupného obsahu hořčíku, který tvořil u všech vrstev jen zhruba 20 % z celkového obsahu Mg. Největší statisticky významné rozdíly mezi vrstvami byly zaznamenány u hořčíku.

4.4.3 Vermikompostér č. 2

Ve vermikompostéru č. 2 (75 % kávové sedliny) byl dle tabulky č. 7 nejvyšší počet žížal v nejmladší čtvrté vrstvě. Ve třetí vrstvě bylo žížal 7 x méně a v nejstarší první a druhé vrstvě nebyl nalezen žádný jedinec.

Stejně tak biomasa žížal byla nejvyšší u čtvrté vrstvy, kde byl nejčerstvější bioodpad. V přepočtu na jednu žížalu vzrostla hmotnost z 0,3 g u vrstvy III na 0,4 g u vrstvy IV.

Tab. č. 7: Počet a biomasa žížal ve vermikompostéru č. 2 se 75% kávové sedliny

Číslo vrstvy	Počet žížal (ks/kg)	Biomasa žížal (g/kg)
IV	99 ± 24,01	38,7 ± 6,46
III	14 ± 3,46	4,2 ± 1,25
II	-	-
I	-	-

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3)

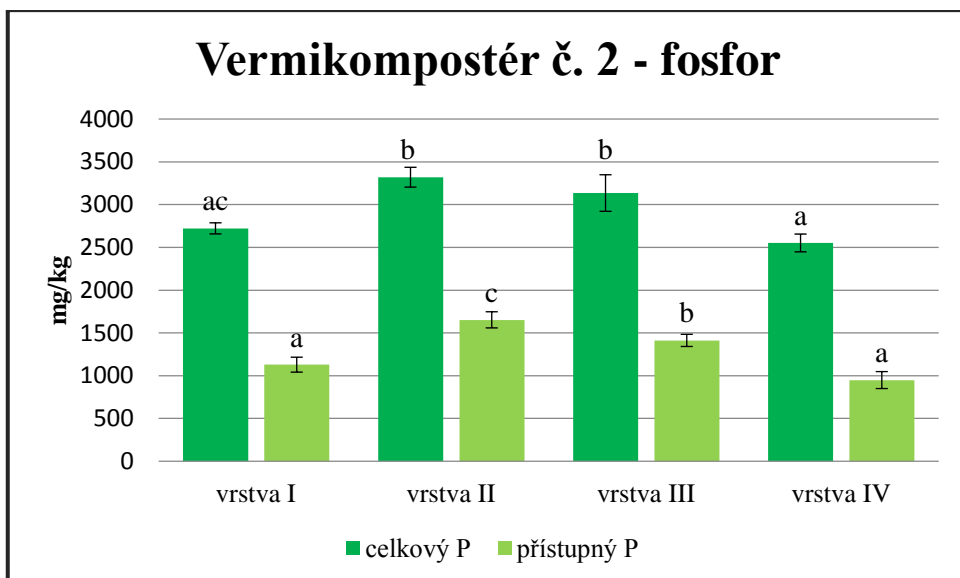
Dle tabulky č. 8 se sušina ve vermikompostéru č. 2 pohybovala ve všech vrstvách okolo 20 %. Nejnižší byla naměřena u druhé vrstvy (17,9 %) a naopak nejvyšší u vrstvy I, kde vzrostl obsah o 5,6 %. Statisticky významný rozdíl u sušín nebyl nalezen pouze mezi II a III vrstvou, jinak mezi ostatními vrstvami ano. Hodnota pH byla u vrstvy I, III a IV téměř shodná. Vymykala se pouze druhá vrstva, kde bylo naměřeno lehce vyšší pH 8. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán jen u vrstvy II, která se lišila od všech ostatních. Měrná vodivost měla rostoucí tendenci se zvyšujícím se stářím vrstvy. Nejnižší hodnota byla tedy naměřena u nejmladší čtvrté vrstvy (806 $\mu\text{S/cm}$) a u nejstarší první vrstvy vzrostla měrná vodivost o zhruba 40 %. U měrné vodivosti byl statisticky významný rozdíl zaznamenán mezi I a III a I a IV vrstvou. Poměr C:N byl ve vermikompostéru se 75 % kávové sedliny poměrně nízký a dosahoval podobných hodnot od 8,8:1 (vrstva II) do 10:1 (vrstva IV). Statisticky významné rozdíly byly u EC zaznamenány mezi vrstvou I a IV, II a III, II a IV, III a IV.

Tab. č. 8: Agrochemické parametry vrstev ve vermikompostéru č. 2 se 75% kávové sedliny

Číslo vrstvy	sušina (%)	pH (H ₂ O)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Poměr C:N
IV	20,2 \pm 0,40 ^a	7,3 \pm 0,16 ^a	806 \pm 177,5 ^a	10 \pm 0,32 ^a
III	18,3 \pm 0,33 ^b	7,4 \pm 0,11 ^a	822 \pm 60,4 ^a	9,4 \pm 0,09 ^b
II	17,9 \pm 0,8 ^b	8,0 \pm 0,11 ^b	1008 \pm 112,7 ^{ab}	8,8 \pm 0,08 ^c
I	23,5 \pm 0,97 ^c	7,3 \pm 0,13 ^a	1120 \pm 40,1 ^b	9,2 \pm 0,08 ^{bc}

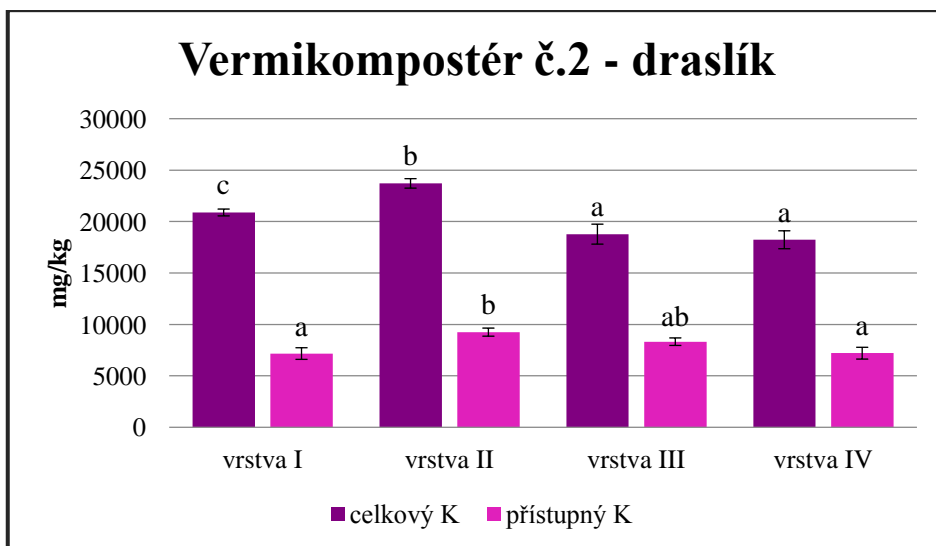
Hodnoty jsou průměry, \pm směrodatná odchylka (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Obsah celkového fosforu byl u vermikompostéru č. 2 nejvyšší ze všech pěti variant a vykazoval dle grafu č. 6 v jednotlivých vrstvách poměrně odlišné hodnoty. Nižší obsahy byly u nejstarší první a nejmladší čtvrté vrstvy. Nejvíce celkového obsahu fosforu (3320 mg/kg) bylo naměřeno ve druhé vrstvě. O něco nižší hodnota (3135 mg/kg) byla u třetí vrstvy. Statisticky významný rozdíl byl u celkového obsahu P mezi I a II, I a III, II a IV, a III a IV vrstvou. Obsahy přístupného fosforu z celkového obsahu P byly nejvyšší u druhé (50 %) a třetí (45 %) vrstvy. Nejméně ho bylo v nejmladší čtvrté vrstvě (37 % z celkového P). Statisticky významný rozdíl u přístupného obsahu P byl mezi vrstvami nalezen všude kromě I a IV vrstvy.



Graf č. 6: V2 - celkový a přístupný obsah fosforu. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

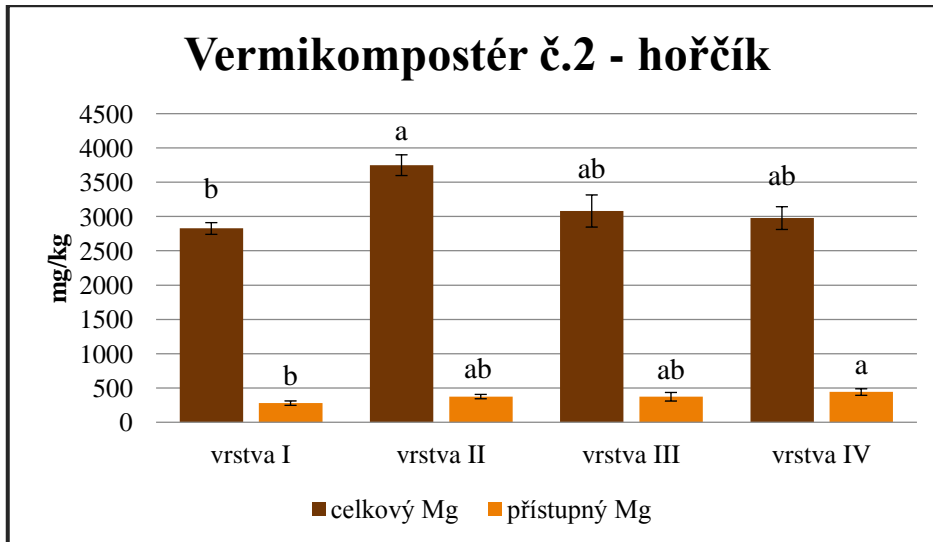
Obsah draslíku dosahuje stejně jako u předešlého vermikompostéru vyšších hodnot než obsah fosforu. Celkové obsahy se dle grafu č. 7 u jednotlivých vrstev pohybují v rozmezí od 18232 mg/kg (vrstva IV) do 23715 mg/kg (vrstva II). Statisticky významný rozdíl u celkového obsahu K nebyl jen mezi III a IV vrstvou. Nejvyšší obsah (44 % z celkového K) přístupného draslíku z celku byl zaznamenán ve třetí vrstvě. Nejméně (34 % z celkového K) přístupného obsahu draslíku bylo v první vrstvě. U přístupného obsahu K byl statisticky významný rozdíl zaznamenán mezi I a II vrstvou.



