

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Analýzy vlivu kalifornských žížal na průběh kompostovacího
procesu

Bc. Lenka Řeháková

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Mgr. v oboru

Ochrana a tvorba krajiny

Vedoucí práce: RNDr. Petr Hekera, Ph.D.

Olomouc 2014

Řeháková, L.: Analýza vlivu kalifornských žížal na průběh kompostovacího procesu. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita palackého v Olomouci, 46 s., 2 přílohy.

ABSTRAKT

Jednou z variant kompostování je využití kalifornských žížal *Eisenia andrei* (Bouché, 1972), tzv. vermikompostování. Žížaly při tomto procesu napomáhají zpracování biologicky rozložitelného odpadu, urychlují snižování jeho množství, zlepšují využitelnost a po jeho aplikaci přispívají k větším výnosům. Cílem práce bylo založit komposty a porovnat hodnoty sledovaných ukazatelů v kompostech s použitím násady žížal a bez ní. Měřena byla vlhkost, pH, obsah spalitelných látek, dusíku, vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů. Rozhodující pro kvalitu kompostu je také použitý typ kompostéru. Práce srovnává plastové a dřevěné kompostéry. Posledním cílem práce je zjistit optimální dobu kompostovacího procesu pro jeho aplikaci. Pro dosažení cílů byly založeny čtyři komposty, dva v plastovém a dva v dřevěném kompostéru, vždy s využitím násady žížal a bez ní. Po dobu tří měsíců byly odebrány vzorky kompostů a ty byly následně analyzovány. Bylo zjištěno, že nejvhodnějším řešením je využití dřevěného kompostéru v kombinaci s žížalami. Využitelnost tohoto materiálu je doporučena už v pátém měsíci procesu vermikompostování, tzn. již před prodeji doporučenou dobou.

Klíčová slova: biologicky rozložitelný odpad, typ kompostéru, vermikompostování, využitelnost vermikompostu

Řeháková, L.: Analysis of Californian Earthworm's (*Eisenia andrei*) Influence on the Composting Process. Master Thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc, 46 pp., 2 Appendices, in Czech.

ABSTRACT

There are several variants of composting. One of them is using Californian earthworms, *Eisenia andrei* (Bouché, 1972), and is called vermicomposting. During this process, earthworms help to treat biodegradable waste, they accelerate the reduction of its amount, improve the applicability and contribute to a higher yield after the vermicompost application. The aim of the work is to make composts, both with and without earthworms, and to compare the values of them. Humidity, pH, content of burnable substances, nitrogen, calcium, magnesium, sodium, potassium and phosphates are measured. The type of composter is critical for the quality of compost, too. There is the comparison of wooden and plastic composters in this thesis. The last aim of this work is to find out the optimal time of composting process for the vermicompost application. In order to reach these aims, four different composts were made: two plastic and two wooden composters, each with and without earthworms. The sampling was carried out in three months long period and the samples were analysed subsequently. It has been discovered that the most suitable solution was using a wooden composter containing earthworms. Applying of this material is recommended in the fifth month of the vermicomposting process, i.e. earlier than recommended by sellers.

Key words: biodegradable waste, type of composter, vermicomposting, vermicompost application

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením

RNDr. Petra Hekery, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Hodoníně dne 30. července 2014

.....

Podpis

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	ix
Seznam zkratk	x
Poděkování	xi
Úvod	1
Cíle práce	9
Metodika práce	10
Vymezení zájmové oblasti	10
Použitý materiál a technické vybavení	11
Legislativa odpadového hospodářství	13
Metodika práce	16
Statistické zpracování dat	20
Výsledky práce	21
Posuzování jednotlivých měření	21
Diskuze	34
Závěr	40
Seznam použité literatury	41
Přílohy	47
Příloha A: Ilustrační fotografie průběhu měření	47
Příloha B: Přehledové tabulky	48

Seznam tabulek

Tabulka 1: Limitní požadavky na znaky jakosti podle ČSN 465735.....	15
Tabulka 2: Průměrné hodnoty (%) vlhkosti ve vzorcích dle využitého materiálu.....	22
Tabulka 3: Průměrné hodnoty (%) vlhkosti ve vzorcích dle využití násady žížal.....	22
Tabulka 4: Průměrné hodnoty (%) obsahu spalitelných látek ve vzorcích dle využitého materiálu.....	23
Tabulka 5: Průměrné hodnoty (%) obsahu spalitelných látek ve vzorcích dle využití násady žížal.....	23
Tabulka 6: Průměrné hodnoty pH ve vzorcích dle využitého materiálu.....	24
Tabulka 7: Průměrné hodnoty pH ve vzorcích dle využití násady žížal.....	25
Tabulka 8: Průměrné hodnoty (%) obsahu dusíku ve vzorcích dle využitého materiálu.....	26
Tabulka 9: Průměrné hodnoty (%) obsahu dusíku ve vzorcích dle využití násady žížal.....	26
Tabulka 10: Průměrné hodnoty poměru C:N ve vzorcích dle využitého materiálu.....	27
Tabulka 11: Průměrné hodnoty poměru C:N ve vzorcích dle využití násady žížal.....	27
Tabulka 12: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu vápníku ve vzorcích dle využitého materiálu.....	29
Tabulka 13: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu vápníku ve vzorcích dle využití násady žížal.....	29
Tabulka 14: Průměrná hodnota (mg/kg sušiny) obsahu hořčíku ve vzorcích dle využitého materiálu.....	30
Tabulka 15: Průměrná hodnota (mg/kg sušiny) obsahu hořčíku ve vzorcích dle využití násady žížal.....	30

Tabulka 16: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu sodíku ve vzorcích dle využitého materiálu.....	31
Tabulka 17: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu sodíku ve vzorcích dle využití násady žížal	31
Tabulka 18: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu draslíku ve vzorcích dle využitého materiálu.....	32
Tabulka 19: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu draslíku ve vzorcích dle využití násady žížal	32
Tabulka 20: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu fosforečnanů ve vzorcích dle využitého materiálu.....	33
Tabulka 21: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu fosforečnanů dle využití násady žížal	33

Seznam obrázků

Obrázek 1: Použité kompostéry	10
Obrázek 2: Stanovení vlhkosti	22
Obrázek 3: Stanovení obsahu spalitelných látek.....	23
Obrázek 4: Stanovení hodnot pH	24
Obrázek 5: Stanovení obsahu celkového dusíku přepočteného na sušinu v %.....	25
Obrázek 6: Stanovení poměru C:N	27
Obrázek 7: Stanovení obsahu vápníku	28
Obrázek 8: Stanovení obsahu hořčíku.....	29
Obrázek 9: Stanovení obsahu sodíku	30
Obrázek 10: Stanovení obsahu draslíku	31
Obrázek 11: Stanovení obsahu fosforečnanů	32

Seznam zkratk

BRO	Biologicky rozložitelný odpad
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
EU	Evropská unie
NPK	Dusík, fosfor, draslík
POH	Plán odpadového hospodářství
AIC	Akaikeho informační kritérium

Poděkování

Mé poděkování patří především vedoucímu bakalářské práce RNDr. Petru Hekerovi, Ph.D. za jeho ochotu, pomoc, vynaložené úsilí a čas při vedení mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala prof. Dr. Ing. Bořivoji Šarapatkovi, CSc. za konzultace, prof. MVDr. Emilu Tkadlecovi, CSc. za rady při statistickém hodnocení výsledků, Ing. Ladislavu Čápovi za pomoc při analýzách vzorků, paní Ditě Šprinclové za půjčení kompostérů a panu Jakubu Filipovi za poskytnutí násad žízal.

V Hodoníně dne 30. července 2014

Úvod

Tuhé odpady jsou lidskou společností vnímány jako nežádoucí. Stávají se přítěží pro životní prostředí, a je proto nutné na tuto situaci reagovat. Zpracování organické části odpadů kompostováním a jeho dalším využití je jedním z mnoha řešení, jak problematiku znečišťování životního prostředí řešit (Seetha devi et al. 2012).

Počátky kompostování se v Evropě datují před více než sto lety, kdy byla uvedena v Nizozemí do provozu první kompostárna. Již tehdy bylo o kompostu známo, že jeho využitím ke hnojení se zvyšují výnosy ze zemědělství a znamená tedy cennou surovinu. V českých zemích byla problematika nakládání s odpady spíše lokální záležitostí. Až v 80. letech minulého století byl zaveden oddělený sběr biologicky rozložitelného odpadu a následně i kompostování (Tesařová et al. 2010).

Biologicky rozložitelné odpady jsou odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu (Váňa et al. 2009). Patří mezi ně biologicky rozložitelné odpady komunální, odpady lesnické a zemědělské, dále potravinářské, odpady z papírenského průmyslu, ze zpracování dřeva, kůží a z textilního průmyslu. Dále mezi tyto odpady řadíme i čistírenské a vodárenské kaly (Zemánek et al. 2010).

Nakládání s těmito odpady ošetřuje v České republice zákon č. 185/2001 Sb., který udává povinnost předcházet již samotnému vzniku odpadů. Kalina (2004) zdůrazňuje, že zpracování biologicky rozložitelného odpadu (BRO) je jedním z úsporných opatření a znamená tedy i ekonomický přínos pro odpadové hospodářství. Strategií nulového odpadu, čímž je myšleno snížení množství odpadu končícího na skládkách či ve spalovnách na nulu, se řídí světová města jako Canberra, Seattle a San Jose. Se stejnou strategií se prezentuje například i česká obec Bystřice pod Pernštejnem, která dosahuje snížení množství komunálních odpadů prostřednictvím rozvoje recyklace a kompostování (Kropáček 2003).

Kompostování je proces aerobní mikrobiologické přeměny biologicky rozložitelných materiálů na látky bohaté na obsah humózního materiálu, živin a humusu. Tyto látky lze vrátit zpět do koloběhu živin v přírodě, díky čemuž se stanou zdrojem živin pro rostliny. Z hlediska účasti specifických druhů dekompozičních mikroorganismů probíhá kompostování v podstatě ve dvou základních fázích

biodegradace materiálu. Primární fáze označovaná též jako intenzivní nebo termický rozklad zahrnuje intenzivní mikrobiální rozklad snadno dostupných organických látek jako například cukry, bílkoviny, aminokyseliny a mastné kyseliny a rozklad následných produktů odbourávání. Této fáze se účastní hlavně dekompoziční mikroorganismy termofilního typu způsobující významné prohřátí směsi a podporující nejen biodegradační proces, ale také proces hygienizace zakládky. Současně dochází k minimalizaci emisí zátěžových plynů a k zajištění co nejnižší produkce emisí do ovzduší a do spodních a povrchových vod (Hejátková et. al 2007). Mikrobiální aktivita je ovlivňována nejen chemickým složením kompostovaného materiálu, jak ukazují hodnoty C:N, ale i velikostí částic, příznivým obsahem kyslíku a vody a také teplotou (Tesařová et al. 2010). Rozklad je doprovázen uvolňováním energie, která se projevuje postupným zvyšováním teploty v závislosti na vstupním materiálu až k 70 °C. Po 3 až 6 týdnech teplota postupně klesá (Moňok B. et al. 2008). Fáze primárního rozkladu může být považována za ukončenou tehdy, až vnitřní teplota uvnitř kompostovaného materiálu nevystoupí dlouhodoběji nad 40 °C. Poté následuje sekundární biodegradace. Tato fáze nazývaná také jako následná fáze kompostovacího procesu navazuje na primární fázi. Probíhá v ní odbourání a přeměna těžce odbouratelných látek, zejména celulózy a ligninu, za mezofilních až psychofilních podmínek. Lignin je odbouráván houbami a bílkovinnými složkami, což má za následek syntézu lignoproteinů, stavebních kamenů k polymeraci huminu a tvorbě jílovito-humusového komplexu. V této fázi dochází ke stabilizaci a humifikaci vloženého materiálu. Zároveň vzniká zralý a ke spotřebě připravený kompost. Sekundární rozklad probíhá při teplotách nižších než 40 °C, tedy v čistě mezofilním teplotním rozpětí. Délka sekundárního procesu bývá různá. Závisí na typu a složení vstupních materiálů, tj. na obsahu a podílu strukturního materiálu a na reálném poměru C:N (Hejátková et al. 2007). Po těchto hlavních dvou fázích je tvorba humusu a mineralizace ukončena. Vzniklý zralý kompost obsahuje dlouhodobě vázané živiny a jeho teplota zůstává pod 30 °C a koreluje s teplotou okolí (Moňok et al. 2008).

Z hlediska mikrobiologického hodnocení kompostu se rozlišují tři hlavní skupiny mikroorganismů, které se na kompostování podílejí, a to bakterie, aktinomycety a nižší houby – plísně. Bakterie, jež se vyskytují běžně v kompostu, jsou jak mezofilní, tak termofilní. Řadí se mezi ně zejména čeledi *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonaceae*, *Bacillaceae*, ale i spousta dalších v závislosti na umístění, typu

substrátu a podmínkách prostředí. Nejčastějšími zástupci plísní jsou rody *Mucor*, *Aspergillus* a *Humicola*. Zdrojem patogenních organismů mohou být různé typy podestýlky, čistírenské kaly, exkrementy zvířat, kejda a další, které jsou vstupními surovinami kompostu. Většina patogenních organismů vyskytujících se v kompostech jsou mezofilní a při dodržení správné technologie kompostování a nárůstu teploty k 60 °C po dostatečně dlouhou dobu dochází k jejich likvidaci s výjimkou sporotvorných organismů. Pro hodnocení kompostů se využívá mimo jiné hodnocení na základě přítomnosti indikátorových organismů, v České republice termotolerantních koliformních bakterií rodu *Salmonella* a enterokoků. Zástupce termotolerantních koliformních bakterií, *E.coli* (Lederberg, 1947), se využívá jako indikátor fekálního znečištění pro vody a enterokoky jako indikátor čerstvého fekálního znečištění (Altmann et al. 2013).

