

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Využití separátu z produkce bioplynu k výrobě kompostů

Bakalářská práce

Autor práce: Lucie Lamačová

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc.

Konzultant práce: Ing. Lukáš Kaplan

© 2015 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "*Využití separátu z produkce bioplynu k výrobě kompostů*" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.4. 2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Pavlu Tlustošovi, CSc., a Ing. Lukášovi Kaplanovi za odborné vedení při zpracování bakalářské práce, zároveň děkuji Ing. Lukáši Kaplanovi za pomoc při odběru vzorků kompostů. Děkuji laborantkám Ing. Janě Najmanové a Ing. Marii Bazalové za pomoc při analyzování vzorků. Dále pracovníkům bioplynových stanic ZD Krásná Hora nad Vltavou a Petrovice za poskytnutí prostor pro založení pokusu a za jejich pomoc při ošetřování kompostů.

Vypracování této bakalářské práce bylo podpořeno výzkumným projektem MZe ČR NAZV QJ 1210085 „Využití digestátu a jeho separovaných složek v zemědělství a v zahradnictví pro aplikaci v hnojivých systémech výživy rostlin a pro výrobu pěstebních substrátů“.

Využití separátu z produkce bioplynu k výrobě kompostů

Souhrn

V posledních letech se zvýšila produkce bioplynu metodou anaerobní fermentace využívající pěstovanou biomasu. V důsledku zvýšené produkce bioplynu se hledají způsoby, jak využít vedlejší suroviny vzniklé při anaerobní fermentaci, mezi něž patří samotný digestát, ale i jeho odseparovaná složka, tzv. separát, případně fugát. Digestát je možné využívat jako hnojivo díky vysokým obsahům živin a organické hmotě. Separát (ze živočišných a rostlinných surovin) je charakteristický vláknitou strukturou a je možné ho využít při kompostování. Takto upravený separát je bohatým zdrojem živin a může omezit používání rašeliny jako hlavní složky pěstebních substrátů.

Cílem práce bylo v literární části charakterizovat průběh kompostování, který lze rozdělit na fázi rozkladu, fázi přeměny a fázi zrání, avšak někteří autoři proces kompostování dělí do čtyř fází: fáze mezofilní, termofilní, chladicí a fáze zrání. Všechny zmiňované fáze uvádím v první kapitole, zároveň v této kapitole popisuji podmínky, které ovlivňují průběh kompostování. V další kapitole jsem se věnovala rozdělení kompostů na komposty zemědělské, zelené komposty, průmyslové komposty, vermikomposty, ale i jejich charakteristice včetně jednotlivých komponent. V poslední kapitole literární části zmiňuji suroviny bioplynových stanic a jejich možné využití, zejména pak vlastnosti separátu a jeho využití při produkci kompostů.

Bakalářská práce je završena vlastním experimentem s cílem verifikovat možnost využití separovaného digestátu, získaného ze zemědělských bioplynových stanic Krásná Hora nad Vltavou a Petrovice, k výrobě kompostů. V rámci tohoto experimentu byly založeny čtyři varianty pokusu. Separáty Krásná Hora a Petrovice se lišily obsahem travní senáže, kdy Petrovice přidávají do fermentoru vyšší podíl travní senáže než ZD Krásná Hora nad Vltavou. K jednotlivým variantám se přidalo 10 a 15 % pšeničné slámy. Na počátku kompostování separáty měly vláknitou strukturou a nižší obsah sušiny kolem 22 %, který se v průběhu kompostování mírně zvyšoval až na cca 30 % sušiny. Vlivem zrání kompostu došlo ke změně struktury a separáty tak získaly charakteristickou drobtovitou strukturu.

Laboratorní analýzy vzorků kompostů ukázaly, že kompostovaný separát lze využít pro výrobu zahradních substrátů. Separát z Krásné Hory vykazoval vyšší obsahy živin (zejména fosforu, draslíku, síry) a je tedy vhodný pro náročné druhy rostlin.

Klíčová slova: bioplynová stanice; kompost; separát; dusík; sláma

Use of Solid Digestate from Biogas Production for Compost Production

Summary

In recent years the production of biogas produced by anaerobic fermentation of grown biomass has increased. As a consequence of the increased biogas production, different ways of utilization of the undecomposed raw material are sought. The raw material emerges by anaerobic fermentation, to which the digestate and its separated component (so called solid part of digestate) belong. Additionally, it is possible to use the digestate as manure due to its high content of nutrients and organic matter. The solid part of digestate (of both animal and plant raw materials), is characterized by fibrous structure and can be used for composting. The solid part of separate modified this way is a rich source of nutrients and can reduce the utilization of peat as the main component of substrates.

The purpose of the thesis was to characterize the process of composting review part. The process of composting can be divided into the following phases: phase of decomposition, phase of transformation and maturation phase. However, some authors divide process of composting into four phases: mesophilic, thermophilic, cooling and maturation one. I have mentioned all of them in the first chapter while, at the same time, I have described the conditions which influence the process of composting. The following chapter has been devoted to the division of composts into farming, green, industrial and vermicompost. Moreover, I have characterized their individual components. In the last subchapter, I have introduced the raw material of biogas stations and its possible use, especially the characteristics of the solid part of digestate and its use for the compost production.

The bachelor's thesis contains own experiment which was aimed for the verification of the possibility to use the solid part of digestate gained from the biogas stations in Krásná Hora nad Vltavou and Petrovice for the production of compost. The experiment was based on four variants. The solid parts of digestate in Krásná Hora and Petrovice varied in the volume of grass hay; in Petrovice a higher volume of hay is added to the fermentor than in ZD Krásná Hora. 10 and 15 per cent of wheat straw were added to each variant. At the beginning of composting the solid parts of digestate had fibrous structure and lower volume of dry matter, approximately 22 per cent, which increased slightly, up to 30 per cent of dry matter, in the course of composting. As a result of the maturation of the compost, the structure of the solid parts changed and they acquired their typical crumbed structure.

Laboratory analysis of the compost samples showed that the composted solid part separate can be used for the production of garden substrates. The solid part of digestate from Krásná Hora contained higher volume of nutrients (especially phosphorus, potassium and sulphur) and is therefore suitable for more demanding types of plants.