Graf č. 7: V2 - celkový a přístupný obsah draslíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

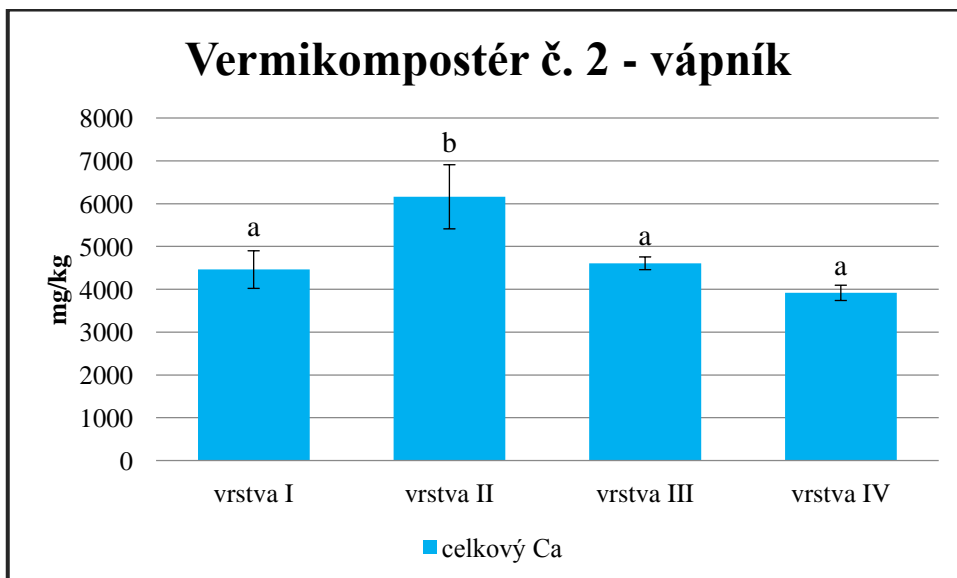
Obsahy celkového hořčíku dosahují dle grafu č. 8 podobných hodnot jako fosfor a vápník. Celkové obsahy vykazovaly u vrstvy I, III a IV podobné hodnoty v rozmezí od 2827 mg/kg do 3082 mg/kg. Vymykala se pouze druhá vrstva, kde byl naměřen nejvyšší

celkový obsah hořčíku 3750,4 mg/kg. Statisticky významný rozdíl byl u celkového Mg zaznamenán mezi I a II vrstvou. Přístupné obsahy hořčíku z celkového Mg měly od nejstarší vrstvy I (10 %) po nejmladší vrstvu IV (15 %) rostoucí tendenci, což potvrzují i nalezené statisticky významné rozdíly mezi I a IV vrstvou. Celkově však byly přístupné obsahy u hořčíku ze všech zkoumaných prvků nejmenší.



Graf č. 8: V2 - celkový a přístupný obsah hořčíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Hodnoty celkového obsahu vápníku byly dle grafu č. 9 u vermikompostéru č. 2 vyšší než u předchozí varianty. Pohybovaly se v rozmezí od 3918,6 mg/kg u čtvrté vrstvy do 6162 mg/kg u druhé vrstvy. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán jen u vrstvy II, která se lišila od všech ostatních.



Graf č. 9: V2 – celkový obsah vápníku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

U obsahů celkových i přístupných prvků ve vermikompostéru se 75 % kávové sedliny můžeme konstatovat, že byly hodnoty podobné jako u předešlé varianty. Nejvyšší obsah celkových prvků byl opět zaznamenán u draslíku a pohyboval se nad hranicí 18000 mg/kg. Ve všech vrstvách bylo nejméně celkového obsahu hořčíku a fosforu, kde se hodnoty pohybovaly okolo 3000 mg/kg. Z celkového obsahu bylo nejvyšší procentuální zastoupení přístupného fosforu (asi 43 % z celkového P). Největší statisticky významné rozdíly byly zaznamenány u fosforu.

4.4.4 Vermikompostér č. 3

Ve vermikompostéru č. 3 s 50 % kávové sedliny (příloha Obr. 2) se potvrdil trend z předchozích variant, kdy počet žížal roste se snižujícím se stářím vrstvy. Nejvyšší počet byl tedy nalezen ve čtvrté nejmladší vrstvě a oproti druhé vrstvě se počet žížal zvýšil asi 9 x.

Biomasa stejně jako u předchozích vermikompostérů dle tabulky č. 9 kopíruje počet žížal. Hmotnost jedné žížaly vzrostla z 0,2 g u nejstarší první vrstvy na 0,4 g u nejmladší čtvrté vrstvy.

Tab. č. 9: Počet a biomasa žížal ve vermikompostéru č. 3 s 50% kávové sedliny

Číslo vrstvy	Počet žížal (ks/kg)	Biomasa žížal (g/kg)
IV	70 ± 13,05	27,5 ± 3,43
III	31 ± 7,94	13,6 ± 3,89
II	8 ± 1,15	2,8 ± 1,4
I	1 ± 1,53	0,2 ± 0,26

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3)

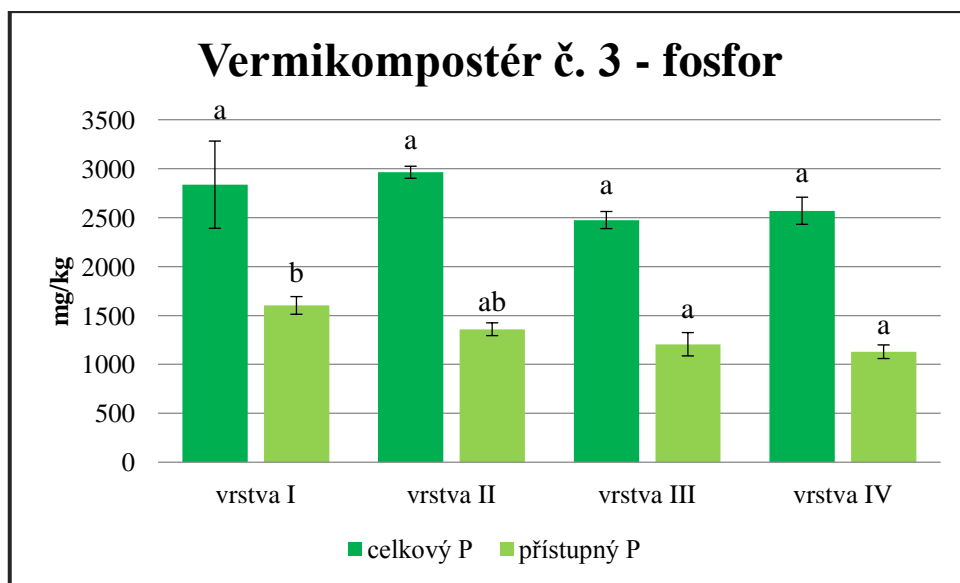
Sušina se u varianty s 50 % kávové sedliny dle tabulky č. 10 pohybovala průměrně okolo 18,2 %. Nejnižší byla sušina pravděpodobně z důvodu průsaku vody z vyšších pater ve vrstvě I. Nejvyšší byla naopak v nejsvrchnější vrstvě IV. U sušiny byly statisticky významné rozdíly zaznamenány mezi I a III a I a IV vrstvou. Hodnota pH se ve vermikompostéru č. 3 příliš nelišila a pohybovala se průměrně okolo 7,5. Statisticky významný rozdíl u pH byl zaznamenán mezi vrstvami I a II a I a III. Měrná vodivost vykazovala podobné hodnoty u vrstvy I (693 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a III (711 $\mu\text{S}/\text{cm}$). O něco vyšší hodnoty, které vzrostly asi o 17 %, byly naměřeny u třetí a čtvrté vrstvy. Měrná vodivost nevykazovala mezi vrstvami žádné statisticky významné rozdíly. Poměr C:N vykazoval u vermikompostéru s 50 % kávové sedliny vyšší hodnoty než u předchozích dvou variant. Mezi jednotlivými vrstvami se průměrný poměr C:N pohyboval okolo hodnoty 11:1 a byl rozpoznán statisticky významný rozdíl mezi všemi vrstvami.

Tab. č. 10: Agrochemické parametry vrstev ve vermikompostěru č. 3 s 50 % kávové sedliny

Číslo vrstvy	sušina (%)	pH (H ₂ O)	EC (μS/cm)	Poměr C:N
IV	19,9 ± 0,84 ^b	7,2 ± 0,4 ^{ab}	842 ± 93,3 ^a	11,2 ± 0,29 ^a
III	19,1 ± 0,78 ^b	7,1 ± 0,03 ^b	711 ± 19,7 ^a	11,8 ± 0,14 ^b
II	17,4 ± 0,6 ^{ab}	7,6 ± 0,1 ^a	800 ± 85,0 ^a	11,1 ± 0,06 ^c
I	16,5 ± 0,18 ^a	8 ± 0,31 ^a	693 ± 149,0 ^a	10,3 ± 0,25 ^d

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

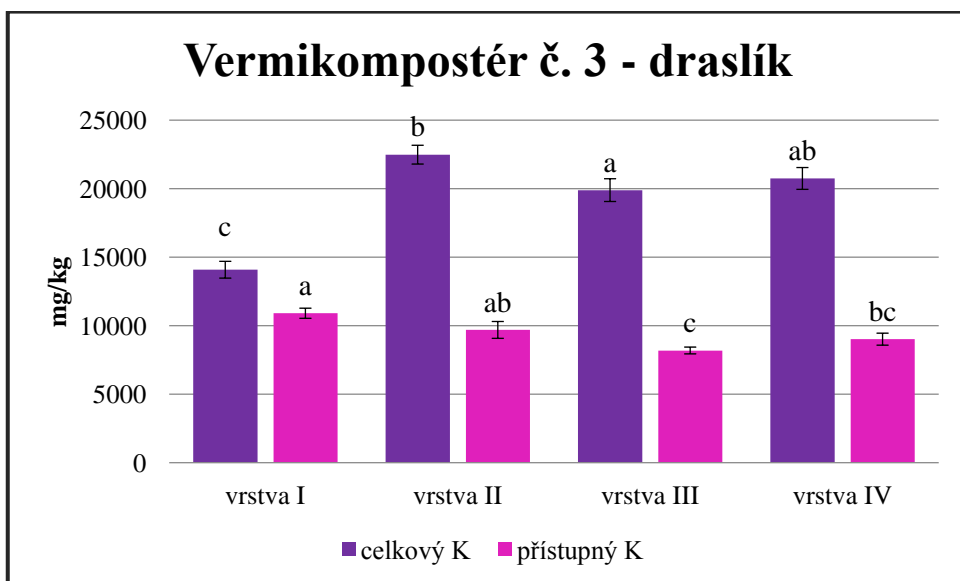
Ve vermikompostěru č. 3 byly dle grafu č. 10 naměřeny podobné hodnoty fosforu jako u varianty č. 1 a 2. Nejvíce celkového obsahu fosforu bylo ve druhé vrstvě (2963 mg/kg) a nejméně ve třetí vrstvě (2475 mg/kg). U celkového obsahu P nebyly mezi vrstvami žádné statisticky významné rozdíly. Přístupný obsah fosforu se od nejmladší po nejstarší vrstvu postupně zvyšoval a tvořil 44 % z celkového obsahu P u čtvrté nejmladší vrstvy a 56 % z celkového obsahu P u nejstarší první vrstvy. Statisticky významný rozdíl byl u přístupného obsahu P mezi I a III a I a IV vrstvou.