Využívání kompostu v zemědělství je jedním ze způsobů, jak lze udržet anebo obnovit kvalitu půdy díky vynikajícím vlastnostem humifikovaných organických složek obsažených v kompostu. Mezi hlavní výhody kompostu patří zlepšení úrodnosti půdy, struktury a pórovitosti půdy a vododržnosti. Velmi příznivá je i hodnota obsaženého dusíku, fosforu, draslíku (NPK), vápníku a dalších živin. V kompostu také dochází ke zvýšení mikrobiální biomasy a aktivity mikrobiální populace a potlačení výskytu chorob rostlin. Kompost upravuje hodnoty pH, dusík se díky jeho působení uvolňuje postupně a fosfor a draslík se stává pro plodiny přístupnější. Kompost dále zvyšuje kolonizaci kořenů rostlin mykorhizickými houbami a kapacitu sorpčního komplexu (Management ... 2012). Badalíková, Červinka (2010) zjistili, že infiltrační schopnost půdy neovlivňuje pouze typ stanoviště, ale je to také kvalita a množství zapraveného kompostu do půdy. Důležité je, aby byl do půdy dodáván dobře vyzrálý a kvalitní kompost, který je poté snadno využitelný pro rozvoj mikrobiální činnosti a umožňuje tak urychlení rozkladu dodané organické hmoty a přeměny na kvalitní humus (Hála et al. 2012).

Kompostování je jako racionální materiálové využití hmoty rostlinného původu stále v našich podmínkách na prvním místě v hierarchii optimálního postupu v odpadovém hospodářství při nakládání s již vzniklým biologickým odpadem (Plíva et al. 2005). Z technologického hlediska se rozlišuje několik základních způsobů výroby kompostu. Ve větším množství se provádí kompostování v pásových nebo plošných hromadách, využívá se intenzivních kompostovacích technologií jako kompostování

v biofermentorech, boxech, žlabech nebo vacích a v neposlední řadě je jedním z těchto základních způsobů výroby kompostu také vermikompostování (Plíva et al. 2004).

Vermikompostování jako využití BRO si postupně i v České republice nachází své místo (Plíva 2011). Za pomoci žížal a mikroorganismů dochází k přeměně organického materiálu na vermikompost, přičemž na rozdíl od klasického kompostování tento způsob nezahrnuje termofilní fázi rozkladu (Hanč et al. 2011). Vermikompostování je proces biooxidace a stabilizace organického materiálu se zapojením žížal a mikroorganismů. Ačkoliv to jsou mikroorganismy, které biochemicky rozkládají organickou hmotu, žížaly jsou klíčové pro celý proces, protože materiál provzdušňují, udržují a fragmentují. Tímto velkou měrou pomáhají ke zvyšování mikrobiální aktivity. Žížaly organický materiál mechanicky mísí, redukují jej a mění jeho fyzikální a chemické vlastnosti (Domínguez a Edwards, 2011).

Vermikompostování se skládá ze dvou procesů. První je aktivní fáze, kdy žížaly zpracovávají odpad, upravují jeho fyzický stav a mikrobiální složení. V druhé fázi dochází k výraznému přesunu žížal do čerstvějších vrstev nezpracovaného odpadu, zatímco mikroorganismy se ujímají rozkladu odpadu. Stejně jako u procesu kompostování není doba trvání první fáze pevně stanovená a závisí na druzích a populační hustotě žížal a jejich schopnosti přijímat potravu (ib.)

Vermikompostování zatím bohužel nebylo plně přijato ve velkém průmyslovém měřítku. Jedním z důvodů může být teplota, která se během procesu drží v mezofilním rozpětí. Odstranění patogenů tak nemusí být kompletně zajištěno (ib.). Existuje mnoho fyzikálních, chemických a mikrobiálních metod pro likvidaci biologických odpadů. Mnohé z nich jsou však velmi časově i finančně náročné, a proto je vyvíjen nátlak na nalezení alternativních, efektivních a méně finančně náročných metod s kratší dobou trvání celého procesu odstranění a využití odpadu. S ohledem na tyto skutečnosti se zdá být vermikompostování plně vyhovující, reálně uskutečnitelné a finančně efektivní pro management tuhých biologických odpadů (Garg et al. 2005). Jednotlivé úkony při kompostování často bývají zdoluhavé, a jak již bylo zmíněno i drahé. Mezi ně řadíme například překopávání, fragmentaci a aeraci. Při vermikompostování tyto aktivity zajišťují z větší míry žížaly. Díky tomu se řadí tento způsob nakládání s biologickými odpady mezi nízkonákladové systémy zpracování odpadů (Hand et al. 1988). Navíc je technologie plně přátelská k životnímu prostředí (Hanč a Plíva 2013).

Materiál získaný vermikompostováním je považován za nejúčinnější organické hnojivo a jeho využití je široké. Vermikompost pracuje jako pomalu působící organické hnojivo. Má ve srovnání s klasickým kompostem výrazně lepší vlastnosti, ať už jde o živiny, kvalitní humus, růstové hormony, enzymy a látky chránící rostliny před škůdci a chorobami. Při dlouhodobé aplikaci zajišťuje konstantní tok organického dusíku a dalších živin z akumulovaného humusu. Čistý zisk efektivit NPK při působení humusu delším než rok je výrazně vyšší oproti chemickým hnojivům, a to až o 50 % (Sinha et al. 2010). Další z variant je využití vermikompostu za účelem rozkladu organických polutantů (Contreras-Ramos et al. 2008). Možností je také využít vermikompost jako náplň do filtrů k filtraci vzduchu například v bioplynových stanicích (Hanč a Plíva 2013). Studie Hanče et al. (2012) uvádí pozitivní vliv vermikompostu na zvýšení hmotnosti podzemní i nadzemní biomasy senážního ovsa. Pozoruhodné výsledky působení vermikompostu jsou zaznamenány i v oblasti půdní agregace a výživy rostlin. Možností, jak využít vermikompost, je také jeho použití při remediaci znečištění půd, odstraňování některých odpadních látek z vod nebo k ochraně produktivity plodin. Nelze zanedbat ani nízkou cenu materiálu a strukturní, chemické a biologické charakteristiky, mezi které se řadí například výjimečně příznivá adsorpční kapacita a degradace polutantů (Pereira et al. 2014). Díky příznivému působení vermikompostu můžou rostliny pozvolna absorbovat fosfor a zároveň redukovat jeho ztráty (Islas-Espinoza et al. 2014). Studie Verma et al. (2014) prováděná na pelargoniích, *Pelargonium graveolens* (Thunb.) L'Hér, představuje vermikompost jako hnojivo s pozitivním účinkem na množství biomasy rostlin a obsahu živin v půdě (měření byla prováděna na množství uhlíku, dusíku a draslíku). Studie prokazuje jasnou vazbu použití vermikompostu na značné zlepšení zdraví půdy. Další kladné výsledky při využití kalifornských žížal v kompostování zaznamenala Berova et al. (2013). Při experimentu na rostlinách papriky seté, *Capsicum annuum* Linnaeus, byl pozorován pozitivní vliv vermikompostu na množství vegetativních částí rostlin a na tvorbu generativních orgánů. Zlepšilo se také rostlinné dýchání. Přidáním vermikompostu do půdy došlo ke zvýšení obsahu dusíku v kořenových částech rostlin a zaznamenán byl výrazný nárůst obsahu dusíku v listech. Dalším vlivem byla pozitivní korelace mezi dusíkem v listech a aktivitou enzymů nitrátových reduktáz. Nakonec došlo k celkovému zvýšení produktivity rostlin. Bansal et al. (2000) prokázal při 90 denním experimentu s využitím vermikompostu u brukve sítinovitě, *Brassica juncea* (Linnaeus) Czern et Coss, a u třtiny cukrové, *Saccharum officinarum* Linnaeus, zvyšování obsahu dusíku při

hnojení vermikompostem. Jiné využití vermikompostu dokládá studie Lim et al. (2014), kdy s pomocí žížal byly degradovány zbytky z výroby palmového oleje. Jejich přítomnost v kompostu vedla k prokazatelnému vzestupu pH, zvýšení elektrické vodivosti a také obsahu živin.

Zajonc (1992) popisuje vermikompost jako hmotu tvořenou výkaly žížal, které vznikají při požívání a trávení kompostovaného substrátu. Žížaly při tomto procesu uplatňují mechanický účinek činnosti své zažívací soustavy a vermikompost se pak skládá z drobných válečkovitých útvarů s průměrem dle vyústění zažívací soustavy žížal. Vzniká zde mnoho meziprostorů, což přispívá k provzdušnění kompostu. V průběhu celého kompostovacího procesu dochází ke změnám v teplotě, vlhkosti, pH, poměru uhlíku a dusíku, dále dochází ke změnám v obsahu prvků fosforu, draslíku, hořčíku, vápníku a toxických kovů (Hohenberger 1999). Výhod vermikompostu využívají často zahrádkáři pro svoji vlastní potřebu. Označují jej často jako „srdce“ zahrady, protože pomáhá udržovat i zvyšovat úrodnost půdy (Kalina 2004). Další výhodou je jeho ekologický význam díky odklonu od pesticidů a minerálních hnojiv (Zajonc 1992).

Vermikompostovat může kdokoli, ať už v domácím prostředí, na zahradě nebo ve velkých hromadách. Důležitým parametrem je udržení přiměřené vlhkosti materiálu, která by neměla klesnout pod 50 %. Přítomnost pesticidů žížaly často usmrtí (Plíva 2011). Nedostatek vzduchu může vést k tvorbě anaerobního prostředí, ve kterém vznikají organické kyseliny, metan, sirovodík a další nežádoucí látky. Většina těchto látek způsobuje silný zápach a problémy s hygienou kompostu (Plíva et al. 2006).

Vermikompostér lze umístit například na balkon, terasu, do garáže nebo na zahradu (v nezbytných případech, kdy není možné vermikompostér uložit ani na jedno z uvedených míst, je možné i umístění v kuchyni). Jde o nádobu, která může být z neprůhledného plastu nebo dřeva s víkem, jež zabraňuje vysoušení (Vojtěchová, Hodek 2007). Jako podestýlku pro založení vermikompostu je nejčastěji využívána tráva, listí, roztrhaný a navlhčený papír, rašelina, kokosové vlákno nebo hobliny (Hanč a Plíva 2013). Vhodným bioodpadem je biomasa ze zemědělství, kůra, štěpky a také vybraný kuchyňský odpad. Některé suroviny, jako jsou například tvrdé větve, vyžadují předúpravu a mechanické drcení (Plíva 2011). I některé kuchyňské zbytky je třeba nakrájet a navlhčit, aby se žížalám snáze zpracovávaly (Flowerdew 2011). Vzniklý

vermikompost může být přidáván na povrch půdy pokojových květin nebo zemědělských kultur (vermikompostovani.cz).

Nedílnou součástí procesu vermikompostování neboli výroby biohumusu jsou žížaly. Jsou to makroskopičtí opaskovci řadící se do řádu *Opisthophora*, třídy *Oligochaeta* a kmene *Anellida*. Mají homogenně segmentované, kromě předústí a pygidiální části bilaterálně souměrné tělo. Jsou to hermafroditi, jejichž externí žlázy produkují při rozmnožování sliz v části těla zvaném opasek a po opadnutí pak sliz tvoří slizové pouzdro, tzv. kokon (Dominguez a Edwards, 2011). Žížaly tvoří velkou část komunity půdní fauny většiny zemědělských ekosystémů a zároveň tedy tvoří velký podíl biomasy půdní makrofauny (Srivastava et al. 2011).

Ve střední Evropě se nachází 39 druhů žížal, které nalezneme v hloubce až 50 cm pod zemí, čímž kypří půdu, mísí organické humusové částice s minerálními, tráví rozloženou organickou hmotu a znovu ji upravenou zpět vylučují (Hohenberger 1994). Ne všechny druhy jsou však schopné rychle a efektivně přeměňovat organické zbytky (Scott 2006). Plíva (2011) pro účely vermikompostování doporučuje využívat konkrétně dva druhy, a to *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) neboli žížalu hnojní a její příbuzný druh *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) neboli žížalu kalifornskou. Jedinci se od sebe odlišují pouze jedním morfologickým znakem. U žížaly hnojní pozorujeme na těle hnědorudé pruhy uprostřed jednotlivých článků těla, které se střídají se špinavě žlutými pruhy v mezičláncových brázdách. Druh *Eisenia andrei* má pouze jednu barvu, a to tmavě nebo světle rudou. Další rozdíl je chování při podráždění. Žížala hnojní vylučuje z hřbetních pórů nažloutlou kapalinu, přičemž *Eisenia andrei* má tuto kapalinu bez zápachu a bez barvy (Zajonc 1992). Tyto dva druhy žížal jsou nejčastěji využívanými druhy pro vermikompostování, protože jsou téměř všudypřítomné a celosvětově rozšířené. Organické substráty kolonizují přirozeně, jejich životní cyklus je krátký, mají široké teplotní a vlhkostní rozpětí a jsou odolní. Pokud srovnáme četnost užití jednotlivých druhů, pro vermikompostování je častěji doporučován druh *Eisenia andrei* kvůli svému růstu a vyšší reprodukční míře (Dominguez a Edwards, 2011).

Speciálně vyšlechtěný druh kalifornských hybridů je dlouhý přibližně 6 až 7 cm (Sulzberger 2007). Nejvíce tomuto jedinci vyhovuje teplota 18 až 25 °C. Nejvyšší možná teplota pro přežití je asi 35 °C, zatímco nejnižší je při 5 °C, kdy se zastavuje jeho životní činnost a při teplotě okolo 4 °C hyne. Jakmile se teplota dostává mezi 15 a

25 °C, stoupá rychlost přijímání potravy a zkracuje se čas vývoje mlád'at. V našich klimatických podmínkách oba zmíněné druhy žížal překonávají zimní období bez větších obtíží v silnějších vrstvách organických odpadů, kde se díky rozkladným pochodům udržuje teplota nad kritickým bodem (Zajonc 1992).