Keywords: biogas station; compost; solid part of digestate; nitrogen; straw

Obsah

1	Úvod	1
2	Hypotéza práce.....	2
3	Cíl práce.....	2
4	Literární přehled.....	3
4.1	Kompostování.....	3
4.2	Fáze kompostování.....	3
4.2.1	Fáze rozkladu	3
4.2.2	Fáze přeměny	4
4.2.3	Fáze syntézy (fáze zrání, fáze dozrávání)	4
4.2.4	Fáze kompostování podle teploty	5
4.3	Podmínky ovlivňující průběh kompostování.....	7
4.3.1	Kyslík.....	8
4.3.2	Mikroorganismy.....	8
4.3.3	Poměr C : N	8
4.3.4	Teplota	9
4.3.5	Vlhkost.....	9
4.3.6	Zabezpečení minimálního obsahu fosforu	10
4.4	Charakteristika surovin pro kompostování.....	11
4.5	Dělení kompostů.....	13
4.5.1	Zemědělské komposty	13
4.5.2	Zelené komposty	14
4.5.3	Průmyslové komposty.....	14
4.5.4	Vermikomposty	15
4.6	Využití kompostu	16
4.7	Suroviny bioplynových stanic	17
4.7.1	Digestát	17
4.7.2	Fugát	18
4.7.3	Pevná složka digestátu – separát.....	18
4.7.4	Využití pevné fáze digestátu	19
5	Experimentální část	21
5.1	Materiál a metody	21
5.1.1	Založení experimentu s komposty	21
5.1.2	Charakteristika bioplynových stanic.....	22
5.1.3	Schéma pokusu	22
5.1.4	Průběh kompostování – ošetřování.....	23
5.1.5	Metody stanovení živin ve vzorcích kompostů	24

5.2	Výsledky	26
5.2.1	Hodnocení vstupních surovin	26
5.2.2	Hodnocení průběhu kompostování	28
5.3	Diskuze	34
6	Závěr	35
7	Seznam použité literatury	36
8	Samostatné přílohy	39

1 Úvod

Základní složku většiny pěstebních substrátů používaných v zahradnické produkci tvoří rašelina. Používá se samostatně nebo v kombinaci s dalšími organickými i minerálními komponenty (Dubský a Šrámek, 2006). V současné době se v některých zemích vyvíjí tlak na omezení používání rašeliny jako neobnovitelného přírodního zdroje (Restrepo et al., 2013). Při výrobě pěstebních substrátů může být rašelina částečně, případně i zcela nahrazena celou řadou alternativních komponentů (Dubský a Šrámek, 2006). Jako náhrada rašeliny se využívají komposty nebo další obnovitelné zdroje organického původu (např. kompostovaná kůra), maximálně však do 20 % objemu v substrátové směsi tak, aby nedošlo k omezení růstu nebo poklesu kvality rostlin (Sonneveld and Voogt, 2009; Vydlák, 2001). Mezi nejméně finančně náročné alternativní komponenty rašeliny patří kompost (Dubský a Šrámek, 2008).

Kompostováním odpadů organického původu získáme komposty, které mají fyzikální a chemické vlastnosti podobné rašelinovým substrátům a mohou být využity v pěstebních substrátech místo rašeliny. Alternativní komponentou za rašelinu by mohl být tzv. separát, vedlejší produkt anaerobní digesce vznikající separací digestátu (Bustamante et al., 2012). Kompostování separátu představuje reálný způsob zlepšení kvality výchozího produktu, což může snížit zápach, koncentraci těkavých sloučenin, obsah vlhkosti a potenciální fytotoxicity. Kompostováním separátu lze zlepšit jeho fyzikální vlastnosti (Crippa et al., 2013). Kompostovaný separát může být využit v okrasných školkách jako náhrada rašeliny při kontejnerovém pěstování (Schievano et al., 2009).

2 Hypotéza práce

Rašelina jako základní organická složka pěstebních substrátů je nenahraditelným a neobnovitelným zdrojem. Je proto nutné hledat alternativní komponenty, které mohou rašelinu v pěstebních substrátech částečně, případně zcela nahradit.

Předpokládáme, že by kompostovaný separát jako vedlejší surovina zemědělských bioplynových stanic a zároveň bohatý zdroj živin mohl omezit používání rašeliny jako přírodního zdroje a jako hlavní komponenty pěstebních substrátů.

3 Cíl práce

Cílem práce v literární části bylo popsat průběh kompostování, dělení kompostů a jednotlivých surovin pro výrobu kompostů (slámy, dřevní štěpky, kůry a ostatních komponent) a charakterizovat jejich vlastnosti a parametry, zejména pak separát.

Cílem experimentální části bylo verifikovat možnost využití kompostovaného separátu jako možné alternativní komponenty pěstebních substrátů a organického hnojiva.

4 Literární přehled

4.1 Kompostování

Kompostování (z latinského *composinum* = směs) je biodegradační proces směsi komponent (slámy, kůry, štěpky, separátu a dalších surovin) probíhající v aerobních podmínkách v pevném stavu (Diaz et al., 2007).

Kompostování je aerobní fermentace, při níž dochází k biologickému rozkladu organické hmoty. Tento proces probíhá v řízených podmínkách pro dosažení požadovaných cílů (Epstein, 1996). Mezi požadované cíle patří homogenita, struktura, konzistence, stupeň rozložení, ale i zápach, který by se měl podobat zahradní zemině.

V průběhu kompostování dochází za zvýšení teploty ke snížení objemu, hmotnosti a obsahu vody. Výsledkem kompostování je přeměna nestabilních přírodních surovin na stabilní hnojivo. Při vytvoření výše zmiňovaných podmínek dochází ke vzniku stabilního organického produktu, který lze definovat jako hnojivý substrát (Hejátková, 2008).

Komposty se používají především pro doplnění organických látek do půdy, doplňují živiny a zlepšují půdní strukturu. Aplikace kompostů ovlivňuje i půdní reakci a můžeme tak nahradit vápnění půdy. Dají se využít i pro přípravu pěstebních substrátů a zemin. V této oblasti se uplatňují zejména zahradní komposty z biologického odpadu z údržby zeleně (Dubský a Kaplan 2012).

4.2 Fáze kompostování

Během kompostování dochází ke klíčovým procesům a přeměnám, které Vaněk a kol. (2012) i Hejátková (2008) dělí do tří fází: fáze rozkladu, fáze přeměny a fáze syntézy, avšak Diaz et al. (2007) průběh kompostování dělí na čtyři fáze: fázi mezofilní, termofilní, chladicí a fázi zrání.

Diaz et al. (2007) uvádí, že mezofilní fáze probíhá při teplotě 25 – 40 °C, termofilní při 35 – 65 °C. Vaněk a kol. (2012) s Hejátkovou uvádějí, že fáze rozkladná probíhá v rozmezí teplot 60 – 65 °C. Na základě zmiňovaných teplot lze označit fázi mezofilní a termofilní jako fázi rozkladnou, fázi chladicí jako fáze přeměny a fázi zrání jako fáze syntézy.

4.2.1 Fáze rozkladu

V první fázi rozkladu Vaněk a kol. (2012) s Hejátkovou (2008) popisují, že rozkladné procesy probíhají na počátku kompostování, kdy podle podmínek a množství lehce

dostupných a rozložitelných organických látek dochází k intenzivnímu rozvoji termofilních mikroorganismů, které se podílejí na rozkladu složitých organických sloučenin (na sloučeniny jednodušší anorganického charakteru). V důsledku činnosti mikroorganismů dochází ke zvýšení teploty kompostovaného materiálu až na hodnoty kolem 60 – 65 °C. Výše teploty fermentované směsi a doba jejího udržení je rozhodující pro průběh rozkladu organických látek a jejich transformaci ve stabilnější organické látky. V prvopočátku se rozkládají škroby, cukry, bílkoviny a později celulóza a další dřevní hmoty. Dochází tak k intenzivnímu tlení a rozkladu organického materiálu, zvláště při dostatečném přístupu vzduchu ve vnitřních částech kompostu (v okrajových částech kompostu je většinou tento proces v důsledku omezené vlhkosti pomalejší). Produktem těchto procesů jsou: oxid uhličitý, NH_3 a minerální látky, které jsou zdrojem výživy mikroorganismů a současně se hromadí v kompostovaném materiálu. Vzhledem k tomu, že mikroorganismy nepřeměňují organické kyseliny, roste jejich zastoupení a dochází k poklesu pH.