Graf č. 10: V3 - celkový a přístupný obsah fosforu. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

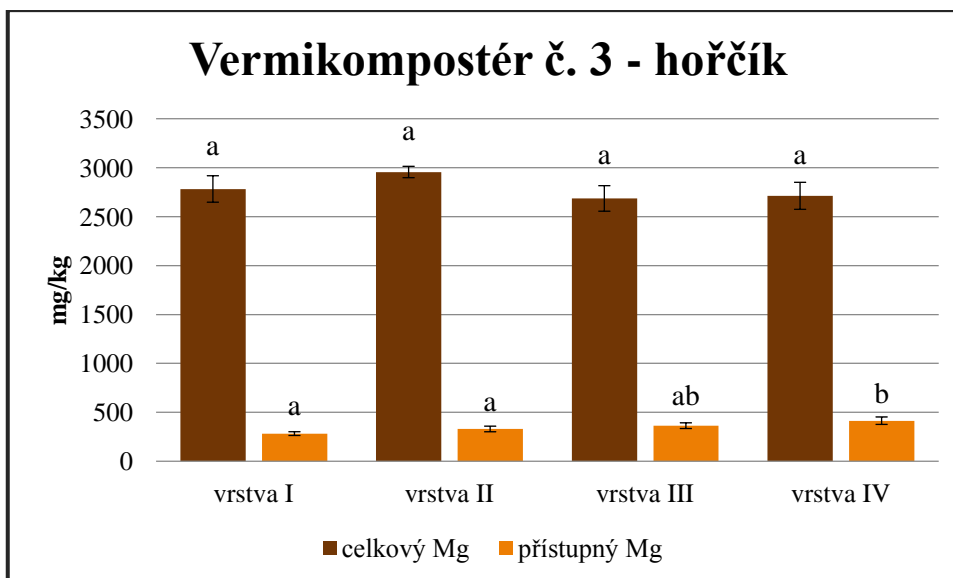
Obsah celkového draslíku byl u vermikompostěru č. 3 stejně jako u předchozích variant nejvyšší ze všech. U vrstvy II, III a IV byly celkové obsahy draslíku podobné a pohybovaly se v rozmezí od 19893 mg/kg do 22483 mg/kg. Dle grafu č. 11 se vymykala pouze nejstarší vrstva I, která měla nejnižší hodnotu 14083 mg/kg. Statisticky významné rozdíly u celkového obsahu K nebyly jen mezi II a IV a III a IV vrstvou, jinak všude. Naopak přístupný obsah draslíku byl u první vrstvy nejvyšší a dosáhl téměř 80 % z celkového obsahu K. U ostatních vrstev byly hodnoty přístupného obsahu draslíku asi o polovinu nižší

a pohybovaly se okolo 40 % z celkového obsahu K. Přístupný obsah K vykazoval statisticky významné rozdíly mezi I a III, I a IV, a II a III vrstvou.



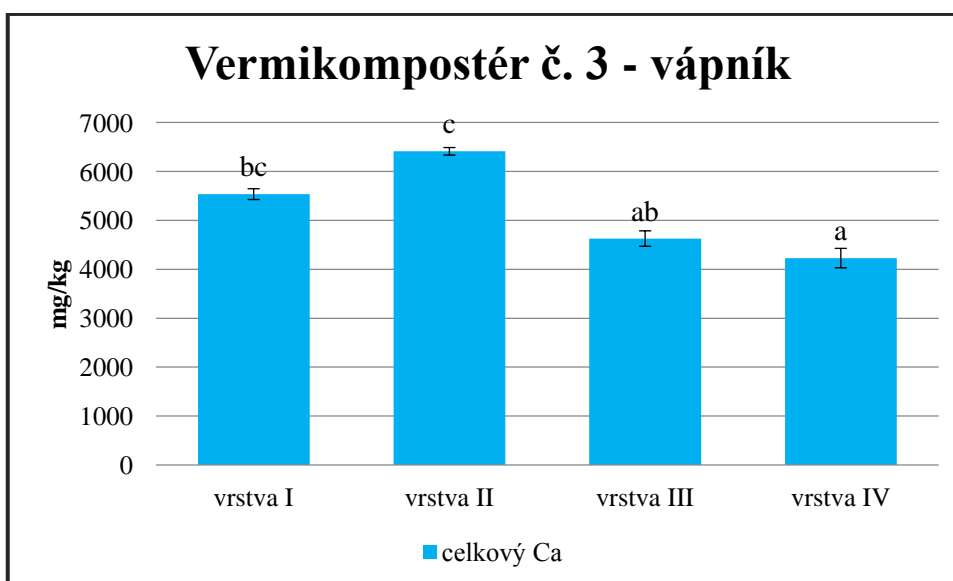
Graf č. 11: V3 - celkový a přístupný obsah draslíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Obsah celkového i přístupného hořčíku byl dle grafu č. 12 u vermikompostéru č. 3 s 50 % kávové sedliny o něco nižší než v předchozích dvou variantách. Celkový obsah hořčíku se pohyboval v rozmezí od 2685 mg/kg (vrstva III) do 2955 mg/kg (vrstva II). Celkový obsah Mg nevykazoval mezi vrstvami žádné statisticky významné rozdíly. Přístupné obsahy hořčíku byly jako u předchozích variant velmi nízké a v tomto případě se zvyšovaly od nejstarší vrstvy k nejmladší. Nejméně ho tedy bylo ve vrstvě I (10 % z celkového Mg) a nejvíce ve vrstvě IV (15 % z celkového Mg). Statisticky významný rozdíl byl u přístupného obsahu Mg mezi I a IV, a II a IV vrstvou.



Graf č. 12: V3 - celkový a přístupný obsah hořčíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkový obsah vápníku byl dle grafu č. 13 o něco vyšší ve starší první (5536,19 mg/kg) a druhé (6411,93 mg/kg) vrstvě. Nejméně ho pak bylo v nejmladší čtvrté vrstvě, kde dosahoval hodnoty 4228,59 mg/kg. Statisticky významný rozdíl byl mezi I a IV, II a III, a II a IV vrstvou.



Graf č. 13: V3 - celkový obsah vápníku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Vermikompostér č. 3 dosahoval u celkových i přístupných prvků obdobných hodnot, jako předešlé varianty. Vymyká se pouze nízký obsah (14083,33 mg/kg) celkového draslíku u nejstarší vrstvy. Jinak tomu bylo však u přístupného obsahu draslíku, který u čtvrté nejstarší vrstvy tvořil nejvyšší procento (77 % z celkového K) ze všech zkoumaných prvků. Celkové i přístupné obsahy fosforu a hořčíku se pohybovaly ve stejných mezích, jako u předešlých

variant. O něco vyšší obsah byl zaznamenán u celkového vápníku, kde hodnota přesáhla i 6000 mg/kg. Nejvíce statisticky významných rozdílů mezi vrstvami bylo u draslíku.

4.4.5 Vermikompostér č. 4

U verмикompostéru č. 4 s 25 % kávové sedliny (příloha Obr. 3) se u počtu žížal nepotvrdil trend z předchozích variant. Nejvíce žížal bylo nalezeno v nejmladší první vrstvě a nejméně jich bylo ve druhé vrstvě. Celkový počet žížal činil 1704 ks.

Ani biomasa žížal dle tabulky č. 11 ve všech případech nekopírovala počet nalezených žížal. V přepočtu na váhu jedné žížaly byl zaznamenán výrazný nárůst hmotnosti od první vrstvy (0,04 g) po nejstarší čtvrtou vrstvu (0,11 g).

Tab. č. 11 : Počet a biomasa žížal ve verмикompostéru č. 4 s 25 % kávové sedliny

Číslo vrstvy	Počet žížal (ks/kg)	Biomasa žížal (g/kg)
IV	629 ± 82,5	71,5 ± 7,11
III	354 ± 66,5	28,4 ± 5,52
II	320 ± 5,5	15,8 ± 0,55
I	400 ± 50,7	16 ± 0,21

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

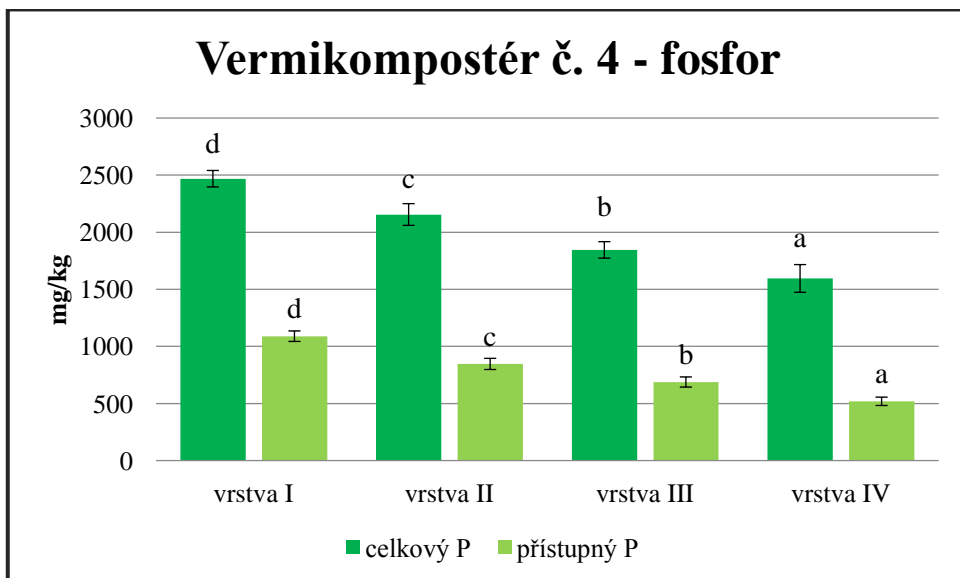
Sušina se v této variantě dle tabulky č. 12 stejně jako u verмикompostéru č. 1 a 3 zvyšovala od nejstarší vrstvy po nejmladší a nejvíce vody bylo tedy obsaženo ve vrstvě I. Sušina se pohybovala průměrně okolo 18,9 %. U sušiny byly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi vrstvami I a III, a I a IV. Hodnota pH okolo 7,8 byla u tohoto verмикompostéru ve všech vrstvách téměř totožná. Měrná vodivost byla na rozdíl od předchozích variant nejnižší u čtvrté nejmladší vrstvy (598 μS/cm) a nejvyšší naopak u nejstarší první vrstvy, kde vzrostla o 18 %. U pH a měrné vodivosti nebyly rozpoznány žádné statisticky významné rozdíly. Poměr C:N se postupně zvyšoval se snižujícím se stářím vrstvy. Nejmenší C:N byl detekován u první nejstarší vrstvy a nejvyšší u vrstvy IV. U poměru C:N se vrstva IV statisticky významně odlišuje od všech ostatních.