Žížala hnojní i *Eisenia andrei* jsou vlhkomilnými živočichy, nejvíce jim vyhovuje substrát s 70–80% vlhkostí. Jakmile vlhkost klesne pod 60 %, dochází ke zpomalení růstu, dospívání a poruchám v rozmnožování žížal. Optimální hodnota pH substrátu je v neutrální oblasti při 6,5 až 7,5. Nutný je dostatečný přísun kyslíku, nejméně 15% obsah v prostředí (ib.).

Princip výroby humusu je založen na schopnosti žížal přeměňovat v trávicím traktu organické látky. Žížaly dezintegrují a rozmělnují organické zbytky, tím zvětší jejich povrch, který je následně osidlován mikroorganismy. Již při průchodu trávicím traktem žížal se zvyšují počty a aktivita mikroorganismů přítomných v organických zbytcích, což potvrzují výsledky mikrobiologických analýz půdních agregátů před průchodem a po průchodu trávicím traktem žížal. Počty bakterií se zvyšují o dva až tři řády a také schopnost poutat vzdušný dusík volně žijícími bakteriemi stoupá dvakrát až třikrát (Tesařová et al. 2010). Dospělý jedinec spotřebuje denně tolik krmiva, co sám váží. Z toho vyrobí 60 % hlavního produktu vermikompostování, a to biohumusu, a 40 % využije pro své vlastní potřeby (Váňa 1997).

Podle dosavadních zkušeností je možné předpokládat, že po 6 měsících od založení vermikompostu, tj. přidání násady žížal do připraveného biologického materiálu, je materiál plně využitelný (Zajonc 1992). Doporučovaná doba prodeji vermikompostu je 10 měsíců, s jistotou však zatím není známo, zda tato doba nemůže být kratší (vermikompostovani.cz). Na otázku, jak dlouho trvá, než se z biologického materiálu stane trvalý humus téměř nelze jednoznačně odpovědět. Ověření této doby proto vzbuzuje zájem nejednoho odborníka

Cíle práce

Cílem této diplomové práce je posoudit vliv žížal na proces kompostování. Je známo, že žížaly tento proces podporují a kvalita vermikompostu je díky nim podstatně vyšší než u běžného kompostu. Práce tedy porovnává hodnoty naměřené v kompostech s využitím násady žížal a bez ní.

Dalším cílem je zjistit, který z typů kompostérů je při kompostování vhodnější, zda má na kvalitu kompostu vliv využití dřevěného nebo plastového materiálu.

Tato práce si klade za cíl nejen hodnoty z jednotlivých kompostů porovnat, ale také zjistit, zda se vermikompost pocházející od žížal dá případně využít již před prodejem doporučenou dobou.

Metodika práce

Vymezení zájmové oblasti

Pro dosažení stanoveného cíle práce byly využity celkem čtyři kompostéry, které jsem umístila do stínu jen s mírným dosahem slunečních paprsků v zahradě rodinného domu v obytné části Hodonína zvané Rybáře. Pro tento experiment byly použity dva typy kompostéru, celoplastový a celodřevěný. Každý typ kompostéru dvakrát. Do jednoho dřevěného a jednoho plastového jsem vložila násadu žížal a založila kompost. Ve zbylých dvou jsem založila kompost bez žížal. Dva kompostéry byly zhotoveny manuálně ze dřeva a zbylé dva plastové, komerčně vyráběné, byly zapůjčeny od Městského úřadu v Hodoníně.

Kompost byl založen v dubnu roku 2013. Do všech kompostérů jsem na začátku pokusu umístila stejné množství totožného biologického odpadu. Podle návodu dodaného prodejcem násad žížal jsem kompostéry dvakrát zalila vodou, protože aktuální počasí bylo velmi suché a hrozilo snížení vlhkosti pod únosnou úroveň žížal. Zalévání proběhlo v průběhu měsíce dubna a května. Podle pravidel správné kompostářské praxe jsem v kompostech bez žížal překopáváním zajistila dostatečný přísun kyslíku pro rozvoj aerobních organismů., optimální vlhkost teplotu.

Od měsíce srpna jsem pravidelně prováděla odběry v měsíčním intervalu. Jednotlivé odběry vzorků jsem prováděla novodurovou trubicí. Na konci této trubice bylo manuálně vytvořeno ozubení pro snazší odebrání vzorků.

Obrázek 1: Použité kompostéry



Použitý materiál a technické vybavení

V následujícím textu je popsán použitý materiál a technické vybavení společně s metodikou odběru jednotlivých vzorků pro stanovení vlhkosti vzorku, spalitelných látek, pH, obsahu dusíku, vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů.

Metodika vychází z ČSN 465735 (1991) „Průmyslové komposty“.

Pro experiment jsem využila dvou druhů kompostérů.

Dřevěné kompostéry byly zhotoveny z dřevotřískových desek o velikosti 1 × 1 m. Pro výrobu byla použita dřevotříska, která nebyla nijak mořená. Ve spodní části kompostérů byla vytvořena dvířka pro odběr vzorků.

Plastové kompostéry standartní velikosti s již integrovanými dvířky pro odběry byly postaveny vedle dřevěných kompostérů pro zachování stejných podmínek. Pro experiment byl využit komerčně prodávaný kompostér typu JRK 900 Premium, výrobce MEVA-BRNO.

Do každého kompostéru jsem vložila BRO o celkové hmotnosti 30 kg. Odpad se skládal z biomasy pocházející ze zemědělství, konkrétně ze zeleninového odpadu a odpadu z veřejné zeleně v poměru 1 : 1. Materiál byl dovezen z kompostárny Hraničky v Mutěnicích a doplněn byl běžným zahradním odpadem skládajícím se z posečené trávy, plevelu a tenkých větví ovocných stromů a okrasných keřů. Do jednoho plastového a jednoho dřevěného kompostéru jsem však nejprve vložila asi 2/3 odpadu a na něj jsem použila násadu žížal, kterou jsem promíchala s jeho vrchní vrstvou. Následně jsem materiál i s žížalami zasypala zbylou 1/3 odpadu. Vše dle návodu dodavatele násady žížal. Jedna násada žížal obsahuje 800 až 1000 žížal a zbytky vermikompostu, z kterého byla oddělena.

1. K odběru jednotlivých vzorků z kompostu bylo využito:

- Novodurová trubice o délce 1 m a průměru 65 mm se zubatým zakončením pro snazší odběr vzorku.
- Papírové sáčky pro vážení vzorků.
- Plastové misky pro ukládání vzorků k vysušení.
- Váha KERN HDB5K5.

2. K předúpravě vzorků bylo využito:

- Čtvercové platové síto o velikosti otvorů 50 mm.
- Čtvercové plastové síto o velikosti otvorů 10 mm.
- Čtvercové platové síto o velikosti otvorů 5 mm.

3. Ke stanovení vlhkosti ve vzorcích bylo využito:

- Laboratorní sušička SANYO 113L.
- Váha laboratorní 1212 M, fy Precisa.

4. Ke stanovení podílu spalitelných látek ve vzorcích bylo využito:

- Váhy laboratorní 1212 M, fy Precisa.
- Skleněný exsikátor.
- Plastové síto s otvory o průměru ok 0,5 mm.
- Laboratorní sušička SANYO 113L.
- Porcelánová miska o objemu 10 ml.
- Laboratorní elektrická muflová pec LH 30, fy LAC (Elektrická laboratorní pec ... 2007).

5. Ke stanovení hodnoty pH ve vzorcích bylo využito:

- Váhy laboratorní 1212 M, fy Precisa.
- Digitální potenciometrický pH-metr, MPH 44LN, fy INSA.
- Laboratorní třepačka LT2, fy Kavalier.
- Plastové uzavíratelné vzorkovnice 100 ml.
- Skleněné kádinky 100 ml.
- Deionizovaná voda (H₂O).
- Tlumivé roztoky s hodnotou pH 7 a 9.

6. Ke stanovení celkového obsahu dusíku ve vzorcích bylo využito:

- Váhy laboratorní 1212 M, fy Precisa.
- Mineralizační trubice.
- Mineralizátor pro stanovení N – DK 20, fy VELP (Uživatelská příručka ... 2005).

- Příklad na destilaci s vodní parou – VAPODEST 30s, fy Gerhardt (Instruction manual ... 2008).
- Automatický titrátor – TitroLine 6000, fy Si Analysis.
- Kyselina sírová (H_2SO_4).
- Kyselina chlorovodíková (HCl).
- Hydroxid sodný (NaOH).

7. Ke stanovení obsahu vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů ve vzorcích bylo využito:

- Váhy laboratorní 1212 M, fy Precisa.
- Laboratorní třepačka LT2, fy Kavalier.
- Odměrný válec.
- Filtrační papír SF 15M.
- Filtrační aparatura.
- Skleněné kádinky 150 ml.
- Zkumavky PE 50 ml.
- Deionizovaná voda (H_2O).
- Kyselina octová (CH_3COOH).
- Fluorid amonný (NH_4F).
- Chlorid amonný (NH_4Cl).
- Kyselina chlorovodíková koncentrovaná (0,012 M HCl)
- Reagencie PhosVer3 (for 25 ml) Fy HACH obsahující molybdenan amonný.
- Spektrofotometr DR 2800, fy HACH.
- Atomový absorpční spektrometr (AAS) - AvantaS, fy GBC (Operation manual ... 1996).

Legislativa odpadového hospodářství

Cílem této diplomové práce nebylo vytvořit průmyslový kompost, ale získat kompost vznikající u obyvatel měst a obcí, kteří využívají při kompostování žížaly. V následujících právních předpisech jsou uvedeny nejdůležitější zákony, vyhlášky a norma týkající se nakládání, zpracování a využití BRO v Evropské unii a České

republice. Norma ČSN 465735 slouží jako hlavní dokument pro objektivní hodnocení a porovnání výsledků, protože obsahuje limity stanovených ukazatelů a znaků jakosti, kterým musí odpovídat průmyslový kompost.

Legislativa Evropské unie

Směrnice evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech

Směrnice nahradila zastaralou legislativní normu z roku 1975. Aktivitu evropských institucí vyvolal především nárůst produkce odpadu a nedokonalé způsoby odstraňování. Směrnice zavádí cíle pro opětovné využívání odpadů, které mají být naplněny do roku 2020. Dále určuje pravidla pro vývoj legislativy v členských státech Evropské unie (EU) a ukládá povinnost vypracovat závazné programy pro předcházení vzniku odpadu a nakládání s nimi (Management ... 2012)

Směrnice Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů

V evropské směrnici byl s cílem snížit emise skleníkových plynů stanoven požadavek na snížení množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) ukládaného na skládky. Z celkového množství BRKO uložených na skládky v roce 1995 je třeba snížit toto množství do roku 2006 na 75 %, do roku 2009 na 50 % a do roku 2016 na 35 % uvedené hodnoty (ib.)

Legislativa České republiky

Nářízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství (POH) České republiky

V závazné části POH obsahuje strategii odpadového hospodářství, stanovuje podíl recyklovaných odpadů a podíl odpadů ukládaných na skládky. Je zde stanovena i strategie omezování BRO na skládkách a rozvoj kompostování a anaerobního využívání tohoto odpadu.

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů

Právní úprava odpadového hospodářství České republiky se důsledně snaží přiblížit předpisům EU. Základní právní předpis obsahuje povinnosti pro nakládání s odpady, včetně kalů z čistíren odpadních vod, a biologicky rozložitelných odpadů. Zákon o

odpadech dává přednost využívání odpadů před jejich odstraňováním a upřednostňuje materiálové využití odpadů před využitím energetickým.

Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech s nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Vyhláška podrobně určuje požadavky na vybavení a provoz zařízení biologického zpracování bioodpadů. Dále také upravuje kritéria a způsoby hodnocení upravených bioodpadů a jejich zařazování do skupin dle způsobu využití. Kontrolu provozu včetně prověření kontroly kvality výstupů provádí Česká inspekce životního prostředí, příslušná obec s rozšířenou působností a krajský úřad.

Norma ČSN 465735

Tato norma platí pro výrobu, zkoušení, dodávání a užívání kompostů vyráběných průmyslovým způsobem a používaných jako organické hnojivo.

Uvádí všeobecné požadavky na kompost. *Průmyslový kompost musí být hnědá, šedohnědá až černá homogenní hmota drobkovitá až hrudkovitá struktury bez nerozpojitelných částic. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek.* Definiuje umístění a velikost zakládky, zrání, překopávání a zavlažování. Stanoveny jsou i technické požadavky a znaky jakosti.

Tabulka 1: Limitní požadavky na znaky jakosti podle ČSN 465735

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	min. 40 a max. 65
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 25
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min. 0,6
Poměr C:N	max. 30
Hodnota pH	od 6,0 do 8,5

Poznámka: Tabulka byla převzata a upravena z ČSN 465735.

Dále udává postup vzorkování pro jednotlivá měření a postup pro výpočty znaků jakosti. V závěru normy je uveden způsob dodávání kompostu, doprava a značení.

Metodika práce

Odběr vzorků

Pro odběr vzorků jsem využila následující postup: V měsíčním intervalu jsem z jednotlivých kompostérů odebírala novodurovou trubicí vzorky kompostu. Novodurová trubice byla dlouhá 1 m o průměru 65 mm a měla upravený ozubený konec. Vzorky o hmotnosti cca 500 g jsem odebírala ze spodní části kompostérů přes otevřená dvířka. Odebrané vzorky jsem pak protlačila sítý s otvory o velikosti 50 mm, 10 mm a 5 mm a poté zvažila. Nakonec jsem vzorky umístila na chráněné místo k vysušení a patřičně označila.

Předúprava vzorků

Předúprava vzorků spočívala v jejich protlačení přes síta a v následném vážení. Jednotlivé vzorky jsem protlačila sítý o velikosti 50 mm, 10 mm a 5 mm. Při protlačování jsem odstranila velké části materiálu. Následně jsem vzorky zvažila s přesností na $\pm 0,5$ g, řádně označila a uložila k vysušení pro další analýzy.

Stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti vzorku jsem provedla pomocí laboratorní sušičky a vah.

Jednou z hodnot pro výpočet vlhkosti byla hmotnost vzorků s přesností $\pm 0,5$ g, kterou jsem zaznamenala ihned po odebrání z kompostu.

Vzorky byly nejdříve předsušeny volně na vzduchu a následně se v laboratoři sušily v laboratorní sušičce při teplotě 105 °C po dobu 30 minut. Po vychladnutí vzorků v exsikátoru jsem je opět zvažila s přesností na $\pm 0,5$ g.

Podle následujícího vzorce jsem vypočítala hmotnostní vzorek vlhkosti:

$$W_1 = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1}$$

kde W_1 je vlhkost vzorku v %.

m_1 je hmotnost před sušením v g.

m_2 je hmotnost po sušení v g.

Stanovení spalitelných látek

Vzorky, u nichž se stanovovala vlhkost sušením, jsem napřed homogenizovala a poté podrtila v porcelánové třecí misce. Drcení muselo být tak důsledné, aby vzorky prošly sítím s velikostí ok 0,5 mm. Takto upravené vzorky se znovu vysušily v laboratorní sušičce při teplotě 105 °C po dobu 30 minut.

Po vychladnutí v exsikátoru jsem z každého vzorku navážila do předem označených porcelánových misek 5 g s přesností na $\pm 0,001$ g. Vzorky se poté nechaly pozvolna spálit a následně vyžítat v elektrické muflové peci při teplotě 550 °C po dobu 4 hodin (příloha A). Po vychladnutí jsem je zvažila s přesností na $\pm 0,001$ g.

S využitím následujícího vzorce jsem vypočítala hmotnostní zlomek spalitelných látek ve vzorku v %:

$$W_2 = \frac{(m_3 - m_4) \times 100}{m_3}$$

kde W_2 jsou spalitelné látky ve vzorku v %.

m_3 je hmotnost vzorku před žiháním v g.

m_4 je hmotnost vzorku po žihání v g.

Stanovení pH

S využitím pH metru se skleněnou elektrodou ve vodní suspenzi jsem potenciometricky stanovila hodnotu pH ve vzorcích.

10 g upraveného vzorku jsem s přesností $\pm 0,05$ g navážila do uzavíratelné plastové vzorkovnice. Vzorek jsem zalila 50 ml deionizované vody a na 10 minut jsem uzavřenou vzorkovnici vložila do laboratorní třepačky.

Jakmile bylo mechanické promíchávání ukončeno, pH metr jsem pomocí tlumivých roztoků s pH 7 a 9 nakalibrovala dle návodu výrobce pH metru. Následně jsem změřila hodnotu pH ve vzorcích. Mezi každým měřením jsem skleněnou elektrodu opláchla deionizovanou vodou v kádince.

Stanovení celkového dusíku podle Kjeldahla

Navážku vzorku jsem vpravila do mineralizační trubice o objemu 500 ml a přidala katalyzační směs s obsahem selenu a draslíku. Vzorek se smísil se směsí a poté jsem přidala koncentrovanou H_2SO_4 tak, aby se pokud možno spláchly zbytky vzorku z hrdla do trubice. Mineralizační trubici jsem vložila do mineralizačního bloku. Po promísání jsem vzorky mírně zahřívala až do pění. Po skončení tvorby pěny se pozvolna zvyšovala teplota až na $380\text{ }^\circ\text{C}$ a občasným otáčením trubice jsem zajistila, aby kondenzát vymyl z hrdla trubice všechny zbytky do mineralizátu. Po vyjasnění popř. odbarvení roztoku se zahříval ještě 30 minut.

Mineralizát jsem po ochlazení opatrně zředila vodou v destilačním přístroji pro destilaci s vodní parou. Poté jsem přidala hydroxid sodný (cca 30%). Konec chladiče jsem ponořila do kyseliny tak, aby byl dostatečně pod hladinou. Vháněním vodní páry byl vzorek vařen, dokud se nepředestilovalo alespoň 80–100 ml.

Destilát jsem po přidání indikátoru titrovala roztokem 0,01M HCl (příloha A).

Obsah celkového dusíku N v % (w/w) jsem vypočítala dle vzorce:

$$\frac{(a-b) \times e \times 100}{m}$$

kde: a je spotřeba HCl při slepém pokusu (ml)

b je spotřeba HCl při vlastním stanovení (ml)

- e je chemický ekvivalent N pro 1 ml roztoku příslušné koncentrace
 m je navážka vzorku (g)

Využitím výsledku procentuálního zastoupení N ve vzorku jsem vyjádřila poměr C:N.

Obsah celkového dusíku v sušině jsem získala násobením výsledku koeficientem:

$100/S$, kde S je sušina vzorku ($100 - \text{vlhkost}$) [%].

Tento jsem pak dosadila do vzorce pro výpočet poměru C:N dle normy ČSN 46 5735:

$$x = \frac{W_3}{W_4 \times 2}$$

- kde W3 je hmotnostní zlomek spalitelných látek ve vysušeném vzorku.
 W4 je hmotnostní zlomek celkového dusíku jako N přepočtený na vysušený vzorek v %.

Metodika stanovení celkového dusíku byla převzata z pracovních postupů uvedených v knize Analýzy půd (Zbiral 2010–2011).

Stanovení obsahu vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů

Ke stanovení obsahu vápníku, hořčíku, sodíku a draslíku jsem využila atomového absorpčního spektrofotometru AAS AvantaS. Ke stanovení fosforečnanů jsem použila spektrofotometr DR 2800.

Pro stanovení fosforečnanů jsem do označených zkumavek navážila vzorky o hmotnosti 10 g. Poté jsem připravila extrakt dle Mehlicha II. pomocí kyseliny octové (CH_3COOH), fluoridu amonného (CH_4F), chloridu amonného (NH_4Cl) a kyseliny

chlorovodíkové (0,012 M HCl). Ke vzorkům jsem přidala 100 ml tohoto extrakčního činidla a na 10 minut se vzorkovnice s uzávěrem vložily do laboratorní třepačky. Následně se vzorky přefiltrovaly s využitím filtrační aparatury.

Pro stanovení fosforečnanů jsem ke každému filtrátu přidala obsah jednoho balení reagentie PhosVer3/for 25 ml/ firmy HACH obsahující fosfomolybdenan amonný a 2 minuty jsem vzorky míchala až do úplného rozpuštění reagentie. Modré zbarvení filtrátu odpovídalo koncentraci fosforečnanů ve výluhu.

Do spektrofotometru DR 2800 jsem postupně vkládala vzorky a z displeje odečítala hodnoty koncentrace PO_4^{3-} v mg/l. Následně jsem provedla přepočet na sušinu, kde jsem výslednou hodnotu v mg/l PO_4^{3-} vynásobila 1000 = mg PO_4^{3-} /kg sušiny.

Pro stanovení obsahu vápníku, hořčíku, sodíku a draslíku jsem filtráty zředila deionizovanou vodou v poměru 1:100 a poté vkládala do automatického podavače spektrofotometru AAS AvantaS. Přístroj odečítal hodnoty v mg/l, následně jsem provedla přepočet v mg/kg.

Statistické zpracování dat

Vlivy materiálů, dřeva nebo plastu, a nevyužití či využití násady žížal byly posuzovány statisticky pomocí procedury Glimmix SAS, parametry byly vypočítány metodou La Placeho a nejlepší model byl určen podle Akaikeho informačního kritéria (AIC). Měření v rámci jednoho kompostéru v čase byla brána jako opakovaná měření. Nastavena byla autokorelační struktura reziduí 1. řádu a u všech analyzovaných proměnných byla předpokládána normální distribuce.

Výsledky práce

V následující kapitole jsou prezentovány výsledky provedeného experimentu, které jsou zpracovány dle metodiky.

Jednotlivá měření jsou vždy srovnána v závislosti na typu kompostéru a použití násady žížal. Výsledky jsou přehledně interpretovány do grafů, tabulky hodnot jsou součástí příloh (příloha B).

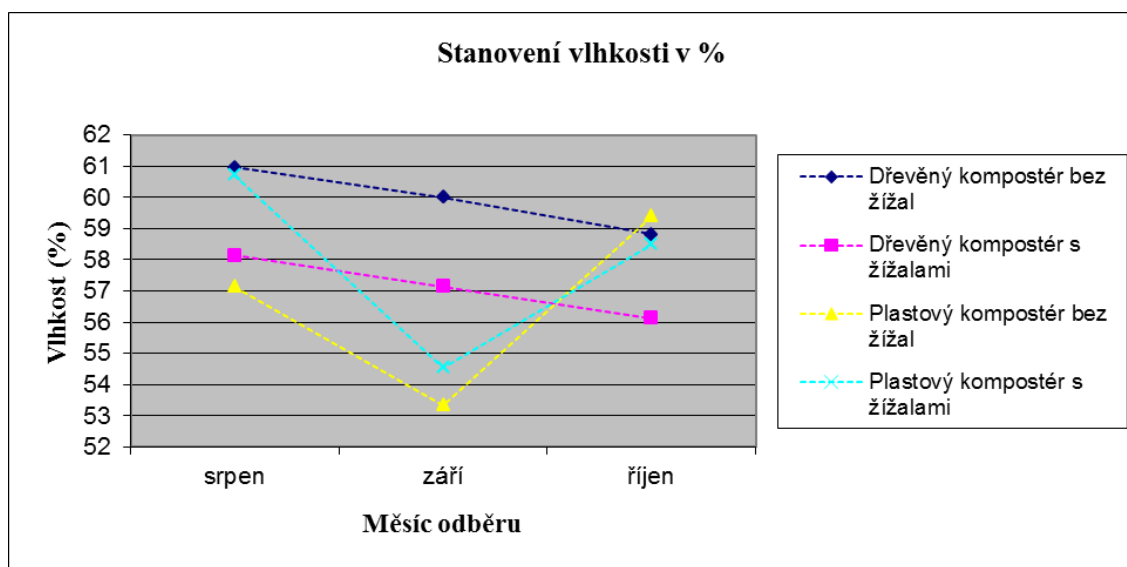
Zjištěné výsledky měření byly statisticky zpracovány pomocí procedury Glimmix SAS a poté vyhodnoceny. Průměrné hodnoty zjištěných výsledků jsou zaznamenány do tabulek (tab. 2–21) a u jednotlivých měření je vždy zhodnoceno, zda měl na měřenou veličinu vliv materiál a použitá násada žížal.

Posuzování jednotlivých měření

Vlhkost kompostů

Dle Normy ČSN 465735 by se vlhkost měla pohybovat v rozmezí 40 až 65 %. Všechny hodnoty vyhovovaly zadaným kritériím (obr. 2).

Pro žížaly je vhodné udržovat vlhkost materiálu nad 50 %, což se podařilo ve všech vzorcích.

Obrázek 2: Stanovení vlhkosti

Výsledky statistického hodnocení neprokázaly žádný vliv materiálů ani násady žížal na vlhkost kompostů. Průměrné hodnoty se pohybovaly v mezích zadaných Normou ČSN 465735 (tab. 2–3).

Tabulka 2: Průměrné hodnoty (%) vlhkosti ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	58,53	1,40
Plast	57,27	2,27

Tabulka 3: Průměrné hodnoty (%) vlhkosti ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

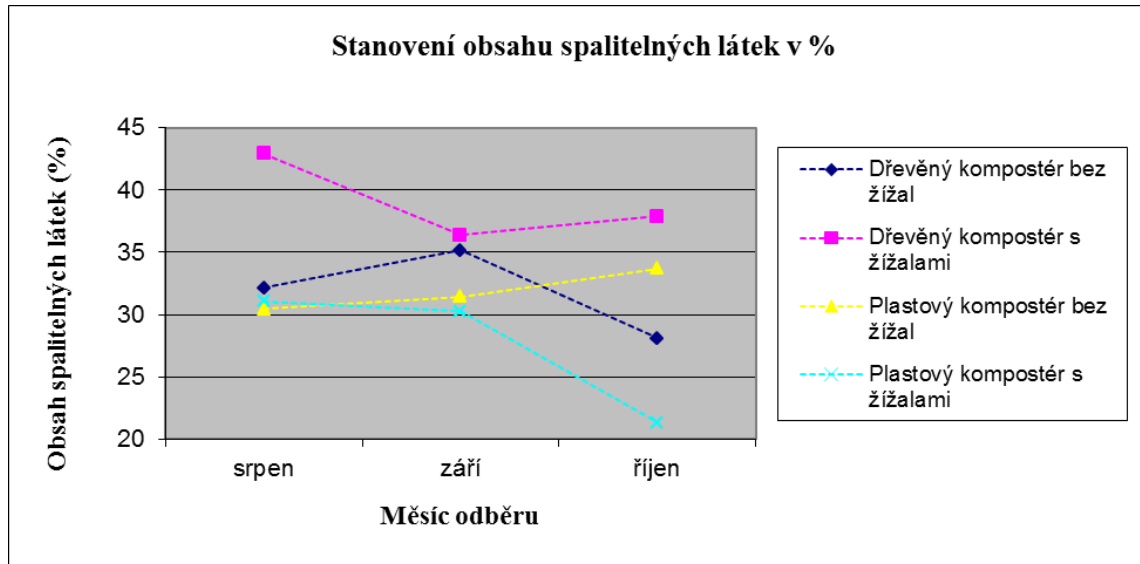
Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	57,53	1,59
Nevyužitá	58,28	2,03

Obsah spalitelných látek v kompostech

Dle Plívy a kol. (2006) má hodnota spalitelných látek v kompostu dosahovat 35 až 41 %, dle Normy ČSN 465735 minimálně 25 %. Hodnot stanovených Normou ČSN 465735 dosáhly všechny vzorky, vzorek z dřevěného kompostéru v měsíci srpnu

přesáhl svým obsahem spalitelných látek limity dané Plívou a kol (2006). Ostatní hodnoty vzorků se v průběhu experimentu nacházely v zadaných mezích, pouze vzorek z kompostu z plastového kompostéru s žížalami na konci experimentu klesl pod minimální hodnotu (obr. 3).