Kompost v této fázi není schopen aplikace do půdy, protože nemá vlastnosti humusu (Hejátková, 2008). Tato fáze trvá zhruba tři týdny a má významný vliv pro hygienizaci kompostovaného materiálu. Hygienizace je zajištěna vysokou teplotou, při níž dochází k ničení zárodků nežádoucích mikroorganismů (hnilobných patogenních bakterií) a k inhibici semen plevelů. Pokud teplota nevystoupí dlouhodoběji nad 40 °C, je tato fáze považována za ukončenou (Hejátková, 2008; Vaněk et al., 2012).

4.2.2 Fáze přeměny

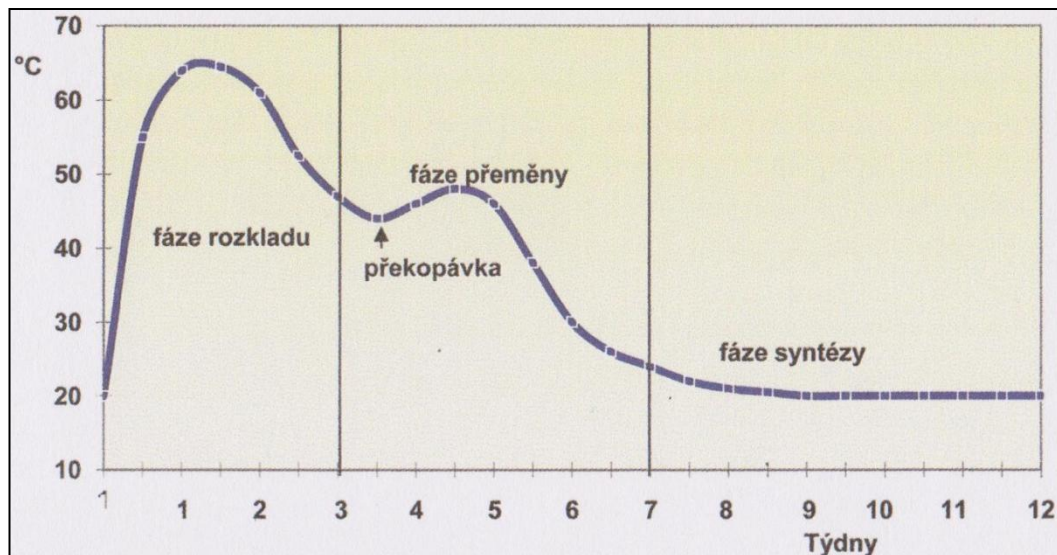
Přeměna látek nastupuje po fázi rozkladných procesů a podle příznivosti podmínek trvá do osmého až desátého týdne. V této fázi dochází k pozvolnému poklesu teploty ze 40 °C na 25 °C. Termofilní bakterie jsou nahrazeny jinou skupinou mikroorganismů a plísní (Hejátková, 2008). Dochází k zabudování uvolněných látek do nově vzniklých sloučenin (Vaněk et al., 2012). Mění se původní struktura, pach a vzhled (Hejátková, 2008). Kompost získává typické hnědé zbarvení a část organických látek je transformována do trvalejších struktur humusových látek (Vaněk et al., 2012).

4.2.3 Fáze syntézy (fáze zrání, fáze dozrávání)

Ve fázi syntézy pokračuje tzv. dozrávání kompostu. Podle povahy výchozích surovin a vhodnosti podmínek trvá tato fáze zhruba tři až šest měsíců. Vznikají trvalejší a odolnější struktury humusových látek (Vaněk et al., 2012). Teplota kompostu se vyrovnává s teplotou

okolního prostředí (Hejátková, 2008). Charakteristický průběh teplot v jednotlivých fázích znázorňuje graf 1.

Graf 1. Průběh teploty v jednotlivých fázích kompostování



(Vaněk et al., 2012)

- do 12 - 14 dnů se teplota musí pohybovat v rozmezí 60 – 65 °C. Při překročení teploty 65 °C (v 1. fázi) se musí zakládka aerovat. Aerace se v 1. fázi provádí v podstatě každý den. Později v 2. fázi je aerace dostačující každý druhý den.
- kolem 21. dne se zakládka postupně ochlazuje pod 55 °C
- ve 3. fázi stačí pravidelné překopávání (aerace) jednou za 5 – 7 dní.
- ve fázi dozrávání (3. fáze) dochází ke stabilizaci teploty (Hejátková, 2008).

Jednotlivé fáze se do jisté míry prolínají a mohou trvat i déle než je uváděno. Záleží na surovinové skladbě a na podmínkách, které v kompostované směsi převládají, avšak pravidelná překopávka značně urychluje celý proces (Vaněk et al., 2012).

4.2.4 Fáze kompostování podle teploty

Mezofilní fáze (25 – 40 °C)

V této první fázi nazývané také jako počáteční a bohatou na energii se vyskytují snadno rozložitelné látky (cukry a proteiny), jsou degradovány primárními rozkladači - houbami z rodu *Actinobacteria* (Diaz et al., 2007).

Bylo prokázáno, že počet mezofilních organismů je o tři řády vyšší než počet termofilních organismů, ale aktivita primárních rozkladačů indukuje zvýšení teploty (Diaz et al., 2007). Optimální teplotou pro rozvoj mezofilních organismů je 25 – 40 °C. Při vyšších teplotách začíná převažovat skupina termofilních aerobních mikroorganismů, které jsou pro správný průběh kompostování nezbytné. Optimální výše této teploty se pohybuje v rozmezí 45 – 65 °C (Kára a kol., 2002).

Termofilní fáze (40 – 65 °C)

Organismy přizpůsobené vyšším teplotám postupně nahrazují mezofilní mikroflóru. Rozklad pokračuje rychle a zrychluje až do dosažení teploty zhruba 62 °C.

Termofilní houby mají růstové maximum mezi 45 a 65 °C, přičemž vyšší teplota obvykle brání růstu hub. Termotolerantní a termofilní bakterie a *Actinobacteria* zůstávají aktivní i při vyšších teplotách (Diaz et al., 2007; Kára a kol., 2012).

Navzdory usmrcení většiny mikroorganismů (hlavně organismů mezofilních) a za přítomnosti organismů žijících při teplotách kolem 65 °C může teplota dále stoupat a může překročit 80 °C. Je pravděpodobné, že toto konečné zvyšování teploty není v důsledku mikrobiální činnosti, ale je to spíše vliv abiotických exotermických reakcí, ve kterých by mohly být zapojeny teplotně stabilní enzymy hub z rodu *Actinobacteria* (Diaz et al., 2007).