Tab. č. 12: Agrochemické parametry vrstev ve verмикompostéru č. 4 se 25 % kávové sedliny

Číslo vrstvy	sušina (%)	pH (H ₂ O)	EC (μS/cm)	Poměr C:N
IV	22,7 ± 0,7 ^a	7,8 ± 0,13 ^a	598 ± 147,1 ^a	18,7 ± 0,66 ^b
III	20 ± 2,47 ^a	7,9 ± 0,03 ^a	691 ± 36,9 ^a	14,5 ± 0,09 ^a
II	17,4 ± 1,98 ^{ab}	7,8 ± 0,11 ^a	642 ± 192,7 ^a	14 ± 0,40 ^a
I	15,4 ± 0,51 ^b	7,8 ± 0,02 ^a	709 ± 46,7 ^a	13,6 ± 0,45 ^a

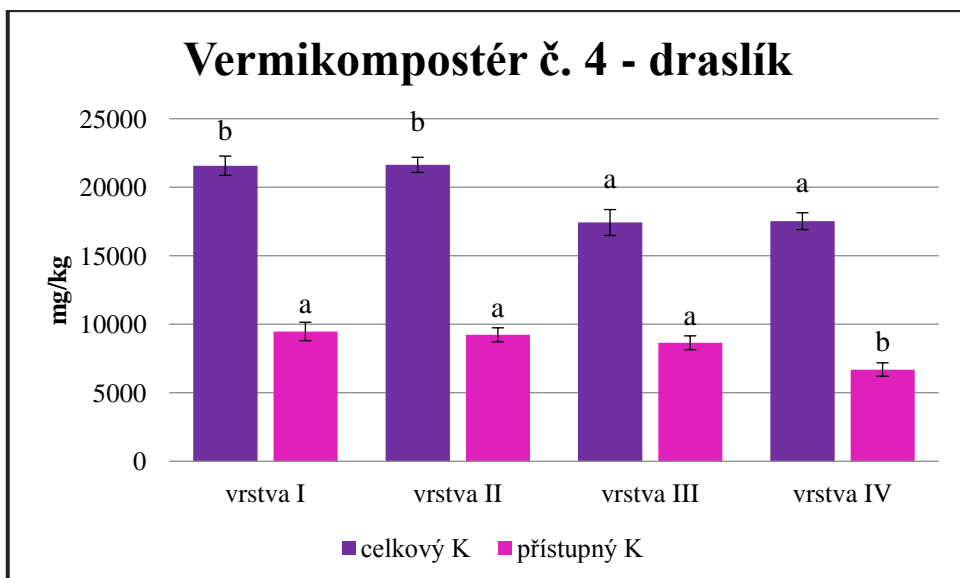
Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Obsah celkového i přístupného fosforu se dle grafu č. 14 postupně zvyšoval od nejmladší po nejstarší vrstvu. Nejvíce celkového obsahu fosforu bylo tedy ve vrstvě I (2468 mg/kg) a nejméně ve vrstvě IV (1595 mg/kg). Přístupný obsah fosforu tvořil 33 % (vrstva IV) z celkového obsahu P u vermikompostéru č. 4, 37 % (vrstva III), 39 % (vrstva II) a nejvíce ho bylo v nejstarší vrstvě I (44 %). U fosforu byly stanoveny statisticky významné rozdíly mezi všemi vrstvami.



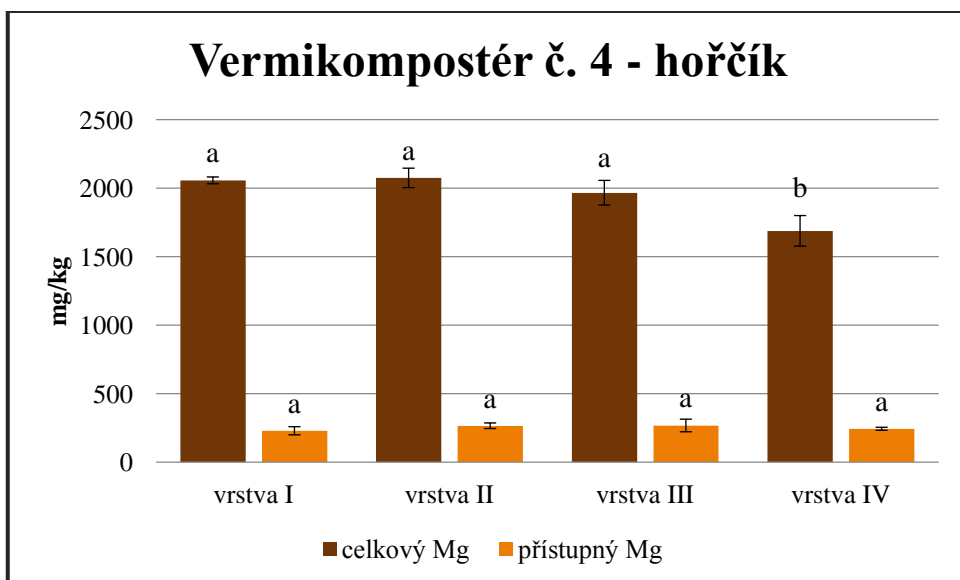
Graf č. 14: V4 - celkový a přístupný obsah fosforu. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkový obsah draslíku byl dle grafu č. 15 u varianty s 25 % kávové sedliny nejvyšší ze všech zkoumaných prvků. Podobné hodnoty nad 21000 mg/kg vykazovaly starší vrstvy - první a druhá vrstva. O něco nižší obsahy kolem 17000 mg/kg byly naměřeny u třetí a čtvrté nejmladší vrstvy. U celkového obsahu K byly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi I a III, I a IV, II a III a II a IV vrstvou. Nejvíce přístupného obsahu draslíku bylo detekováno u vrstvy I, kde obsah tvořil asi 50 % z celkového K. Nejmenší obsah 38 % z celkového K byl zaznamenán u vrstvy IV. U přístupného obsahu K se vrstva IV statisticky lišila od všech ostatních.



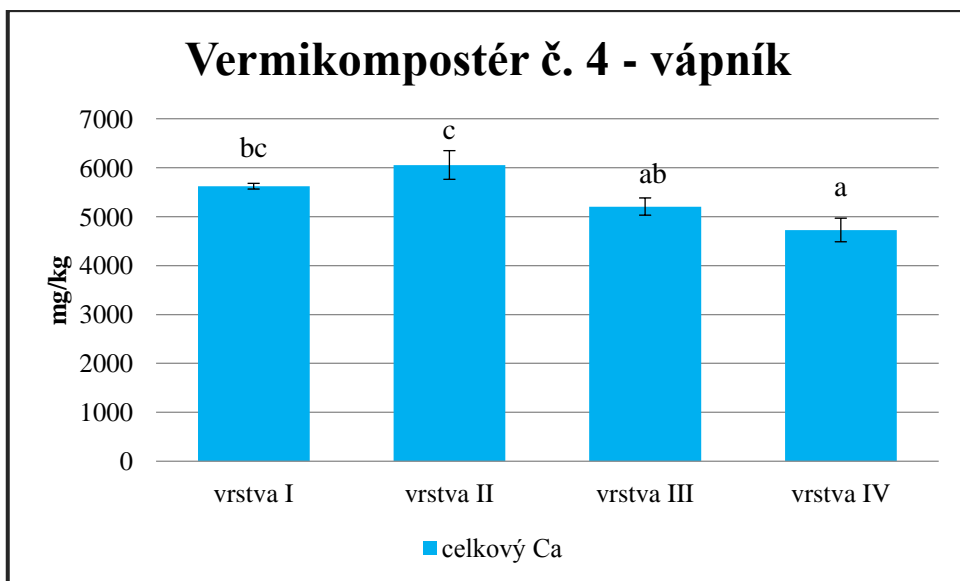
Graf č. 15: V4 - celkový a přístupný obsah draslíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkový obsah hořčíku vykazuje dle grafu č. 16 podobné hodnoty kolem 2000 mg/kg u první, druhé a třetí vrstvy. Nejméně celkového obsahu hořčíku bylo naměřeno u nejstarší čtvrté vrstvy (1688 mg/kg). U celkového obsahu Mg se statisticky odlišovala IV vrstva od všech ostatních. Přístupný obsah hořčíku byl při srovnání vrstev téměř totožný a nevykazoval žádné statisticky významné rozdíly. O něco vyšší procento z celkového obsahu Mg bylo zaznamenáno u čtvrté vrstvy (14 %).



Graf č. 16: V4 - celkový a přístupný obsah hořčíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Celkový obsah vápníku byl u vermikompostéru č. 4 nejvyšší ze všech zkoumaných variant a pohyboval se dle grafu č. 17 v rozmezí od 4726,18 mg/kg (vrstva IV) do 6054,52 mg/kg (vrstva II). Statisticky významný rozdíl byl mezi vrstvou I a IV, II a III, a II a IV.



Graf č. 17: V4 - celkový obsah vápníku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Ve vermikompostéru č. 4 byl zaznamenán trend, kdy se celkové obsahy prvků ve většině případů zvyšovaly od nejmladší po nejstarší vrstvu. Nejvyšší celkový obsah tvořil stejně jako u předešlých variant draslík, který se pohyboval v rozmezí zhruba od 17500 mg/kg do 21500 mg/kg. Celkový obsah hořčíku se pohyboval kolem podobných (2000 mg/kg) hodnot jako obsah fosforu a bylo ho naměřeno nejméně ze všech zkoumaných variant. Přístupné obsahy celkových prvků se příliš nelišily u fosforu a draslíku se pohybovaly kolem 40 % z celkového P a K. Nejméně bylo jako u předešlých variant přístupného obsahu hořčíku, kde se obsah z celku pohyboval jen okolo 13 % Mg. Největší statisticky významné rozdíly byly zaznamenány u fosforu.

4.4.6 Vermikompostér č. 5

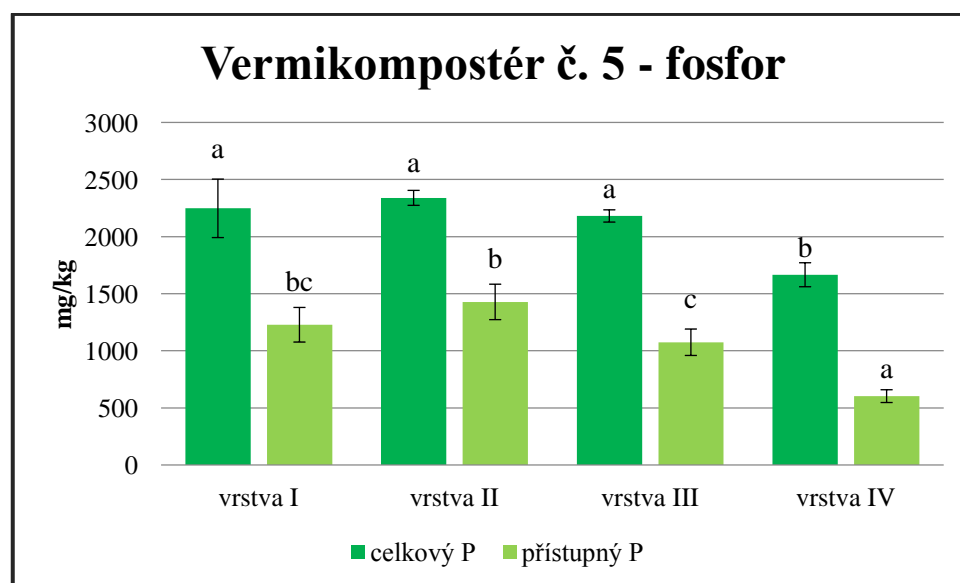
V kontrolním vermikompostéru č. 5 bez žízála (50 % kávové sedliny) se dle tabulky č. 13 pohyboval průměrný obsah sušiny okolo 20,6 % a od první nejstarší po čtvrtou nejmladší vrstvu vzrostla sušina o 6,4 %. Statisticky významný rozdíl byl u sušiny zaznamenán mezi I a IV vrstvou. Naměřené pH bylo jako v případně předchozí varianty u všech vrstev velmi podobné a pohybovalo se průměrně okolo hodnoty 7,2. Měrná vodivost byla nejvyšší u nejstarší první vrstvy (852 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a nejmenší u mladší třetí vrstvy, kde vzrostla o 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$. U pH a EC nebyly mezi vrstvami žádné statisticky významné rozdíly. U poměru C:N se nepotvrdil trend z předchozí varianty. Nejnižší C:N byl naměřen u druhé a třetí vrstvy (kolem 10,5:1) a o něco vyšší hodnoty dosáhla čtvrtá vrstva (13,6:1). Statisticky se u C:N lišily I a II, II a IV, a III a IV vrstva.