Obrázek 3: Stanovení obsahu spalitelných látek



Statistické hodnocení prokázalo vliv délky kompostování na obsah spalitelných látek. S přibývajícím časem hodnoty spalitelných látek v kompostu klesají. Vliv materiálu ani násady žížal na hodnoty obsahu spalitelných látek nebyl prokázán. Všechny průměrné hodnoty kompostů se nacházely v mezích zadaných Normou 465735 (tab. 4–5).

Tabulka 4: Průměrné hodnoty (%) obsahu spalitelných látek ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	35,43	3,63
Plast	29,63	2,80

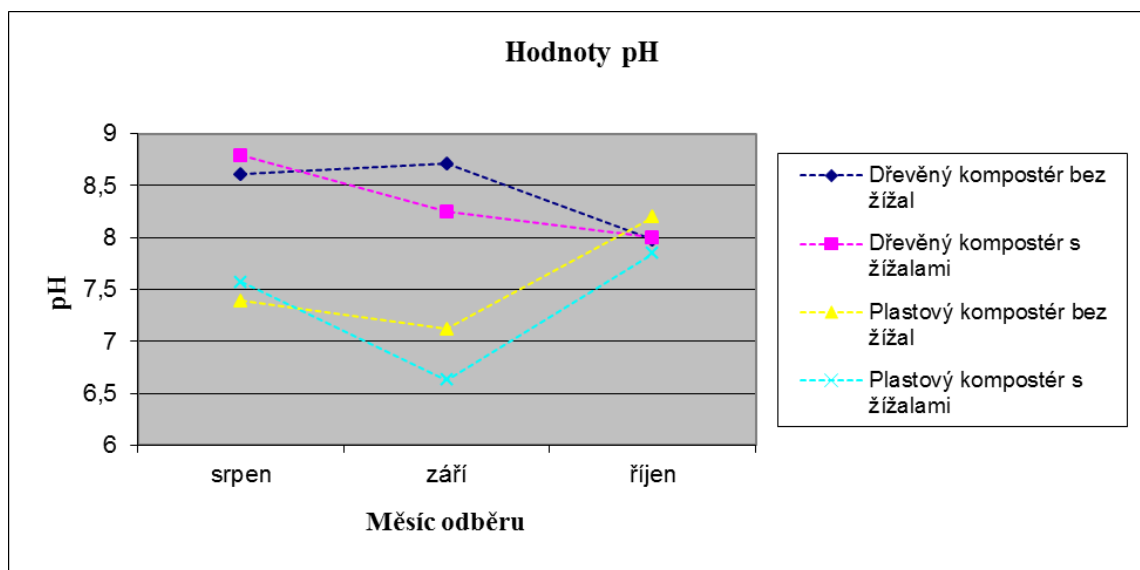
Tabulka 5: Průměrné hodnoty (%) obsahu spalitelných látek ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	33,30	5,76
Nevyužitá	31,83	1,84

Hodnoty pH v kompostech

Dle Normy ČSN 465735 by se měly hodnoty pH ve vzorcích kompostu pohybovat v rozmezí od 6 do 8,5. Pouze tři naměřené hodnoty pH ve vodní suspenzi laboratorních vzorků překročily toto rozmezí (obr. 4). Jednalo se o oba vzorky kompostů z dřevěných kompostérů v měsíci srpnu a vzorek z kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami v měsíci září.

Obrázek 4: Stanovení hodnot pH



Statistické hodnocení prokázalo vliv materiálu na hodnotu pH v kompostech. Průměrná hodnota pH v kompostech z dřevěných kompostérů byla 8,39, což je vyšší, než v kompostech z plastových kompostérů, u kterých průměrná hodnota dosahovala 7,46 (tab. 6–7). 95% meze spolehlivosti byly v rozmezí 8,14–8,64 u kompostů z dřevěných kompostérů, u kompostů z plastových kompostérů byly v rozmezí 7,13–7,79 (rozdíl mezi 1. a 2. modelem na základě AIC byl 4,14). Vliv násady žížal na hodnoty pH v kompostech nebyl prokázán.

Tabulka 6: Průměrné hodnoty pH ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	8,39	0,32
Plast	7,46	0,42

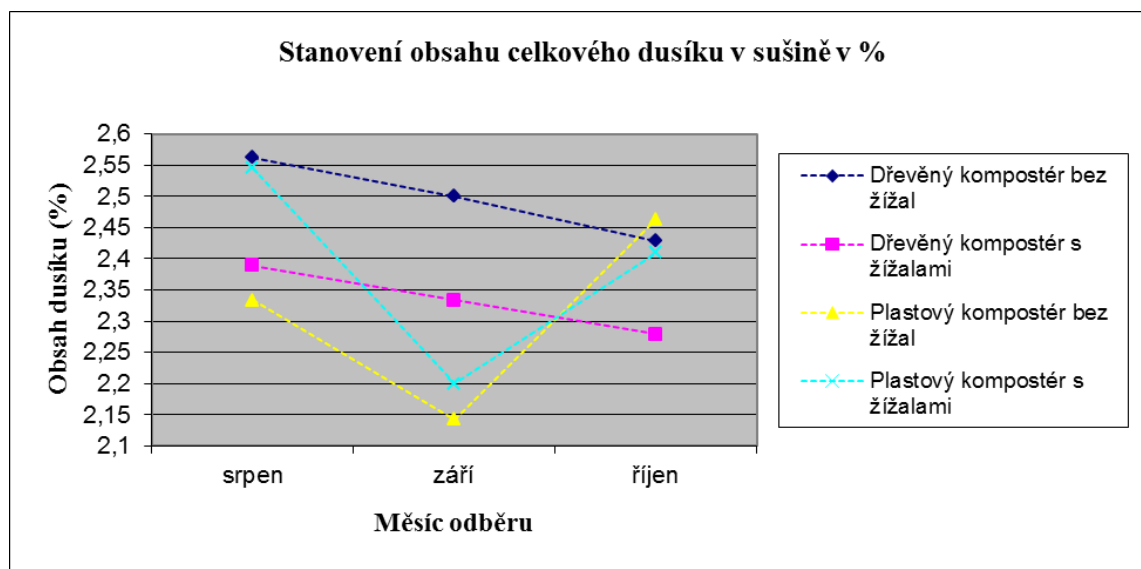
Tabulka 7: Průměrné hodnoty pH ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	7,85	0,50
Nevyužitá	8,00	0,51

Obsah celkového dusíku v kompostech

Z výsledků analýz byly spočítány hodnoty obsaženého dusíku (obr. 5).

Dle Normy ČSN 465735 je minimální obsah dusíku přepočteného na sušinu 0,6 %. Těchto hodnot dosáhly všechny měřené vzorky.

Obrázek 5: Stanovení obsahu celkového dusíku přepočteného na sušinu v %

Výsledky statistického hodnocení neprokázaly žádný vliv materiálů ani násady žížal na obsah celkového dusíku v kompostech. Průměrné hodnoty se pohybovaly nad minimální hodnotou zadanou Normou ČSN 465735 (tab. 8–9).

Tabulka 8: Průměrné hodnoty (%) obsahu dusíku ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

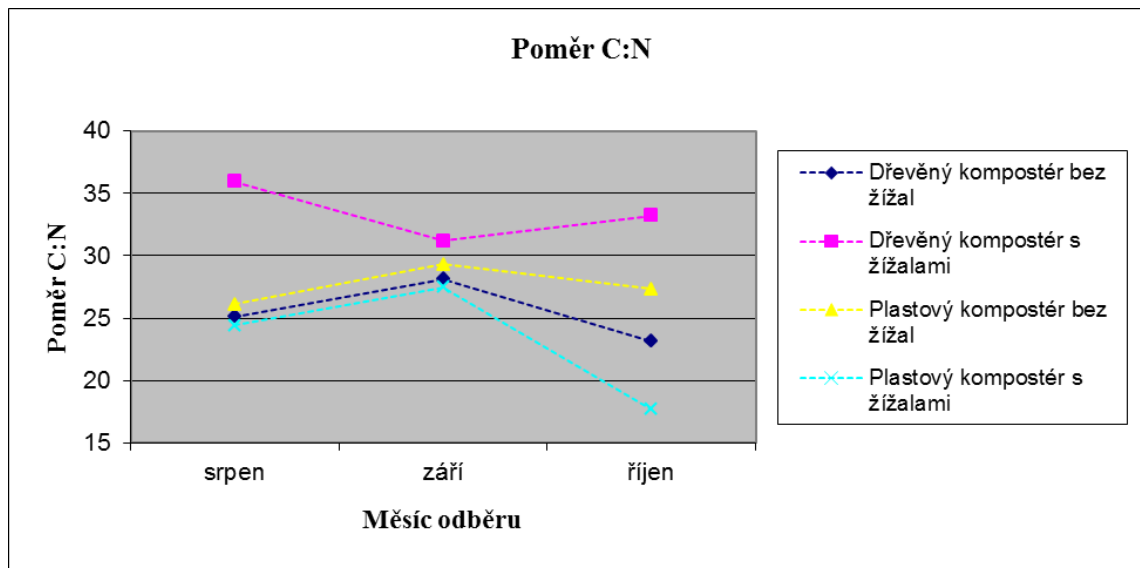
Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	2,42	0,08
Plast	2,35	0,12

Tabulka 9: Průměrné hodnoty (%) obsahu dusíku ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	2,36	0,09
Nevyužitá	2,41	0,11

Poměr C:N

Organické látky se rozkládají různou rychlostí, přičemž tato rychlost může být vysvětlena různým poměrem uhlíku a dusíku (C:N). Obsah uhlíku tvoří téměř polovinu obsahu organické hmoty (spalitelných látek). Dle ČSN 465735 je hodnota 30:1 maximální hodnotou poměru C:N. Ideální jsou hodnoty 25:1 až 30:1. Těchto hodnot dosahují všechny vzorky v měsíci září s výjimkou kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami, který tuto hodnotu přesahuje. V předchozím měsíci jsou značně odlišné, kompost z dřevěného kompostéru s žížalami dosahuje vyšší hodnoty než hodnoty ostatních kompostů, které jsou výrazně nižší. V měsíci říjnu je opět jiná hodnota pro kompost z dřevěného kompostéru s žížalami, která je znovu vyšší než klesající hodnoty ostatních kompostů (obr. 6).

Obrázek 6: Stanovení poměru C:N

Výsledky statistického hodnocení neprokázaly žádný vliv materiálů ani násady žížal na poměr C:N v kompostech. Průměrné hodnoty se pohybovaly v mezích zadaných Normou ČSN 465735 (tab. 2–3). Průměrné hodnoty poměru C:N se pohybují v mezích zadaných Normou ČSN 465735 (tab. 10–11).

Tabulka 10: Průměrné hodnoty poměru C:N ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	29,45	4,0
Plast	25,39	2,9

Tabulka 11: Průměrné hodnoty poměru C:N ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

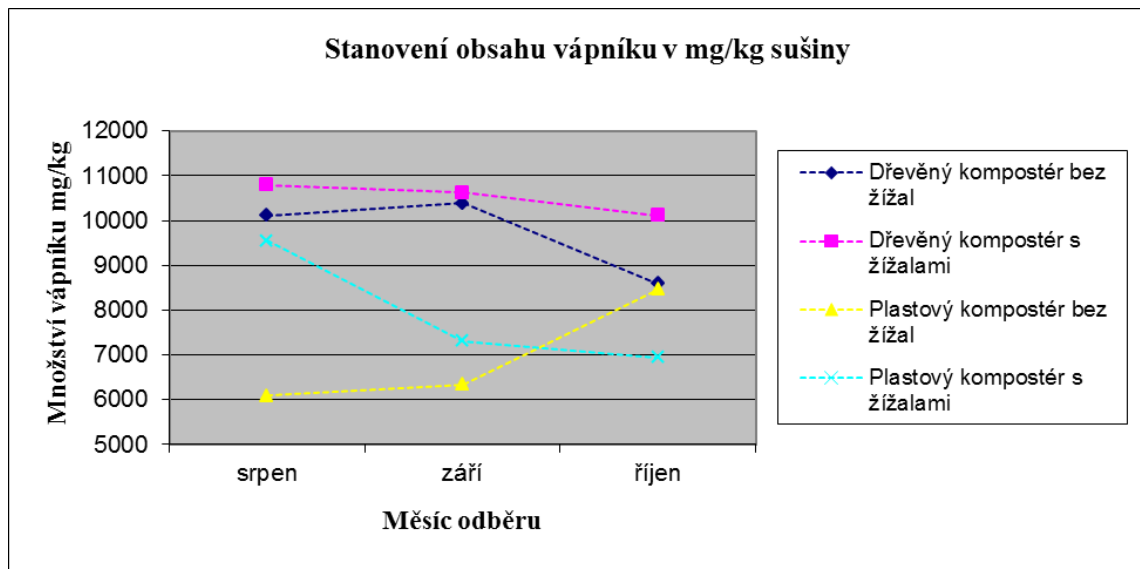
Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	28,32	5,13
Nevyužitá	26,52	1,74

Obsah vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů

Jednotlivá měření posuzovala obsah prvků a sloučenin z výluhů, které jsou okamžitě dostupné rostlinám. Posuzován byl obsah vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a fosforečnanů. Nejvyšší obsah uvedených prvků vykazoval kompost z dřevěného kompostéru s žížalami (obr. 7–11).

Nejvyšší obsah vápníku byl naměřen u kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami, za ním následovala hodnota opět dřevěného kompostéru, ale již bez žížal. Nižší hodnoty byly zjištěny u plastových kompostérů (obr. 7).