Při teplotě nad 70 °C je většina mezofilních organismů usmrcena. Termofilní fáze je důležitá pro hygienizaci substrátu. Během této fáze dochází k inaktivaci patogenů a zárodků semen plevelných rostlin (Diaz et al., 2007).

Chladicí fáze – druhá mezofilní fáze (25 – 40 °C)

Po ukončení činnosti termofilních organismů, na základě vyčerpání substrátu, začíná klesat teplota. Mezofilní organismy rekolonizují substrát. Pocházejí z přežívajících spor nebo jsou dodány z vnějšího očkování. Zatímco v počáteční fázi organismy rozkládají cukry, oligosacharidy a proteiny, tak v druhé mezofilní fázi (chladicí) je větší počet organismů, které rozkládají škrob nebo celulózu. Patří mezi ně bakterie, ale i houby (Diaz et al., 2007).

Fáze zrání (25 °C a méně)

V několika po sobě jdoucích krocích se složení mikrobiální komunity zcela změnilo. Obvykle je vyšší podíl hub a nižší podíl bakterií (Diaz et al., 2007). Sloučeniny, které nejsou dále rozložitelné, jako je např. lignin - humusový komplex, se stávají převládajícími (Diaz et

al., 2007). Teplota se v této fázi stabilizuje a vyrovnává se s teplotou okolního prostředí (Hejátková, 2008).

Na konci komponovacího procesu by měl kvalitní kompost vykazovat tyto parametry:

- vlhkost 40 – 60 %
- pH 6,0 – 6,5
- minimální obsah organické hmoty 20 %
- obsah organických látek v sušině 50 – 82 %
- dusík nad 2 %
- fosfor nad 0,65 %
- draslík nad 1,25 %
- vápník + hořčík nad 4,5 % (Hejátková, 2008).

4.3 Podmínky ovlivňující průběh kompostování

Ve všech fázích kompostování je nutné zabezpečit optimální podmínky na rozvoj mikroorganismů, a to především:

- úpravou poměru uhlíku a dusíku (C : N)
v čerstvém kompostu v rozmezí 30 – 35 : 1 (Váňa, 2001)
- úpravou vlhkosti
- zabezpečením minimální přítomnosti fosforu
- úpravou pH
- úpravou zrnitosti a homogenity substrátu
- provzdušňováním substrátu → pravidelná překopávka (aerace) značně urychlí celý proces (Vaněk et al., 2012)
- regulací teploty v průběhu kompostování (Váňa, 2001).

O úspěšném průběhu kompostování a o výsledné kvalitě kompostu rozhoduje sestavení správné surovinové skladby čerstvého kompostu (čerstvý kompost má již na první pohled rozpoznatelné kompostované komponenty), což je výběr odpadů a stanovení jejich hmotnostního poměru (Váňa, 2001).

4.3.1 Kyslík

Kyslík je ve všech fázích kompostování nezbytný pro mikrobiální aktivitu a pro rychlost rozkladu (Hejátková, 2008). Mikrobiologické procesy v kompostech probíhají nejlépe za mírně omezeného přístupu vzduchu, a proto výrazné omezení aerobiózy není žádoucí (Vaněk et al., 2012). Během aerobní fermentace dochází k jeho spotřebě a následnému zhutňování kompostu (Epstein, 1996). Proto je nutné zakládat komposty z materiálu s různou strukturou (např. tráva se štěpkou), aby nedocházelo k velkému ulehnutí materiálu a tím ke značnému omezení vzduchu. Dostatečná aerace hmoty se v průmyslové výrobě zajišťuje tzv. překopávačem. Překopáním kompostu se docílí aerace, zároveň se urychlí rozklad zbytků a také dojde k další homogenizaci kompostovaného materiálu (Vaněk et al., 2012). Nedostatek kyslíku by mohl způsobit proces kvašení a s tím spojený zápach (Epstein, 1996).

4.3.2 Mikroorganismy

Kompostování jako mikrobiální rozklad biologicky rozložitelných materiálů se řídí fyzikálně - fyziologickými a mikrobiologickými faktory (Chandna et al., 2013).

Složení organismů podílejících se na průběhu kompostování není konstantní, ale je závislé na složení vstupního produktu a stupni humifikace (Hejátková, 2008). Obecně lze říci, že maximální množství bakteriální populace se vyskytuje v mezofilní fázi. V průběhu termofilní fáze populace klesá, stejně tak i ve fázi chlazení a zrání (Chandna et al., 2013).

Pro vytvoření optimálních podmínek zajišťující rozvoj mikroorganismů je třeba zabezpečit zejména optimální poměr uhlíku a dusíku (C : N) vhodnou surovinovou skladbou čerstvého kompostu. Zdroj uhlíku a dusíku je nutný pro syntézu bílkovin, které jsou součástí buněk mikroorganismů, kde se zúčastňují jejich metabolismu jako enzymy. Tento poměr udává rychlost rozkladu kompostovaného materiálu (Hejátková, 2008).

4.3.3 Poměr C : N

Poměr C : N v čerstvém kompostu by se měl pohybovat v rozmezí 30 – 35 : 1 a ve zralém kompostu 25 – 30 : 1 (Váňa, 2002). Zralý kompost představuje drobtovitou hmotu bez zápachu, a nelze u něj identifikovat strukturu původních částic. Příliš široký poměr C : N, např. 50 : 1, prodlužuje zrání kompostu (Hejátková, 2008). Uhlík uniká do vzduchu jako CO₂. V takovém případě je vhodné doplnění dusíku např. močůvkou, kejdou prasat a jinými materiály bohatými na dusík. (Váňa, 2002; Vaněk et al., 2012).

Při příliš úzkém poměru C : N (např. 15 : 1) v čerstvém kompostu převyšuje obsah dusíku metabolickou přeměnu mikroorganismů, vznikají ztráty čpavkového dusíku a klesá produktivita tvorby humusových látek (Váňa, 2002; Hejátková, 2008). Přehled poměru C : N u běžně kompostovaných surovin uvádí tabulka 1.

Čerstvé nebo nedostatečně aerované komposty obsahují většinu přístupného dusíku v amonné formě, naopak dostatečně zralé komposty obsahují dusík ve formě nitrátové (Habart a kol., 2009).

Tabulka 1. Hodnoty poměru C : N u surovin používaných ke kompostování

Suroviny	C : N	Suroviny	C : N
Kůra	120 : 1	Piliny	500 : 1
Odřezané větve	300 : 1	Papír, karton	350 : 1
Listí	50 : 1	Hnůj	25 : 1
Sláma (žito, oves)	60 : 1	Kejda skotu	10 : 1
Sláma (pšenice, ječmen)	100 : 1	Drůbeží trus	10 : 1
Posečená tráva	20 : 1	Močůvka	2 : 1

(Hejátková, 2008)

4.3.4 Teplota

Změna teplot jako důležitý faktor v průběhu kompostování je zapříčiněna intenzivní mikrobiální aktivitou. Zvyšování teploty má vliv na mikrobiální populaci a tím i na rychlost rozkladu (Diaz et al., 2007), postupně dochází k usmrcení mezofilních organismů, termotolerantní a termofilní bakterie a *Actinobacteria* zůstávají aktivní i při vyšších teplotách (Epstein, 1996).

