

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Kompostovatelnost nepromastitelného balicího papíru

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Michaela Landovská

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 „Kompostovatelnost nepromastitelného balicího papíru“ 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. a konzultantce Ing. Tereze Hřebečkové za cenné rady, vstřícnost a věnovaný čas.

Kompostovatelnost nepromastitelného balicího papíru

Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo určit míru kompostovatelnosti nepromastitelného potravinářského balicího papíru a zhodnotit výsledný produkt dle legislativních požadavků. Papír byl kompostován v elektrickém kompostéru GreenGood a vermikompostován ve vermikompostérech Worm Factory. Posuzovány byly v každém pokusu tři varianty, které se od sebe lišily přidanou vstupní surovinou (jablečné výlisky, koňský hnůj, substrát s extremofilními organismy). Kompostování jedné varianty v zařízení GreenGood trvalo vždy pět dní. Vermikompostování pomocí žížal *Eisenia andrei* probíhalo čtyři měsíce. Žádný další materiál se již do probíhajícího pokusu nepřidával, byla regulována pouze vlhkost. V průběhu obou experimentů byly odebírány vzorky pro zjištění rozpadavosti kompostovaného materiálu a na konci obou experimentů byly odebrány vzorky pro agrochemické analýzy. Hodnocené agrochemické parametry byly hodnota pH, měrná vodivost, poměr C:N, zastoupení sušiny, obsah rizikových prvků, celkové obsahy Mg, P, K, C, N, Ca a přístupné obsahy Mg, P, K. Dále byla zjišťována biomasa, počet žížal a fytotoxicita ve vermikompostovaném materiálu.

Vermikompost splnil veškeré legislativní požadavky pouze ve variantě s přidaným koňským hnojem. Dle agrochemických a biologických vlastností se vermikompost z tohoto materiálu jevil jako nejlepší pro hnojení. Vermikompost na bázi papíru a jablečných výlisků nespĺnil ČSN 465736 Vermikomposty pouze v obsahu fosforu, což bylo dáno nízkým obsahem fosforu v papíru a jeho velkým zastoupením (50 % obj.) v počáteční směsi.

Z výsledných hodnot pH a měrné vodivosti vyplynulo, že materiál z elektrického kompostéru nebyl vhodný pro hnojení. Bylo to způsobeno zastoupením kyselého a zasoleného substrátu pocházejícího z gastro odpadu v počáteční směsi. Využívání elektrického kompostéru bylo naopak vhodné k poměrně rychlé redukci papírového odpadu.

Bylo zjištěno, že nepromastitelný papír používaný pro balení potravin je kompostovatelný i vermikompostovatelný. Lze tak usuzovat zejména z výsledků rozpadavosti, kdy byla ve všech případech splněna legislativní norma.

Klíčová slova: nepromastitelný balicí papír, kompostovatelnost, kompost, vermikompost

Compostability of greaseproof wrapping paper

Summary

The aim of this thesis was to determine the degree of compostability of greasy food wrapping paper and evaluate the resulting product according to legislative requirements. The paper was composted in a GreenGood electric composter and vermicomposted in a Worm Factory vermicomposter. Three variants were considered in each experiment, which differed from each other by the added feedstock (apple pomace, horse manure, substrate with extremophilic organisms). It took five days to compost one variant in the GreenGood. *Eisenia andrei* earthworm vermicomposting took four months. No additional material was added to the ongoing experiment, only moisture was controlled. Samples were taken during the both experiments to determine the disintegration of the composted material and other samples were taken at the end of both experiments for agrochemical analysis. These agrochemical parameters were pH value, specific conductivity, C: N ratio, dry mass content, risk element content, total Mg, P, K, C, N and Ca contents and available contents of Mg, P, K. Furthermore, biomass, earthworms and phytotoxicity were investigated in vermicomposted material.

Vermicompost only fulfilled all legislative requirements in the version with added horse manure. According to agrochemical and biological properties, vermicompost of this material appeared to be the best for fertilization. Vermicompost based on paper and apple pomace did not comply with ČSN 465736 Vermikomposty only in the content of phosphorus, which was due to the low content of phosphorus in the paper and its high proportion (50% by volume) in the initial mixture.

The resulting values of pH and specific conductivity indicated that the material from the electrical composter was not suitable for fertilization. This was due to the presence of acidic and salted substrate from the gastro-waste in the initial mixture. On the other hand, the use of an electric composter was suitable for a relatively rapid reduction of paper waste.

It has been found that greaseproof paper used for food packaging is both compostable and vermicompostable. The results of disintegration can be inferred when the legislative standard was met in all cases.

Keywords: greaseproof wrapping paper, compostability, compost, vermicompost.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
2.1	Vědecké hypotézy	2
2.2	Statistické nulové hypotézy	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Kompostování	3
3.1.1	Materiály vhodné a nevhodné pro kompostování	6
3.1.2	Kompost	8
3.2	Vermikompostování	9
3.2.1	Materiály vhodné a nevhodné pro vermikompostování	12
3.2.2	Vermikompost	12
3.3	Legislativní požadavky	13
3.4	Obalový materiál	14
3.4.1	Vlastnosti papíru	15
3.4.2	Výroba papíru	16
3.4.3	Zpracování použitého papíru	17
4	Materiál a metody	20
4.1	Popis pokusů	21
4.1.1	Kompostování v elektrickém kompostéru GreenGood	21
4.1.2	Vermikompostování ve vermikompostérech Worm Factory	22
4.2	Agrochemické a biologické analýzy	25
4.3	Statistické analýzy	26
5	Výsledky	27
5.1	Vstupní suroviny	27
5.2	Kompostovatelnost v elektrickém kompostéru	30
5.2.1	Agrochemické analýzy	30
5.2.1.1	Obsahy rizikových prvků	33
5.2.2	Rozpadavost kompostovatelného materiálu	34
5.3	Kompostovatelnost pomocí žížal	36
5.3.1	Agrochemické analýzy	36
5.3.1.1	Obsahy rizikových prvků	40
5.3.1.2	Biomasa žížal	41
5.3.2	Test fytoxicity	44
5.3.3	Rozpadavost kompostovaného materiálu	45
6	Diskuze	47

7 Závěr	51
8 Literatura.....	52
9 Přílohy.....	I

1 Úvod

Řešení problémů s nakládáním různých druhů odpadů nabývá na významnosti. Zejména v posledních desetiletích, kdy je stále rostoucí přístup k industrializaci a světová populace narůstá rychleji než kdy dříve. Tím, že se zvyšuje životní úroveň lidí, nabývá i produkce odpadů. Vzniklé odpady přispívají k vyčerpávání přírodních zdrojů a znečištění životního prostředí. Míra předcházení vzniku odpadů a recyklace by mohla být efektivnější. Využívání možnosti skládkování znehodnocuje materiál a je sníženo využití materiálu. Priority v oblasti nakládání s odpady jsou v sestupném pořadí předcházení vzniku odpadů, opětovné využití, recyklace, energetické využití a skládkování (Minelgaitė & Liobikiėnė 2019). Negativní vliv pevného komunálního odpadu na životní prostředí je zřejmý a velmi aktuální. Odpadní papír, který je biologicky rozložitelný, je nezanedbatelnou složkou komunálního odpadu a ten přitom bývá bez využití skládkován. Hlavní biologicky odbouratelnou frakcí odpadního papíru je celulóza (Ndlovu & Wyk 2019).

V komunálních odpadech se běžně vyskytuje biologicky rozložitelný odpad z domácností, který významně ovlivňuje rozkladné procesy již ve sběrných nádobách. Pro snížení objemu organického odpadu na skládkách je vhodné organické odpady kompostovat, zároveň tímto způsobem vznikne kvalitní stabilní hnojivo, kterým lze vrátit živiny do půdy. Kompostování může probíhat několika způsoby dle potřeb na prostory a požadovaný výsledný produkt. Účinnost kompostování je ovlivněna stabilitou a zralostí kompostu. Jedna z důležitých podmínek, jak dosáhnout kvalitního kompostu je správná skladba vstupních surovin pro jejich vhodný poměr C:N (Kucbel et al. 2019). Ten lze vyrovnat homogenizací vstupních surovin před zahájením procesu kompostování (Kotoulová & Váňa 2001).

Spotřeba papíru byla v České republice v roce 2018 cca 150 kg na každého občana (Lešikar 2019). Řešení využitelnosti odpadního papíru je nanejvýše aktuální téma, protože spotřeba papíru a lepenky oproti předešlým rokům vzrostla. Celkově byla spotřeba papíru a lepenky v roce 2018 cca 1,55 milionů tun. Pro rok 2019 je očekáváno pokračování trendu zvyšování spotřeby papíru, zejména produkcí obalových materiálů a hygienických papírů (Ševčík 2019).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo určit míru kompostovatelnosti nepromastitelného balicího papíru a zhodnotit výsledný produkt. Posuzovány byly tři varianty z elektrického kompostéru a tři varianty z vermikompostéru. Varianty se od sebe lišily přidanou vstupní surovinou (jablečné výlisky, koňský hnůj, substrát s extremofilními organismy).

2.1 Vědecké hypotézy

1. Nepromastitelný potravinářský papír je kompostovatelný.
2. Výsledný kompost a vermikompost splňují legislativní požadavky.

2.2 Statistické nulové hypotézy

1. Rozpadavost materiálu je více než 90 %.
2. Mezi jednotlivými vermikompostéry není rozdíl v počtu žížal.
3. Mezi jednotlivými vermikompostéry není rozdíl v biomase žížal.

3 Literární rešerše

3.1 Kompostování

Kompostování je přirozená, udržitelná a vysoce přínosná metoda pro likvidaci biologicky rozložitelných materiálů (Zhang & Sun 2018). Tato metoda je definována jako aerobní fermentace zprostředkována mikroorganismy. Většina organických materiálů je přeměněna na stabilnější sloučeniny a humus (Sánchez et al. 2017).

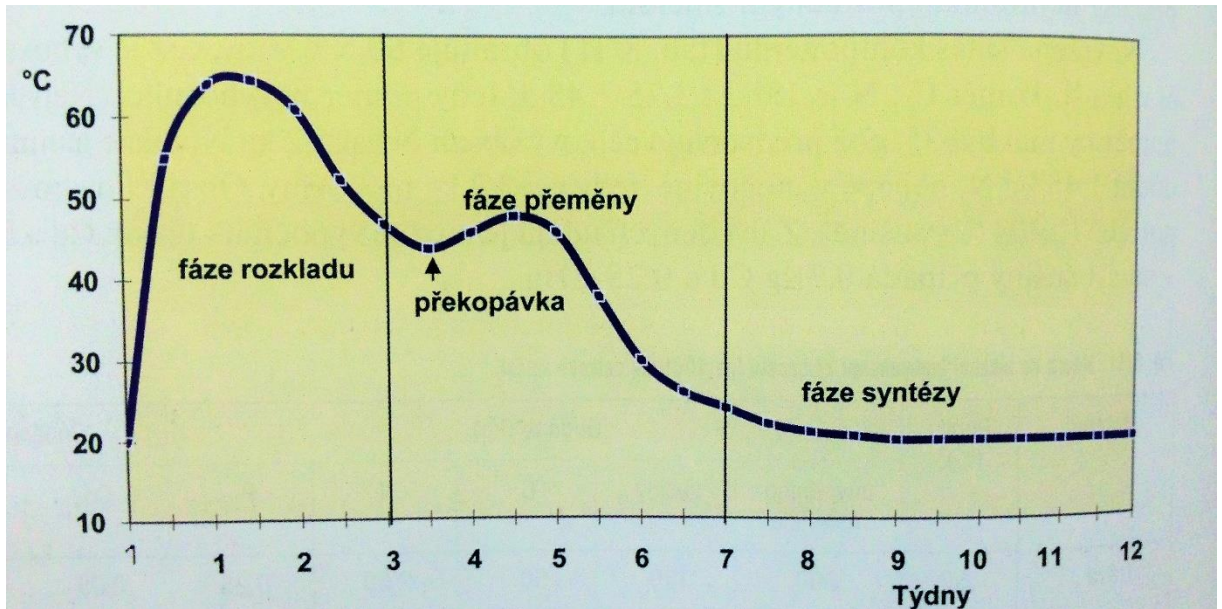
Kompostování a vermikompostování jsou nejznámější procesy pro biologickou stabilizaci tuhých organických odpadů (Lazcano et al. 2008). Při procesu kompostování můžeme rozlišit fázi termofilní a fázi zrání. Během první fáze dochází k intenzivnímu rozkladu a představuje aktivní fázi kompostování. Druhá fáze, tedy zrání, se vyznačuje poklesem teploty a zbývající organické sloučeniny jsou degradovány pomaleji. Doba trvání termofilní fáze závisí na vlastnostech odpadu (množství snadno rozložitelných odpadů) a na řízení kontrolních parametrů (provzdušňování a zalévání). Fáze zrání je též variabilní. Běžně se vyznačuje ztrátou fyto toxických sloučenin (Domínguez & Edwards 2010).

Proces kompostování je jednoduchý, poměrně levný a ekologicky šetrný způsob, jak se zbavit biologicky rozložitelného odpadu, a ještě k tomu získat využitelný homogenní kompost. Mezi přirozené půdní mikroorganismy, které umožňují proces kompostování a potřebují vzduch, patří některé druhy bakterií, kvasinek, hub a aktinomycet (Kalina 2004).

Průběh teplot je stěžejní a fáze kompostování lze rozdělit na mezofilní (10 až 40 °C) a termofilní (nad 40 °C). Po uplynutí těchto dvou částí procesu nastává pokles teplot. Pokud je kompost zralý a stabilizovaný, teplota se vyrovná s okolím. Teplota je určena aktivitou mikroorganismů – pokud neklesne na teplotu okolí, kompost není zralý a mikroorganismy jsou stále aktivní. Optimální rozmezí teplot pro rozkládání organických látek je 50 až 60 °C. Rozpětí může být i širší (43 až 65 °C) a je dáno druhem surovin. Zahubení nežádoucích patogenních mikroorganismů probíhá při teplotě větší než 55 °C (Domínguez et al. 1997; Plíva et al. 2006).

Dle Vaňka et al. (2012) jsou rozlišovány tři fáze kompostování (Obr. č. 1), a to fáze rozkladu, fáze přeměny a fáze syntézy. Ve fázi rozkladu probíhá velmi silný rozvoj mikroorganismů a teplota stoupá na cca 60 °C. Tato fáze, která trvá průměrně tři týdny, je významná pro hygienizaci materiálu. Během ní jsou hubeny nežádoucí patogenní mikroorganismy. Ve druhé fázi (fáze přeměny) vznikají nové organické sloučeniny a do nich jsou zabudovávány uvolněné látky. Konec této fáze je v osmém až desátém týdnu procesu,

kdy teplota pozvolně klesá. V poslední fázi (fázi syntézy, zrání) kompost dozrává. V tomto období je teplota kompostu vyrovnána s teplotou okolí. Jednotlivé fáze mohou trvat proměnlivě dlouho dle skladby surovin, které jsou kompostovány. Na Obr. 1 je zobrazena teplota a fáze kompostování v průběhu třech měsíců.



Obr. 1: Průběh teploty a fáze během kompostování (Vaněk et al. 2012).

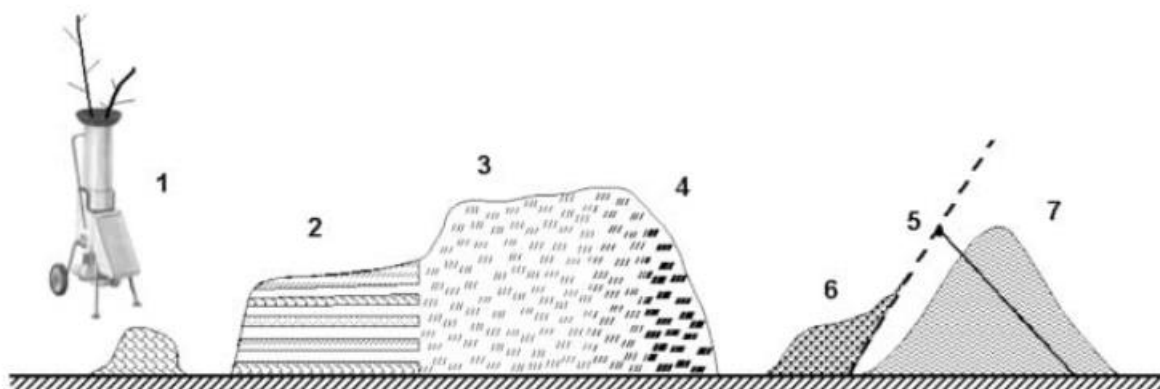
Během procesu kompostování je snížen obsah vody, celková hmotnost i objem. Organické sloučeniny jsou pomocí mikroorganismů rozkládány na jednodušší sloučeniny. Optimální průběh procesu je závislý na následujících faktorech: vhodně zvolená kompostovací technologie, vlastnosti kompostovaných surovin (fyzikální, chemické a mikrobiologické), receptura zakládky (správně řízený proces), úprava surovin před uložením na zakládku, doba procesu, monitorování procesu, finální zralost a stabilita produktu. Způsoby kompostování dle zvolené technologie: pásové hromady, plošné hromady, intenzivní kompostování (v bioreaktorech, v boxech), ve vacích, vermikompostování (Plíva et al. 2006).

Pro ideální průběh kompostování je nutné znát vlastnosti kompostovaných surovin a to zejména: teplotu, vlhkost, hodnotu pH, obsah živin, poměr C:N (vhodný poměr C:N surovin v čerstvém kompostu je 30-35:1), obsah kyslíku, mikrobiální aktivitu, pórovitost a velikost částic. Ve fázi zrání je část uhlíku přeměněna na oxid uhličitý, a proto je ve výsledném produktu poměr C:N 25-30:1 či dokonce nižší (Váňa 1997). Vybrané vlastnosti je nezbytné kontrolovat v průběhu kompostování (Vaněk et al. 2012).

V průběhu kompostovacího procesu je též nezbytné kontrolovat vlhkost hmoty. Ta je nezbytná pro život mikroorganismů a tím pro celý průběh kompostování. Vlhkost je možno regulovat závlahovým systémem, vždy se však lépe voda přidává než naopak. Proto je dobré při zakládání volit nejdříve spíše sušší suroviny (Kalina 2004).

Dle Plívy et al. (2006) je optimální vlhkost kompostu v rozmezí 50 až 60 %. Když vlhkost poklesne pod 40 %, dochází ke zpomalení mikrobiální aktivity. V případě vyšší vlhkosti než 60 % dochází k ucpávání pórů vodou a vzniká nežádoucí anaerobní prostředí. Pokud je vlhkost nadbytečná, začne docházet k nechtěným hnilobným procesům.