Obrázek 7: Stanovení obsahu vápníku



Výsledky statistického hodnocení neprokázaly žádný vliv materiálů ani násady žížal na obsah vápníku v kompostech. Lze pozorovat mírné rozdíly v průměrných hodnotách obsahu vápníku ve vzorcích při rozdělení dle využitého materiálu nebo násady žížal (tab. 12–13).

Tabulka 12: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu vápníku ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

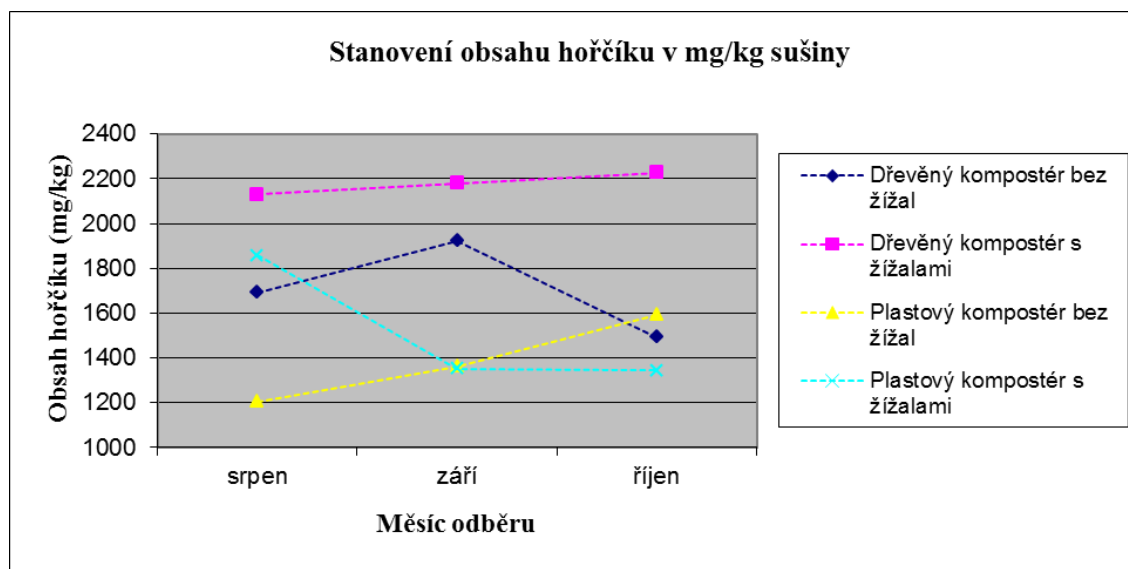
Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	10104,33	501,78
Plast	7448,33	1038,44

Tabulka 13: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu vápníku ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	9220,67	1397,11
Nevyužitá	8332,00	1412,00

Nejvyšší množství hořčíku byla naměřena znovu u kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami. Ostatní hodnoty byly vyšší u kompostu v dřevěném kompostéru bez žížal, nicméně v měsíci srpnu tyto hodnoty překonal obsah hořčíku naměřený v kompostu z plastového kompostéru s žížalami (obr. 8).

Obrázek 8: Stanovení obsahu hořčíku



Výsledky statistického hodnocení neprokázaly žádný vliv materiálů ani násady žížal na obsah hořčíku v kompostech. Průměrné hodnoty obsahu hořčíku ve vzorcích se liší při rozdělení dle využitého materiálu nebo násady žížal (tab. 14–15).

Tabulka 14: Průměrná hodnota (mg/kg sušiny) obsahu hořčíku ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

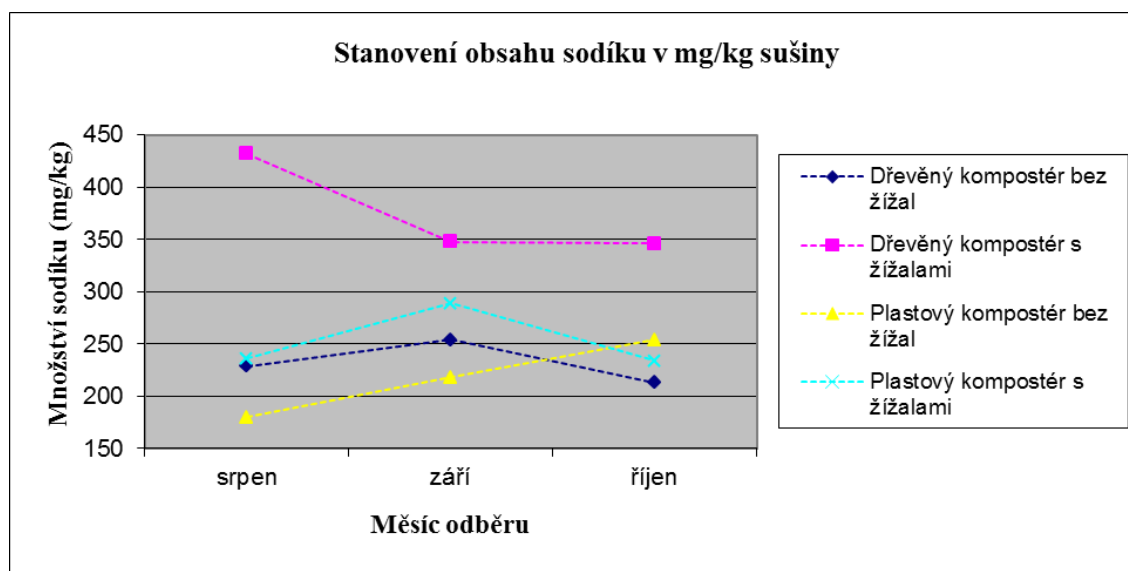
Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	1940,84	237,50
Plast	1452,00	181,67

Tabulka 15: Průměrná hodnota (mg/kg sušiny) obsahu hořčíku ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	1848,00	333,33
Nevyužitá	1544,83	191,17

Obsah sodíku byl v nejvyšším zastoupení zjištěn u kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami. Ostatní hodnoty byly výrazně nižší, nicméně v měsíci září byly nejvyšší hodnoty u kompostu z plastového kompostéru s žížalami (obr. 9).

Obrázek 9: Stanovení obsahu sodíku



Statistické hodnocení neprokázalo vliv materiálu a násady žížal na obsah sodíku v kompostu. Lze pozorovat rozdíly v průměrných hodnotách obsahu sodíku ve vzorcích při rozdělení dle využití materiálu nebo použití žížal (tab. 16–17).

Tabulka 16: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu sodíku ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

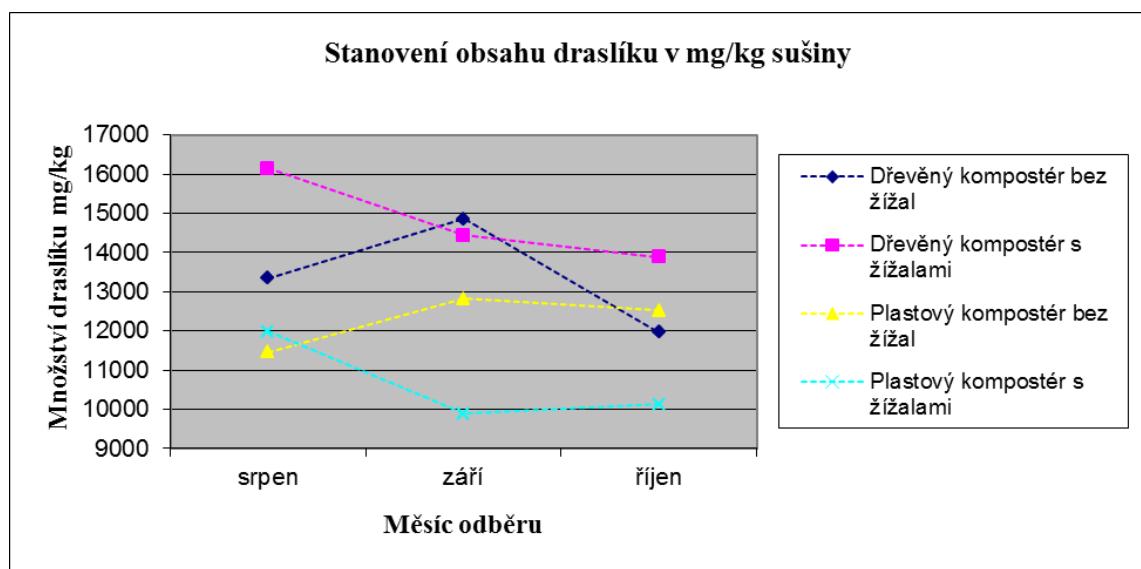
Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	303,67	71,67
Plast	235,17	24,50

Tabulka 17: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu sodíku ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	314,17	61,17
Nevyužitá	224,67	21,00

Nevyšší obsah draslíku byl naměřen v měsíci srpnu u kompostu z dřevěného kompostéru, ačkoliv v měsíci září jej převýšila hodnota kompostu z dřevěného kompostéru bez žížal. Komposty z plastových kompostérů obsahovaly nižší množství draslíku (obr. 10).

Obrázek 10: Stanovení obsahu draslíku



Statistické hodnocení vlivu materiálu a násady žížal na obsah draslíku v kompostech prokázalo vliv materiálu. Průměrná hodnota obsahu sodíku v kompostech z dřevěných

kompostérů byla 14106 mg/kg sušiny, což je více, než v kompostech z plastových kompostérů, kde hodnota dosahovala 11468 mg/kg sušiny (tab. 18–19). 95% meze spolehlivosti byly u kompostů z dřevěných kompostérů v rozmezí 13273,31–14938,69, u kompostů z plastových kompostérů byly 10686,58–12250,1 (rozdíl mezi 1. a 2. modelem na základě AIC byl 1,25).

Tabulka 18: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu draslíku ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

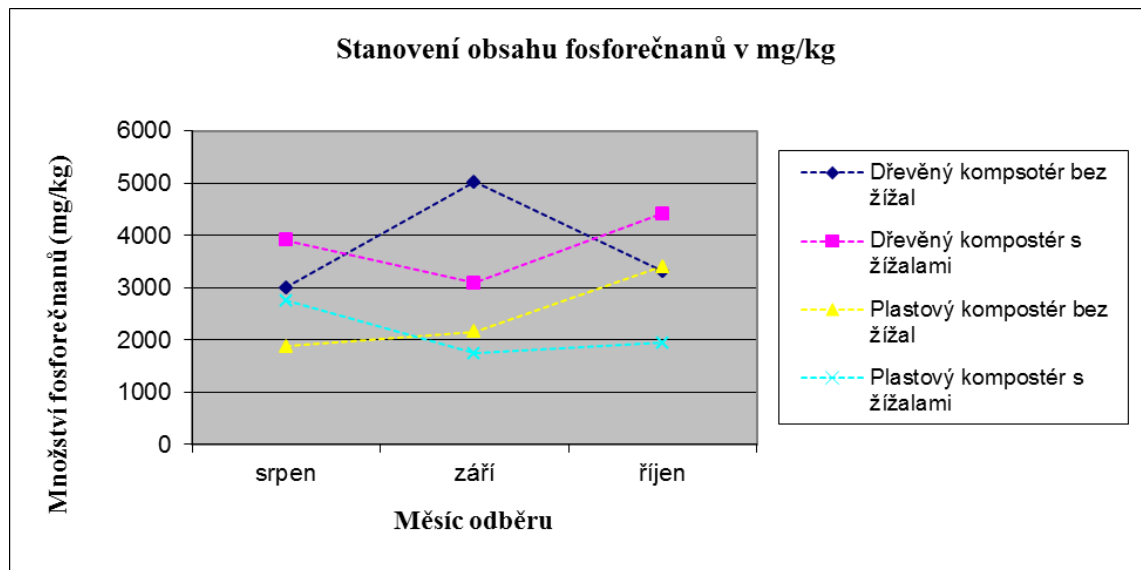
Materiál	Průměrné hodnoty	Střední chyba průměru
Dřevo	14106,00	1040,67
Plast	11468,33	977,00

Tabulka 19: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu draslíku ve vzorcích v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrné hodnoty	Střední chyba průměru
Využitá	12745,67	2077,00
Nevyužitá	12828,67	848,56

Naměřený obsah fosforečnanů byl v měsíci srpnu nejvyšší u kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami, nicméně v měsíci září jej znovu převýšila hodnota kompostu z dřevěného kompostéru bez žížal. Komposty z plastových kompostérů dosahovaly nižších hodnot (obr. 11).

Obrázek 11: Stanovení obsahu fosforečnanů



Statistické hodnocení vlivu materiálu a násady žížal na obsah fosforečnanů v kompostech prokázalo vliv materiálu. Průměrná hodnota obsahu fosforečnanů v kompostech z dřevěných kompostérů byla 3791,67 mg/kg sušiny, což je více, než v kompostech z plastových kompostérů, kde hodnota dosahovala 2172,71 mg/kg sušiny (tab. 20–21). 95% meze spolehlivosti byly u kompostů z dřevěných kompostérů v rozmezí 3267,57–4315,77, u kompostů z plastových kompostérů byly 1904,37–2722,29 (rozdíl mezi 1. a 2. modelem na základě AIC byl 0,96).

Tabulka 20: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu fosforečnanů ve vzorcích rozdělených podle využitého materiálu

Materiál	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Dřevo	3791,67	655,00
Plast	2313,30	511,11

Tabulka 21: Průměrné hodnoty (mg/kg sušiny) obsahu fosforečnanů v závislosti na využití násady žížal

Násada žížal	Průměrná hodnota	Střední chyba průměru
Využitá	2973,33	830
Nevyužitá	3131,67	785

Diskuze

Pozitivní vliv kalifornských žížal na proces kompostování nebyl v této práci prokázán, avšak bylo možné pozorovat vliv využitého materiálu na některé měřené hodnoty. Dle zjištěných výsledků lze také předpokládat možné dřívější využití kompostu, než je doba doporučená výrobcem.