Stejně teploty ovšem není dosaženo v celém profilu kompostovaných surovin, proto je velice důležité, aby se pravidelnou aerací dostal substrát z centrální části, kde je nejvyšší teplota, napovrch a z povrchu do části centrální (Diaz et al., 2007).

4.3.5 Vlhkost

Vlhkost má vliv na aerobní přeměny organické hmoty. Pravidelná aerace umožňuje regulaci vlhkosti. Substráty zejména z bioodpadů se vyznačují vysokým obsahem vlhkosti. Překopáváním během kompostování docílíme potřebné aerace a snížení počáteční vlhkosti substrátu. Zároveň je dosaženo vysoké míry degradace organické hmoty. Díky tomu mezofilní, termofilní i chladicí fáze trvají kratší dobu (Ocana et al., 2014).

Vyšší intenzita aerace kompostu způsobuje vyšší rozklad fytotoxických látek na látky netoxické, inaktivaci zárodků semen plevelných rostlin a nižší obsah rozpustných solí (elektrická vodivost) (Ocana et al., 2014).

Výchozí vlhkost kompostovaného materiálu je závislá na obsahu organických látek, se kterým souvisí i jeho pórovitost (Vaněk et al., 2012). Vlhkost čerstvého kompostu se optimalizuje na hodnotu, při níž je cca 70 % objemu pórů kompostu zaplněno vodou. Při nadbytečné vlhkosti dochází rychle k nedostatku kyslíku v kompostu a k vývoji anaerobní mikroflóry (Váňa, 2002). Nadbytečná vlhkost působí negativně, protože odpařovaná voda odvádí větší podíl energie vlivem výparného tepla. Tím se kompost ochlazuje a neprobíhá činnost termofilních organismů. Biologické procesy se mohou měnit na procesy kvasné. Vysoký obsah vody může způsobovat její vytlačování ze spodních vrstev, která po extrahování látek ze zpracovaných materiálů může zapáchat (Hejátková, 2008).

Nedostatečná vlhkost způsobuje vývoj nevhodné mikroflóry s převahou plísní a aktinomycet a také působí negativně na hydrolytické reakce (Váňa 2002; Hejátková 2008). Při nedostatku vlhkosti je nutná záливka vodou či tekutými organickými hnojivy (např. močůvka, hnojůvka, fugát). Proto je vhodné kompostovat a zakládat kompost s materiálem dostatečně vlhkým, protože následné ovlhčení materiálu v kompostu je již obtížnější a mohou se vytvářet místa s různou vlhkostí (Vaněk et al., 2012). Doporučený obsah vody v kompostu uvádí tabulka 2.

Tabulka 2. Doporučené obsahy vody v kompostu dle obsahu organických látek

Obsah organických látek v sušině (%)	Obsah vody (%)
< 20	45 - 50
30 - 40	55 - 60
50 - 75	60 - 70

(Vaněk et al., 2012)

4.3.6 Zabezpečení minimálního obsahu fosforu

Kompostovaná směs musí vykazovat obsah fosforu v sušině okolo 0,1 %. Vhodné je obohacení kompostů o fosforečná hnojiva, i když výchozí materiál má dostatek fosforu. Mohou se použít superfosfáty i mleté fosfáty. Fosfor superfosfátů je dobře využitelný mikroflórou kompostu a jeho velká část přechází do organických sloučenin, které jsou následně dobře využitelné rostlinami. Využití fosforu v přítomnosti organických látek kompostu je vyšší než z původního hnojiva. U mletých fosfátů je vlivem působení mikroorganismů a celkově dobrých podmínek při kompostování zvyšována přijatelnost fosforu hnojiva (Vaněk et al., 2012).

4.4 Charakteristika surovin pro kompostování

Zahradníci již dlouho používají různé organické látky jako příměsi substrátů. Rašelina nahrazuje většinu z těchto materiálů díky svým vynikajícím fyzikálním vlastnostem. V poslední době se ale tento trend mění v důsledku nutnosti recyklace organických odpadů způsobem šetrným k životnímu prostředí a také kvůli rostoucím nákladům za rašelinu (Raviv, 2011).

Většina organických materiálů vyžaduje řízené kompostování, než může být použita jako příměs substrátu. V jednotlivých fázích kompostování je potřeba odstranit možnou fytotoxicitu, choroboplodné zárodky a semena plevelů. Cílem je i stabilizovat tento materiál s ohledem na dusík a spotřebu kyslíku mikroorganismy. S takto upraveným materiálem se dá snadno manipulovat a může být použit jako součást pěstebních substrátů (Raviv, 2011).

Zralost kompostu je důležitou charakteristikou pro použití v pěstebních substrátech. Pokud by byl i po přidání do substrátu stále aktivní rozklad, tzn. nezralý kompost, mělo by to negativní vliv na růst rostlin, v důsledku:

- snížené hladiny kyslíku
- rozkladu organické hmoty
- imobilizace dusíku
- a přítomnost fytotoxických sloučenin (Raviv, 2011).

Kvalitní kompost představuje rozloženou organickou hmotu, která je částečně transformována na humusové látky a je stabilizována minerální koloidní frakcí. Kvalitní kompost:

- obsahuje dostatek stabilizovaných organických látek
- vykazuje velké sorpční a iontovýměnné kapacity (postupnými transformačními procesy se tvoří stabilní organické látky a organická hmota získává schopnost sorpce kationtů)
- dobře rozložená a transformovaná organická hmota (Vaněk et al., 2012).

Zárukou kvality kompostu je:

- správná skladba surovin – především dostatek snadno rozložitelného organického materiálu, aby byla zajištěna rychlost fermentace, a tím dosaženo potřebné teploty
- dobrá homogenizace surovin – vrstvení a kvalitní promísení materiálů, aby byly zajištěny procesy rozkladu ve všech částech kompostu

- zajištění dobrých podmínek pro mikroorganismy – dostatek živin, dostatečný obsah vzduchu a jeho výměna, dostatečná vlhkost (Vaněk et al., 2012).

Při sestavení surovinové skladby kombinujeme:

- odpady s vysokým obsahem uhlíku s odpady s obsahem dusíku
- odpady málo strukturní s odpady strukturními
- odpady suché s odpady vlhkými tak, aby bylo docíleno optimálních podmínek jakostních znaků (Váňa, 2001).

V kompostech by měly být zastoupeny látky organické a minerální povahy. Množství organických látek, surovin a jejich kvalita rozhoduje o výsledném produktu. Dostatek organických látek je důležitý pro činnost mikroorganismů (Vaněk et al., 2012).