Organizace a technologie kompostování je dělena do následujících úrovní: domácí kompostování, komunitní kompostování a průmyslové kompostování. V případě domácího kompostování je tento proces prováděn nejčastěji v zakládkách (Obr. 2), či v kompostérech. Zakládky se obvykle umísťují do stinného místa a nabývají rozměrů ideálně 1 metr na výšku, 2 metry na šířku u země a délka je dle potřeby. Odpady je nutné míchat a zrající kompost překopávat, aby došlo k provzdušnění. Optimálně je zakládka překopávána tak, že materiál je vrácen na své původní místo. Během 9 až 12 měsíců je odpadní materiál přeměněn a stabilizován. Po uplynutí této doby je prováděno prosetí kompostu (síto 5 x 5 cm), nadsítné částice jsou vráceny na zakládku a podsítný produkt je využit jako hnojivo (Kotoulová & Váňa 2001).



- | | |
|------------------------------|---|
| 1 – drcení zahradního odpadu | 5 – síto |
| 2 – čerstvý kompost | 6 – nadsítná frakce pro zaočkování čerstvého kompostu |
| 3 – zrající kompost | 7 – prosátý kompost pro hnojení |
| 4 – vyžrálý kompost | |

Obr. 2: Domácí kompostování v zakládce (Kotoulová & Váňa 2001).

V úrovni zpracování komunálního bioodpadu z restaurací či jídelen je využíváno i elektrických kompostérů (Obr. 3). Technologie kompostování v elektrickém kompostéru GreenGood využívá činnosti mikroorganismů, které jsou odolné vůči rychlé změně teplot. V průběhu 24 hodin je díky teplotním cyklům a mikroorganismům přeměněn organický odpad z potravin na hnojivo – kompost. Mikroorganismy se v elektrickém kompostéru rozmnožují samovolně a nepotřebují dodávat žádné další látky. Tím je jejich životnost neomezená. Redukce bioodpadu je až 90 %. Je využíváno extrémofilních mikroorganismů z kmene *Firmicutes*. Mají schopnost působit při vysokých teplotách, v kyselém prostředí i při vyšších hodnotách salinity. V případě nedostatku potravy, vzduchu nebo při nízkých teplotách vytvářejí endospory, a tím přejdou do stavu, ve kterém přečkají nepříznivé podmínky. V elektrickém kompostéru je možno zpracovat: ovoce, zeleninu, sušenky, ryby a jejich kosti, nudle, rýže, maso, polévky, kuřecí kosti, skořápky od vajec, kompostovatelné bioplasty, kompostovatelné papírové obaly a papírové ubrusky (GreenGood 2014).



Obr. 3: Elektrický kompostér GreenGood (GG-10). Zdroj: <http://kompostovani-recyklace.cz/gg10.php>.

3.1.1 Materiály vhodné a nevhodné pro kompostování

Dle Kaliny (2004) a Vaňka et al. (2012) je možno kompostovat veškerý organický odpad, který vzniká v domácnosti a na zahradě. Suroviny vhodné pro kompostování jsou zbytky ze zeleniny a ovoce, rostlinné natě, tráva, listí, piliny, sláma a také drobné či nařezané větve. V případě kompostování hůře rozložitelných materiálů jako je např. sláma či piliny, je

vhodné doplnit do kompostovacího procesu statková hnojiva. Statková hnojiva jsou zdrojem dobře rozložitelných organických látek a vhodných mikroorganismů, které je nutno dodat do systému. Při kompostování na zahradách je takto možno využít hnůj domácích zvířat.

Kompostovat lze i produkty, které vznikají během údržby krajiny. Dále odpady vznikající při zemědělské výrobě během sklizně a při následných úpravách plodin. Vhodné je kombinovat dřevní a rostlinnou složku, aby proces probíhal dle požadavků a produkt byl kvalitní. Všechny materiály musí být nadrceny, či naštěpkovány, a musí být míchána hmota zelená se slamnatou, stará s čerstvou či suchá s vlhkou. Těmito úkony jsou vyrovnávány různé vlastnosti materiálů a vznikají vhodné podmínky (Kalina 2004; Plíva et al. 2016).

Nevhodné materiály ke kompostování jsou takové, které mohou obsahovat škodlivé látky a chemikálie. Velmi nevhodné je kompostování částí rostlin, které jsou napadeny chorobou. Zárodky některých chorob se během kompostování nezničí (např. monilie či nádorovitost kořenů košťálovin). Také semena některých plevelů nejsou vysokou teplotou zničena, a proto by mohlo docházet k jejich dalšímu množení (Kalina 2004; Sulzberger 2007). Pro lepší přehlednost jsou vhodné a nevhodné materiály uvedeny v následující tabulce (Tab. 2).

Tab. 2: Vhodné a nevhodné materiály ke kompostování (Váňa 1997; Kalina 2004; Sulzberger 2007; Vaněk et al. 2012)

Vhodné	Nevhodné
<ul style="list-style-type: none"> • rostlinné odpady ze zahrady (z rostlin, keřů i stromů, listí, tráva) • organické odpady z domácnosti (zbytky z ovoce, zeleniny, kávová sedlina, vaječné skořápky, popel ze dřeva v malém množství) • ostatní organické odpady (hnůj domácích zvířat, kejda, sláma, ovocné výlisky, piliny, hobliny) • odpadový papír 	<ul style="list-style-type: none"> • odpady z masa a ryb • cizorodé látky (sklo, umělé hmoty, kovy, textilie, kameny) • části rostlin, které jsou napadeny chorobou • plevele • popel z uhlí či briket • obsah sáčků z vysavače • fekálie

3.1.2 Kompost

Získaný produkt je kompost, který přispívá ke zlepšení fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností půdy (Sánchez et al. 2017). Tvorba a produkce kompostů je významným článkem v oblasti využívání biologicky rozložitelných odpadů, protože značně snižují jeho objem, navíc za přínosných okolností – vrácení živin a organických látek do půdy. Mají tedy značný agronomický, ekologický a hygienický význam (Vaněk et al. 2012). Kompost je hnědé, šedočerné, až černé barvy a nezapáchá. Kompost obsahuje živiny, které jsou pro rostliny v přístupné, humus a látky podporující růst rostlin – např. regulátory růstu a enzymy. Vpravením kompostu do půdy se zvyšuje její úrodnost (Kalina 2004). Kvalitní kompost je dobře rozložená organická hmota, která je stabilizována a částečně přeměněna na humusové látky (Vaněk et al. 2012).

Ideální poměr C:N zralého kompostu je 25-30:1 a nižší, v tomto případě je dosaženo vysoké agronomické účinnosti a stability (Váňa 1997). Hotový kompost by měl mít hodnotu pH 6 až 8,5 (Plíva et al. 2006).

V zemědělství je využíváno kompostů dle potřeby v dávkách 20-80 t/ha. V případě aplikace na ornou půdu je vhodné jen mělké zapravení. Jeho využití je zejména u plodin, které jsou náročné na organické hnojení, dále pro trvalé a travní porosty. Jsou velmi využívány před vysázením víceletých rostlin (např. při pěstování jahod, vinné révy či ovocných stromů) (Vaněk et al. 2012).

K hodnocení kvality kompostu je používán index klíčivosti. Tímto indexem lze zjistit, zda je kompost zralý či fytotoxický (Plíva et al. 2016). V následující tabulce (Tab. 1) jsou vysvětlivky k hodnotám výsledného indexu.

Tab. 1: Interpretace indexu klíčivosti (Plíva et al. 2016)

Hodnota indexu klíčivosti (%)	Typ kompostu
více než 100	schopnost stimulačních účinků
80–100	dobře zralý kompost
60–80	částečně zralý kompost
méně než 60	nezralý kompost

3.2 Vermikompostování

Suther & Singh (2008) definují pojem vermikompostování jako eko-biotechnologický proces, který přemění energeticky bohaté organické látky do stabilizovaného produktu, který obsahuje sekundární organickou hmotu, huminové kyseliny a humus.

Vermikompostování je proces, který zahrnuje chemické, fyzikální a biologické přeměny pevných organických materiálů (zemědělské zbytky rostlinného i živočišného původu) pomocí žížal a mikroorganismů (Gupta & Garg 2009). Současně dochází ke stabilizaci organických tuhých odpadů prostřednictvím žížal, které jsou hlavní hnací silou celého procesu (Lazcano et al. 2008; Lleó et al. 2013). Existuje několik vhodných druhů žížal, nicméně nejčastěji využívané jsou *Eisenia andrei* a *Eisenia foetida* (Khwhairakpam & Bhargava 2009).

Během procesu vermikompostování dochází ke vzájemnému působení žížal a mikroorganismů. Žížaly mají důležité schopnosti, které je třeba využít pro chtěný produkt – vermikompost. Substrát zejména překopávají, aerují a fragmentují. I díky tomu je zvyšována činnost mikroorganismů. Není potřeba materiál provzdušňovat jako v případě kompostování, protože tuto úlohu plní žížaly přirozeně (Domínguez et al. 1997; Ndegwa & Thompson 2001).

Pojem vermikompostování má původ v latinském slově vermis, které znamená červ. Tato technologie je nízkonákladová a velmi šetrná k životnímu prostředí. Pro správné fungování procesu je třeba vytvořit optimální podmínky (Hanč & Plíva 2013). Mezi nejzákladnější podmínky patří vlhkost (cca 80 %), dostatečný přísun vzduchu a teplota (Zajonc 1992). Dále je třeba zajistit adekvátní přísun zpracovávaných surovin a obsah solí. Nejvhodnější teplota je mezi 15 až 25°C. Pokud je teplota v tomto rozmezí spíše nižší, žížaly jsou stimulovány k větší konzumaci surovin. Pokud se teplota blíží spíše k 25 °C, žížaly se více rozmnožují. V případě, že teplota je nižší než 10 °C nebo vyšší než 25 °C dochází k výraznému snížení produktivity vermikompostování. Pokud je teplota vyšší než 35 °C, žížaly se snaží opustit prostředí a hynou (Plíva et al. 2016). Je vhodné vermikompostovat suroviny, které mají neutrální pH (Zajonc 1992). Nicméně žížaly jsou schopné upravit pH surovin díky vápenatým žlázám, které jim vyúsťují do jícnu (Plíva et al. 2016). Není zde zahrnuta fáze termofilního rozkladu. Tento faktor je rozlišující mezi vermikompostováním a klasickým kompostováním (Ndegwa & Thompson 2001). Žížaly přeměňují složení hmoty z odpadů na hnojiva. Snižuje se obsah organického uhlíku a poměr C:N (Bhat et al. 2018).

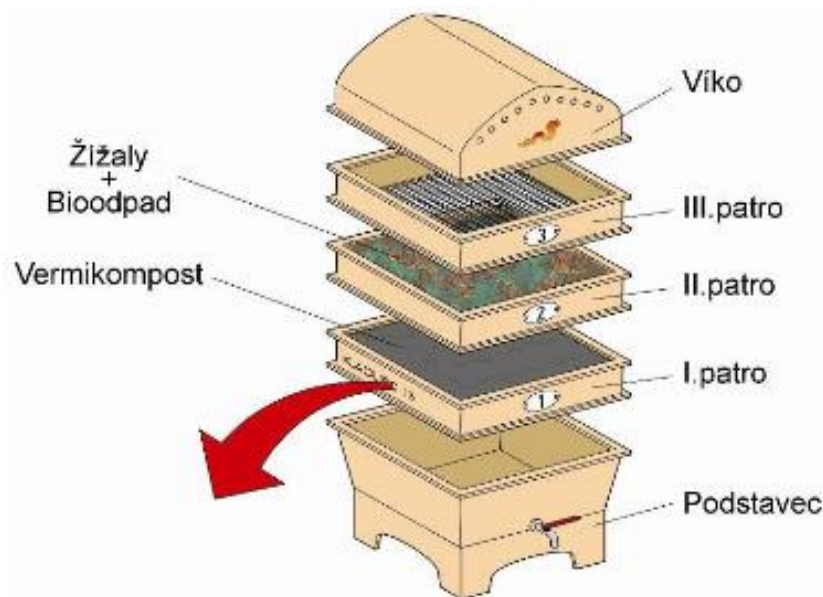
Žížaly zpracují odpad v jedné části a poté se přesunují k vrstvám s čerstvějším odpadním materiálem (Lores et al. 2006). Objem odpadu je snižován jako při kompostování, i když tento proces trvá déle (Domínguez et al. 1997).

Vermikompostování organických zbytků může probíhat v menší míře v domácím prostředí. Pro tento účel jsou používány malé vermikompostéry (Obr. 4). V opačném případě, kdy je vermikompostováno velkoprodukčně, jsou užívány jednoduché technologické systémy plošné nebo v ohraničených boxech. Mezi složitější systémy patří např. použití dvoumodulového vermireaktoru (Edwards 2010).



Obr. 4: Příklad domácího vermikompostéru. Zdroj: <http://www.urballive.cz/vermikomposter>.

Malé domácí vermikompostéry je možno využít například i v kancelářích. Takové kompostéry jsou vyráběny v plastovém či dřevěném provedení. Odpady jsou zpracovávány postupně v přidávaných patrech (Obr. 5). Je nutné zajistit stálou teplotu kolem 20 °C stupňů. Dna zásobníků jsou perforovaná a zajišťují tak odtok přebytečné vody a možnost žížal přelézt z jednoho patra do dalšího. Ve spodní části vermikompostéru je zásobník a ventil, který umožňuje shromažďovat výluh. Tento výluh je možno používat jako kapalné hnojivo. Je doporučováno výluh smíchat s vodou v poměru 1:9. Jako spodní vrstvu pro žížaly je možno použít trávu, listí, roztrhaný a vlhký papír či hobliny. Žížaly jsou dokrmovány jednou až dvakrát týdně (Kalina 2004; Hanč & Plíva 2013).



Obr. 5: Části domácího vermikompostéru (Hanč & Plíva 2013).

Vermikompostování na zahradách probíhá na vybetonovaném místě, aby žížaly neunikaly do půdy. Lze využít i silnější fólie. Je vhodné založit nízký záhon o výšce 30 až 40 cm z částečně zkompostovaného bioodpadu. Vhodný substrát pro záhon je takový, který obsahuje hnůj domácích zvířat zrající již 2-3 měsíce. Záhon je třeba dostatečně provlhčit, a i nadále regulovat vlhkost. Je doporučováno přidat cca 50 000 jedinců žížal na 1 m². Další bioodpad ke zpracování je možno přidat po 30 dnech a dále po každých 10 dnech. V zimním období probíhá vermikompostování v zatepleném místě nebo je nutno záhon dostatečně tepelně zabezpečit (např. přikrytím vrstvou slámy) a umožňovat větrání (Kotoulová & Váňa 2001; Kalina 2004).

3.2.1 Materiály vhodné a nevhodné pro vermikompostování

Vhodné a nevhodné materiály dle Kaliny (2004) a Váni (1997) jsou pro lepší přehlednost shrnuty v následující tabulce (Tab. 3).

Tab. 3: Vhodné a nevhodné materiály dle Kaliny (2004) a Váni (1997).

Vhodné	Nevhodné
<ul style="list-style-type: none">• zbytky ovoce a zeleniny• čaj• zbytky pečiva• kávová sedlina (i papírové filtry)• nadrcené skořápky• tráva, listy (menší vrstvy)• papírové kapesníčky	<ul style="list-style-type: none">• mléčné výrobky• maso• kosti• zbytky mastných jídel

Váňa (1997) dále uvádí, že nejvhodnějším krmivem je substrát z hnoje domácích zvířat, kejda, piliny, sláma, stromová kůra i papír. Dle Zajonce (1992) jsou žížaly schopny zpracovat všechny druhy organických odpadů, pokud jsou ve vhodné koncentraci a vhodně upraveny. Nejideálnější je, pokud mohou být tyto materiály předkompostovány. Do připraveného předfermentovaného substrátu je možno přidávat rostlinné zbytky, zbytky ovoce a zeleniny i dostatečně vlhký papír (Kotoulová & Váňa 2001).

Adhikary (2012) tvrdí, že nevhodné jsou nenadrcené vaječné skořápky, listy tabáku, cibule a česnek.

3.2.2 Vermikompost

Konečný produkt vermikompostování se nazývá vermikompost. Ten je považován za velmi přínosný, protože je homogenní a má sníženou úroveň kontaminantů (Ndegwa & Thompson 2001). Má jemnou strukturu podobající se rašelině (Domínguez et al. 1997). Tento produkt je bohatý na živiny vhodné pro rostliny a je bez zápachu. Je výsledkem kombinované aktivity mikroorganismů a žížal (Joshi & Vig 2010; Singh et al. 2011). Jedná se o materiál s dobrou strukturou, porézností, provzdušněním a se schopností udržovat vlhkost. Vermikompostem je možno dodat do půdy minerály a zároveň zlepšuje dostupnost živin (Domínguez et al. 1997; Kalina 2004). Jeho kvalita a vlastnosti jsou dány typem vstupní suroviny (Hanč & Drešlová 2016).

Vermikompost je aplikován obdobně jako jiná organická hnojiva, je přidáván do substrátů nebo přímo na půdu. Dávkování je různé dle aktuální potřeby plodin. Vermikomposty jsou ideálně přidávány v době růstu rostliny. V tomto období jsou živiny nejlépe využity a nejsou zbytečně vyplavovány do povrchových a podzemních vod (Kalina 2004). Pro pěstování rostlin v nádobách je vermikompost přimícháván v menším poměru do substrátu, optimálně tvoří vermikompost 15 až 20 % objemu substrátu (Zajonc 1997). V případě vyšších dávek může být růst naopak omezen (Kalina 2004).

3.3 Legislativní požadavky

Vyhláška č. 474/2000 Sb. o stavení požadavků na hnojiva určuje v 1. příloze limitní hodnoty rizikových prvků v hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech. Hodnoty pro organická a statková hnojiva se sušinou nad 13 % jsou uvedeny v následující tabulce (viz Tab. 4).

Tab. 4: Limitní hodnoty rizikových prvků v organických a statkových hnojivech se sušinou nad 13 % (eagri 2019).

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2	100	1	20	100	150	20	50	600

Dle požadavků normy ČSN EN 13432 je důležitá rozpadavost materiálu: „Po vystavení procesu kompostování po dobu nejvýše dvanáct týdnů nesmí projít více než 10 % původní sušiny zkoušeného materiálu sítím pro frakci $a > 2$ mm.“

Tato norma uvádí v příloze A maximální obsahy prvků v obalovém materiálu, jedná se o „těžké kovy a jiné toxické a nebezpečné látky“. Tyto maximální obsahy prvků jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5).