Experiment probíhal již od měsíce května roku 2013. Každý měsíc byly odebírány vzorky kompostů, které byly promíchány a protlačeny přes síta. Protože tento postup úpravy vzorků není v úplném souladu s metodikou pro všechna měření uvedená v Normě ČSN 465735, nelze tyto odebrané vzorky považovat za reprezentativní. Při odběrech v počátečních měsících zůstala většina ještě nerozloženého materiálu na sítích, přičemž síty propadl jen materiál menších rozměrů. Velký podíl v protlačeném materiálu měl také substrát z násady žížal. Všechny analýzy těchto odebraných vzorků pak již proběhly podle postupů zadaných metodikou Normy ČSN 465735 a prokázaly velmi malý obsah spalitelných látek a nevhodný poměr C:N, díky kterému vyšla najevo nesrovnalost s metodikou této normy. Hodnoty spalitelných látek a C:N byly zpočátku u těchto měření velmi nízké, ačkoliv tyto hodnoty mají být u založeného kompostu spíše opačné a postupně se snižovat. Z těchto důvodů byly brány v potaz pouze výsledky z měření u vzorků odebraných v měsících srpnu, září a říjnu, protože v těchto měsících již byl materiál dostatečně rozložený a všechno prošel sítí.

V průběhu experimentu byla sledována vlhkost kompostů. Při kompostování i vermikompostování je velmi důležité udržení přijatelné vlhkosti, což se v proběhlém experimentu podařilo. Všechny hodnoty splňovaly zadaná kritéria, ať už Normou ČSN 465735 nebo dle Plívy (2011), který definuje hranici vhodné vlhkosti pro žížaly minimálně 50 %. Nicméně Srivastava et al. (2011) uvádí vhodnou minimální hladinu vlhkosti pro žížaly 60 %, Domínguez a Edwards (2011) jako optimum dokonce doporučují až 85 %. Kvůli nižší vlhkosti mohla být činnost žížal částečně utlumena a jejich zpracování kompostu mírně zpomalené, protože se naměřené průměrné hodnoty vlhkosti nejčastěji pohybovaly okolo 58 %. Statistické hodnocení neprokázalo vliv využitého materiálu ani využití násady žížal na vlhkost kompostů. Lze konstatovat, že

dřevěné kompostéry nemají až na zhotovená dvířka žádné boční otvory a kompost v nich tedy nevysychá. Plastové kompostéry mají po stranách otvory a netěsnosti, proto kompost provětrává komínovým efektem a může vysychat. Kompostovací proces z toho důvodu může být pomalejší nebo dokonce neúplný.

Všechny vzorky se podrobily také měření obsahu organické hmoty (spalitelných látek). Důležitým zdrojem organické hmoty pro mikroorganismy je uhlík, který spolu s dusíkem umožňuje rostlinám syntetizovat proteiny. Podílí se také na stavbě buněk a jejich reprodukci. Obsah uhlíku představuje asi polovinu obsahu organické hmoty (Plíva a kol. 2006). Statistické hodnocení prokázalo, že s postupujícím časem kompostování se snižovalo množství spalitelných látek ve všech sledovaných kompostech. V průběhu kompostování a vermikompostování totiž k tomuto snižování dochází v důsledku mikrobiálních procesů, při kterých se spotřebovává uhlík z biomasy a část se ho uvolňuje v podobě oxidu uhličitého (Hanč a Plíva 2013). Mikroorganismy získávají uhlík z rozložených rostlinných a živočišných zbytků obsažených v kompostu a dále jej pak využívají pro buněčnou stavbu (Plíva a kol. 2006).

Naměřené hodnoty pH ve vzorcích kompostů se téměř všechny pohybovaly v rozmezí zadaném Normou ČSN 465735. Tři naměřené hodnoty pH překročily toto rozmezí, a to oba vzorky kompostů z dřevěných kompostérů v měsíci srpnu a vzorek z kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami v měsíci září. Zvýšené pH může souviset i s vyšší vlhkostí, tedy převládajícími anaerobními procesy v hlubších vrstvách za vzniku amoniaku a hydroxidu amonného, který může výsledné pH ovlivnit (Mazalová 2011). Statistické hodnocení prokázalo vliv materiálu na tyto zvýšené hodnoty, přičemž průměrné hodnoty pH v kompostech z dřevěných kompostérů byly vyšší, než v kompostech z plastových kompostérů. Slejška (2002) vyjádřil své subjektivní názory zároveň s radami, komentáři, připomínkami a názory několika odborníků na kompostéry dostupné v ČR. Jednotlivé kompostéry byly hodnoceny například z pohledu jejich životnosti, aerace, manipulace a teploty. Průměrně dřevěné kompostéry získaly od všech odborníků celkové horší hodnocení než plastové. Vliv žížal na změny hodnot pH nebyl statisticky prokázán. Většina žížal je k pH relativně tolerantní a preferuje hodnoty 5 až 9 (Domínguez a Edwards 2011).

Dalším velmi důležitým prvkem pro rostliny je dusík. Tento prvek odpovídá za vznik nových výhonů, růst listů a jejich barvu (Hohenberger, 1999). Garg et

al. (2006) prokázal signifikantní nárůst obsahu dusíku v kompostech s postupujícím časem kompostování při současném využití žížal. Ve studii Sristava et al. (2011) zabývající se vlivem žížal na biologickou aktivitu vermikompostu bylo prokázáno, že žížaly mají na zvýšení obsahu dusíku v kompostu vliv. Statistické hodnocení výsledků této práce však neprokázalo vliv materiálu ani využití násady žížal na obsah dusíku v kompostech. Při měření dusíku byly u všech vzorků z kompostů zjištěny hodnoty v rozmezí hodnot 2,1 až 2,6 % v sušině, přičemž nejvyšších hodnot dosahoval kompost z dřevěného kompostéru s žížalami v měsíci srpnu.

Hodnotou vypovídající o rychlosti kompostovacího procesu je poměr C:N. Ten se u zralého kompostu pohybuje v rozmezí 25–30:1, což zaručuje vysokou stabilitu a agronomickou účinnost. Při poměru nižším než 10:1 se kompost rozkládá velmi rychle a je mikrobiologicky dobře využitelný. Nízký poměr C:N vede k uvolňování dusíku ve formě amoniaku, což platí hlavně při zásaditém pH (Váňa 1997). Ztráty dusíku při kompostování materiálu s nízkým poměrem C:N v rozmezí 9:1 až 12:1 se pohybují mezi 37 % až 60 % (Plíva a kol. 2006). Naopak kompost s poměrem uhlíku a dusíku 50:1 se rozkládá velmi pomalu. Pokud poměr C:N přesahuje hodnotu 50:1, dochází ke zpomalování kompostovacího procesu kvůli rychlému růstu buněk a odčerpávání přístupného dusíku, což následně vede k jejich úhynu. Tím, jak buňky hynou, v sobě uvolňují akumulovaný dusík, který se stává přístupným pro živé buňky. K uvolňování amoniaku do atmosféry dochází také při anaerobních podmínkách v kompostu. Ztráty dusíku znamenají snížení hnojivých účinků kompostu (Váňa 1997). Na poměru C:N závisí také množství uvolňovaného oxidu uhličitého. Obecně lze říci, že čím je poměr C:N zpracovávaného materiálu vyšší, tím nižší je emise oxidu uhličitého, protože u organických surovin s nižším poměrem C:N dochází ke snadnějšímu rozkladu. Rychlejší rozklad pak vede k většímu uvolňování uhlíku, který pak může zčásti unikat do atmosféry ve formě plynu (Plíva a kol. 2006). Rozdíl je i v kompostovaném materiálu. Například piliny mohou dosahovat poměru až 500:1, kdežto posekaná tráva pouze 12:1 (Hohenberger, 1999). Naměřené hodnoty v této práci se téměř všechny blížily ideálnímu rozmezí, a to v měsíci srpnu a září pouze s výjimkou kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami, kde byly všechny poměry vyšší. Statistické hodnocení však neprokázalo vliv materiálu ani využití násady žížal na poměr C:N.

Mezi další základní živiny, které jsou důležité pro mikroorganismy v kompostu, patří včetně uhlíku a dusíku i fosfor a draslík, dále také vápník a hořčík. Dusík, fosfor a

draslík se řadí mezi základní živiny potřebné pro rostliny. Tyto prvky pak ovlivňují výslednou hodnotu kompostu. Fosfor s draslíkem jsou důležité pro látkovou výměnu a pro správné rozmnožování buněk (Plíva, 2006). Baier (1985) o vápníku tvrdí, že je nutný pro regulaci hydratace, aktivaci amyláz, ATPáz a regulaci dlouhivého růstu. Hnojení tímto prvkem se provádí jedenkrát za čtyři roky. Vápník je také důležitý ve formě oxidu vápenatého. Pokud je do půdy vápník dodáván prostřednictvím menších dávek kompostu, je toto množství dostatečné pro náhradu za standartní vápnění půdy (Management ... 2012). Statistické hodnocení neprokázalo v provedeném experimentu vliv materiálu ani násady žížal na obsah vápníku ve sledovaných kompostech. Nejvyšší množství obsaženého vápníku se nacházelo v kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami.

Baier (1985) se zabýval i významem hořčíku, který je součástí chlorofylu, bílkovin buněčného jádra, střední lamely buněčné stěny a je také důležitý při regulaci hydratace a fotosyntézy. Společně s fosforem a draslíkem je schopný pokrývat požadavky vegetace, které je dodáván prostřednictvím kompostu nebo vermikompostu. Výživný účinek kompostů působí i několik let (Management ... 2012). Provedené statistické hodnocení výsledků práce neprokázalo vliv využitého materiálu ani využití násady žížal na obsah hořčíku v kompostech. Nejvyšší hodnoty obsahu hořčíku byly zaznamenány u kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami.

Dalším měřeným prvkem byl sodík. Naměřené množství tohoto prvku opět prokazovalo nejvyšší hodnoty v kompostu z dřevěného kompostéru s žížalami a nižší hodnoty v kompostu z kompostéru plastového s žížalami, které jsou ale stále vyšší, než hodnoty u vzorků z ostatních kompostů bez žížal. Statistické hodnocení neprokázalo vliv využitého materiálu ani násady žížal na obsah sodíku v kompostech.

Prvek draslík je nejčastěji využíván na podzim, kdy se v kombinaci s menším množstvím dusíku přidává jako hnojivo, aby stačily mladé výhony zdřevnatět a nezmrzly. Právě vermikompost by mohl být využit k tomuto podzimnímu hnojení, protože jeho obsah draslíku a velmi pozvolné klesání jeho obsahu může být pro zahrádkáře výhodou. Okamžitá dostupnost draslíku pro plodiny může přesáhnout až 58 % z celkového množství draslíku přítomného v kompostu, zbytek draslíku pak lehce zmineralizuje (Management ... 2012). Statistické hodnocení výsledků práce prokázalo vliv materiálu na obsah draslíku v kompostech. Komposty z dřevěných kompostérů

obsahovaly vyšší množství draslíku. Nejvyšší množství draslíku bylo naměřeno v kompostu z dřevěného kompostéru v měsíci srpnu. Vliv využití násady žížal na obsah draslíku v kompostech však nebyl prokázán, což potvrzují také Bansal a Kapoor (2000) při experimentu s využitím vermikompostu u brukve sítinovité a u třtiny cukrové.

Posledním měřením prvkem byl fosfor ve formě fosforečnanů v kompostu. Okamžitá přístupnost pro plodiny po přímém dodání fosforečnanů obsažených v kompostu do půdy je až 40 % (Management ... 2012). Jambhekar (1992) prokázal při porovnání kompostu a vermikompostu vyšší obsah fosforu ve vermikompostu. Nicméně toto vyvrací Bansal a Kapoor (2000), kteří ve své práci nezjistili žádný efekt na obsah fosforu při využití násady žížal v kompostu. Statistické hodnocení výsledků této práce také neprokázalo vliv využití násady žížal na obsah fosforu v kompostech, nicméně prokázalo vliv využitého materiálu. Komposty z dřevěných kompostérů prokazovaly vyšší obsah fosforečnanů, než komposty z kompostérů plastových. Nejvyšší obsah fosforečnanů byl naměřen v kompostu pocházejícím z dřevěného kompostéru bez žížal, jehož množství bylo nejvyšší v měsíci září. Autoři Bansal a Kapoor (2000) neprokázali při provedeném experimentu žádné signifikantní výsledky, které by prokazovaly vyšší hodnoty ve vermikompostu než v kompostu. Měření byla prováděna na obsah dusíku, fosforu, draslík, mědi a zinku.

Velmi často na konci experimentu lze pozorovat sestupný trend v závěru téměř každého měření. Ten je způsoben pravděpodobně tím, že prvky byly vymývány srážkami nebo odtekly do podloží jako hnojívka, tj. na mikroorganismy bohatá tekutina, která vzniká při zrání kompostu. Všechny uvedené prvky byly v době odběru vzorků dostupné pro rostliny, tzn., že přešly při extrakci do extrakčního roztoku.

Důležitá je volba typu kompostéru, který je při kompostování nebo vermikompostování využit. Z výsledků práce je možné zjistit, že nejčastěji byl prokázán vliv použitého materiálu na měřené hodnoty a jak již bylo zmíněno, i samotná konstrukce dřevěného a plastového kompostéru jistě přispěla ke zjištěným rozdílům. Pokud byl tedy vliv použitého materiálu na měřené hodnoty prokázán, tak se vždy jednalo o dřevěný kompostér.

Z důvodu poklesu živin v závěrečných měsících experimentu je hodnocena jako nejvhodnější doba využitelnosti vermikompostu měsíc srpen, tj. pátý měsíc po jeho založení. Jednotlivé obsahy měřených prvků zde dosahovaly nejvyšších hodnot až na

obsah dusíku, který byl nejvyšší v předcházejícím měsíci červenci, a hořčíku s fosforečnany, které zůstaly v tyto měsíce téměř na stejné úrovni. Zajonc (1992) tvrdí, že se materiál promění ve využitelný vermikompost po 6 měsících. Prodejce násad žížal (vermikompostovani.cz) předpokládá vyzrálost kompostu až po 10 měsících vermikompostování. Výsledky této práce prokazují dřívější možné využití.