Mezi **surovinou organické povahy** vhodné pro kompostování patří rostlinné odpady (listí, tráva, matoliny = vinařský odpad z pokrutin), sláma, piliny, kůra, zbytky zelenin po sklizni (nať brambor, mrkve aj.), odpad z ovocné a okrasné zahrady (odřezané drobnější větve a letorosty – nejlépe drcené) odpad z kuchyně a domácnosti (zbytky ovoce, brambor apod.). Při kompostování především těžko rozložitelného odpadu (piliny, štěpka, sláma aj.) jsou vhodným doplňkem statková hnojiva. Ze statkových hnojiv se používá hnůj, močůvka a kejda. Jsou dobrým zdrojem snadněji rozložitelných organických látek, a zároveň působí jako očkovací materiál = zdroj mikroorganismů (Vaněk et al., 2012; Raviv, 2011a).

Kejda je směs pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat, naředěna technologickou vodou. Je produkována při roštovém nebo volném ustájení zvířat bez podestýlky. Oproti kejdě skotu a prasat obsahuje drůbeží kejda nejvíce živin. Porovnání živin v kejdě znázorňuje tabulka 3 (Vaněk et al., 2012).

Tabulka 3. Průměrný obsah sušiny, organických látek (OL) a živin v kejdě

Kejda	Obsah v čerstvém stavu %						
	sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Skot	7,8	6	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Prasata	6,8	5,3	0,5	0,13	0,19	0,24	0,04
Drůbež	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

(Vaněk et al., 2012)

Močůvka představuje zkvašenou moč hospodářských zvířat. Skladuje se v jímkách a kromě kompostování se využívá i k hnojení jako tzv. hnojivá závlaha (Vaněk et al., 2012).

Ze **surovin minerální povahy** se volí zeminy s dobrou sorpční kapacitou, které jsou zdrojem jílových částic, ale také přinášejí potřebnou mikroflóru k rozkladu organických surovin. Zemina působí na sorpci živin (především poutání vznikajícího NH_3), zvláště na počátku kompostování, kdy původní organická hmota nemá téměř žádnou schopnost sorpce, ale také vody a na schopnost pohlcovat vznikající zápachy, má tedy výrazné hygienické působení. Využívají se různé zeminy ze skrývek výkopů, ornice ze staveb, odpady z cukrovarů ale i rybníční bahna (u odpadních a sedimentovaných materiálů je nutné používat jen ty materiály, které nejsou znečištěny rizikovými látkami a těžkými kovy). Do kompostů lze přidat i popel po spalování biomasy, který podle druhu spalovaného materiálu obsahuje 24 – 44 % Ca, 3 – 9 % Mg a 6 – 20 % K (Vaněk et al., 2012).

Kromě statkových hnojiv je možné použít i některá hnojiva organického původu, např. kostní rohové a krevní moučky, dále těžko rozpustné fosfáty, případně různé odpadní horniny (moučky), které jsou potenciálním zdrojem živin, především Ca, Mg a K (Vaněk et al., 2012).

Pro zachování vhodných podmínek v průběhu kompostování je třeba, aby byl dodržen vhodný poměr mezi organickými a minerálními (anorganickými) látkami. Obsah lehce odbouratelných látek (cukry, bílkoviny) v organických složkách je důležitý pro průběh humifikace. Pokud je větší obsah anorganických látek, průběh humifikace je zpomalen (Hejátková, 2008).

4.5 Dělení kompostů

Komposty se podle kompostovaných surovin dělí na zemědělské komposty, zelené komposty a průmyslové komposty. Komposty, které využívají pro rozklad organických látek žížaly, se označují jako tzv. vermikomposty (Dubský, 2014, osobní sdělení).

4.5.1 Zemědělské komposty

Zemědělské komposty využívají různé typy hnoje, například drůbeží hnůj nebo prasečí kejdu. Mají vysokou hnojivou hodnotu a do půdy dodávají organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální (Vaněk et al., 2012).

Směs výkalů, steliva případně zbytků krmiva se nazývá chlévská mrva. Uzráním mrvy na hnojišti vzniká hnůj. V průběhu zrání dochází k biologicko-chemickým procesům a

k uvolňování energie v podobě rostoucího teplota. Biologicko-chemické procesy představující kvašení, tlení a hnití, při kterém se komponenty rozkládají a následně přeměňují a transformují na látky jiného kvalitativního složení. Největší intenzita rozkladu organických látek probíhá za přístupu vzduchu. Zamezení ztrát organické hmoty, ale i živin, hlavně dusíku se docílí omezením přístupu vzduchu – navrstvení hnoje do výšky nejméně tři metry. Zlepšení kvality hnoje je možné dosáhnout přidávkem zeminy (asi 10 % zeminy) případným pokrytím bloků hnoje zeminou (Vaněk et al., 2012).

4.5.2 Zelené komposty

Kompostování rostlinných odpadů má agronomický, hygienický a ekologický význam. V zahradnických provozech by komposty měly představovat hlavní organické hnojivo. K jejich produkci je účelné využití všech organických materiálů, které se získávají při vlastním provozu, především při údržbě zeleně (Vaněk et al., 2012).

Při údržbě zeleně vznikají odpady například z listí, trávy nebo dřevní štěpky. Tyto odpady jsou složeny z organických látek a nejsou ve směsi s jinými nečistotami – jsou bez kontaminace (Gomez, 1998).

Piliny, dřevní štěpka, (ale i kůra ze stromů) mají vysoký poměr C : N. Jedná se o odpady těžko rozložitelné, a proto vyžadují přidání materiálu bohatého na dusík. Pro doplnění dusíku se využívá hnůj, kejda prasat, močůvka ale i čistírenské kaly (Gomez, 1998, Vaněk et al., 2012). Při použití dřevní štěpky jako příměs do substrátů je nutná častější záливka, kvůli její nízké vodní kapacitě, zároveň se dřevní štěpka vyznačuje vysokým objemem pórů, což zabezpečuje dobré provzdušnění substrátu (Dubský a Šrámek, 1998).

4.5.3 Průmyslové komposty

Průmyslové kompostování (centrální kompostování) organizují obce, jejich technické služby a další většinou soukromé podnikatelské subjekty. Jde o náročnou činnost, která musí splňovat řadu předpisů vodohospodářských a hygienických z legislativy odpadů. Další požadavky jsou kladeny na kompostárny, jestliže se vyrobený kompost uvádí do oběhu prodejem (Váňa, 2002). Požadavky na průmyslové komposty znázorňuje tabulka 4.

Centrální kompostování se zajišťuje na kompostovišti (s roční produkcí kompostu 50 – 500 t) nebo na průmyslové kompostárně (s roční produkcí kompostu minimálně 500 t). Na těchto zařízeních se provádí kompostování většinou na kompostových zakládkách nebo v

biofermentorech. Tyto centrální zařízení bývají tradičně označovány jako průmyslové kompostárny (Váňa, 2002).