Tab. 5: Maximální obsah prvku v obalovém materiálu a v obalu jako ocelku

Prvek	mg/kg sušiny
Zn	150
Cu	50
Ni	25
Cd	0,5
Pb	50
Hg	0,5
Cr	50
Mo	1
Se	0,75
As	5
F	100

Konečný produkt, vermikompost, musí splňovat níže uvedené podmínky dle ČSN 46 5736 Vermikomposty. Tab. 6 uvádí Kvalitativní znaky a obsah živin ve vermikompostu.

Tab. 6: Kvalitativní znaky a obsah živin ve vermikompostu

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	50 až 70
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 35
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min. 1
Poměr C:N	max. 30
Hodnota pH	od 6 do 9
Nerozložitelné příměsi v %	max. 2
Celkový P ₂ O ₅ v sušině %	min. 0,6
Celkový K ₂ O v sušině %	min. 1

3.4 Obalový materiál

V současné době jsou téměř všechny potraviny prodávány v obalech. Obaly značně přispívají k bezpečnosti potravin. Mezi nejčastěji používané materiály patří plasty, papír, kov a sklo. Široké využívání papírových materiálů vyplývá zejména z nízké ceny a hmotnosti, široké dostupnosti a poměrně dobré mechanické pevnosti. Existuje mnoho forem papíru pro balení potravin, jako jsou krabice, tašky, vícevrstvé kartonové krabice či skládací krabice. Vzhledem k velmi porézní struktuře celulózy je papír propustný pro plyny a je vysoce hygroskopický. Potravinářské papíry jsou v kontaktu s potravinami při výrobě, zpracování, balení, přepravě, skladování nebo servírování. Při navrhování, výrobě a manipulaci

s potravinami je jedním z nejdůležitějších aspektů zajištění potravin a bezpečnosti spotřebitelů (Nowacka et al. 2018).

Dle Hanlona et al. (1998) jsou základní funkce obalových materiálů děleny do tří skupin. Jedná se o ochranu výrobku, vytvoření vhodné manipulační jednotky a úlohu vizuálně-komunikační. Výrobky je třeba chránit před nežádoucími vlivy okolí – fyzikálními, chemickými i biologickými. Musí být splněny hygienické nároky při výrobě, skladování a přepravě. Pro splnění druhé zmíněné funkce je třeba zajistit vhodný tvar, hmotnost a konstrukci pro přepravu do prodejen i pro spotřebitele. Úloha vizuálně-komunikační je důležitá, neboť je nositelem zásadních informací směřovaných ke spotřebitelům. Na potenciální kupující působí esteticky a má tak významný dopad na postavení výrobku na trhu.

3.4.1 Vlastnosti papíru

Papír je ohebný materiál používaný pro psaní, balení a různé specializované účely. Může být charakterizován obsahem vlhkosti, fyzikálními vlastnostmi, optickými vlastnostmi a dalšími kritérii v závislosti na jeho konečném použití (Bajpai 2018).

Papír je porézní materiál, který sestává převážně z rostlinných celulóзовých vláken. Tato vlákna mají kapilární strukturu a intenzivně absorbují vodu v kapalně i plynné fázi. Ve většině případů není tento jev pro kvalitu papíru přínosný. Nadměrná absorpce kapalné vody způsobuje, že je struktura papíru slabší a jde velmi těžko potisknout.

Schopnost absorbovat tekutinu v kontrolovaném procesu je velmi důležitá, neboť je vztažena k obalovým materiálům, kdy je nutné absorbovat inkoust během tisku. Zejména při vysokém rozlišení tisku je potřeba, aby inkoust zůstal přesně tam, kde byl aplikován. Proto jsou aplikovány hydrofobní přísady, které umožňují řídit interakci mezi vodou a papírem (Olejnik et al. 2018).

Papírové obaly jsou rozlišovány dle plošné hmotnosti. Obalový materiál označovaný jako papír je do plošné hmotnosti 150 g.m^{-2} , jako karton v rozmezí od 150 do 250 g.m^{-2} a jako lepenka nad 250 g.m^{-2} . Dále je papírenský materiál dělen na materiál foliový a hotové obaly (Čurda 1982).

Jako foliový materiál je označován například nepromastitelný papír. Tento druh papíru je široce využíván pro odolnost vůči mastnotám. Díky svým vlastnostem je velmi lehce potisknutelný a voskovatelný. Pokud je vhodným způsobem vrstvený s jinými materiály, lze dosáhnout vynikající ohebnosti, tvárnosti, pevnosti a nepropustnosti. Nepromastitelné papíry

na bázi pergamenu, mazlavé až polomazlavé mleté papíry (pergamin, pergamenová náhrada, havana) a vhodně impregnované papíry jsou ve styku s potravinami velmi často. Jsou používány například pro podlepení hliníkové fólie pro balení tuků v pevném stavu (máslo, margarín). Hotové obaly jsou děleny na měkké, polotuhé a tuhé. Měkké obaly jsou především sáčky a pytle. Polotuhé, či tuhé obaly zahrnují skládací krabice, přepravní bedýnky z vlnité lepenky, kartonové obaly a obaly lisované. Zvláštním obalem v současné době hojně využívaným je nápojová krabice. Tyto krabice jsou tvořeny laminovaným vrstveným materiálem. Uvnitř krabic se nachází vrstva polyethylenu, k této vrstvě přiléhá vrstva hliníku, lepenky (zajišťuje tuhost obalu) a opět polyethylenu (ochrana lepenky před vzdušnou vlhkostí). U některých produktů není v obalu obsažena hliníková fólie, ta zajišťuje bariéru pro vlhkost, plyny i aromatické látky. V tomto případě je nutné počítat s menší ochrannou funkcí před změnou aroma. Nápojové krabice mají vynikající funkční vlastnosti. Jsou používány pro balení džusů a jiných ovocných nápojů, vína, mléka, omáček a dalších produktů (Hanlon et al. 1998).

Papír je možné lehce potisknout, tím je vhodný k uvedení informací o produktu, výživové hodnotě a pro reklamní účely. Před použitím papíru jako obalového materiálu jsou kontrolovány jeho vlastnosti. Jedná se například o hmotnost, tloušťku, hustotu, lesk, bělost, pevnost v tahu a odolnost proti roztržení (Han 2014).

Lepenka je šetrná k životnímu prostředí, nicméně neposkytuje potravinám žádanou ochranu před vodou, plynem, plísněmi a aromatickými látkami. V těchto případech je využíváno povrchových úprav. Dále je papír kombinován s plastem a tím vznikají obaly s vhodnými vlastnosti (Kačeňák 2001).

3.4.2 Výroba papíru

Proces začíná odkorněním kmenů, vzniklá polena jsou nasekána na štěpky (délka 10 až 30 mm). Dále je třeba uvolnit vlákna ze dřeva, a to se děje různými způsoby dle dané potřeby druhu vlákniny. Může to být vláknina: dřevovina, mechanická celulóza, chemická celulóza nebo recyklovaná celulóza. Postupné činnosti při výrobě papíroviny: rozvláknění, mletí, plnění, klížení a barvení. Rozvlákněno může být dřevo, buničina či sběrový papír. Vlákna se smíchají s vodou a vznikne suspenze, která je dostatečně promíchána. Suspenze je dále mleta, aby se vlákna zkrátila. K tomu, aby tato suspenze získala vlastnosti, ze které je možno vyrobit papír, je třeba dodat plnidla. Je využíváno silně bílých chemických látek (např. kaolin, uhličitán vápenatý či titanová běloba). Vlákna je hygroskopická a tím rozměrově

nestálá, proto je přidáváno klíždlo. Díky klíždilům (např. živočišný klíž, škrob, kalafuna, kasein, albumin) je sníženo pronikání vzdušné vlhkosti. Barvivo je možné přidat do suspenze, ale i na hotový papír (Kaplanová 2009; Panák et al. 2000).

V druhé fázi je papírovina připravena na výrobu v papírenském stroji. Obsah sušiny je 1 %, zbytek tvoří voda. Papírovina je postupně zbavována vody, až na požadovanou konečnou vlhkost papíru 5–10 %. Papírenský stroj obsahuje: nátokovou skříň (zásobník papíroviny), síťovou část, lisovací část (odstraňování vody, tvoření rovinné struktury), sušící část, kalandr (zvýšení hladkosti papíru) a navíjecí část pro hotový papír (Kaplanová 2009; Panák et al. 2000).

Pro výrobu papíru je třeba buničiny, což je vláknitý materiál, který je výsledkem výrobního procesu zahrnující mechanické a chemické procesy úpravy rostlinných materiálů. Buničina (celulóza) dodává dřevu pevnost a pružnost. Základ pro výrobu buničiny tvoří asi z 90 % dřevo ze stromů, zbylých 10 % tvoří jednoleté i víceleté rostliny. Pro výrobu papíru je nejhojněji využívána právě buničina. Buničina získána chemickou úpravou je využívána v textilním, obalovém a farmaceutickém průmyslu. Dřevo je svou povahou hygroskopické s vlhkostí přibližně 9,4 % a je tvořeno převážně z celulózových vláken spojených ligninem. Ten způsobuje dřevnatění dřevních buněk. Aby bylo dřevo přeměněno na buničinu, musí být tyto vlákna oddělena. Chemická buničina je vyrobena chemickým rozpouštěním ligninu. Častěji je využíváno jehličnatých stromů, jejichž vlákna mají tenčí strany a jsou delší, listnaté stromy mají naopak vlákna kratší. V papírenském průmyslu je však využíváno i vláken z listnatých stromu, protože vhodně vyplňují prostory mezi dlouhými vlákny a tím zlepšují strukturu papíru. Takto vyrobený papír je lépe potisknutelný, protože má hladší povrch (M'Hamdi et al. 2017).

3.4.3 Zpracování použitého papíru

Papírenský průmysl je oblast, ve které hraje významnou roli sběr odpadního papíru a následné recyklování. Množství papíru, které je uloženo k recyklaci se zvyšuje. Existují čtyři druhy recyklovatelného papíru, které zahrnují novinový papír, vysoce kvalitní papír (kancelářský), pevné krabice a smíšený papír. Recyklovatelnost závisí na kvalitě konkrétního kusu papíru. Nejpoužívanějšími procesy při recyklaci jsou třídění, rozvlákňování, čištění pomocí hydrocyklonů, odbarvování, flotace, mytí a bělení (Ervasti et al. 2016).

Při výrobě papírenských výrobků je využíváno chemikálií, zejména při potisku a lepení. Tyto chemikálie (např. inkousty, pigmenty, lepidla) v odpadním papíru je nutno

během recyklačního koloběhu kontrolovat, protože mohou obsahovat rizikové prvky. Recyklace papíru v Evropě se v posledním desetiletí zvýšila o 20 %. S rostoucí mírou recyklace mohou být do systému zahrnuty i méně kvalitní frakce papíru. To může potenciálně vést k akumulaci chemických látek v nich obsažených (Pivnenko et al. 2015).

Recyklace papíru a lepenky znamená, že tyto suroviny jsou technologicky dostupným řešením zpracovány do nového výrobku, který má přijatelnou kvalitu (Souček 2010).

Použitý papír lze dělit dle zdroje původu, a to na průmyslové zdroje (odpady vznikající při výrobě papíru), komerční zdroje (obchodní řetězce, většinou se jedná o obaly), státní a privátní organizace (kancelářský papír) a obecní zdroje (obecní sběrové systémy – obalové papíry, noviny). Recyklovatelný papír může být odkládán ve sběrných dvorech, do systému nádobového, pytlového a mobilního sběru a ve výkupnách odpadů. Nejčastěji je využíváno nádobového sběru. Použitý papír z prvních třech uvedených zdrojů (každý zdroj zvlášť) převažuje nad obecním sběrem. Tyto papíry vykazují vyšší kvalitu, a proto jsou náklady na jejich úpravu menší. Papíry z komunálního sběru mají zřetelně nižší kvalitu, protože je to směs různých druhů papírů a často mají nežádoucí příměsi. Upravování papíru, který vzniká v průmyslu či obchodech (obaly) je spíše jednodušší, protože není potřeba další třídění a stačí materiál slisovat a dopravit do zařízení k recyklaci. V případě sběru v obcích je papír nutné dotřídit (Tymich 2011).

Do modrých kontejnerů, které slouží ke sběru recyklovatelného papíru, patří pouze neznečištěný papírový odpad (noviny, kancelářský papír, časopisy, sešity, krabice, papírové sáčky, knihy, které mají měkkou obálku a další neznečištěné papírové odpady). V případě nepromastitelného balicího papíru, který poslouží jako obal pro mastné výrobky (např. klobásy) není možné tento obal recyklovat a bývá vyhozen do směsného odpadu, který končí na skládkách nebo v zařízení na energetické využití odpadů (EKO-KOM 2011).

Z dotřídřovací linky jsou vyseparovány tři druhy papíru – papíry s dlouhými vlákny, papíry s krátkými vlákny a obaly z lepenky a kartonu. Papíry s dlouhými vlákny jsou kancelářské papíry, noviny a časopisy, tyto druhy papírů jsou recyklovány v papírnách různými postupy a vznikají opět papíry pro stejné využití. Papíry s krátkými vlákny jsou méně kvalitní např. balicí. Recyklováním těchto papírů mohou vznikat především produkty, které dále nelze recyklovat – zejména proložky na vajíčka či toaletní papír. Obaly z kartonu a lepenky jsou recyklovány a vznikají z nich nové obaly. Ze všech třech frakcí lze vyrobit obaly na vajíčka, toaletní papír, papírové palety, sadbové květináče z papíru či foukanou izolaci do staveb (Šťastná 2013).

Papír lze také skládkovat či spalovat. Skládkování odpadního papíru je nejméně vhodnou technologií, nepřináší žádné významné přínosy, pouze dochází k tvoření hnilobných plynů. Spalováním papíru v ideálním případě vzniká pouze oxid uhličitý, který může být spotřebován díky fotosyntéze. Spalování alternativního paliva z odpadního papíru a dřevěných briket vykazují podobné hodnoty emisních faktorů. Pro funkci briketování by nejvhodnějším papírem byl novinový papír a vlnitá lepenka. Spalování ovšem také není optimální řešení, protože není vhodné spalovat papíry, které obsahují plnidla a barviva (Kupsa 2009).

Pro biologické zpracování papíru je možno využít kompostování i vermikompostování, papír je takto rychle a úplně rozložen. Obsahuje však vysoký poměr C:N, je proto nutné ho kompostovat s jiným materiálem, velmi vhodným se jeví koňský hnůj (Plíva et al. 2016).

Přidaný papír do kompostovacího procesu s organickými látkami může absorbovat vodu a tím snížit ztrátu vody (Ekinci et al. 2000). Díky své mikroporézní struktuře může odpad z papíru napomáhat při aeraci během kompostování (Zorpas et al. 2003). Tím je zlepšeno i prostředí pro mikrobiální aktivitu a je snížena doba kompostování (Tandy et al. 2009). Dle Sunga a Rittera (2008) kompostování gastro odpadu s papírovými odpady zvyšuje dostupnost živin pro rostliny.

4 Materiál a metody

Byla zjišťována kompostovatelnost nepromastitelného potravinářského balicího papíru, který poskytla společnost KRPA PAPER, a.s. Kompostování probíhalo ve dvou experimentech. Papír byl pomocí skartovacího zařízení nastříhán na úzké proužky a namočen po dobu 18 hodin v přebytku vody, která byla následně ze sudu odtočena. Kompostovatelnost byla zjišťována v elektrickém kompostéru GreenGood a vermikompostovatelnost ve vermikompostérech Worm Factory. Papír byl kompostován v různých variantách, samostatně, se substrátem obsahující extremofilní organismy, s jablečnými výlisky či koňským hnojem. Varianty obsahující samostatný papír byly testovány jako kontrolní a nebyla zde předpokládána zkompostovatelnost pro vysoký poměr C:N. Jablečné výlisky poskytla společnost SEVEROFRUKT, a.s., koňský hnůj Akademický jezdecký klub České zemědělské univerzity a vstupní substrát do elektrického kompostéru společnost Dekos R, s.r.o.

V případě kompostování v elektrickém kompostéru zajišťovaly proces extremofilní organismy, jejichž přítomnost byla podmínkou pro celý proces. V případě vermikompostování se o průběh procesu zasluhovaly žížaly druhu *Eisenia andrei*.

Komposty a vermikomposty byly analyzovány a vyhodnoceny na základě:

- ČSN EN 13432 Obaly – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci – Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu,
- ČSN 46 5736 Vermikomposty,
- vyhlášky 474 /2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva.

Experimenty byly fotodokumentovány. Na Obr. 6 jsou vstupní suroviny pro vermikompostování, tedy papír, jablečné výlisky a koňský hnůj.



Obr. 6: Vstupní suroviny – papír (A), jablečné výlisky (B) a koňský hnůj (C) (foto vlastní).

4.1 Popis pokusů

4.1.1 Kompostování v elektrickém kompostéru GreenGood

Experiment kompostování v elektrickém kompostéru značky GreenGood (GG-10) probíhal v prostorách menzy ČZU. Proces kompostování různých variant trval 3 týdny. Byly připraveny 3 varianty pro kompostování:

1. substrát 50 % obj. + papír 50 % obj. (varianta I.; PAP)
2. substrát 50 % obj. + papír 25 % obj. + jablečné výlisky 25 % obj. (varianta II.; JV)
(Přílohy Obr. 5)
3. substrát 50 % obj. + papír 25 % obj. + koňský hnůj 25 % obj. (varianta III.; KH)

Varianty byly po sobě vloženy do kompostéru a sledovány. Vždy po 1; 12; 24; 48 a 120 hodinách (Přílohy Obr. 9; 10; 11) byly odebrány vzorky pro zjištění rozpadavosti. Na Obr. 6 (kapitola Přílohy) je konečný produkt varianty III. Rozpadavost byla zkoumána pomocí třech sít o velikostech ok 9 mm, 5 mm a 2 mm v průměru. Byla zjišťována hmotnost podsítné a nadsítné frakce u suchých i vlhkých vzorků. Vzorky odebrané po 120 hodinách byly rozděleny na dvě části. První část byla uložena v lednici při teplotě 4 °C a druhá část dána k sušení do sušárny při teplotě 35 °C do konstantní sušiny. Z první části bylo měřeno

pH a měrná vodivost (EC). Z druhé části byla po vysušení stanovena sušina, celkový obsah C, N a Ca a celkový a přístupný obsah P, K, Mg.