Tab. č. 13: Agrochemické parametry vrstev v kontrolním vermikompostéru č. 5 s 50 % kávové sedliny a 50 % slaměných pelet bez žížal

Číslo vrstvy	sušina (%)	pH (H ₂ O)	EC (μS/cm)	Poměr C:N
IV	24,6 ± 1,91 ^a	7,4 ± 0,02 ^a	767 ± 58,1 ^a	13,6 ± 0,57 ^a
III	19,4 ± 0,62 ^{ab}	7,1 ± 0,13 ^a	759 ± 166,7 ^a	10,9 ± 0,37 ^{bc}
II	20,1 ± 1,06 ^{ab}	7,1 ± 0,06 ^a	806 ± 57,8 ^a	10,3 ± 0,17 ^b
I	18,2 ± 0,25 ^b	7,3 ± 0,24 ^a	852 ± 235,4 ^a	12 ± 0,24 ^{ac}

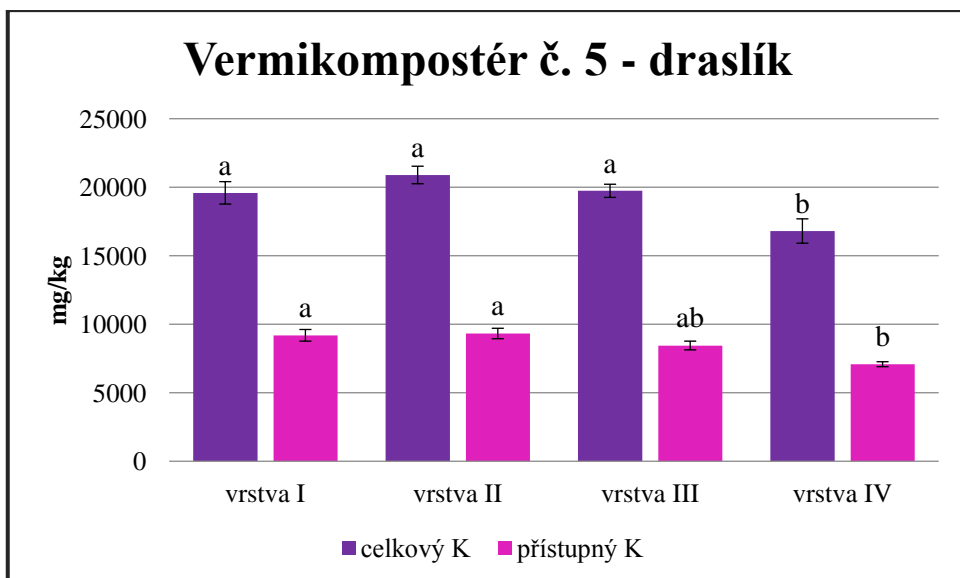
Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Ve vermikompostéru č. 5 měl obsah celkového i přístupného fosforu od vrstvy II po vrstvu IV klesající tendenci. Nejvíce celkového (2340 mg/kg) i přístupného (61 %) obsahu fosforu bylo tedy detekováno ve starší druhé vrstvě. Nejméně celkového (1666,67 mg/kg) i přístupného (36 %) obsahu P bylo v nejmladší čtvrté vrstvě. Vrstva I byla svými výsledky srovnatelná s vrstvou III. U celkového obsahu P se IV vrstva statisticky liší od všech ostatních. U přístupného obsahu P se od sebe statisticky liší I a IV, II a IV, III a IV, a II a III vrstva.



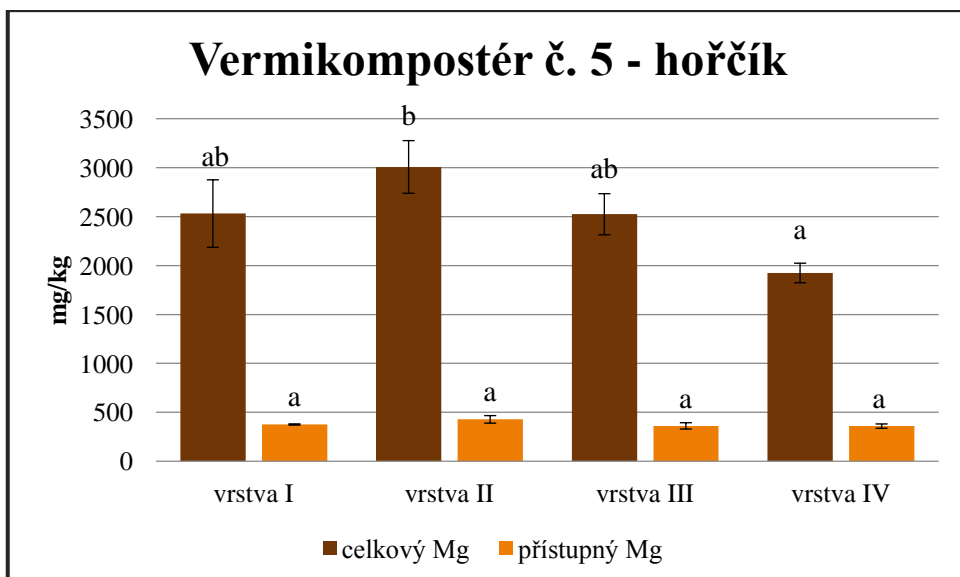
Graf č. 18: V5 - celkový a přístupný obsah fosforu. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

Obsah celkového draslíku se v kontrolním vermikompostéru pohyboval u vrstvy I - III okolo 20000 mg/kg. Výjimku tvořila dle grafu č. 19 pouze čtvrtá vrstva, kde byl obsah celkového draslíku nejnižší a tvořil 16803,5 mg/kg. U celkového obsahu P se statisticky lišila vrstva IV od všech ostatních. Přístupný obsah draslíku tvořil u všech vrstev zhruba 45 % z celkového obsahu K a statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi vrstvou I a IV, a II a IV.



Graf č. 19: V5 - celkový a přístupný obsah draslíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY (P<0,05).

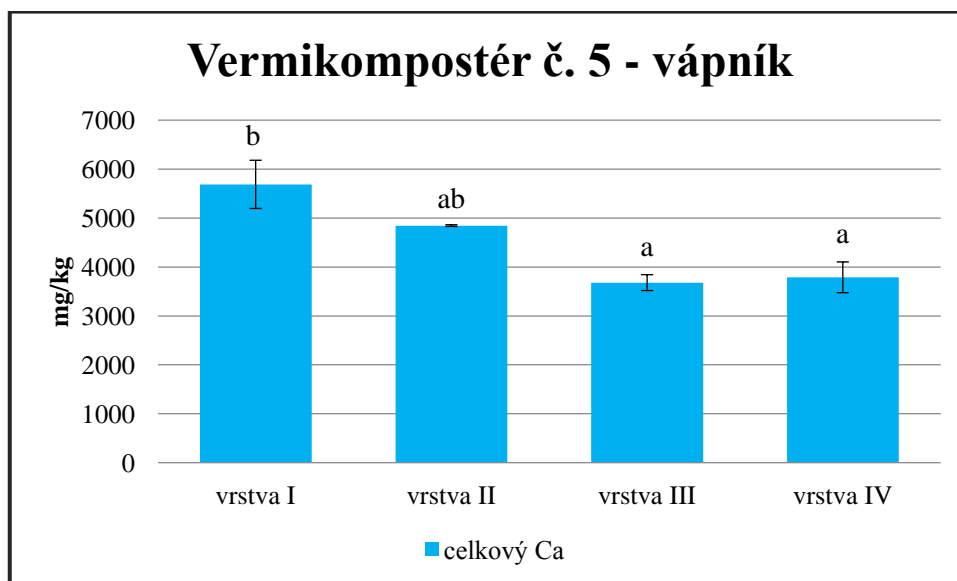
Rozdíl mezi celkovým a přístupným obsahem hořčíku byl u vermikompostéru č. 5 stejně jako u předchozích variant největší ze všech zkoumaných prvků. Celkový obsah hořčíku se pohyboval v rozmezí od 1924 mg/kg u čtvrté vrstvy po 3008 mg/kg u druhé vrstvy. Mezi II a IV vrstvou vykazoval celkový obsah Mg statisticky významný rozdíl. Přístupný obsah hořčíku nevykazoval mezi vrstvami žádné statisticky významné rozdíly a tvořil 14 % z celkového obsahu Mg u I – IV vrstvy. U nejmladší čtvrté vrstvy byl přístupný obsah hořčíku o něco vyšší a dosahoval 18,6 % z celkového obsahu Mg.



Graf č. 20: V5 - celkový a přístupný obsah hořčíku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

Celkový obsah vápníku měl v tomto případě klesající tendenci od vrstvy I (5687,85 mg/kg) po vrstvu III (3679,52 mg/kg). U čtvrté nejmladší vrstvy hodnota celkového

obsahu vápníku lehce stoupla na 3787,85 mg/kg. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány mezi I a III, a I a IV vrstvou.



Graf č. 21: V5 - celkový obsah vápníku. Hodnoty jsou průměry se směrodatnou odchylkou (n=3), indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle ANOVY, (P<0,05).

U vermikompostéru č. 5 se potvrdil trend z předchozích variant a nejvyšší zastoupení ze zkoumaných prvků bylo detekováno u draslíku, který dosahoval průměrných hodnot okolo 19000 mg/kg. Nejméně bylo pak celkového obsahu fosforu, kde se průměrná hodnota pohybovala okolo 2000 mg/kg. Nejmenší zastoupení celkových i přístupných prvků bylo naměřeno ve čtvrté nejmladší vrstvě, nejvíce naopak ve starší druhé vrstvě. Přístupné prvky se u obsahu fosforu a draslíku pohybovaly průměrně okolo 40 – 50 % z celkového obsahu P a K. Přístupný obsah hořčíku tvořil průměrně jen asi 15 % z celkového obsahu Mg. Největší statisticky významné rozdíly byly mezi vrstvami zaznamenány u fosforu.