Závěr

Obyvatelé měst a obcí se snaží snižovat míru zatížení svého životního prostředí množstvím odpadu. Po úspěšném zavedení systému recyklace a třídění plastového a papírového odpadu přistupují i k oddělování biologicky rozložitelných materiálů. Jednotlivá města a obce často své obyvatele k tomuto třídění motivují a kompostování v domácím prostředí nepochybně nabývá na popularitě.

Umístění kompostérů nebo jejich vlastní výrobu podporuje i vidina využitelného materiálu, který při tomto procesu vzniká. Kompost však může být ještě hodnotnější, a to díky použití kalifornských žížal, které dle dostupných studií urychlují dostupnost prvků rostlinám, zlepšují biologické, chemické i fyzikální vlastnosti půd. Jejich nasazení do kompostu a vytvoření vermikompostu je již rozhodnutím každého občana, zda je ochotný do vermikompostování investovat svůj čas a finance. Možnou nevýhodou totiž je nutnost udržení určité vlhkosti a pravděpodobně i teploty v kompostéru. Problém s udržením vyšší vlhkosti je možné řešit případným zaléváním. Zajímavé by také mohlo být měření teploty v kompostu, stanovení maximální možné teploty pro život žížal a možný návrh postupu, jak tohoto optima v domácích podmínkách dosáhnout.

Jednotlivými měřeními v rámci této práce se nepodařilo potvrdit, že zvýšení obsahu dostupných prvků žížaly podporují. Nicméně předcházející studie toto potvrzují, proto založení a udržení vermikompostu může být pro občany přínosem.

Využití samotného kompostování a vermikompostování je tedy pozitivní ať už z hlediska účasti na snižování množství biologicky rozložitelného odpadu, tak i na výnos plodin. Pomalu se rozšiřuje využívání žížal v zahradnictví a je pravděpodobně jen otázkou času, kdy bude tato forma kompostování využívána ve velkém v zemědělství.

Seznam použité literatury

Altmann V., Badalíková B., Bartlová J., Burg P., Hůla J., Jelínek A., Kovaříček P., Mimra M., Plíva P., Pospíšilová L., Roy A., Vlášková M., Zemánek P. Využití kompostu pro optimalizaci vodního režimu v krajině. 2013. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s. 100 s.

Badalíková B., Červinka J. 2010. Vliv různých způsobů zpracování půdy na její fyzikální vlastnosti. The 9th Alps-Adria Scientific Workshop. Špičák: Crop production. 2010(2): 69–72.

Baier J. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 360 s.

Bansal S., Kapoor K.K. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia fetida*. Bioresource technology. 2000: 95–98.

Berova M., Pevicharova G., Stoeva N., Zlatev Z., Karanatsidis G. 2013. Vermicompost affects growth, nitrogen content, leaf gas exchange and productivity of pepper plants. Journal of Elementology 2013(4): 565–576.

Contreras-Ramos S.M., Alvarez-Bernal D., Dendooven L. 2008. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*). Soil Biology and Biochemistry 2008(1): 1954–1959.

ČSN 465735. 1991. Technická norma Průmyslové komposty“. Vydavatelství norem. Praha, 31 s.

Dominguez J., Edwards C.A. 2011. Relationship between composting and vermicomposting. Vermiculture Technology 2011(2): 11–25.

Dominguez J., Edwards C.A. 2011. Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting. Vermiculture Technology. 2011(3): 27–40.

Elektrická laboratorní pec LH 30/13 HT 40. 2007. Rajhrad: LAC, s. r. o.

Flowerdew B. 2011. Kompost. 1. vyd. Praha: Metafora. 112 s.

Garg P., Gupta A., Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia fetida*: A comparative study. *Bioresource technology* 97 2006: 391–395.

Hála J., Badalíková B., Kovaříček P., Vlášková M., Bartlová J. 2012. Úprava fyzikálních vlastností půdy a retenčních schopností půdy zapravením kompostů z odpadní biomasy: uplatněná certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. 28 s.

Hanč A., Vašák F., Švehla P. 2011. Vliv obsahu amonného dusíku na vermikompostování čistírenského kalu. In: Sborník ze 17. mezinárodní konference. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin 30. 11. 2011. Praha. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

Hanč A., Vašák F., Švehla P. 2012. Změny ve výnosech senážního ovsa po hnojení vermikompostem pocházejícím z digestátu. In: Sborník z 18. mezinárodní konference. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin. 29. 11. 2012. Praha. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

Hanč A., Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů: Certifikovaná metodika. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 35 s.

Hand P., Hayes W.A., Frankland J.C., Satchell J.E. 1988. The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia* 31: 199–209.

Hejátková K., Dvorská I., Jalovecký J., Kohoutek A., Kollárová M., Mičánková K., Plíva P., Valentová L., Vorlíček Z. 2007. Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s. 74 s.

Hohenberger E. 1999. Půda, kompost, hnojení. 1. vyd. Praha: Euromedia Group. 80 s.

Instruction manual, Vapodest 30s. 2008. Königswinter: Gerhardt.

Jambhekar H. A. 1992. Use of earthworms as a potential source to decompose organic wastes. In: Proceeding of the national seminar on organic farming. Mahatama Phule Krishi Vidyapeeth. Pune.

Javůrek F. 2012. Analýza biodegradabilního komunálního odpadu v olomouckém kraji [diplomová práce]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 85s.

Jelínek A., Kollárová M. 2004. Monitorování průběhu kompostovacího procesu. In: Sborník přednášek Zemědělská technika a biomasa 23. 11. 2004. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha.

Islas-Espinoza M., Solís-Mejía L., Esteller MV. 2014. Phosphorus release kinetics in a soil amended with biosolids and vermicompost. *Environmental Earth Sciences*. 2014(3):1441–1451.

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

Kropáček I. 2003. Bez skládek i spaloven: šetrnější, levnější a koncepčnější řešení odpadového hospodářství. Olomouc: Hnutí DUHA Olomouc. 24 s.

Lim S.L., Wu T.Y., Clarke C. 2013. Treatment and biotransformation of highly polluted agro-industrial wastewater from a palm oil mill into vermicompost using earthworms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2013(3):691–698.

Management erozně ohrožených půd s využitím kompostů: decentralizované kompostování.. 2012. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s. 69 s.

Mazalová M. 2011. Jak účinné jsou domácí kompostéry? Výsledky osmnáctiměsíčního experimentu. *Biom.cz* [internet]. [citováno 30. července 2014]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-ucinne-jsou-domaci-kompostery-vysledky-osmnactimesicniho-experimentu>.

Moňok B., Hejátková K., Valentová L., Řezníček V. 2008. Komunitní kompostování. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura o. s. 32 s.

Nařízení vlády 197/2003 Sb. ze dne 1. Července 2003 o Plánu odpadového hospodářství České republiky. In: Sbíрка zákonů České republiky.

Operation manual, GBC Avanta, Atomic absorption spectrometer. 1996. Dandenong, Australia: GBC Scientific equipment Pty Ltd.

Pereira MD., Neta LCD., Fontes MPF., Souza AN., Matos TC., Sachdev RD., dos Santos AV., Souza MOD., de Andrade MDAS., Gabriela MM., Paulo GMM., Riberio

JN. 2014. An overview of the environmental applicability of vermicompost: From wastewater treatment to the development of sensitive analytical methods. *The Scientific World Journal*. 2014.

Plíva P. 2011. Jak vyrábět vermikompost? *Komunální technika* 2011(5):41–45.

Plíva P., Altmann V., Jelínek A., Kollárová M., Stolařová M. 2005. *Technika pro kompostování v pásových hromadách*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. 72 s.

Plíva P., Banout J., Habart J., Jelínek A., Kollárová M., Roy A., Tomanová D. 2006. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha. 47 s.

Plíva P., Jelínek A., Kollárová M. 2004. Využití technických prostředků pro technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách. In: *Sborník referátů z odborné konference. Materiálové a energetické využití odpadů*. 14. 10. 2004. Praha. Praha: CZ-Biom a Výzkumný ústav rostlinné výroby a Výzkumný ústav zemědělské techniky. 31–51.

Plíva P., Mímra M., Altmann V., Habart J., Jelínek A., Kollárová M., Váňa J., Vostoupal B., Marešová K. 2009. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. 1. vyd. Praha: Profi press, s. r. o. 136 s.

Sinha R.K., Agarwal S., Chauhan K., Valani D. 2010. The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's friends of farmers, with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. *Agriculture Sciences*. 2010(1):76–94.

Scott N. 2006. *Kompostování pro všechny*. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA. 32 s.

Seetha devi G., Karthiga A., Susila S., Vasanthy Muthunarayanan. 2012. Bioconversion of fruit waste into vermicompost by employing *Eudrillus eugeniae* and *Eisenia fetida*. *International journal of plant, animal and environmental sciences*. 2012(2):245–252.

Slejška A. 2002. Porovnání v ČR dostupných kompostérů. *Biom.cz* [internet]. [citováno 30. července 2014]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/porovnaní-v-cr-dostupnych-komposteru>.

Směrnice evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech.

Směrnice Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů.

Srivastava P.K., Singh P.C., Gupta M., Sinha A., Vaish A., Shukla A., Singh N., Tewari S.K. 2011. Influence of earthworm culture on fertilization potential and biological activities of vermicomposts prepared from different plant wastes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2011(174): 420–429.

Sulzberger R. 2007. Kompost, půda, hnojení. 1. vyd. Čestlice: Rebo. 96 s.

Tesařová M., Filip Z., Szostková M., Morscheck G. 2010. Biologické zpracování odpadů. 1.vyd. Brno: Mendelova Univerzita v Brně. 129 s.

Uživatelská příručka DK 20. 2005. Hradec Králové: MEZOS.

Váňa J. 1997. Výroba a využití kompostů v zemědělství. 2. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky. 38 s.

Váňa J., Hanč A., Habart J. 2009. Pevné odpady 2009. 3. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 190 s.

Verma R.K., Verma R.S., Rahman L.U., Yadav A., Patra D.D., Kalra A. 2014. Utilization of distillation waste-based vermicompost and other organic and inorganic fertilizers on improving production potential in geranium and soil health. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2014(1): 141–152.

Vojtěchová A., Hodek T. 2007. Naše BIOodpady: Miss kompost a nulový odpad. 1. vyd. Praha: Ekodomov. 37 s.

Vyhláška 341/2008 Sb. ze dne 12. září 2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

Zajonc I. 1992. Chov žížal a výroba vermikompostu. 1. vyd. Nitra: ANIMAPRESS. 59 s.

Zákon č. 185/2001 Sb. ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky, část 71*.

Zbiral J. 2010–2011. Analýza půd. 3. vyd. Praha: Ústřední kontrolní a zkušební úřad zemědělský. 3 sv.

Zemánek P., Burg P., Kollárová M., Marešová K., Plíva P. 2010. Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. 113 s.

Vermikompostování: Chov, poradenství a prodej kalifornských žížal [Internet]. [citováno duben 2014]. Dostupné z <http://www.vermikompostovani.cz>.

Přílohy

Příloha A: Ilustrační fotografie průběhu měření

Obr. I: Vzorčky kompostů při měření obsahu spalitelných látek v elektrické muflové peci



Obr. II: Destilace vzorků kompostu při měření obsahu dusíku



Obr. III: Titrace vzorků kompostu při měření obsahu dusíku



Příloha B: Přehledové tabulky

Tab. I: Stanovení vlhkosti v %

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	60,97	60,00	58,82
Dřevěný s žížalami	58,14	57,14	56,12
Plastový bez žížal	57,14	53,33	59,41
Plastový s žížalami	60,71	54,55	58,50

Tab. II: Stanovení množství spalitelných látek v %

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	32,17	35,15	28,10
Dřevěný s žížalami	42,94	36,38	37,87
Plastový bez žížal	30,45	31,43	33,68
Plastový s žížalami	31,06	30,24	21,30

Tab. III: Stanovení hodnot pH

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	8,61	8,71	7,98
Dřevěný s žížalami	8,79	8,25	8,00
Plastový bez žížal	7,39	7,12	8,20
Plastový s žížalami	7,57	6,63	7,85

Tab. V: Stanovení obsahu celkového dusíku v % sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	2,56	2,50	2,43
Dřevěný s žížalami	2,39	2,33	2,28
Plastový bez žížal	2,33	2,14	2,46
Plastový s žížalami	2,55	2,20	2,41

Tab. VI: Stanovení poměru C:N

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	25,11	28,12	23,14
Dřevěný s žížalami	35,95	31,18	33,23
Plastový bez žížal	26,10	29,33	27,35
Plastový s žížalami	24,40	27,49	17,68

Tab. VII: Stanovení obsahu vápníku v mg/kg sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	10108	10391	8599
Dřevěný s žížalami	10788	10624	10116
Plastový bez žížal	6093	6335	8466
Plastový s žížalami	9546	7314	6936

Tab. VIII: Stanovení obsahu hořčíku v mg/kg sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	1692	1924	1494
Dřevěný s žížalami	2129	2179	2227
Plastový bez žížal	1204	1363	1592
Plastový s žížalami	1857	1352	1344

Tab. IX: Stanovení obsahu sodíku v mg/kg sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	229	254	213
Dřevěný s žížalami	432	348	346
Plastový bez žížal	180	218	254
Plastový s žížalami	236	289	234

Tab. X: Stanovení obsahu draslíku v mg/kg sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	13351	14852	11965
Dřevěný s žížalami	16150	14438	13880
Plastový bez žížal	11456	12820	12528
Plastový s žížalami	11988	9889	10129

Tab. XI: Stanovení obsahu fosforečnanů v mg/kg sušiny

Typ kompostéru	Měsíc odběru		
	Srpen	Září	Říjen
Dřevěný bez žížal	3000	5020	3320
Dřevěný s žížalami	3910	3090	4410
Plastový bez žížal	1880	2160	3410
Plastový s žížalami	2750	1740	1940