4.1.2 Vermikompostování ve vermikompostérech Worm Factory

Proces vermikompostování probíhal ve vermikompostovací laboratoři České zemědělské univerzity v Praze ve třech vermikompostérech Worm Factory (Přílohy Obr. 3 a Obr. 4). Použity byly žížaly *Eisenia andrei*. Byla udržována stálá teplota 22 °C a stálé osvětlení. Vermikompostér Worm Factory je složen ze spodního podstavce, zásobníku pro přebytečnou vodu (výluh), zásobníků (pater) a víka s rukojetí. Zásobníky mají rozměry 40 x 40 x 18 cm a perforovaná dna, která umožňují přechod žížal mezi patry a odtok vody. Byly připraveny 3 varianty:

1. papír 100 % obj. (vermikompost I.; PAP)
2. papír 50 % obj. + jablečné výlisky 50 % obj. (vermikompost II.; JV) (Přílohy Obr. 1)
3. papír 50 % obj. + koňský hnůj 50 % obj. (vermikompost III.; KH) (Přílohy Obr. 2)

V těchto vermikompostérech byly vždy dvě vrstvy. První spodní vrstva byla násada se žížalami (cca 50 ks žížal/l) a ve druhé horní vrstvě byla dána směs bioodpadu. Experiment probíhal po dobu 4 měsíců. Vždy po měsíci byl odebrán vzorek pro zjištění rozpadavosti vermikompostovaného papíru, počtu a biomasy žížal. Rozpadavost byla zkoumána pomocí třech sít o velikostech ok 9 mm, 5 mm a 2 mm v průměru. Byla zjišťována hmotnost podsítné a nadsítné frakce u suchých i vlhkých vzorků.

Žížaly ve vermikompostérech již nebyly dokrmovány, byla regulována pouze vlhkost. Na konci pokusu byly odebrány 3 vzorky z každého vermikompostéru z horních vrstev (vzorky z násady s žížalami se neodebíraly), které byly následně analyzovány. Z těchto vzorků byly vyjmuty žížaly, u kterých se zjišťoval počet a biomasa. Vzorky zbavené žížal byly rozděleny na dvě části. První část byla skladována v lednici při teplotě 4 °C, druhá část byla sušena v sušárně při teplotě 35 °C do konstantní sušiny. Z první části bylo měřeno pH a měrná vodivost (EC). Z druhé části byla po vysušení stanovena sušina, celkový obsah C, N a Ca a celkový a přístupný obsah P, K, Mg.

Na následujících třech fotografiích (Obr. 7; 8; 9) je zachyceno založení pokusu, materiál byl zvážen a následně promíchán.



Obr. 7: Založení pokusu – varianta 100 % papír (foto vlastní).



Obr. 8: Založení pokusu – varianta 50 % papír + 50 % jablečné výlisky (před smícháním) - (foto vlastní).



Obr. 9: Založení pokusu – varianta 50 % papír + 50 % koňský hnůj (před smícháním) - (foto vlastní).

Na obrázku 10 jsou vermikompostéry Worm Factory, ve kterých byl prováděn pokus.



Obr. 10: Založení pokusu – vermikompostéry ve vermikompostovací laboratoři (foto vlastní).

4.2 Agrochemické a biologické analýzy

Hodnota pH a měrná vodivost (EC) byly zjišťovány z vodného výluhu. Hodnota pH byla měřena pomocí pH metru WTW pH 340i. Měrná vodivost byla měřena pomocí konduktometru WTW Cond 730 inoLab®. Bylo naváženo 10 g vzorku a ten byl následně zalit 50 ml demineralizované vody. Suspenze byla vytřepána pomocí mechanické třepačky. Poté byla měřena hodnota pH. Následně byla suspenze zfiltrována pro zjištění měrné vodivosti (EC) dle normy ČSN EN 15933.

Vzorky byly po vysušení vyjmuty ze sušárny a zváženy pro zjištění obsahu sušiny. Dále byly vzorky namlety pro další analýzy. Stanovení celkového obsahu uhlíku a dusíku probíhalo pomocí CHNS analyzátoru Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany). V katalytické peci tohoto přístroje bylo spáleno přibližně 25 mg každého vzorku, dále byly zjištěny požadované hodnoty pomocí tepelně vodivostního detektoru.

Celkové obsahy prvků (P, K, Mg, Ca, C, N) byly stanovovány rozkladem na mokré cestě pomocí uzavřeného systému s mikrovlnným ohřevem Ethos 1, MLS GmbH, Germany (Přílohy Obr. 7). Dále byly stanoveny přístupné obsahy prvků pro rostliny (P, K, Mg). Obsahy byly měřeny v extrakčním činidle CAT (0,01 mol/l CaCl_2 a 0,002 mol/l DTPA kyselina dietylentriaminpentaoctová) dle normy EN 13651. Měření celkových a přístupných obsahů prvků probíhalo pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP – OES Varian Vista Pro).

Takto byly analyzovány i vstupní suroviny: papír, substrát do elektrického kompostéru, jablečné výlisky a koňský hnůj. Veškeré analýzy probíhaly vždy ve třech opakováních.

Dále byl vermikompost hodnocen dle řeřichového testu (test fytoxicity). Tímto testem byla zjištěna zralost a intenzita rozkladu organických látek ve vermikompostu. Do baňky bylo naváženo 10 g vzorku a bylo přilito 400 ml demineralizované vody, směs byla následně třepána dvě hodiny a poté zfiltrována pro získání čirého výluhu. Test probíhal v Petriho miskách o průměru 5 cm. Do každé misky byl vložen filtrační papír, který byl zalit 1 ml výluhu. Do každé, takto připravené misky, bylo vloženo 8 semen řeřichy. Tímto způsobem bylo vytvořeno 10 opakování každého vzorku (Přílohy Obr. 8). Kontrola (místo výluhu byla použita demineralizovaná voda) byla založena do 10 misek. Zavřené misky byly uloženy do termostatu při 28 °C po dobu 24 hodin za úplné tmy. Po uplynutí této doby byly vzorky vyjmuty a byla spočítána vyklíčená semínka a změřeny délky všech kořínků.

Ze změřených údajů byl vypočítán index klíčivosti v procentech (rovnice 1) v každé misce (Plíva et al 2016).

Rovnice 1:

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

k_v = klíčivost vzorku (%)

k_k = klíčivost kontroly (%)

l_v = průměrná délka kořínku vzorku (mm)

l_k = průměrná délka kořínků kontroly (mm)

4.3 Statistické analýzy

Pro zjištění splnění normy 90 % byl použit test relativní četnosti, kde je výpočetní vztah dle Hindlse et al. (2007) stanoven následujícím způsobem:

$$U = \frac{p - \pi_0}{\sqrt{\frac{\pi_0(1 - \pi_0)}{n}}}$$

$P = f/n$

π_0 = stanovená norma 0,9

n = rozsah souboru

Pro splnění požadavků na parametrické testování byl nejdříve proveden test normality, v případě nezamítnutí nulové hypotézy byl proveden Levenův test pro homogenitu rozptylů s následným provedením ANOVA testu a post hoc metodou Tukeyovým testem. V případě nesplnění požadavků na normalitu dat nebo homogenity rozptylů byl použit Kruskall Wallisův neparametrický test a pro zjištění vzájemných vztahů mezi proměnnými a signifikance vztahu byla provedena Bonfferinova korekce. Pro statistické výpočty byl použit program IBM SPSS Statistics 25. Pomocné výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel.

5 Výsledky

5.1 Vstupní suroviny

Dle Tab. 7 jsou agrochemické vlastnosti vstupních surovin velmi odlišné. Nejnížší obsah sušiny byl u koňského hnoje (25,2 %) a nejvyšší v substrátu do elektrického kompostéru (96,4 %). Hodnoty pH byly nejnižší u jablečných výlisků a substrátu GreenGood (3,2 a 4,4). Téměř neutrální pH bylo naměřeno ve výluhu z papíru a lehce zásadité ve výluhu z koňského hnoje. Velké rozdíly byly naměřeny i v případě měrné vodivosti. Nejvyšší měrná vodivost byla naměřena v substrátu GreenGood (9 423 $\mu\text{S}/\text{cm}$). V případě hodnoty C:N byl jednoznačně nejvyšší poměr u papíru a to z důvodu nízkého obsahu dusíku. Obsah uhlíku byl vyrovnaný ve všech surovinách (42 až 46 %) kromě koňského hnoje, kde byl tento obsah 18,4 %.

Tab. 7: Hodnoty základních agrochemických analýz vstupních surovin

	Papír	Jablečné výlisky	Koňský hnůj	Substrát – elektrický kompostér
sušina (%)	45,7 \pm 0,06	34,9 \pm 0,87	25,2 \pm 0,86	96,4 \pm 0,15
pH/H₂O	6,8 \pm 0,04	3,2 \pm 0,03	7,4 \pm 0,06	4,4 \pm 0,09
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	80,3 \pm 13,65	1 103 \pm 199,7	554 \pm 32,7	9 423 \pm 371,7
Poměr C:N	1 050 \pm 74,4	48,7 \pm 6,01	15,8 \pm 1,83	18,4 \pm 1,19
C_{celk} (%)	42,3 \pm 0,10	45,6 \pm 0,31	18,4 \pm 0,81	46 \pm 1,6
N_{celk} (%)	0,01 \pm 0,001	0,1 \pm 0,01	1,3 \pm 0,11	1,6 \pm 0,21

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

Z Tab. 8 vyplývá, že ze sledovaných prvků byl v papíru nejvyšší obsah celkového vápníku (944 mg/kg) a nejnižší obsah celkového fosforu (65,6 mg/kg). Část obsahu vápníku byla uvolněna do vody, ve které byl namáčen. Naměřené hodnoty přístupných prvků byly nízké a přístupný obsah fosforu byl pod mírou detekce. Obsah přístupného hořčíku byl 26,3 % z celkového obsahu a obsah přístupného draslíku 17,6 % z celkového obsahu.

Tab. 8: Papír (zvlhčený) - celkový a přístupný obsah Mg, P, K a celkový obsah Ca

Prvek	mg/kg ± SD
Celkový Mg	197 ± 450
Přístupný Mg	51,6 ± 19,14
Celkový P	65,6 ± 507,42
Přístupný P	<0,02
Celkový K	309 ± 236,5
Přístupný K	54,5 ± 6,52
Celkový Ca	944 ± 156,5

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

V Tab. 9 jsou uvedeny obsahy vybraných prvků v baličím papíru. Žádný z prvků nepřekročil limitní hodnoty, které uvádí norma ČSN EN 13432 (viz kapitola 3.3 Legislativní požadavky).

Tab. 9: Obsah prvků v papíru (po zvlhčení) jako v obalovém materiálu

Prvek	mg/kg sušiny
Zn	6
Cu	0,4
Ni	2,4
Cd	0,1
Pb	<1
Cr	0,8
Mo	<0,25
As	<1,5

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

Z naměřených hodnot pro obsah prvků v jablečných výliscích vyplývá, že nejvyšší byl obsah celkového draslíku (7 423 mg/kg) a následně přístupného draslíku (4 648 mg/kg), což je 62,2 % z celkového obsahu. Celkové obsahy všech ostatních sledovaných prvků byly o poznání nižší, a to v rozmezí od 671 mg/kg do 1 796 mg/kg (viz Tab. 10).

Tab. 10: Jablečné výlisky – celkový a přístupný obsah Mg, P, K a celkový obsah Ca

Prvek	mg/kg ± SD
Celkový Mg	671 ± 25,2
Přístupný Mg	425 ± 32,8
Celkový P	1 075 ± 104
Přístupný P	468 ± 7,6
Celkový K	7 423 ± 698,4
Přístupný K	4 648 ± 231
Celkový Ca	1 796 ± 37,9

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

V Tab. 11 jsou zobrazeny hodnoty obsahů prvků koňského hnoje. Nejvyšší byl celkový obsah vápníku (23 889 mg/kg). Celkové obsahy hořčíku a fosforu si byly podobné (4 518 mg/kg a 4 355 mg/kg). Nízké obsahy přístupných obsahů hořčíku a fosforu se též podobají. Přístupný obsah hořčíku byl 9,3 % a fosforu pouze 8,5 % z celkových obsahů.

Tab. 11: Koňský hnůj – celkový a přístupný obsah Mg, P, K a celkový obsah Ca

Prvek	mg/kg ± SD
Celkový Mg	4 518 ± 450
Přístupný Mg	419 ± 19,1
Celkový P	4 355 ± 507,4
Přístupný P	370 ± 32,5
Celkový K	8 583 ± 241,9
Přístupný K	2 644 ± 182,6
Celkový Ca	23 889 ± 950

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

V substrátu do elektrického kompostéru GreenGood byl naměřen nejvyšší obsah celkového draslíku, o trochu nižší byla přístupná forma tohoto prvku (91,5 %). Dále byly sestupně naměřeny hodnoty pro vápník, fosfor a hořčík. Hodnoty celkového a přístupného obsahu hořčíku byly téměř totožné (viz Tab. 12).

Tab. 12: Substrát do elektrického kompostéru – celkový a přístupný obsah Mg, P, K a celkový obsah Ca

Prvek	mg/kg ± SD
Celkový Mg	688 ± 14,4
Přístupný Mg	686 ± 29,6
Celkový P	2 453 ± 124,7
Přístupný P	1 927 ± 104
Celkový K	8 732 ± 419,6
Přístupný K	7 990 ± 217,9
Celkový Ca	5 959 ± 204,6

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

5.2 Kompostovatelnost v elektrickém kompostéru

5.2.1 Agrochemické analýzy

V Tab. 13 jsou hodnoty, které byly naměřeny ve třech variantách po procesu kompostování v elektrickém kompostéru GreenGood. Jedná se o obsah sušiny, pH, měrnou vodivost, poměr C:N a celkový obsah uhlíku a dusíku. Obsah sušiny se zásadně lišil v každé variantě. Hodnoty pH byly ve variantách I. a III. téměř totožné a s variantou II. se podobaly. Tyto hodnoty značí kyselé prostředí. Měrná vodivost těchto tří variant se také lišila, nicméně všechny tři byly vysoké a značí tak vysoké zasolení. Poměry C:N se podobaly a byly v rozmezí 19,5 až 21,6:1.

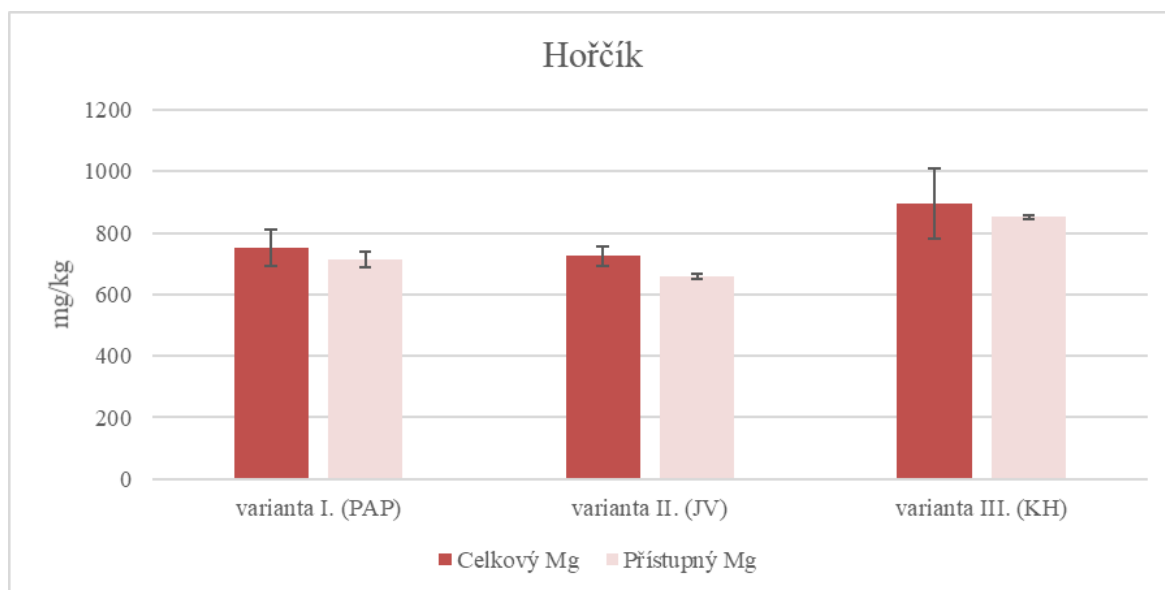
Tab. 13: Hodnoty základních agrochemických analýz kompostů

	Varianta I. (PAP)	Varianta II. (JV)	Varianta III. (KH)
sušina (%)	55 ± 5,9	89,4 ± 0,99	94,4 ± 0,67
pH/H₂O	4,9 ± 0,16	4,7 ± 0,02	4,9 ± 0,01
EC (μS/cm)	4 870 ± 138,9	7 540 ± 346,9	8 346 ± 106,9
Poměr C:N	20,2 ± 0,27	21,6 ± 1,55	19,5 ± 1,94
C_{celk} (%)	45,4 ± 0,6	44,8 ± 0,30	43,7 ± 0,72
N_{celk} (%)	2,2 ± 0,11	2,1 ± 0,21	2,3 ± 0,23

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

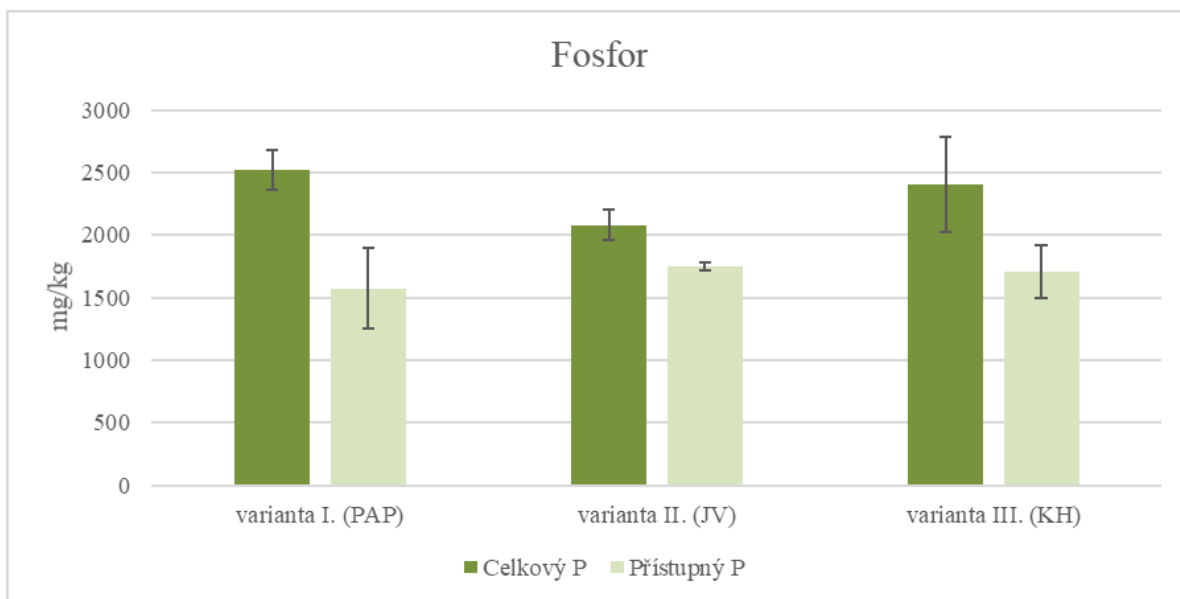
Na Obr. 11 jsou hodnoty celkového a přístupného obsahu hořčíku v testovaných variantách. Ve všech třech variantách byl přístupný obsah velmi vysoký, a to vždy v rozmezí 90 až 96 % celkového obsahu. Nejvyšší obsah celkového i přístupného obsahu byl změřen

ve variantě III., kde průměrný celkový obsah dosahoval 896 mg/kg a průměrný přístupný obsah byl 853 mg/kg.