4.4.7 Srovnání vermikompostérů

Nejvyšší počet žížal, který asi 15 × převyšoval všechny ostatní varianty, byl nalezen ve čtvrté variantě s 25 % kávové sedliny. Nejméně žížal bylo spočteno v prvním vermikompostéru se 100 % kávové sedliny. Zároveň můžeme potvrdit, že se ve všech variantách vyskytovalo nejvíce jedinců v nejmladších čtvrtých vrstvách a kromě vermikompostéru č. 4, byly naopak nejmenší počty zaznamenány v nejstarších prvních vrstvách, kde už byl bioodpad dostatečně zpracován. Nejvyšší biomasu žížal měl, stejně jako počet, vermikompostér č. 4. Přibližně 3 × menší biomasu měly vermikompostéry č. 2 a 3 a zhruba 5 × méně biomasy bylo naměřeno ve vermikompostéru č. 1.

Obsah sušiny se ve všech vermikompostérech pohyboval průměrně okolo 20 %. Nejméně sušiny a tedy nejvíce vody bylo naměřeno v nejstarší čtvrté vrstvě vermikompostéru

č. 3. Nejvíce sušiny bylo naopak v nejmladší čtvrté vrstvě kontrolního vermikompostéru č. 5. Až na vermikompostér č. 2 byla nejvyšší sušina zjištěna vždy v nejsvrchnější vrstvě.

Hodnota pH se u vermikompostérů s různými poměry kávové sedliny průměrně pohybovala okolo 7,3. Nejvyšší průměrné pH (7,6) měl vermikompostér č. 4 s 25 % kávové sedliny a nejnižší (6,6) vermikompostér č. 1. se 100 % kávové sedliny.

Měrná vodivost se ve zkoumaných vermikompostérech pohybovala v rozmezí od 598 $\mu\text{S}/\text{cm}$ u nejmladší vrstvy vermikompostéru č. 4 do 1120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ u nejstarší vrstvy vermikompostéru č. 2. Průměrně dosáhla nejvyšších hodnot měrné vodivosti varianta se 75 % kávové sedliny a nejméně varianta s 25 % kávové sedliny.

Nejvyšší průměrné hodnoty C:N byly detekovány u vermikompostéru č. 4 a pohybovaly se okolo 15. Vyšší poměr než u ostatních variant byl zjištěn z důvodu velkého obsahu slaměných pelet, u kterých se C:N pohybuje okolo 75. Nejmenší hodnota C:N (8,2) byla stanovena v nejstarší vrstvě vermikompostéru č. 1. Ve většině variant se poměr C:N zvyšoval od nejstarší po nejmladší vrstvu.

Nejvyšší zastoupení všech celkových prvků bylo stanoveno u vermikompostéru č. 2 se 75 % kávové sedliny. Ze zkoumaných celkových prvků dosahoval u všech variant vermikompostů stejně jakou u vstupních surovin nejvyšších hodnot draslík, který se pohyboval průměrně v rozmezí od 18000 do 20000 mg/kg. Nejvíce celkového obsahu draslíku bylo naměřeno ve vermikompostéru č. 2 a nejméně ve variantě č. 1. Asi 5 \times méně obsahovaly vermikompostéry celkového obsahu vápníku, který se pohyboval v rozmezí průměrných hodnot od 2900 mg/kg u vermikompostéru č. 1 do 5400 mg/kg u vermikompostéru č. 4, kde celkovou hodnotu zvyšoval vysoký podíl pelet. Celkový obsah hořčíku a fosforu se průměrně pohyboval okolo hodnoty 2200 mg/kg.

Obsahy přístupných prvků pro rostliny byly nejvyšší u první varianty se 100 % kávové sedliny, kde u fosforu tvořily téměř 60 % z celku a u draslíku 50 % z celku. Také přístupný obsah hořčíku byl u vermikompostéru č. 1 nejvyšší a tvořil průměrně 20 % z celkového množství. U vermikompostérů č. 2, 3 a 4 byly hodnoty přístupných prvků velmi podobné a pohybovaly se okolo 40 % u fosforu a draslíku a 12 % u hořčíku. Výjimku tvořil pouze přístupný obsah draslíku u nejstarší vrstvy varianty číslo 3, který tvořil 77 % z celku. Kontrolní vermikompostér č. 5 dosahoval o něco málo nižších hodnot než vermikompostér č. 1.

5 Diskuze

Počet a biomasu žížal může u vermikompostování ovlivnit mnoho faktorů, které se během procesu mění. Jde především o změny pH, nízkou dostupnost kyslíku, nebo třeba vysoký obsah amoniaku a organických kyselin, zejména během počátečních fází rozkladu některých surových organických materiálů, jako jsou třeba rostlinné odpady a hnůj (Gunadi & Edwards 2003; Marsh et al. 2005). Přežití, produkce biomasy a reprodukce žížal jsou nejlepším ukazatelem pro hodnocení vermikompostování (Suthar 2006).

Ve všech zkoumaných vermikompostérech byl nejvyšší počet žížal zaznamenán u nejmladších vrstev pravděpodobně z důvodu spotřebování bioodpadu v ostatních vrstvách. Nejvyšší počet byl registrován v nejmladší vrstvě vermikompostéru č. 4 s 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet. Slaměné pelety mají vysoký poměr C:N, který má dle Air et al. (2006) pozitivní vliv na počet a strukturu jedinců u žížaly hnojní. To se potvrdilo i u našeho pokusu, kde byl v nejmladších vrstvách ostatních vermikompostérů s menšími poměry slaměných pelet počet žížal 8 x (vermikompostér č. 2 a 3) až 15 x (vermikompostér č. 1) menší. Adi & Noor (2009) ve svém pokusu vermikompostovali kávovou sedlinu v poměru 70:30 s kravským hnojem a tvrdí, že kávová zrna mají pozitivní vliv na významný nárůst žížal *Lumbricuss Rubellus* od počáteční fáze. Svůj pokus prováděli v osmi opakováních v obdobně velkých vermikompostérech jako byl náš pokus po dobu 49 dní. Na začátku přidali 2,5 kg krmiva, který přikrili 1 cm zahradní půdy (kvůli zápachu). Vermikompostér pak přikrili moskytiérou (kvůli vniknutí škůdců) a udržovali ho při laboratorní teplotě. Největší rozdíl byl v zavedení žížal do pokusu až po 21 dnech předkompostování. To bylo provedeno z důvodu zabránění expozice žížal vysokým teplotám v první termofilní fázi kompostování. Toto tvrzení se potvrdilo i v našem pokusu, kde se v počátečních fázích vermikompostéry se 100 % a 75 % kávové sedliny zahřívaly až na 40 °C a z důvodu úhynu bylo nutné vyměnit násadu žížal. V našem pokusu byl u vermikompostéru č. 2 se 75 % kávové sedliny a 25 % slaměných pelet u nejmladší vrstvy IV, která odpovídá zhruba 49 dnům u pokusu Adi & Noora (2009), zaznamenán úbytek žížal oproti počátečnímu stavu. V pokusu Adi & Noora (2009) se 70 % kávové sedliny a 30 % kravského hnoje byl naopak registrován nárůst z počátečních 60 ks na konečných 97 ks. Je tedy zřejmé, že pro tento poměr kávové sedliny (70 – 75 %) by bylo vhodnější materiál nejdříve předkompostovat a zabránit tak expozici žížal vysokým teplotám. Liu et al. (2011) ve svém experimentu během 72 dnů vermikompostovali samotnou kávovou sedlinu v plastových nádobách o rozměrech 37,4 × 24,1 × 14 cm, kam vložili přibližně 2 kg materiálu, který nijak neupravovali.

Pokus probíhal za laboratorní teploty bez dalšího dokrmování. Po zhodnocení výsledků došli k závěru, že počet přežitých žížal *Eisenia fetida* byl oproti jiným variantám, kde byl v různých poměrech přidán ručně nadrcený karton a kávové filtry velmi nízký a doporučuje tedy smíchání s jinými surovinami.

Biomasa žížal ve většině případů koresponduje s počtem žížal a nejvyšší byla tedy stanovena v nejmladších prvních vrstvách, kde bylo největší množství živin a kyslíku. Nejmenší biomasa byla zaznamenána u vermikompostéru č. 1 se 100 % kávové sedliny. To ve své studii potvrzuje i Liu et al. (2011), kteří zjistili, že samotná kávová sedlina má za následek velmi nízkou produkci biomasy žížal. Z počáteční průměrné hodnoty 5,9 g klesla biomasa žížal na 0,8 g. U našeho vermikompostéru se 100 % kávové sedliny byla konečná biomasa ze všech variant nejnižší. Garg et al. (2006) ve svém vermikompostovacím výzkumu uvedli, že žížaly (*E. fetida*) měly velmi nízké přežití pouze ve variantě s textilním mlýnským kalem, ale míra přežití vzrostla, když se smísily s organickými odpady bohatými na živiny, jako je například digestát z bioplynové stanice. Je tedy zřejmé, že přídavek jiných organických odpadů má pozitivní vliv na biomasu žížal. To se potvrdilo i u našeho pokusu, kde měl přídavek slaměných pelet pozitivní vliv na biomasu žížal a nejvíce jí tedy bylo zaznamenáno u vermikompostéru č. 4 s 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet.

Nejvyšší obsah sušiny byl kromě vermikompostéru č. 2 zaznamenán v nejmladších čtvrtých vrstvách a pohyboval se průměrně okolo 19 %. Bylo to pravděpodobně způsobeno nejvyšším výparem. Úplně nejvyšší sušina (průměrně 20,5 %) byla u kontrolního vermikompostéru č. 5, zřejmě z důvodu absence žížal. V nejstarších spodních vrstvách bylo nejvíce vody z důvodu průsaku z horních vrstev. Dle Domínieze & Edwardse (2011b) je třeba zajistit stálou vlhkost vermikompostovaného substrátu v rozmezí 60–70 %. U námi prováděného pokusu byla vlhkost o něco vyšší a pohybovala se okolo 80 %. Tomu odpovídá i pokus Adí & Noora (2009), kde byly vermikompostéry s přídavkem kávové sedliny každé 2 dny zavlažovány minerální vodou a vlhkost se zde pohybovala v rozmezí od 50 do 80 %. U pokusu Liu et al (2011) se u vermikompostérů s přídavkem kávy udržovala vlhkost 60 %.

Dle Munroe (2007) dokážou žížaly přežít v rozmezí hodnot pH od 5 do 9. Optimální je však škála pH od 7,5 do 8. Hodnota pH se u jednotlivých variant s různými poměry kávové sedliny průměrně pohybovala okolo 7,3, což zhruba odpovídá ideální škále. Nejvyšší průměrné pH (7,74) měl vermikompostér č. 4 s 25 % kávové sedliny a nejnižší (6,63) vermikompostér č. 1. se 100 % kávové sedliny. Ve vermikompostéru Liu et al. (2011) s 80 % kávové sedliny a 20 % kartonu bylo naměřena průměrná hodnota pH 7,25. Ve srovnatelné variantě našeho pokusu se 75 % kávové sedliny a 20 % slaměných pelet bylo pH téměř

totožné a dosahovalo průměrné hodnoty 7,4. Garg et al. (2006) ve svém výzkumu uvádí, že pH ve vermikompostu klesalo s přibývajícím stářím, to se v našem pokusu potvrdilo pouze u vermikompostéru č. 1.