Průmyslové komposty zpracovávají kůru, zeminu, čistírenské kaly. Kompostovaná kůra je po rašelině druhou nejpoužívanější surovinou k výrobě substrátů, slouží tak jako náhrada rašeliny. Kompostovaná kůra je porézní organický materiál s narušenou vnitřní strukturou kůry, která je schopná poutat značné množství vody. I při této vlastnosti však zachovává vyšší podíl nekapilárních pórů, čímž dodává substrátu vzdušnost a usnadňuje tak přístup vzduchu ke kořenům rostlin (Vydlák, 2001). V současnosti je ale kůry nedostatek kvůli jejímu spalování v elektrárnách (Dubský a Šrámek, 2007).

Čistírenské kaly se často kompostují se dřevěnými odpady (dřevní štěpka). Tímto způsobem se zředí těžké kovy ve hmotě a získá se dostatečně nízká koncentrace stopových kovů, vhodná pro využití v zemědělství (Gomez, 1998). Z dalších surovin vhodných pro průmyslové kompostování lze využít přírodní zdroje, např. rybníční bahno (bez kontaminace rizikových látek a těžkých kovů), různé městské a průmyslové odpadní látky s dostatečným obsahem organických látek a živin. Jedná se zejména o tuhé domovní nebo průmyslové odpady z potravinářského, masného průmyslu, odpady při zpracování vlny, saturační kaly, popílky, prosevy a jiné komponenty (Hejátková, 2008).

Tabulka 4. Požadavky na průmyslové komposty

Obsah spalitelných látek	minimálně 25 %
Obsah vody	(40 - 65 %)
Celkový obsah dusíku	minimálně 0,6 %
C : N	maximálně 30

(Vaněk et al., 2012)

4.5.4 Vermikomposty

Vermikompost je charakterizovaný jako mezofilní biologický produkt získaný interakcí činností žížal a mikroorganismů. Oproti kompostům mají vermikomposty jednotný zrnitostní charakter (Lazcano et al., 2009). Vermikompost se vyznačuje nízkým obsahem rozpustných solí a přijatelných živin. Pro přípravu pěstebních substrátů ho lze použít v podílu 25 – 50 % obj. Pro přípravu vermikompostu, který je registrovaný pod ochrannou značkou Wormcompost, se používají odpadní materiály se středním nebo vysokým obsahem celulózy (krátká celulózová vlákna, starý papír a rostlinný materiál – sláma, senáže). Ty jsou doplněny

kaly z čistíren odpadních vod s certifikovanými rozbory a se sušinou nad 18 % (Dubský, 2012).

Odpady jsou zpracovány mechanicky (průchodem přes trávící ústrojí žížaly dochází ke zpracování organického materiálu) a chemicky (uvolněním enzymů do substrátu). Zhruba 40 % organických látek žížaly využijí a zbytek tvoří natrávené, stmelené části, které vylučují do prostředí a jsou základem kompostu. K tomuto účelu jsou využívány žížaly z rodu *Eisenia foetida*, kalifornský červený hybrid nebo *Dendrobaena veneta*, využívané i pro rybolov. Tyto druhy žížal mají schopnost konzumovat velké množství organické hmoty (Dubský, 2012; Vaněk et al., 2012). Pro žížaly je nutné zajistit dobré podmínky. Kromě dostatku organického materiálu s poměrem C : N kolem 20, vyžadují teplotu okolo 20 °C, vlhkost 80 %, pH v rozsahu 6 – 8 a dostatek vzduchu v organické hmotě, která představuje zdroj potravy (Vaněk et al., 2012).

4.6 Využití kompostu

Mezi výhody kompostů jako složky pěstebního substrátu patří nízké náklady, nutriční přínos a určitá ochrana proti přenosným půdním chorobám (Raviv, 2011).

Většina těchto kompostů může být po skončení cyklu růstu dále recyklována aplikací do půdy (Raviv, 2013).

Omezením při používání kompostů, jako složky pěstebního substrátu jsou jejich fyzikální vlastnosti (vysoká objemová hmotnost a malé množství snadno dostupné vody), salinita, zbytková fytotoxicita, vysoká biologická spotřeba kyslíku, pH a míra zbytkové degradace projevující se časem (Raviv, 2011). Dávkování kompostů do pěstebních substrátů je limitováno příliš vysokým obsahem rozpustných solí a některých živin. Nejčastěji se jedná o vysoký obsah draslíku, vápníku a v některých případech i fosforu. Přídavek kompostu by neměl překračovat 50 % obj., při vyšších dávkách lze očekávat zhoršení růstu pěstovaných kultur. Přídavek kompostů ovlivňuje nejenom chemické, ale především fyzikální vlastnosti substrátů. Při použití nejvhodnějšího kompostovaného odpadu, mezi které patří dřevní štěpka, listí a tráva (tzv. zahradní komposty z biologického odpadu vznikající při údržbě zeleně) se ve srovnání s rašelinou projevuje nižší pórovitost a nižší vodní kapacita. Optimální podíl tohoto typu kompostu je tak 10 – 25 % obj. a je vhodný i při pěstování rostlin v nádobách. (Dubský a Šrámek, 2008).

Komposty se využívají nejen jako příměsi do zahradnických substrátů, ale i jako tzv. statková (organická) hnojiva pro doplnění organických látek do půdy. Komposty lze hnojit

v jarním, ale i letním období (Vaněk et al., 2012). Cykly hnojení na lehčích půdách jsou 2 – 3 roky, na půdách těžších 3 – 4 roky (Hejátková, 2008). Podle účelu se komposty aplikují v dávkách 20 – 80 t/ha. Není nutné ho zaorávat, na orné půdě stačí mělké zapravení při předseťové přípravě půdy, přičemž ani při povrchové aplikaci dobře uzrálého kompostu nehrozí nebezpečí ztrát živin. Komposty jsou tak univerzálními hnojivy pro rostliny vyžadující organické hnojení, pro travní a trvalé porosty, při obnově travních porostů apod. Díky svému pozvolnému účinku mají významnou roli při hnojení víceletých plodin, např. plantáže jahod, ovocné sady, vinné révy, ale i při rekultivačních a melioračních úpravách pozemků (Vaněk et al., 2012).

4.7 Suroviny bioplynových stanic

V posledních letech výrazně stoupla produkce bioplynu mezofilní anaerobní fermentací v bioplynových stanicích, zejména z biomasy pěstované na zemědělské půdě (Tlustoš et al., 2013).

Bioplyn jako zdroj obnovitelné energie představuje konečný produkt anaerobní digesce, je bohatý na metan a využíván k výrobě elektřiny a tepla. Vzniká při anaerobní digestaci, ale může se vytvářet i při skladování hnoje a kejdy či v trávicím ústrojí přežvýkavců. V bioplynové stanici nedochází ke kompletní konverzi, ale část nerozložené suroviny společně s technologickou vodou je vedlejším produktem výroby bioplynu, nazývaným digestát (Tlustoš et al., 2013).