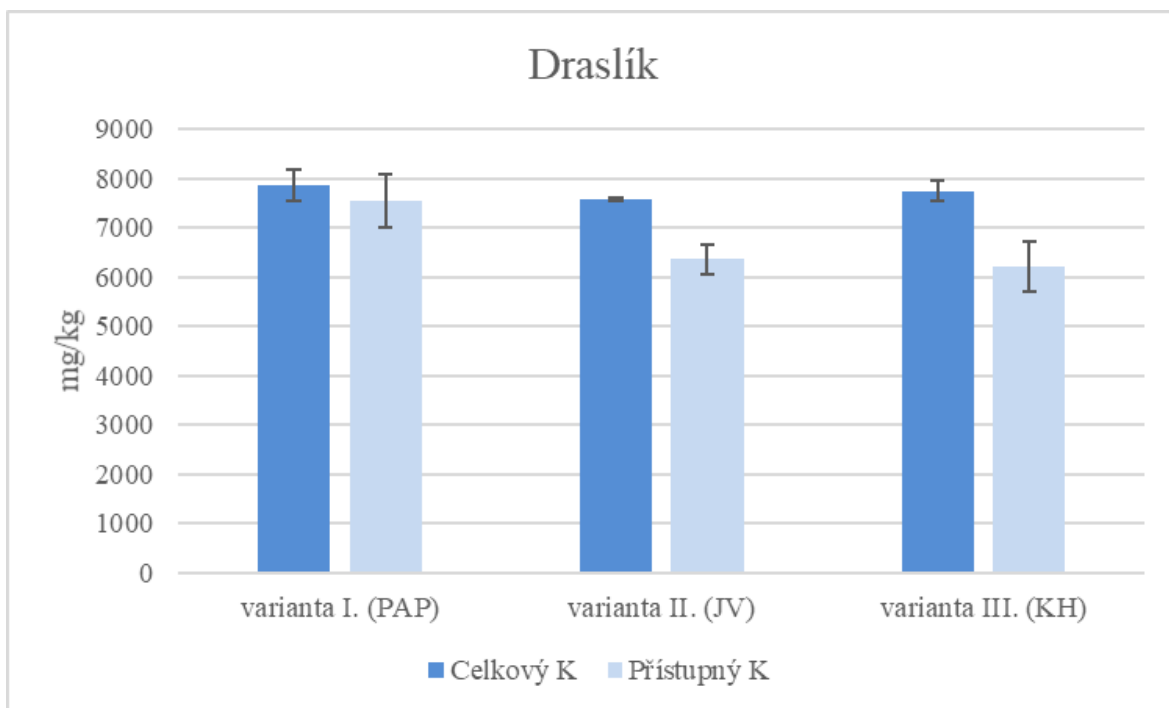
Obr. 11: Celkové a přístupné obsahy hořčíku ve variantách z elektrického kompostéru. Hodnoty jsou průměry, \pm směrodatná odchylka (n=3).

Na následujícím obrázku (Obr. 12) je celkový a přístupný obsah fosforu v testovaných variantách. Změřené obsahy přístupných prvků nebyly tak vysoké v poměru s obsahy celkovými jako v případě hořčíku. Přístupné obsahy se pohybovaly v rozmezí 62 až 84 % celkového obsahu. Nejvyšší obsah celkového fosforu byl naměřen ve variantě I. a dosáhl průměrné hodnoty 2 523 mg/kg, jeho přístupná forma byla 62,6 %. Nejvyšší přístupný obsah byl ve variantě II., jeho průměrný obsah byl 1 750 mg/kg. Jednalo se o 84 % z celkového obsahu.



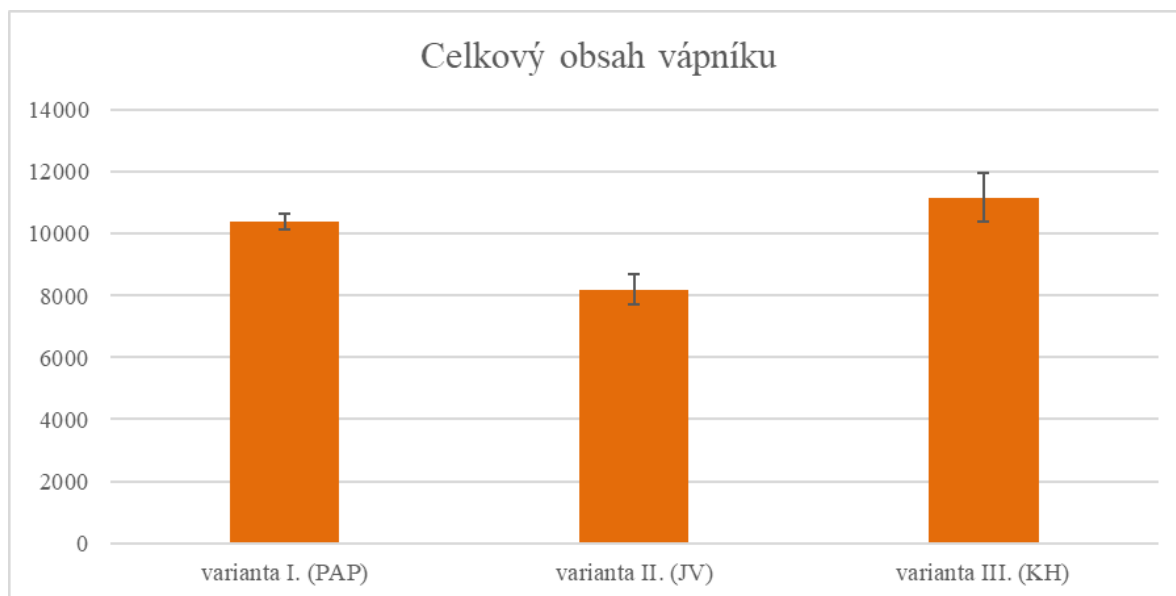
Obr. 12: Celkové a přístupné obsahy fosforu ve variantách z elektrického kompostéru. Hodnoty jsou průměry, \pm směrodatná odchylka (n=3).

Obsahy draslíku jsou zaneseny na Obr. 13. Ve všech variantách byl celkový obsah draslíku podobný, pohyboval se v rozmezí 7 576 – 7 867 mg/kg. Nejvyšší obsah celkového i přístupného draslíku byl naměřen ve variantě I. Celkový obsah byl 7 867 mg/kg a přístupný 7 539 mg/kg, tedy 95,9 %. Ve variantách II. a III. byly přístupné obsahy 83,9 % a 80,4 % celkového obsahu.



Obr. 13: Celkové a přístupné obsahy draslíku ve variantách z elektrického kompostéru. Hodnoty jsou průměry, \pm směrodatná odchylka (n=3).

Nejvyšší celkový obsah vápníku byl naměřen ve variantě III. a dosáhl hodnoty 11 182 mg/kg. Ve variantě I. bylo 10 381 mg/kg a ve variantě II. 8 205 mg/kg (viz Obr. 14).



Obr. 14: Celkové obsahy vápníku ve variantách z elektrického kompostéru. Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

5.2.1.1 Obsahy rizikových prvků

V následujících tabulkách (14; 15; 16) jsou zaneseny obsahy rizikových prvků, které byly změřeny ve **variantách I., II. a III.** Žádný z obsahů nepřekračuje limitní hodnoty dle vyhlášky ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva (viz kapitola 3.3 Legislativní požadavky).

Tab. 14: Obsah rizikových prvků ve variantě I.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
<0,05	0,4 ± 0,35	<1,5	8,4 ± 0,33	3,2 ± 0,56	<0,25	1,3 ± 0,14	18,3 ± 2,89

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

Tab. 15: Obsah rizikových prvků ve variantě II.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
<0,05	0,5 ± 0,04	<1,5	5,7 ± 0,39	2,7 ± 0,17	<0,25	1,2 ± 0,79	14,6 ± 0,56

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

Tab. 16: Obsah rizikových prvků ve variantě III.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
0,06 ± 0,020	1,8 ± 0,79	<1.5	8,2 ± 1,18	4,6 ± 0,68	<0.25	1,9 ± 0,27	27,1 ± 5,15

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

5.2.2 Rozpadavost kompostovatelného materiálu

Pro účely zjištění, zda byl splněn požadavek na rozpadavost, byl proveden test o relativní četnosti se stanovenou hodnotou $P_0 = 0,9$. Rozpadavost materiálu musí být nejméně 90 %. Horním indexem a písmenem „a“, nebo „b“ je v tabulkách 17; 18; 19 a 31; 32; 33 znázorněno, zda dle tohoto testu s 95% pravděpodobností lze zamítnout, či nezamítnout nulovou hypotézu. Nulová hypotéza pro tento test relativní četnosti zní: „Rozpadavost kompostovatelného materiálu je více než 90 %“. Písmenem „a“ je značeno zamítnutí nulové hypotézy na hladině významnosti 5 %, písmenem „b“ je značeno nezamítnutí nulové hypotézy na hladině významnosti 5 %, případně zamítnutí nulové hypotézy, s tím že zjištěná hodnota testu je vyšší než kritická hodnota normálního rozdělení při jednostranném testování $u_{(\alpha=0,1)} = 1,6448$ tak, aby nebyly neprávem zamítnuty vzorky, kde byla rozpadavost například 100 %.

Dle provedeného statistického testu nesplnil ani jeden vzorek z **varianty I.** (substrát se samotným papírem) požadavek na rozpadavost větší než 90 % s 95% pravděpodobností (viz Tab. 17).

Tab. 17: Rozpadavost – varianta I. (substrát + papír)

vlhký vzorek	1. hodina	12. hodina	24. hodina	48. hodina	120. hodina
síto 9 mm	49,7 ± 0,58 ^a	53,3 ± 2,08 ^a	63,7 ± 1,15 ^a	69 ± 1,7 ^a	70 ± 1,0 ^a
síto 5 mm	50 ± 1,0 ^a	52,3 ± 1,53 ^a	60,7 ± 0,58 ^a	66,3 ± 2,31 ^a	68 ± 2,6 ^a
síto 2 mm	48,3 ± 2,31 ^a	50 ± 1,0 ^a	55,7 ± 2,08 ^a	58 ± 1,0 ^a	62,3 ± 1,53 ^a
suchý vzorek					
síto 9 mm	48,7 ± 1,53 ^a	55,7 ± 2,31 ^a	62,3 ± 2,08 ^a	67,7 ± 2,31 ^a	70 ± 1,0 ^a
síto 5 mm	49,3 ± 0,58 ^a	54,7 ± 0,58 ^a	60,3 ± 1,15 ^a	64,7 ± 2,89 ^a	67,7 ± 2,31 ^a
síto 2 mm	46,3 ± 1,15 ^a	51,7 ± 0,58 ^a	54,7 ± 1,53 ^a	60 ± 1,0 ^a	64,3 ± 2,08 ^a

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

Dle statistického testu s 95% pravděpodobností splnily vlhké i suché vzorky **varianty II.** požadavek po 24 hodinách kompostování při přesívání na sítu o velikosti ok 9 mm. Průměrné podsítné části vlhkého a suchého vzorku byly po 24 hodinách 88,3 % a 84,3 %, nicméně test již tyto vzorky vyhodnotil jako vzorky, které splňují požadavek na rozpadavost. Vlhký i suchý vzorek přesívaný sítím o velikosti ok 5 mm splnil požadavek po 48 hodinách kompostování. Při přesívání vlhkého a suchého vzorku sítím o velikosti ok 2 mm bylo zjištěno, že požadavek na rozpadavost splnil za 120 hodin.

Tab. 18: Rozpadavost – varianta II. (substrát + jablečné výlisky + papír)

vlhký vzorek	1. hodina	12. hodina	24. hodina	48. hodina	120. hodina
síto 9 mm	74,7 ± 0,58 ^a	77,7 ± 0,58 ^a	88,3 ± 0,58^b	95,7 ± 0,58^b	99,3 ± 1,15^b
síto 5 mm	53,7 ± 1,53 ^a	54,3 ± 2,08 ^a	75,3 ± 0,58 ^a	93,3 ± 1,53^b	97 ± 1,0^b
síto 2 mm	44,7 ± 0,58 ^a	51,7 ± 1,53 ^a	71 ± 2,65 ^a	84 ± 1,7 ^a	94,7 ± 1,58^b
suchý vzorek					
síto 9 mm	74 ± 1,0 ^a	78,3 ± 0,58 ^a	84,3 ± 0,58^b	94,3 ± 0,58^b	98,3 ± 1,53^b
síto 5 mm	55,3 ± 3,21 ^a	58,3 ± 0,58 ^a	68,3 ± 0,58 ^a	91,7 ± 0,58^b	95,3 ± 0,58^b
síto 2 mm	40,3 ± 1,53 ^a	49,7 ± 0,58 ^a	58,3 ± 2,08 ^a	83,7 ± 2,52 ^a	91 ± 1,0^b

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

Ve **variantě III.**, kde byl kompostován substrát, papír a koňský hnůj, byl dle testu splněn požadavek suchého i vlhkého vzorku po 24 hodinách procesu (pro síto o velikosti ok

9 mm). Suchý i vlhký vzorek při přesívání sítím o velikosti ok 5 mm splnily dle statistického testu požadavek po 48 hodinách. Při přesívání vlhkého i suchého vzorku sítím o velikosti ok 2 mm bylo zjištěno, že požadavek na rozpadavost byl splněn také po 48 hodinách (viz Tab. 19).

Tab. 19: Rozpadavost – varianta III. (substrát + koňský hnůj + papír)

vlhký vzorek	1. hodina	12. hodina	24. hodina	48. hodina	120. hodina
síto 9 mm	74,7 ± 0,58 ^a	78,7 ± 0,58 ^a	87 ± 2,0^b	92,7 ± 0,58^b	100 ± 0^b
síto 5 mm	63,3 ± 4,16 ^a	69,7 ± 2,08 ^a	79,7 ± 0,58 ^a	91 ± 1,0^b	99,3 ± 1,15^b
síto 2 mm	48 ± 3,0 ^a	47,3 ± 0,58 ^a	60,3 ± 1,53 ^a	84,7 ± 1,53^b	97,7 ± 0,58^b
suchý vzorek					
síto 9 mm	75,7 ± 0,47 ^a	75,3 ± 1,53 ^a	87,3 ± 1,53^b	94,3 ± 1,53^b	100 ± 0^b
síto 5 mm	68,3 ± 0,94 ^a	66,7 ± 1,53 ^a	78,7 ± 0,58 ^a	90,7 ± 0,58^b	99 ± 1,0^b
síto 2 mm	48 ± 2,2 ^a	49,3 ± 0,58 ^a	81,7 ± 1,53 ^a	88 ± 1,0^b	98 ± 1,0^b

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

5.3 Kompostovatelnost pomocí žížal

5.3.1 Agrochemické analýzy

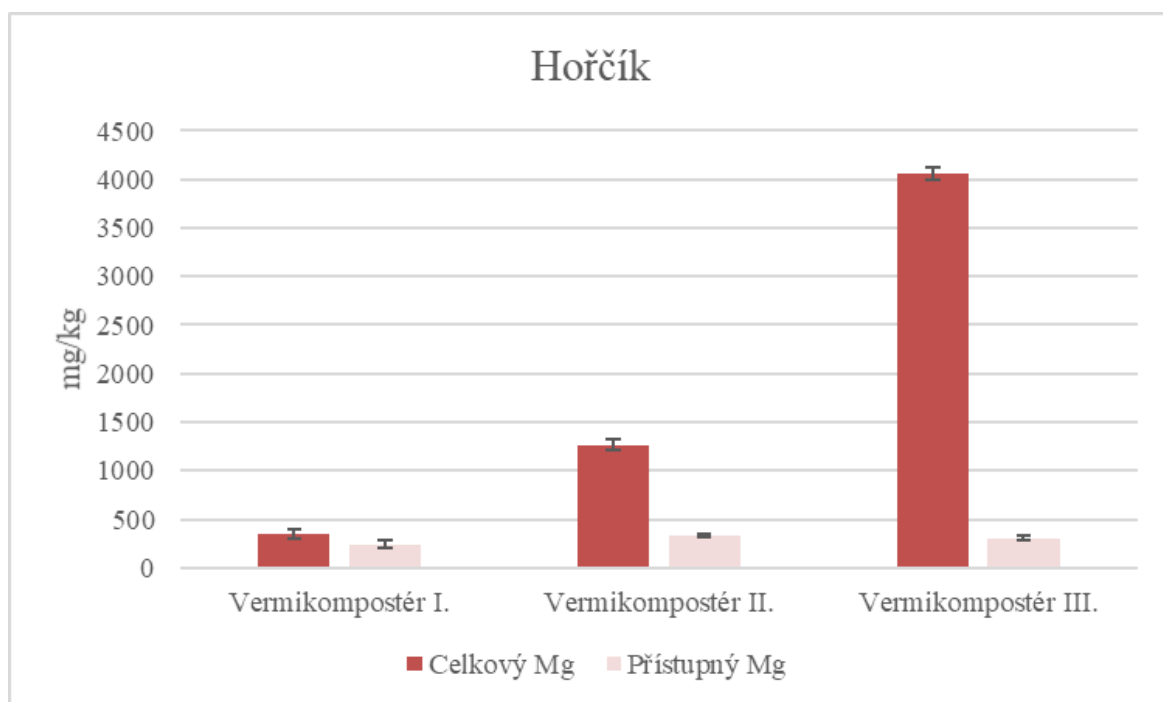
V Tab. 20 jsou hodnoty, které byly naměřeny ve třech variantách po procesu vermikompostování. Jedná se o obsah sušiny, pH, měrnou vodivost a poměr C:N. Sušiny vermikompostů byly podobné, pohybovaly se v rozmezí 21 % až 28,2 %. Dále si byly podobné hodnoty pH ve vermikompostérách II. a III., které dosahovaly 8,4 a 8,8, tedy mírně zásadité. Měrná vodivost byla rozdílná ve všech variantách, nejnižší ve vermikompostéru I. (405 μ S/cm) a nejvyšší ve vermikompostéru III. (1 046 μ S/cm). Také poměry C:N byly odlišné a to v rozmezí 13,2:1 (vermikompostér III.) až 35,4:1 (vermikompostér I.). Ve vermikompostéru II. byl poměr C:N 26,6:1.