Měrná vodivost ve zkoumaných vermikompostérech dosahovala nejnižších průměrných hodnot (660 $\mu\text{S}/\text{cm}$) u vermikompostéru č. 4 s 25 % kávové sedliny a nejvyšších (939 $\mu\text{S}/\text{cm}$) u vermikompostéru č. 2 se 75 % kávové sedliny. Můžeme tedy konstatovat, že u našeho pokusu přidavek slaměných pelet snižoval měrnou vodivost. Nejvyšší měrné vodivosti byly u vermikompostéru č. 2, 4 a 5 naměřeny u nejstarších čtvrtých vrstev. To může být dle Sharmy (2003) a Togneti et al. (2005) způsobeno tím, že se při rozkladu organické hmoty uvolňují do vermikompostu soli a minerály ve formě kationtů. U vermikompostérů č. 2 a 3 byla naopak nejvyšší měrná vodivost stanovena v nejmladší první vrstvě pravděpodobně z důvodu nedostatečného zpracování biomasy. U pokusu Liu et al. (2011) se 100 % kávové sedliny byla naměřena měrná vodivost 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, u našeho vermikompostéru č. 1 se stejným poměrem kávy byla hodnota u třetí vrstvy, která zhruba odpovídá 79 dnům vermikompostování, o něco vyšší a průměrně dosahovala 776 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ve vermikompostéru Liu et al. (2011) s 80 % kávové sedliny a 20 % kartonu byla stanovena měrná vodivost průměrně 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. V našem vermikompostéru č. 2 s obdobným poměrem kávové sedliny (75 %) byla ve třetí vrstvě stanovena měrná vodivost 806 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Přidavek slaměných pelet tedy v kombinaci s kávovou sedlinou zvyšuje měrnou vodivost oproti přidavku rozdrčeného kartonu.

Ndegwa et al. (2001) tvrdí, že znalost poměrů C:N je pro efektivnost a kvalitu procesu vermikompostování velmi důležitá a za nejvhodnější poměr pro mikrobiální rozklad považuje C:N – 25:1. Tento poměr je ideální tam, kde vermikompostovací proces stále probíhá. V našem pokusu se tedy jedná o nejmladší čtvrté vrstvy. Této hodnoty však nedosáhla žádná námi zkoumaná varianta. Průměrné hodnoty C:N se u našeho pokusu pohybovaly v rozmezí od 8,45:1 u vermikompostéru č. 1 se 100 % kávové sedliny do 15,18:1 u vermikompostéru č. 4. s 25 % kávové sedliny. Vyšší C:N u varianty s 25 % kávové sedliny bylo způsobeno vysokým zastoupením pelet, které mají C:N 75:1. Ve většině variant se poměr C:N zvyšoval od nejstarší po nejmladší vrstvu. Skutečnost, že není poměr C:N při vermikompostování stálý a neustále se mění, dokazuje i Nagavallema et al. (2004), který tvrdí, že je to zapříčiněno například metabolickými procesy u žížal, které zvyšují obsah dusíku nebo dýcháním, kdy dochází k úniku uhlíku ve formě CO_2 . Adi a Noor (2009) měli ve svém vermikompostéru se 70 % kávové sedliny a 30 % koňského hnoje po 49 dnech vermikompostování hodnotu C:N 7,4:1. V porovnání s naší čtvrtou nejmladší vrstvou vermikompostéru č. 2 (75 % kávy,

25 % pelet), která měla C:N 10:1, byl poměr s příměsí kravského hnoje nižší. Liu et al. (2011) měl ve vermikompostěru se 100 % kávové sedliny průměrné C:N 18:1, v naší třetí vrstvě vermikompostěru se stejným poměrem kávy bylo C:N výrazně nižší a dosahovalo hodnot 8,5:1. Stejně tak ve vermikompostěru Liu et al. (2011) s 80 % kávové sedliny a 20 % kartonu byl poměr C:N - 24:1 dvojnásobně vyšší než u naší varianty se 75 % kávové sedliny a 25 % pelet. Přídavek kartonu tedy zjevně zvyšuje ve vermikompostu C:N ještě více než přídavek slaměných pelet. Podle Garg & Gupta (2009) značí poměr C:N pod 20:1 vyzrálý a stabilizovaný vermikompost. Dle Morais et al. (2003) je poměr C:N nižší než 15:1 výhodnější. To v našem případě splňují všechny starší zralé vrstvy zkoumaných vermikompostů.

Nejvyšší počet celkových prvků byl registrován u vermikompostěru č. 2 se 75 % kávové sedliny. Obsahy celkového draslíku, fosforu a hořčíku dle Wani et al. (2013) a Garge et al. (2006) stoupají díky rozkladu organické hmoty se zvyšujícím se stářím vermikompostu. Toto tvrzení se v našem pokusu potvrdilo pouze u vermikompostěru č. 4 s 25 % kávové sedliny a kontrolního vermikompostěru č. 5 bez žížal, kde byly obsahy celkových prvků ve starších vrstvách vyšší. Kromě celkového hořčíku, který je naopak v nejstarší vrstvě nejmenší, odpovídá tomuto tvrzení i vermikompostěr č. 2 se 75 % kávové sedliny. Ze zkoumaných celkových prvků dosahoval u všech variant vermikompostů stejně jakou u vstupních surovin nejvyšších hodnot draslík, který se pohyboval průměrně v rozmezí od 18000 do 20000 mg/kg. Toto tvrzení se nepotvrdilo u pokusu Adi a Noora (2009), kteří měli ve výsledném vermikompostu (70 % kávové sedliny, 30 % hnoje) nejvyšší zastoupení vápníku 10000 mg/kg oproti draslíku 9900 mg/kg. Vápník se v našem pokusu pohyboval, kromě vermikompostěru č. 1, kde byl obsah nižší, okolo 4500 – 5000 mg/kg. Obsah fosforu 2900 mg/kg a hořčíku 2800 mg/kg v pokusu Adi a Noora (2009) zhruba odpovídá našim hodnotám u srovnatelné vrstvy vermikompostěru se 75 % kávové sedliny a 25 % pelet. U pokusu Liu et al. (2011) byl u varianty s 80 % kávové sedliny a 20 % hnoje obsah celkového P 750 mg/kg, K 2500 mg/kg, Ca 4100 mg/kg a Mg 1250 mg/kg. Z těchto hodnot odpovídá našim výsledkům jen vápník, který se ve srovnatelném vermikompostěru se 75 % kávové sedliny pohyboval okolo stejných hodnot, u ostatních prvků byly naměřeny v našich variantách mnohem vyšší celkové obsahy.

Dle Khwairakpam & Bhargava (2009) dochází během vermikompostovacího procesu k navýšení přístupných živin. Dle tohoto tvrzení by měly být v nejstarších vrstvách nejvyšší obsahy přístupných prvků. To se v našem pokusu vyjma hořčíku, který vykazoval u všech variant opačný trend, potvrdilo u vermikompostěru č. 1 se 100 % kávové sedliny

a vermikompostéru č. 3 s 50 % kávové sedliny, kde tvořily přístupné obsahy u nejstarších vrstev 56 – 68 % ($P_{\text{přís.}}$) a 51 – 77 % ($K_{\text{přís.}}$). Ve všech variantách tvořil nejnižší procento přístupných prvků hořčík. Obsahy celkových i přístupných prvků vykazovaly v našem pokusu ve srovnání s kontrolní variantou bez žížal obdobné hodnoty. Kontrolní vermikompostér č. 5 (50 % kávové sedliny, 50 % pelet) měl v porovnání s vermikompostérem č. 3 (50 % kávové sedliny, 50 % pelet) se žížalami o něco nižší obsahy všech celkových i přístupných prvků. Příklad žížal měl tedy pozitivní vliv na nárůst obsahu námi zkoumaných prvků.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověřit, zda se kávová sedlina hodí k vermikompostování v systému průběžného krmení žížal a poté zhodnotit biologické a agrochemické vlastnosti vermikompostu a určit nejvhodnější variantu.

Ze stanovených hypotéz se potvrdily všechny tři.

1. Parametry jednotlivých vrstev, kde byla v různých poměrech vermikompostována kávová sedlina, se od sebe v průběhu stáří lišily.
2. Vyšší počet i biomasa žížal byla ve všech variantách zjištěna v nejmladších čtvrtých vrstvách.
3. Přídavek slaměných pelet měl pozitivní vliv na vermikompostování kávové sedliny.

Dle zjištěných parametrů měla přítomnost slaměných pelet pozitivní vliv na počet a biomasu žížal, která byla nejnižší ve variantě, kde bylo 100 % kávové sedliny a výrazně nejvyšší ve variantě, kde bylo 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet. Přídavek slámy měl pozitivní vliv i na pH, které vzrostlo z 6,6 (100 % kávové sedliny) na 7,7 (25 % kávové sedliny, 75 % pelet). U celkových prvků byly hodnoty napříč variantami velmi podobné a všude byl stanoven nejvyšší obsah celkového draslíku. U přístupných prvků byl však nejvyšší obsah u první varianty se 100 % kávové sedliny, kde u fosforu tvořily téměř 60 % z celkového P a u draslíku 50 % z celkového K. Poměr C:N se se zvyšujícím poměrem slaměných pelet zvyšoval a nejvyšší (15:1) byl tedy registrován u varianty s 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet.

Jako nejvhodnější varianta pro vermikompostování kávové sedliny se dle zjištěných parametrů počtu a biomasy žížal jeví poměr 25 % kávové sedliny a 75 % pelet (1704 ks/kg, 132 g/kg). Dobré vlastnosti (sušina 18,2 - 20 %; pH 6,6 - 7,3; EC 762 - 939 $\mu\text{S/cm}$, C:N 8,5:1 - 11:1) a hodnoty celkových i přístupných prvků vykazují i varianty s větším zastoupením kávy, ale především ve variantě se 75 % a 100 % kávové sedliny byl velký problém v zahřívání materiálu a tím docházelo k značnému úhynu žížal. Pro tyto poměry by tedy bylo vhodné materiál nejdříve předkompostovat a tím zabránit kontaktu žížal s vysokými teplotami nebo přidávat sedlinu častěji po velmi slabých vrstvách. Zároveň můžeme dle výsledků konstatovat, že se námi sledované konkrétní parametry v kontrolním vermikompostéru oproti variantám s žížalami celkově příliš nelišily. Výsledky se však mohou lišit například u enzymatické aktivity, huminových látek, růstových látek nebo mikrobiot, které se zde však netestovaly, a tak nemůžeme komplexně určit, zda měl přídavek žížal pozitivní vliv. Pro podniky, které produkují velké množství kávové sedliny a chtějí

ji zpracovat pomocí vermikompostování, by bylo vhodné přidat buď vysoký poměr slaměných pelet, což by se ale ekonomicky příliš nevyplatilo, nebo kávovou sedlinu předkompostovat.