Tab. 20: Hodnoty základních agrochemických analýz materiálu z vermikompostérů po ukončení procesu

	Vermikompostér I. (PAP)	Vermikompostér II. (JV)	Vermikompostér III. (KH)
sušina (%)	28,2 ± 1,26	21 ± 0,2	24,2 ± 0,41
pH/H ₂ O	7,4 ± 0,02	8,4 ± 0,09	8,8 ± 0,07
EC (μS/cm)	405 ± 9,5	980 ± 5,6	1 046 ± 13,4
Poměr C:N	35,4 ± 4,99	26,6 ± 0,81	13,2 ± 0,52
C _{celk} (%)	42,1 ± 0,52	43,2 ± 0,15	25,6 ± 1,45
N _{celk} (%)	1,2 ± 0,11	1,6 ± 0,14	1,9 ± 0,17

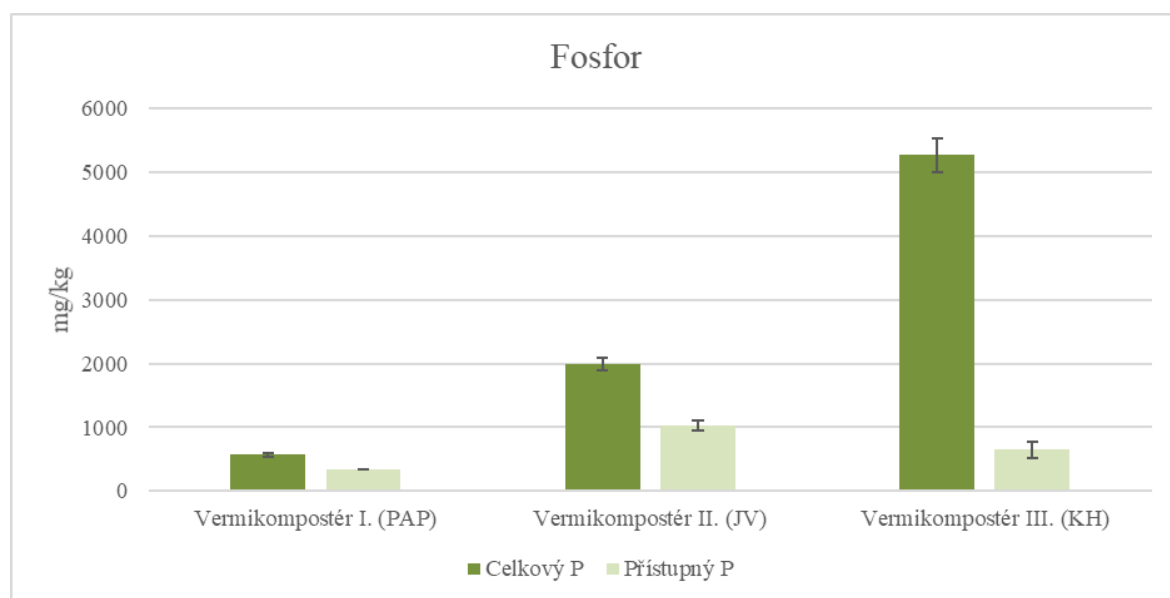
Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

Obsahy celkového a přístupného hořčíku jsou zaneseny na následujícím obrázku (viz Obr. 15). Celkový obsah byl výrazně nejvyšší ve vermikompostéru III. (4 061 mg/kg). Přístupné obsahy mezi sebou nemají tak velké rozdíly jako v případě obsahů celkových. V poměru s celkovými obsahy jsou rozdíly značné. Ve vermikompostéru I. byl obsah přístupného hořčíku 70,6 % z celkového obsahu, ve vermikompostéru II. byl tento obsah 26,6 % a ve vermikompostéru III. pouze 7,6 %. Hodnoty obsahu přístupného hořčíku byly 242 mg/kg (vermikompostér I.), 336 mg/kg (vermikompostér II.) a 307 mg/kg (vermikompostér III.).



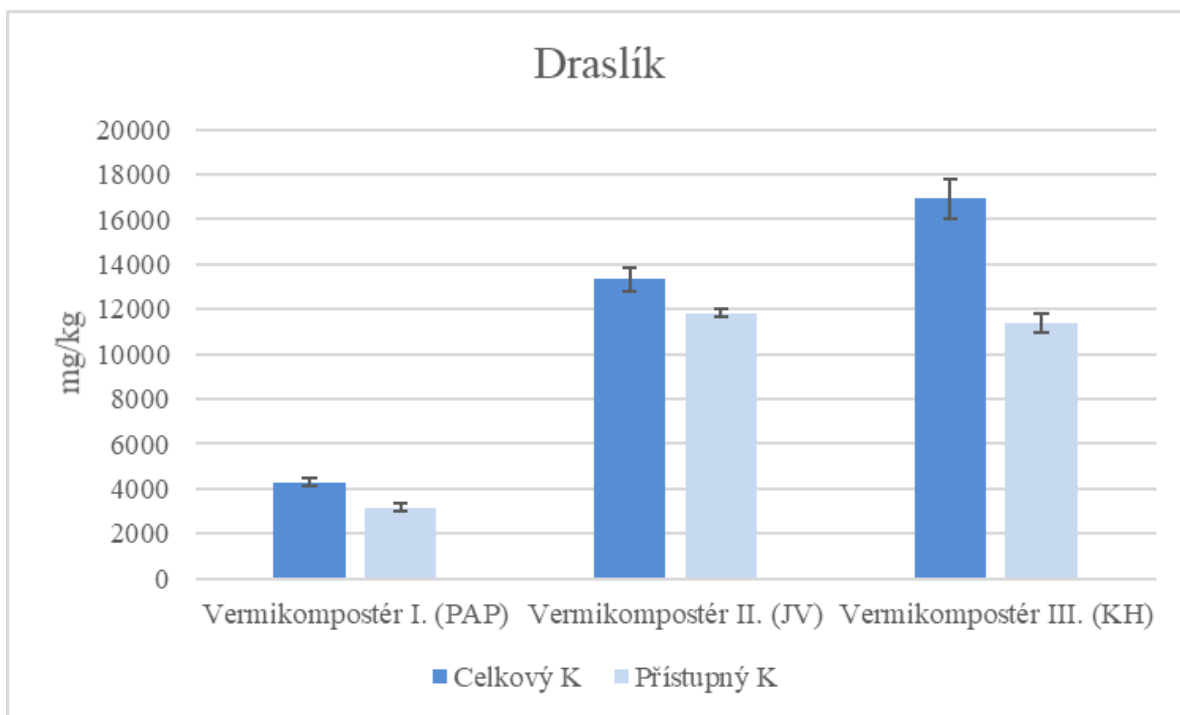
Obr. 15: Celkové a přístupné obsahy hořčíku ve variantách vermikompostérů. Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

Na Obr. 16 jsou celkové a přístupné obsahy fosforu. V případě celkových obsahů jsou hodnoty stejně vzestupné jako v případě hořčíku od vermikompostéru I. k vermikompostéru III. Nejvyšší celkový obsah ve vermikompostéru III. dosáhl hodnoty 5 267 mg/kg. Ve vermikompostéru I. byl obsah přístupného fosforu 347 mg/kg (61,2 % z celkového obsahu), ve vermikompostéru II. byl tento obsah 1 024 mg/kg (51,3 %) a ve vermikompostéru III. pouze 650 mg/kg (12,3 %).



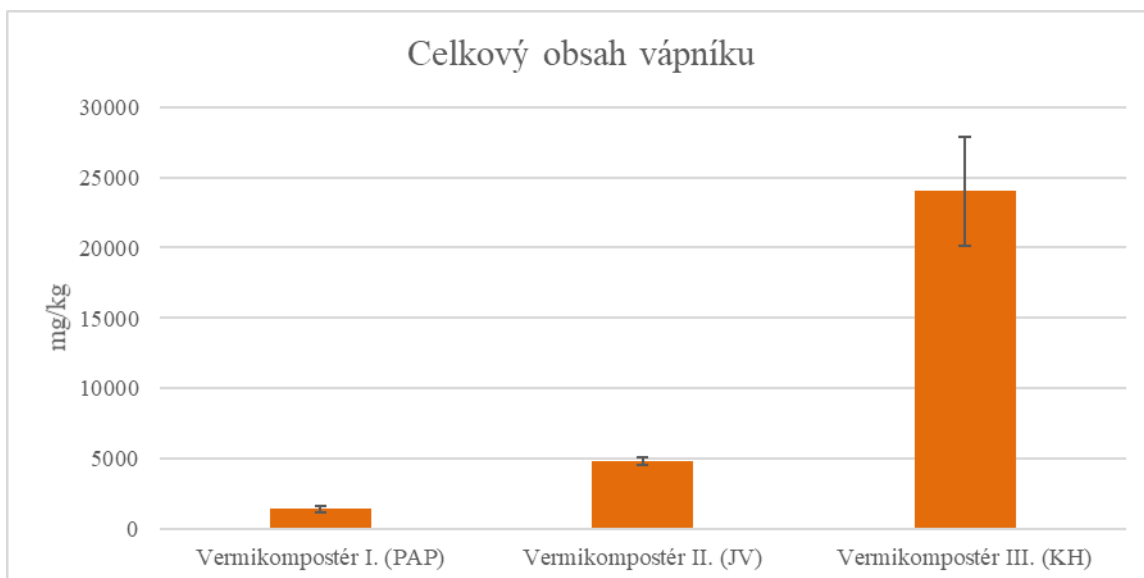
Obr. 16: Celkové a přístupné obsahy fosforu ve variantách vermikompostérů. Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

Z Obr. 17 vyplývá, že hodnoty celkových obsahů draslíku jsou stejně vzestupné jako v případě hořčíku a fosforu od vermikompostéru I. k vermikompostéru III. Nejvyšší celkový obsah ve vermikompostéru III. dosáhl hodnoty 16 923 mg/kg. Přístupné obsahy jsou vyšší a dosahují 73,3 % (vermikompostér I.), 88,8 % (vermikompostér II.) a 67,2 % (vermikompostér III.). Nejvyšší obsah přístupného draslíku byl naměřen ve vermikompostéru II. a dosáhl hodnoty 11 827 mg/kg. Ve vermikompostéru I. byla hodnota přístupného draslíku 3 151 mg/kg a ve vermikompostéru III. 11 372 mg/kg, což je jen o trochu méně než ve vermikompostéru II.



Obr. 17: Celkové a přístupné obsahy draslíku ve variantách vermikompostérů. Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

Celkový obsah vápníku byl nejvyšší ve vermikompostéru III. (viz Obr. 18). Hodnoty celkových obsahů byly 1 434 mg/kg (vermikompostér I.), 4 848 mg/kg (vermikompostér II.) a 24 012 mg/kg (vermikompostér III.).



Obr. 18: Celkové obsahy vápníku ve variantách vermikompostérů. Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3).

5.3.1.1 Obsahy rizikových prvků

V následujících tabulkách (21; 22; 23) jsou zaneseny obsahy rizikových prvků, které byly změřeny ve **vermikompostérech I., II. a III.** Žádný z obsahů nepřekračuje limitní hodnoty dle vyhlášky ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.

Tab. 21: Obsah rizikových prvků ve vermikompostéru I.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
<0,05	0,2 ± 0,07	<1,5	1,5 ± 0,58	3,1 ± 0,48	<0,25	0,4 ± 0,21	5,2 ± 1,45

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

Tab. 22: Obsah rizikových prvků ve vermikompostéru II.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
<0,05	0,5 ± 0,08	<1,5	<0,05	12,7 ± 0,43	<0,25	0,8 ± 0,45	18,8 ± 1,08

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

Tab. 23: Obsah rizikových prvků ve vermikompostéru III.

mg/kg sušiny							
Cd	Pb	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
<0,05	6,9 ± 0,12	<1,5	14,5 ± 1,88	28,4 ± 2,12	0,7 ± 0,06	7,1 ± 0,35	123,1 ± 1,45

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

V Tab. 24 jsou uvedeny kvalitativní znaky a obsah živin ve **vermikompostérech I., II. a III.** Dle požadavků normy ČSN 46 5736 Vermikomposty (kapitola 3.3 Legislativní požadavky), splnil pouze vermikompostér III. veškeré požadavky. Vermikompostér I. nesplnil požadavek v hodnotě C:N a obsahu fosforu v sušině. C:N bylo ve vermikompostéru I. 35,4 :1 a požadavek byl maximálně 30:1. Ve vermikompostéru II. nebylo dosaženo dostatečného obsahu fosforu pro splnění legislativního požadavku.

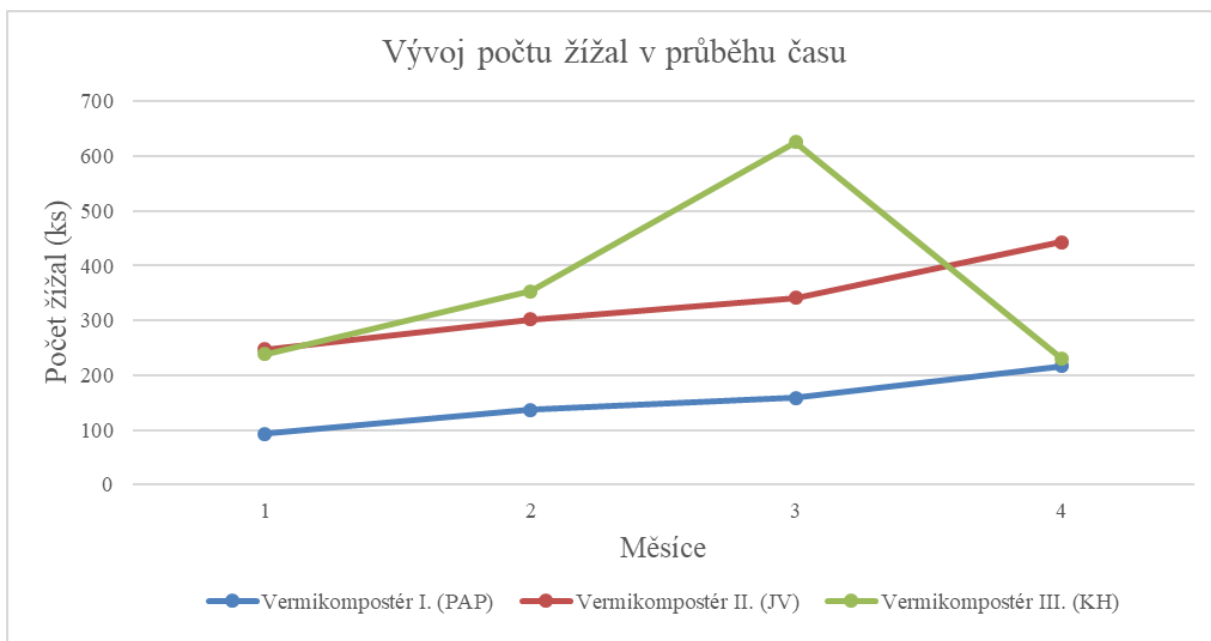
Tab. 24: Kvalitativní znaky a obsah živin ve vermikompostérech I., II., III.

Znak jakosti	Vermikompostér	Hodnota
Vlhkost v %	I.	71,8
	II.	79
	III.	75,9
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	I.	1,2
	II.	1,6
	III.	2
Poměr C:N	I.	35,4:1
	II.	26,6:1
	III.	13,2:1
Hodnota pH	I.	7,4
	II.	8,4
	III.	8,8
Obsah P v sušině v mg/kg	I.	567
	II.	1 996
	III.	5 266
Obsah P ₂ O ₅ v sušině v mg/kg	I.	1 299
	II.	4 571
	III.	12 061
Obsah K v sušině v mg/kg	I.	4 297
	II.	13 322
	III.	16 922
Obsah K ₂ O v sušině v mg/kg	I.	5 178
	II.	16 054
	III.	20 393

Hodnoty jsou průměry (n=3).

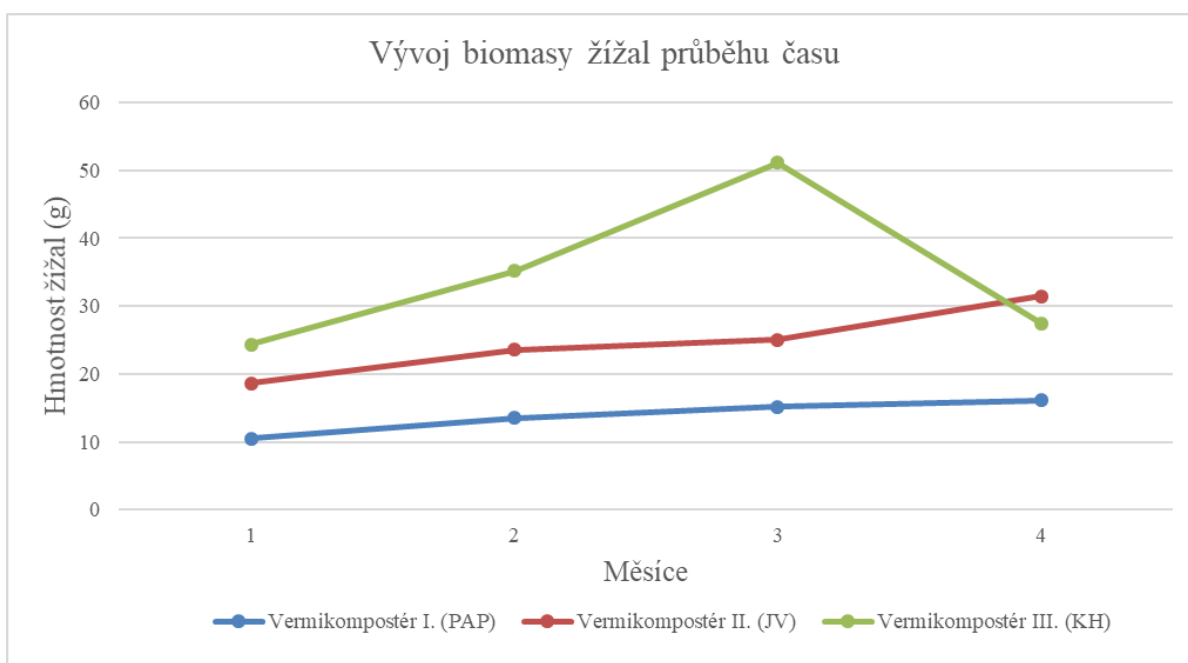
5.3.1.2 Biomasa žížal

Počty žížal se v jednotlivých vermikompostérech zcela lišily (viz Obr. 19). Ve vermikompostérech I. a II. počty žížal v průběhu sledování stále pozvolně rostly. Pouze ve vermikompostéru III. (varianta s koňským hnojem) počet žížal rostl do třetího měsíce a následně prudce klesl. Nejvíce žížal tedy bylo ve třetím měsíci ve vermikompostéru III., kdy jejich počet dosáhl 625 ks v 1 kg materiálu.