7 Seznam použité literatury

Abbasi SA, Nayeem-Shah M, Abbasi T. 2015. Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions. *Journal of Cleaner Production* 93: 103 – 114.

Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences* 3: 905-917.

Adi A, Noor Z. 2009. Waste recycling: utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresorce Technology* 100: 1027–1030.

Air 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.

Borkovcová M, Žáková M. 2015. *Biologie pro odpadové hospodářství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Brendan J, Huynh T. 2018. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: A review . *Resources, Conservation & Recycling* 128: 110–117.

Částková T, Hanč A. 2017. Change of the parameters of layers in a large-scale grape marc vermicomposting system with continuous feeding. *Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium*: 11.

Cruz RS, Morais E, Mendes J, Pereira A, Baptista P, Casal S. 2014. Improvement of vegetace selemental quality by espresso coffeeresidues. *Food Chemistry* 148: 294-299.

Domínguez J, Edwards CA. 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century*: 369-395.

Domínguez J, Aira M, Gómez-Brandón M. 2011a. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. Pages 93-114 in Insam H, Franke-Whittle I, Goberna M, editors. *Microbes at work*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.

Domínguez J, Edwards CA. 2011b. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. Pages 25-37 in Arancon NQ, Sherman RL, editors. Vermiculture Technology, Earthworms, Organic Wastes and Environmental Management. CRC Press, Boca Raton.

Edwards CA. 1988. Breakdown of animal, vegetative and industrial organic wastes by earthworms. Pages 21-31 in Edwards CA, Neuhauser EF, editors. Earthworms in waste and environmental management. SPB Academic, Hague.

Edwards CA, Arancon NQ, Sherman R. 2011a. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. CRC Press, Boca Raton.

Edwards CA, Subler S, Arancon NQ. 2011b. Quality criteria for vermicomposts. Pages 287-301 in Arancon NQ, Sherman RL, editors. Vermiculture Technology Earthworms, Organic Waste and Environmental Management. CRC Press, Boca Raton.

Elvira C, Sampedro L, Benitez E, Nogales R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study. *Bioresource Technology* 63: 205–211.

Esquivel P, Jiménez VM. 2012. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International* 46: 488- 495.

Flack FM, Hartenstein R. 1984. Growth of the earthworm *Eisenia foetida* on microorganisms and cellulose. *Soil Biology and Biochemistry* 16: 491-495.

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

Garg VK, Gupta R. 2009. Vermicomposting of agro-industrial processing waste. Pages 431-329 in Singh NP, Pandey A, editors. *Biotechnology for agro-industrial residues utilisation*. Springer, Dordrecht.

- Gunadi B, Edwards CA, 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity, and survival of *E. Fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiology* 47: 321–329.
- Hanč A, Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Hlavatá M. 2006. Odpadové hospodářství, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- Huang K, Li F, Wei Y, Fu X, Chen X. 2014. Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource technology* 170: 45-52.
- Hussain N, Singh A, Saha S, Kumar MVS, Bhattacharyya P, Bhattacharya SS. 2016. Excellent N-fixing and P-solubilizing traits in earthworm gut-isolated bacteria: A vermicompost based assessment with vegetable market waste and rice straw feed mixtures. *Bioresource Technology* 222: 165-174.
- ICO 2017. International coffee organization: Total production by all exporting countries. ICO. Available from <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf> (accessed January 2018)
- Jamaludin AA, Mahmood NZ. 2010. Effects of vermicomposting duration to macronutrient elements and heavy metals concentrations in vermicompost, *Sains Malaysiana* 39: 711-715.
- Kadlec P. 2002. Technologie potravin II. VŠCHT, Praha.
- Khwairakpam M, Bhargava R. 2009. Vermitechnology for sewage sludge recycling. *Journal of Hazardous Materials* 30: 948-954
- Kondamudi N, Mohapatra SK, Misra M. 2008. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 56:11757–11760.

Liu K, Price GW, Evaluation of free composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource Technology* 102: 7966-7974.

Marsh L, Subler S, Mishra S, Marini M. 2005. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting, *Bioresorce Technology* 96: 413-418.

Ministerstvo životního prostředí. 2008. Vyhláška č. 341 ze dne 26. srpna 2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Page 5251 in *Sbírka zákonů České republiky*, 2008, částka 110. Česká republika.

Monry F, Aira M, Domínguez J. 2008. Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (*Oligochaeta*). *Applied Soil Ecology* 39: 127-132.

Morais FMC, Queda CAC. 2003. Study of storage influence on evolution of stability and maturity properties of MSW compost. Proceedings of the fourth International Conference of ORBIT association on Biological Processing of Organics : Advances for a sustainable Society Part II. Perth, Australia.

Munroe G. 2007. Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture. Organic Agriculture Centre of Canada, Canada. Available from http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31642564/vermiculture_farmersmanual_gm.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1489578705&Signature=Bd3s844ejhRYkMhe%2BiM69UcO4OY%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3Dvermiculture_farmersmanual_gm.pdf (accessed Januar 2019).

Murthy PS, Mahdava Naidu M. 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45-58.

Nagavallema KP, Wani SP, Lacroix S, Padmaja VV. 2004. Vermicomposting: Recycling Wastes into Valuable Organic Fertilizer. *Global Theme on Agroecosystems Report no.*

8. Monograph. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, Andhra Pradesh.

Nair J, Sekiozoic V, Anda M. 2006. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology* 97: 2091-2095.

Ndegwa PM, Thompson SA. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource technology* 76: 107-112.

Obruca S, Benesova P, Petrik S, Oborna J, Prikryl R, Marova I. 2014. Production of polyhydroxyalkanoates using hydrolysate of spent coffee grounds. *Process Biochemistry* 49: 1409-1414.

Pandey A, Soccol C, Nigam P, Brand D, Mohan R, Rousos S. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal* 6: 153-162.

Pecl K. 2007. Jednička mezi hnojivy Vermikompost. *Zahradnictví* 8: 24.

Pelupessy W. 2003. Environmental issues in the production of beverages: global coffee chain. Pages 95-115 in Mattsson B, Sonesson U, editors. *Environmentally-friendly food processing*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Pižl V. 2002. Žížaly České republiky. *Sborník Přírodovědného klubu v Uherském Hradišti, Uherské Hradiště*.

Plíva P, Altmann V, Hanč A, Hejátková K, Roy, Souček J, Valentová L. 2016. *Kompostování a kompostárny*. Profi Press, Praha.

Plíva P, Jelínek A, Kollárová M, Marešová K. 2009. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. Profi Press, Praha.

Pommeresche R, Hansen S, Løes AK, Sveistrup T. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. *Bioinstitut a Bioforsk Organic, Olomouc*.

Pramanik P Ghosh GK, Ghosal PK, Banik P. 2007. Changes in organic – C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology* 98: 2485-2494.

Pujol D, Gominho LJ, Olivella MA, Fiol N, Villaescusa I, Periera H. 2013. The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products* 50: 423-429.

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

Safarik I, Horska K, Svobodova B, Safarikova M. 2012. Magnetically modified spent coffee grounds for dyes removal. *European Food Research and Technology* 234: 345–350.

Sharma S. 2003. Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworms. *Bioresource Technology* 90: 169-173.

Sharma S, Pradhan K, Satya S, Vasudevan P. 2005. Potentiality of earthworms for waste management and in other uses – A review. *The Journal of American Science* 1: 4-16.

Singh MK. 2014. *Handbook on Vermicomposting: Requirements, Methods, Advantages and Applications*. Anchor Academic Publishing, Hamburg.

Singh NB, Khare AK, Bhargava DS, Bhattacharya S. 2005. Effects of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus*. *Applied Ecology and Environmental Research* 4: 85-97.

Sinha RK, Agarwal S, Chauhan K, Chandran V, Soni BK. 2010. Vermiculture Technology: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin for Scientific Use of Earthworms in Sustainable Development Programs. *Technology and Investment* 1: 155 – 172.

Sinha RK, Herat S, Valani D, Chauhan K. 2009. The concept of sustainable agriculture: an issue of food safety and security for people, economic prosperity for the farmers and

ecological security for the nations. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 5: 1-5

Sinha RK, Nair J, Bharambe G, Patil S, Bapat P. 2008. Vermiculture revolution: a low-cost and sustainable technology for management of municipal and industrial organic wastes (solid and liquid) by earthworms with significantly low greenhouse gas emissions. Pages 159-227 in Daven JI, Klein RN, editors. *Progress in waste management research*. Nova Science Publishers. New York.

Slejška A. 2014. Biom: Možnosti snižování množství skládkovaných BRKO. *Biom*. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-snizovani-mnozstvi-skladkovanych-brko> (accessed Februar 2018).

Stahl H, Turek E. 1991. Acid hydrolysis of spent coffee grounds to produce D-mannose and D-mannitol. *ASIC Colloquium*. ASIC, Paris.

Sulzberger R, Minátová Š. 1996. *Kompost, půda, hnojení. Příroda*, Bratislava.

Suthar S. 2006. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Bioresource Technology* 97: 2474–2477

Tognetti C, Laos F, Mazzarino MJ, Hernandez MT. 2005. Composting vs. vermicomposting: a comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization* 13: 6-1.

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia, Praha.

Váňa J. 1994. *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Rostlinná výroba. Praha.

Wang KL, Hung YT, Li, KH. 2007. Vermicomposting process. *Handbook of environmental engineering: biosolids treatment process*. The Humana Press Inc, New Jersey.

Wani KA, Mamta Rao RJ. 2013. Bioconversion of garden waste, kitchen waste and cow dung into value-added products using earthworm *Eisenia fetida*. *Saudi Journal of Biological Sciences* 20: 149-154.

Wiersum KF, Gole TW, Gatzweiler F, Volkmann J, Bognetteau E, Wirtu O. 2008. Certification of wild coffee in Ethiopia: experiences and challenges. *Forest, Trees Livelihoods* 18: 9–21.

Wyman Ch, Decker S, Himmel M, Brady J, Skopec C, Vikarri L. 2004. *Hydrolysis of Cellulose and Hemicellulose*. CRC Press, Hoboken.

Yadav A, Garg VK. 2011. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 10: 43-276.

Zajnoc I. 1992. *Chov žížal a výroba vermikompostu*. Animapress, Povoda.

Zhang J, Lü F, Shao L, He P. 2014. The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. *Bioresource Technology* 168: 252-258.

8 Přílohy



Obr. č. 1: Vermikompostér č. 1 se 100 % kávové sedliny



Obr. č. 2: Vermikompostér č. 3 s 50 % kávové sedliny a 50 % slaměných pelet (foto vlastní)



Obr. č. 3: Vermikompostér č. 4 s 25 % kávové sedliny a 75 % slaměných pelet (foto vlastní)



Obr. č. 4: Vybírání žížal ze vzorků (foto vlastní)



Obr. č. 5: Měření PH a ORP (foto vlastní)



Obr. č. 6: Mlýn, na kterém byly namlety všechny vzorky (foto vlastní)