Obr. 19: Vývoj počtu žížal v průběhu času. Hodnoty jsou průměry (n=3).

Dle Obr. 20 biomasa žížal téměř kopírovala jejich počty, pouze ve vermikompostéru III. nebyl její pokles tak prudký jako v případě poklesu počtu jedinců. Téměř po celou dobu experimentu byla nejvyšší biomasa ve vermikompostéru III.



Obr. 20: Vývoj biomasy žížal v průběhu času. Hodnoty jsou průměry (n=3).

Dle Tab. 25 bylo statistickým testováním zjištěno, že mezi vermikompostéry v 1. měsíci není statisticky významný rozdíl. Již ve 2. měsíci se statisticky významně lišil

vermikompostér I. od II. a III. Vermikompostér II. a III. se od sebe statisticky významně nelišily. Ve 3. měsíci byly zaznamenány statisticky významné rozdíly napříč všemi vermikompostéry. Pro 4. měsíc byl zjištěn statisticky významný rozdíl u vermikompostéru II., který se odlišoval od I. a III. Pro testování 2. až 4. měsíce byly splněny předpoklady pro testování, jak v normalitě dat, tak v homogenitě rozptylů. Pro vyhodnocení signifikantních rozdílů byl využit Tukeyův test. Pro první měsíc byl použit Kruskal Wallisův test z důvodu nesplnění normality dat. Použitím neparametrického testu je možné vysvětlit sníženou vypovídající schopnost pro výsledky v 1. měsíci pozorování, ač byly zaznamenány velké rozdíly v průměrných hodnotách jednotlivých vermikompostérů.

Tab. 25: Počet žížal ve všech variantách vermikompostérů během 4 měsíců

Vermikompostér / Počet žížal (ks)	Vermikompostér I.	Vermikompostér II.	Vermikompostér III.
1. měsíc	93,3 ± 16,07 ^a	247 ± 23,3 ^a	238 ± 15,3 ^a
2. měsíc	137 ± 25,2 ^a	302 ± 45,0 ^b	353 ± 33,3 ^b
3. měsíc	158 ± 15,3 ^a	342 ± 22,9 ^b	625 ± 12,7 ^c
4. měsíc	217 ± 8,2 ^a	443 ± 91,8 ^b	231 ± 35,0 ^a

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vyzkazují statisticky významné rozdíly dle Kruskal-Wallisova testu u 1. měsíce a dle ANOVY u 2. až 4. měsíce ($P \leq 0,05$).

U biomasy žížal (Tab. 26) byla pro první 3 měsíce provedena ANOVA, s ohledem na splnění předpokladů. Následný Tukeyův test odhalil statisticky významný rozdíl mezi vermikompostéry ve všech třech obdobích. Pro 4. měsíc byl z důvodu nesplnění homogenity dat proveden Kruskal Wallisův test a mezi skupinami nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl ($P = 0,65$).

Tab. 26: Biomasa žížal ve všech variantách vermikompostérů během 4 měsíců

Vermikompostér / Hmotnost žížal (g)	Vermikompostér I.	Vermikompostér II.	Vermikompostér III.
1. měsíc	10,5 ± 0,87 ^a	18,6 ± 1,50 ^b	24,3 ± 0,29 ^c
2. měsíc	13,5 ± 1,80 ^a	23,6 ± 3,86 ^b	35,2 ± 1,04 ^c
3. měsíc	15,2 ± 0,76 ^a	25 ± 2,2 ^b	51,1 ± 1,35 ^c
4. měsíc	16,1 ± 0,35 ^a	31,5 ± 8,26 ^a	27,5 ± 1,36 ^a

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3), indexy vyzkazují statisticky významné rozdíly dle Kruskal-Wallisova testu u 4. měsíce a dle ANOVY u 1. až 3. měsíce ($P \leq 0,05$).

5.3.2 Test fytoxicity

Všech 9 odebraných vzorků bylo testováno v deseti opakováních. Kontrola byla provedena také v deseti opakováních a následně přepočítána na průměr, dle kterého byl počítán index klíčivosti. V Tab. 27 je výsledek klíčivosti kontrol. Průměrná délka kořínků dosáhla přes 7 mm a klíčivost vzorku byla 97,2 %.

Tab. 27: Výsledky klíčivosti kontrol (10 opakování)

Průměr délky kořínků (mm)	Klíčivost vzorku (%)	Index klíčivosti (%)
7,01	97,2	100,2 ± 10,66

V Tab. 28 jsou výsledky testu pro **vermikompostér I.**, kde byl kompostován samotný papír. Z této tabulky vyplývá, že materiál byl pouze částečně zralý. Index klíčivosti byl 65,3 %. Průměrná délka kořínků dosáhla pouze 5,2 mm. Materiál byl tedy dle indexu klíčivosti nepoužitelný a jeho aplikace by byla neekonomická.

Tab. 28: Výsledky testu fytoxicity vermikompostéru I. (PAP)

Opakování	Průměr délky kořínků (mm)	Index klíčivosti (%)
I.	5,2	65,7
II.	5	67,2
III.	4,8	63,1
Průměr vrstvy	5,00	65,3 ± 17,75

V Tab. 29 jsou výsledky testu pro **vermikompostér II.**, kde byl kompostován papír s jablečnými výlisky. Tato varianta dosáhla nejlepšího indexu klíčivosti s 94 % a průměrné délky kořínků byly 6,6 mm, což je také nejlepší ze všech variant. Tento index klíčivosti poukazuje na dobře zralý kompost.

Tab. 29: Výsledky testu fytoxicity vermikompostéru II. (JV)

Opakování	Průměr délky kořínků (mm)	Index klíčivosti (%)
I.	6,8	98,58
II.	6,5	93,01
III.	6,4	90,69
Průměr vrstvy	6,6	94 ± 10,5

V Tab. 30 jsou výsledky testu pro **vermikompostér III.**, kde byl kompostován papír s koňským hnojem. V této variantě byl index klíčivosti 92,2 % a průměrná délka kořínků byla 6,5 mm. Tyto výsledky potvrzují dobře zralý kompost.

Tab. 30: Výsledky testu fytotoxicity vermikompostéru III. (KH)

Opakování	Průměr délky kořínků (mm)	Index klíčivosti (%)
I.	6,8	95
II.	6,4	91
III.	6,3	90,4
Průměr vrstvy	6,5	92,2 ± 10,72

5.3.3 Rozpadavost kompostovaného materiálu

Ve vermikompostéru I., kde byl vermikompostován pouze papír nebyla zaznamenána taková činnost organismů, která by materiál rozložila během 4 měsíců. Materiál tedy téměř nebyl možný přesít (viz Tab. 31). Pouze jako vlhký vzorek po 3 a 4 měsících na sítu o velikosti ok 9 mm. Přeseto bylo maximálně 10 % materiálu, a tedy v žádném případě nemohl tento vermikompostér vyhovět požadavku na rozpadavost větší než 90 %.

Tab. 31: Vermikompostér I. (papír)

vlhký vzorek	1. měsíc	2. měsíc	3. měsíc	4. měsíc
síto 9 mm	0 ^a	0 ^a	6,7 ± 1,53 ^a	10 ± 1,0 ^a
síto 5 mm	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
síto 2 mm	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
suchý vzorek				
síto 9 mm	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
síto 5 mm	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
síto 2 mm	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

Na následující tabulce (Tab. 32) jsou výsledky rozpadavosti pro vermikompostér II., kde byl kompostován papír a jablečné výlisky. Dle statistického testu splnil požadavek na rozpadavost suchý i vlhký vzorek po 3 měsících vermikompostování (v případě přesívání na sítu o velikosti ok 9 mm). Dále byl po 3 měsících splněn požadavek na rozpadavost při přesívání vlhkého vzorku na sítu o velikosti ok 5 mm. Rozpadavost suchého vzorku při měření na sítu o velikosti ok 5 mm byla dle statistického testu splněna až po 4 měsících. Nejdrobnějším sítem prošlo více než 90 % materiálu také po 4 měsících.

Tab. 32: Vermikompostér II. (papír + jablečné výlisky)

vlhký vzorek	1. měsíc	2. měsíc	3. měsíc	4. měsíc
síto 9 mm	43 ± 1,0 ^a	46,3 ± 1,53 ^a	91,7 ± 3,51^b	97,3 ± 0,58^b
síto 5 mm	29,3 ± 1,53 ^a	40,7 ± 0,58 ^a	84,7 ± 1,53^b	94,3 ± 0,58^b
síto 2 mm	11,3 ± 3,06 ^a	24,7 ± 5,51 ^a	80 ± 1,0 ^a	91,7 ± 1,53^b
suchý vzorek				
síto 9 mm	39,7 ± 0,58 ^a	62,3 ± 1,53 ^a	89 ± 1,0^b	97,7 ± 2,53^b
síto 5 mm	34 ± 2,6 ^a	53,3 ± 1,53 ^a	83,7 ± 3,21 ^a	94,7 ± 2,53^b
síto 2 mm	26,3 ± 1,53 ^a	41,3 ± 1,53 ^a	74 ± 2,6 ^a	90,3 ± 0,58^b

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

Ve **vermikompostéru III.** probíhal rozklad rychleji než v předešlých vermikompostérech (viz Tab. 33). Vlhké vzorky byly prosívány snadněji než ty suché. Dle statistického testu byl splněn požadavek na rozpadavost u vlhkého vzorku už po 2 měsících vermikompostování. Sítem s velikostí ok 5 a 9 mm prošlo více než 90 % suchého materiálu po 3 měsících a sítem o velikosti ok 2 mm po 4 měsících.

Tab. 33: Vermikompostér III. (papír + koňský hnůj)

vlhký vzorek	1. měsíc	2. měsíc	3. měsíc	4. měsíc
síto 9 mm	77 ± 2,6 ^a	100 ± 0^b	100 ± 0^b	100 ± 0^b
síto 5 mm	65,3 ± 2,52 ^a	100 ± 0^b	100 ± 0^b	100 ± 0^b
síto 2 mm	51,3 ± 1,53 ^a	85 ± 1,0^b	94,7 ± 2,52^b	95,3 ± 0,58^b
suchý vzorek				
síto 9 mm	72,3 ± 0,58 ^a	75 ± 2,6 ^a	100 ± 0,58^b	100 ± 0^b
síto 5 mm	41,3 ± 1,53 ^a	49 ± 1,0 ^a	93 ± 2,0^b	100 ± 0^b
síto 2 mm	21 ± 1,0 ^a	26,7 ± 1,53 ^a	73 ± 4,4 ^a	97 ± 1,0^b

Hodnoty jsou průměry, ± směrodatná odchylka (n=3). Indexy vykazují statisticky významné rozdíly dle testu relativní četnosti ($u \geq u_{\alpha}$).

6 Diskuze

Kucbel et al. (2019) prováděli studii, ve které zjišťovali, jaké vlastnosti mají komposty vyprodukované automatickými elektrickými kompostéry, mimo jiné i elektrickým kompostérem GreenGood-2. Jako vstupní materiály používali substrát, ve kterém jsou organismy zajišťující proces a různé odpady z domácností či jiné biologicky rozložitelné odpady. V jedné variantě využívali pouze odpady rostlinného původu a v další pouze živočišného, například hnůj. Obsah byl zpracováván 14 až 21 dní při teplotě nad 70 °C. Průměrně bylo přidáváno 2 kg materiálu za den. Během kompostování v elektrických kompostérech nedochází k mezofilní fázi.

Hodnoty pH se velmi podobaly výsledkům uvedeným v kapitole 5.2.1 Agrochemické analýzy (pro produkty z elektrického kompostéru). Kucbel et al. (2019) změřili hodnoty pH 4,20 a 4,38 a v této studii byly změřeny hodnoty 4,68 až 4,94. Vhodná hodnota pH je přitom 6 až 8,5 (Plíva et al. 2006).

Měrnou vodivostí je vyjadřován obsah rozpustných solí a pokud je hodnota příliš vysoká, poukazuje na fytoxicitu materiálu. Již hodnoty od 2 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mohou být fytoxicke. Dle Lazcana et al. (2008) je limitní hodnota vyšší a to 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Je to tedy dobrý ukazatel pro zjištění vhodnosti materiálu (Pivato et al. 2016). Ve všech třech zkoumaných variantách v této studii byly zjištěny extrémně vysoké hodnoty zasolení, a to v rozmezí 4 870 až 8 346,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a proto nebyl již dále prováděn test fytoxicity jako v případě vermikompostování. Dle měření Kucbela et al. (2019) byla měrná vodivost kompostů 5 170 a 5 660 $\mu\text{S}/\text{cm}$, což značí též extrémně vysoké zasolení. Změřené hodnoty pH a měrné vodivosti vypovídají o nevhodném materiálu pro hnojení.

Poměry C:N zralých kompostů by měly být dle Váni (1997) 25-30:1 a nižší. Zjištěné poměry C:N v této studii se tomuto rozmezí blížily, jejich hodnoty byly 19-22:1. Ve studii Kucbela et al. (2019) byla hodnota C:N kompostu 23,8:1, což je podobné.

Dále byl ve studii Kucbela et al. (2019) měřen obsah draslíku a fosforu. Obsah draslíku (7 880 mg/kg) byl téměř totožný, protože průměrný obsah draslíku v této studii byl 7 729 mg/kg. Obsahy fosforu byly naopak značně rozdílné, a to zřejmě z důvodu odlišných vstupních surovin.

V kapitole 5.2.1.1 této studie jsou uvedeny obsahy rizikových prvků ve variantách kompostů ze zařízení GreenGood a bylo zjištěno, že jsou v souladu s vyhláškou č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva. Dále je možno zjištěné obsahy rizikových prvků srovnat se studií, kterou prováděla Kliopova et al. (2019). Jedná se o studii, ve které byl

kompostován kuchyňský odpad z restaurací v elektrickém kompostéru GreenGood-10. Bylo provedeno 25 cyklů a každý trval 24 hodin. Během jednoho cyklu bylo zpracovááno cca 30 kg odpadu, a z něj vzniklo 8 až 9 litrů kompostu, který dále zrál v otevřeném prostoru. Po 25 cyklech byl odebrán vzorek pro analyzování ze zrající hromady kompostu. Obsahy rizikových prvků ve studii Kliopové et al. (2019) také nepřesáhly limitní hodnoty určené legislativou. Obsahy kadmia, olova, chromu mědi a zinku byly v této studii nižší než ve výše zmiňované. Obsah kadmia byl pod mírou detekce. V této studii byl obsah kadmia pod mírou detekce ve variantě I. (substrát + papír) a II. (substrát + papír + jablečné výlisky). Ve variantě s koňským hnojem byl obsah kadmia 0,06 mg/kg. Obsah olova v této studii byl 2krát až 5krát nižší a obsah chromu cca 3krát nižší než ve studii Kliopové et al. (2019). Obsahy zinku byly srovnatelné s variantou III. Obsah mědi byl 2krát menší v této studii. Vyšší obsahy rizikových prvků ve studii Kliopové et al. (2019) mohly být způsobeny značně rozdílnými vstupními surovinami, kterými byly například i vykostěné maso, odpad z ryb, zbytky polévek a čaje.

Dle normy, která určuje požadavek na rozpadavost kompostovaného materiálu vyhověly vzorky s přidanou organickou hmotou vždy nejdéle na konci experimentu. Znění normy pro rozpadavost ČSN EN 13432: „Po vystavení procesu kompostování po dobu nejvýše dvanáct týdnů nesmí projít více než 10 % původní sušiny zkoušeného materiálu sítem pro frakci $a > 2$ mm.“ Bylo by vhodné tuto normu přepracovat, aby bylo jasné, že musí projít sítem více než 90 % kompostovaného materiálu. Pro úplnou přesnost by mohlo být uvedeno, zda se jedná o síto s oky 2 mm v průměru či velikost ok 2x2 mm.

Při kompostování variant II. a III. v zařízení GreenGood byla tato norma splněna nejdéle po 120 hodinách. V případě testování na sítu s velikostí ok 5 mm byly výsledky o poznání příznivější. Vždy nejdéle po 48 hodinách kompostování v zařízení GreenGood splnily vzorky variant II. a III. rozpadavost větší než 90 %. Pokud by byla limitní hodnota frakce < 9 mm, rozpadavost by byla splněna už po 24 hodinách.

Naopak při vermikompostování byla limitní hodnota rozpadavosti dle normy splněna ve vermikompostérech II. a III. až po 4 měsících. Pouze vlhký vzorek z vermikompostéru III. byl proset v požadovaném množství už po 3 měsících. Nejrychleji rozkládající se varianta při vermikompostování byla jednoznačně právě III. To bylo způsobeno zřejmě vyšším počtem žížal.

Bylo zkoumáno vermikompostování papírových kelímků pomocí žížal *Eudrillus eugineae* (Arumugama et al. 2018). Papírové šálky jsou běžnou komoditou ve většině zemí světa. Papír je recyklovatelný, ale kelímky z něj vyrobené, jsou potaženy polyetylenem, aby bylo zabráněno poškození horkými nápoji. Ve studii bylo testováno vermikompostování

ve dvou variantách. V první variantě byl reaktor naplněn kravským hnojem, odpadem z kelímků a žížalami. V druhé variantě byl reaktor navíc doplněn o bakteriální konsorcium (*Bacillus anthracis*, *B. endophyticus*, *B. funiculus*, *B. thuringiensis*, *B. cereus*, *B. toyonensis*, *Virigibacillus chiquenigi*, *Acinetobacter baumannii* a *Lactobacillus pantheries*). Vermikompost z druhé varianty obsahoval větší množství živin (hořčík, vápník, draslík, fosfor a dusík) a byl snížen poměr C:N. Studie potvrdila zvyšující se degradaci v reaktoru přidáním konsorcia. Celý proces byl urychlen o 7 týdnů. V prvním reaktoru proces trval 19 týdnů, ve druhém 12 týdnů (Arumugam et al. 2018). Hodnoty pH byly v rozmezí 6,18 až 8,01 v první variantě bez bakteriálního konsorcia a ve variantě s konsorciem mezi 6,14 a 7,56. Hodnoty pH v této studii byly srovnatelné nebo vyšší (7,40 až 8,76). Srovnatelných hodnot mohlo být dosaženo zřejmě díky velmi podobným vstupním surovinám.

Dle Hanče a Chadimové (2014) jsou vhodné pro vermikompostování jablečné výlisky. V jejich pokusu byly jablečné výlisky vermikompostovány v různém poměru se slámou. Bylo zjištěno, že vyšší poměr slámy ku výliskům nezpůsobil vyšší množství či hmotnost žížal. Zvýšil se však obsah přístupných živin. Výsledné vermikomposty byly charakterizovány mírně kyselým až neutrálním pH, optimální měrnou vodivostí a poměrem C:N. Během procesu vermikompostování vzrostl celkový obsah živin. Hmotnost a objem počátečních surovin výrazně klesly. V této studii bylo zjištěno, že ve variantě s jablečnými výlisky bylo pH 8,42, tedy mírně zásadité. Měrná vodivost byla 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a C:N 26,55:1, což je též optimální.

Dle studie Abbasi et al. (2018) je navrhován a testován nový systém vermikompostovacího systému FLUVTS (FLippable Units Vermireactor Train Systém). Umožňuje poměrně rychlé vermikompostování papírového odpadu bez nutnosti předkompostování a vyžaduje doplnění živočišného hnojiva (hnoje) pouze v poměru 10:1. Návrh FLUVTS je založen na soustavě modulárních reaktorů, které se mohou pohybovat podél zábradlí a lze je převrátit pomocí otočného mechanismu. Pokud je použita velká sada modulů, může být substrát, který má být vermikompostován, aplikován do systému v krátkých intervalech, aby byl téměř nepřetržitý. Překlopný mechanismus je vybaven ozubenými koly pro snadný odběr obsahu reaktoru. Systém umožňuje přeměnit hmotu na vermikompost během 30 dní, což je o mnoho rychleji než při běžně využívaných procesech, které trvají 90 až 120 dní. Byla testována vhodnost vermikompostu z papírového odpadu jako organického hnojiva z hlediska jeho vlivu na klíčivost semen a počáteční růst rostlin. Test probíhal na rostlinách: paprika setá (*Capsicum annuum*), ibiškovec jedlý (*Abelmoschus esculentus*), okurka setá (*Cucumis sativus*) a rajče jedlé (*Lycopersicon*

esculentum). Bylo dokázáno, že v případě, kdy je aplikován vermikompost v množství menším než 4,5 % z celkového substrátu, je podporována klíčivost, délka kořenů a výhonků, počet a hmotnost listů a koncentrace chlorofylu ve všech čtyřech druzích rostlin. Po aplikaci vermikompostu z odpadního papíru byla půda vhodnější tím, že pórovitost a hodnota pH byly pro růst rostlin příznivější než v kontrolní půdě.

Test fytotoxicity vermikompostů v této studii odhalil, že vermikompostéry II. a III. působily pozitivně na klíčivost semen řechy seté. Varianty byly téměř srovnatelné, ale dle indexu klíčivosti byla nejlepší varianta II. (papír s jablečnými výlisky), kde byl index klíčivosti vypočítán na 94 %.

7 Závěr

Vědecká hypotéza č. 1, která říká, že nepromastitelný potravinářský papír je kompostovatelný, platila pouze v případě, když byl smíchán s organickou hmotou (s jablečnými výlisky nebo koňským hnojem).

Vědecká hypotéza č. 2, která tvrdí, že výsledný kompost a vermikompost splňují legislativní požadavky se potvrdila pouze ve variantě, kde byl papír vermikompostován s koňským hnojem. Vermikompost na bázi papíru a jablečných výlisků nesplnil ČSN 465736 Vermikomposty pouze v obsahu fosforu, což bylo dáno nízkým obsahem fosforu v papíru a jeho velkým zastoupením (50 % obj.) v počáteční směsi.

Statistická hypotéza č. 1, která říká, že rozpadavost je větší než 90 % byla potvrzena pro varianty II., III. a vermikompostéry II., III. Lišila se pouze doba, za kterou došlo k rozpadnutí materiálu, vždy to bylo nejpozději na konci experimentu.

Statistické hypotézy č. 2 a 3 nebyly potvrzeny, neboť byly mezi vermikompostéry zjištěny rozdíly v počtu i biomase žížal.

Z hlediska rychlejší redukce odpadního papíru se jevila efektivnější varianta kompostování v kompostéru GreenGood s přidáním organického odpadu. Nicméně materiál, který vznikl tímto způsobem, nebyl vhodný pro hnojení narozdíl od vermikompostérů II. a III. A to zejména kvůli kyselému pH a extrémně vysoké měrné vodivosti, která byla způsobena vstupním substrátem, který byl připraven na bázi gastro odpadů. Lze tedy usuzovat, že materiál byl fytotoxický. Proto by bylo vhodné materiál dál kompostovat běžným způsobem, například v pásových hromadách, či na volné ploše.

Vermikompostování trvalo mnohem delší dobu než kompostování v zařízení GreenGood, ale výsledný produkt varianty III. s koňským hnojem se jevil jako nejvhodnější pro hnojení. Agrochemické vlastnosti této varianty byly v zásadě optimální, byly zde nejvyšší obsahy celkových prvků a přístupné prvky dosahovaly srovnatelných hodnot s vermikompostérem II. Dle indexu klíčivosti se jednalo o dobře zralý vermikompost. Rozpadavost materiálu byla nejrychlejší právě v tomto vermikompostéru.

8 Literatura

Abbasi SA, Hussain N, Tauseef SM, Abbasi T. 2018. A novel FLippable Units Vermireactor Train System – FLUVTS – for rapidly vermicomposting paper waste to an organic fertilizer. *Journal of Cleaner Production* **198**:917-930.

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

Arumugam K, Renganathan S, Babalola OO, Muthunarayanan V. 2018. Investigation on paper cup waste degradation by bacterial consortium and *Eudrillus eugeniae* through vermicomposting. *Waste Management* **74**:185-193.

Bajpai P. 2018. *Paper and Its Properties*. 3rd edition. Elsevier, Amsterdam.

Bhat SA, Singh J, Vig AP. 2018. Earthworms as organic waste managers and biofertilizer producers. *Waste and Biomass Valorization* **9**:1073-1086.

ČSN EN 13432. 2001. *Obaly – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci – Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu*. Český normalizační institut, Praha.

ČSN 46 5736. 2018. *Vermikomposty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

Čurda D. 1982. *Balení potravin*. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha.

Domínguez J, Edwards C. 2010. Relationships between Composting and Vermicomposting. Pages 11-26 in Edwards CA, Arancon N, Sherman, RL, editors. *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Waste and Environmental Management*. CRC Press, Boca Raton.

Domínguez J, Edwards CA, Subler S. 1997. A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle* **38**:57-59.

Eagri. 2019. Vyhláška č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva. Available from http://eagri.cz/public/web/ws_content?contentKind=regulation§ion=1&id=49991&name=474/2000 (accessed January 2019).

Edwards CA. 2010. Medium and high technology vermicomposting systems. Pages 91-102 in Edwards CA, Arancon N, Sherman RL, editors. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Waste and Environmental Management. CRC Press, Boca Raton.

EKO-KOM. 2011. Krátce o třídění. Available from <https://www.ekokom.cz/cz/ostatni/pro-verejnost/kratce-o-trideni-odpadu> (accessed January 2019).

Ekinci K, Keener HM, Elwell DL. 2000. Composting short paper fiber with broiler litter and additives. *Compost Science & Utilization* **8**:160-172.

Ervasti I, Miranda R, Kauraken I. 2016. Paper Recycling framework, the „Wheel of Fiber“. *Journal of Environmental Management* **17**:35-44.

Gupta R, Garg, VK, 2009. Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Material* **162**:430-439.

GREENGOOD COMPOSTER. 2014. GG-10. Available from <http://kompostovani-recyklace.cz/gg10.php> (accessed February 2019).

GREENGOOD COMPOSTER. 2014. Princip technologie. Available from <http://kompostovani-recyklace.cz/princip-technologie.php> (accessed February 2019).

Hanč A, Drešlová M. 2016. Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions. *Bioresource technology* **217**:186-189.

Hanč A, Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Hanč A, Chadimová Z. 2014. Nutrient recovery from apple pomace waste by vermicomposting technology. *Bioresource Technology* **168**:240-244.

Han JH. 2014. Innovations in food packaging. Second edition. Academic Press, Amsterdam.

Hanlon JF, Kerlsay RJ, Forcinio HE. 1998. Handbook of package engineering. Third edition. CRC Press, Boca Raton.

Hindls R, Hronová S, Seger J, Fischer J. 2007. Statistika pro ekonomy. Professional Publishing, Praha.

Joshi R, Vig AP. 2010. Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L). African Journal of Basic & Applied Sciences **2**:117-123.

Kačeňák I. 2001. Základy balenia potravín. 1. vydání. ARM 333, Bratislava.

Kalina M. 2004. Kompostování a péče o půdu. 2. vydání. Grada Publishing, Praha.

Kaplanová M. 2009. Moderní polygrafie. Svaz polygrafických podnikatelů, Praha.

Khwairakpam M, Bhargava R. 2009. Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species. Bioresource Technology **100**:5846-5852.

Kliopova I, Staniškiš JK, Stunženas E, Jurovickaja E. 2019. Bio-nutrient recycling with a novel integrated biodegradable waste management system for catering companies. Journal of Cleaner Production **209**:116-125.

Kotoulová Z, Váňa J. 2001. Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem, Praha.

Kucbel M, Raclavská H, Růžičková J, Švédová B, Sassmanová V, Drozdová J, Raclavský K, Juchelková D. 2019. Properties of composts from household food waste produced in automatic composters. Journal of Environmental Management **236**:657-666.

Kupsa A. 2009. Energetické využití sběrového papíru briketováním. Papír a celulóza **64**:56.

- Lazcano C, Gómez-Brandón M, Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* **72**:1013-1019.
- Lešíkar M. 2019. Úvodní slovo. *Papír a celulóza* **74**:1.
- Lleó T, Albacete E, Berrena R, Font X, Artola A, Sánchez A. 2013. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. *Journal of Cleaner Production* **47**:70-76.
- Lores M, Gómez-Brandón M, Pérez D, Domínguez J. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry* **38**:2993-2996.
- M'Hamdi AS, Kandri NI, Zeroualbe A, Blumberga D, Gusca J. 2017. Life cycle assessment of paper production from treated wood. *Energy Procedia* **128**:461-468.
- Minelgaitė A, Liobikienė G. 2019. Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of The Total Environment* **667**:86-93.
- Nowacka M, Rybak K, Wiktor A, Mika A, Boruszewski P, Woch J, Przybysz K, Witrowa-Rajchert D. 2018. The quality and safety of food contact materials – paper and cardboard coated with paraffin emulsion. *Food Control* **93**:183-190.
- Ndegwa P, Thompson SA. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource technology* **76**:107-112.
- Ndlovu TM, van Wyk JPH. 2019. Relative saccharification of waste paper during successive treatment with garden snail (*Cornu aspersum*) cellulase. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* **11**:54-60.
- Olejnik K, Pełczyński P, Bogucka M, Głowacka A. 2018. Optical measurement of the hydrophobic properties of paper products. *Measurement* **115**:52-63.

- Panák J, Čeppan M, Dvonka V, Karpinký Ľ, Kordoš P, Mikula M, Jakucewicz S. 2000. Polygrafické minimum. 2. doplnené vydání. TypoSet, Bratislava.
- Pivato A, Raga R, Lavagnolo MC, Vanin S, Barausse A, Palmeri R, Cossu R. 2016. Assessment of compost dosage in farmland through ecotoxicological tests. *Journal of Material Cycles and Waste Management* **18**:303-317.
- Pivnenko K, Eriksson E, Astrup TF. 2015. Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances. *Waste Management* **45**:134-142.
- Plíva P, Banout J, Habart J, Jelínek A, Kollárová M, Roy A, Tomanová D. 2006. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. 1. vydání. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.
- Plíva P, Altmann V, Hanč A, Hejátková K, Souček J, Valentová L, Roy A. 2016. Kompostování a kompostárny. Profi Press, Praha.
- Sánchez ÓJ, Ospina DA, Montoya S. 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting proces. *Waste Management* **69**:136-153.
- Singh RP, Singh P, Araujo ASF, Ibrahim MH, Sulaiman O. 2011. Management or urban solid waste: vermicomposting as a sustainable option. *Resources, Conservation and Recycling* **55**:719-729.
- Souček M. 2010. Sběrový papír a lepivé příměsi, tzv. stickies. *Papír a celulóza* **65**: 225-226.
- Sulzberger R. 2007. Kompost, půda, hnojení. Rebo, Čestlice.
- Sung M, Ritter, WF. 2008. Food waste composting with selected paper products. *Compost Science & Utilization* **16**:36-42.
- Suthar S, Singh S. 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavates* and *Perionyx sansibaricus*). *International Journal of Environmental Science and Technology* **5**:99-106.

Ševčík I. 2019. Papírenský průmysl a ACPP v roce 2019. Papír a celulóza **74**: 3-4.

Šťastná J. 2013. VŠECHNO, CO POTŘEBUJETE VĚDĚT O ODPADECH a neměli jste se koho zeptat. EKO-KOM, Praha.

Tandy S, Healey JR, Nason MA, Williamson JC, Jones DL. 2009. Heavy metal fractionation during the co-composting of biosolids, deinking paper fibre and green waste. *Bioresource Technology* **100**:4220-4226.

Tymich J. 2011. Sběrový papír a jeho využití. Papír a celulóza **66**: 20-23.

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

Váňa J. 1997. Výroba a využití kompostů v zemědělství. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. 2. vydání, Praha.

Zajonc I. 1992. Chov žížal a výroba vermikompostu. ANIMAPRESS, Povoda.

Zorpas AA, Arapoglou D, Panagiotis K. 2003. Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production *Waste Manage* **23**:27-35.

9 Přílohy



Obr. 1: Založení pokusu – vermikompostér II. (papír + jablečné výlisky) (foto vlastní).



Obr. 2: Založení pokusu – vermikompostér III. (papír + koňský hnůj) (foto vlastní).



Obr. 3: V průběhu vermikompostování (papír + koňský hnůj) (foto vlastní).



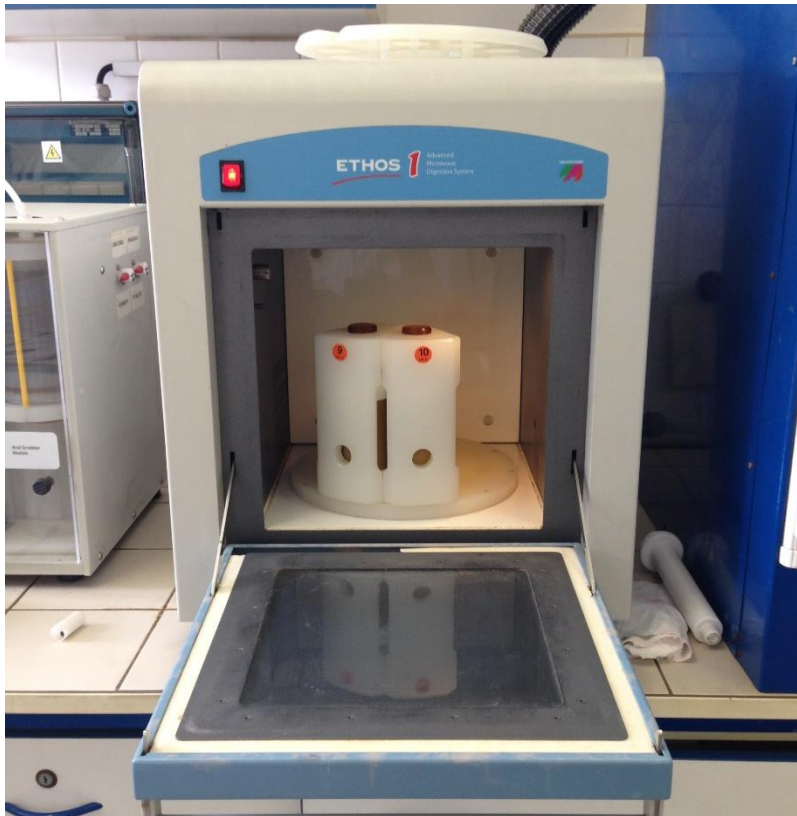
Obr. 4: Jemná struktura materiálu (papír + koňský hnůj) (foto vlastní).



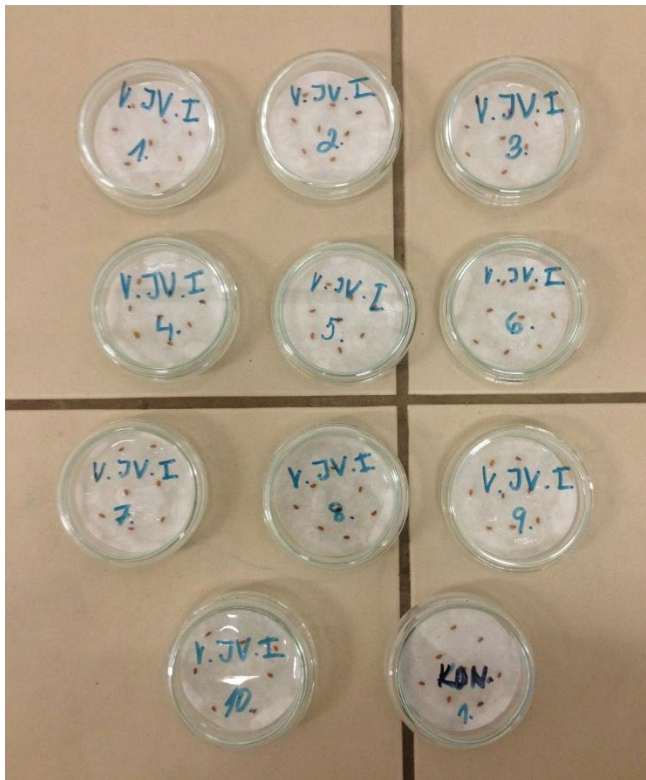
Obr. 5: Založení pokusu v elektrickém kompostéru GreenGood (vstupní substrát + papír + jablečné výlisky) (foto vlastní).



Obr. 6: Konečný produkt kompostování v kompostéru GreenGood (vstupní substrát + papír + koňský hnůj) (foto vlastní).



Obr. 7: Vybavení laboratoře pro rozklad na mokré cestě (foto vlastní).



Obr. 8: Založení pokusu pro zjištění fytoxicity (foto vlastní).



Obr. 9: Vzorčky v průběhu procesu ze zařízení GG – varianta I. (vstupní substrát + samotný papír) (foto vlastní).



Obr. 10: Vzorčky v průběhu procesu ze zařízení GG – varianta II. (vstupní substrát + papír + jablečné výličky) (foto vlastní).



Obr. 11: Vzorčky v průběhu procesu ze zařízení GG – varianta III. (vstupní substrát + papír + koňský hnůj) (foto vlastní).