4.7.1 Digestát

V rámci produkce bioplynu prostřednictvím anaerobní digesce organických odpadů vzniká digestát, který lze charakterizovat jako hnojivo (Restrepo et al., 2013). Tento materiál obsahuje přístupné i vázané živiny a organickou hmotu. Díky těmto vlastnostem je možné využít digestát jako hnojivo (Tlustoš a kol., 2013). Obsahuje vysoké množství živin (N, P, K) a má nízký obsah sušiny 5 – 8 % (Dubský a Kaplan, 2012). Proces anaerobní digesce umožňuje inaktivovat semena plevelných rostlin, bakterií (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria*), virů a hub, což má velký význam při použití digestátu jako hnojiva (Weiland, 2010).

Je heterogenním materiálem se zbytkovým podílem pevné fáze (60 – 80 % organických látek v sušině), s vyšším pH (7 – 8) a dominantním silně zředěným roztokem minerálních solí (Tlustoš et al., 2014).

Digestát lze také použít do pěstebních substrátů, kde významně ovlivňuje jeho biologické vlastnosti, především aktivitu enzymů a rozvoj půdní mikrobiální biomasy (Albuquerque et al., 2012), je ale potřeba sledovat vlastnosti vstupních surovin v rámci jejich různorodosti (Dubský a Kaplan, 2012).

V posledních letech digestát nabyl na významu v zemědělství. Stále se ale zkoumají jeho vlastnosti a s tím i jeho následné využití (Tambone et al., 2010), protože složení digestátu závisí především na původu vstupních surovin (Dubský a Kaplan, 2012). Je tedy nutné sledovat obsah těžkých kovů, aby se zajistil jejich soulad s normami (Teglia et al., 2011).

4.7.2 Fugát

Fugát, vznikající mechanickým odseparováním digestátu je zředěný roztok obsahující celé spektrum živin ve formě přijatelné pro rostliny. Fugát je charakteristický svým nízkým obsahem sušiny pohybující se v rozmezí 0,8 – 4 % a lze ho využít pro přímou aplikaci na půdu jako kapalné hnojivo (Kolář et al., 2010). Fugát obsahuje dusík především ve formě minerální, tudíž je rostlinám přístupný. S ohledem na množství vody jsou jejich koncentrace v původní hmotě nízké a obsah přístupného dusíku v kapalném fugátu se pohybuje v rozmezí jen 0,15 – 0,30 %, obsah draslíku je obdobný a obsah dalších živin je významně nižší (Kolář et al., 2009). S ohledem na tyto problémy se intenzivně hledají způsoby, jak fugát upravit a zlepšit ekonomiku jeho aplikace. S ohledem na vysokou hodnotu pH (v rozmezí 7 – 9,5), významné zastoupení dusíku v amonné formě a vysoké skupenské teplo vody jsou možnosti úpravy tohoto slabého roztoku živin omezené (Tlustoš et al., 2014).

4.7.3 Pevná složka digestátu – separát

Aby byla možná manipulace s digestáty, je potřeba snížit jejich vlhkost, např. sušením, lisováním, odstředěním nebo separací. Těmito úpravami dochází ke vzniku tzv. separátu (Teglia et al., 2011).

Separát je vedlejším výstupním produktem bioplynových stanic, vznikající při anaerobní digesci v podobě nerozložených zbytků. Separát obsahuje tuhous nerozloženou frakci organických látek vláknité povahy, které v půdě podléhají intenzivní mineralizaci (Kolář et al., 2009; Dubský a Kaplan, 2012). Svojí strukturou ale ovlivňuje fyzikální vlastnosti substrátu a je podstatným zdrojem přijatelných živin. (Kaplan et al., 2011; Dubský a Kaplan 2012).

Separát po procesu anaerobní digesce obsahuje stabilní organické látky v rozmezí 55 – 85 %. Hodnota pH se pohybuje v rozmezí 8 – 9. V čerstvé hmotě obsahuje vysoké hladiny fosforu (Dubský et al., 2012). Složení separátu závisí na původu materiálů vstupujících do procesu anaerobní fermentace (Kolář et al., 2009). Jako vstupní surovinu lze použít kejdu, silážovanou kukuřici, travní senáž, obiloviny, čirok, cukrovarnické výlisky (Kurt et al., 2010). Suroviny různého složení znamenají, že bioplynové stanice produkují materiály obsahující různé složení makro a mikro živin (Abubaker et al., 2012).

4.7.4 Využití pevné fáze digestátu

Separát je možné využít pro přípravu kompostů, ale i pěstebních substrátů a zemin (Dubský a Kaplan, 2012). Kompostování separátu může představovat reálný způsob jak zlepšit kvalitu výchozího produktu, což může snížit zápach, koncentrace těkavých sloučenin, obsah vlhkosti, potenciální fytotoxicity a zároveň tak lze zlepšit fyzikální vlastnosti separátu (Crippa et al., 2013). Kompostování separátu vede k omezenému zvýšení teploty a trvá kratší dobu než kompostování klasických odpadů (Teglia et al., 2011). Takto upravený separát může být využit nejen jako organické hnojivo, ale také například v okrasných školkách jako náhrada rašeliny při kontejnerovém pěstování (Schievano et al., 2009). Lze ho dobře využít pro kompostování se slámou, kde plní funkci hlavně provzdušňovací. Pro stanovení dávek kompostu do organických substrátů a zahradních zemin jsou rozhodující hodnota pH, obsah rozpustných solí charakterizovaný hodnotou EC vodního výluhu a obsah draslíku (Dubský a Kaplan 2012).

Přídavkem separátů do pěstebních substrátů se dodá do substrátové směsi stabilní organická hmota, živiny a dojde k úpravě pH. Aplikace separátů do pěstebních substrátů je možná pouze za předpokladu, že nebude ohrožena kvalita pěstovaných rostlin (Tlustoš et al., 2013). Separáty působí velmi dobře při úpravě vodně-vzdušných režimů substrátu (Kolář et al., 2010). Nejvhodnější jsou separáty ze zemědělských bioplynových stanic, které zpracovávají rostlinnou hmotu a statková hnojiva, především kejdu (Dubský a Kaplan, 2012). Separáty s těmito vstupními surovinami mají v konečné fázi vláknitou strukturu (nerozložená frakce organických látek) a s původní vlhkostí mají relativně stabilní hydrofyzikální vlastnosti (tj. schopnost substrátu zadržet vodu při dostatečné zásobě vzduchu). Tyto separáty mají vysokou pórovitost a vysokou vzdušnou kapacitu (Tlustoš et al., 2013).

Separáty z BPS, které zpracovávají výlisky ovoce a cukrovarnické řízky mají vysokou objemovou hmotnost suchého vzorku a nízkou vzdušnou kapacitu. Tyto separáty mají i vysokou hodnotu smrštění, což je dáno chybějící vláknitou organickou složkou. Vzhledem ke

zmiňovaným vlastnostem není tento typ separátů vhodný pro přípravu substrátů (Tlustoš et al., 2013).

Pro přípravu pěstebních substrátů jsou vhodné sušené separáty (s obsahem sušiny 20 – 35 %) (Dubský a Kaplan 2012), ze zemědělských bioplynových stanic a to jak s ohledem na příznivé fyzikální vlastnosti, tak i jako nositelé živin (Tlustoš et al., 2014). Pro jeho použití v pěstebních substrátech je limitní obsah rozpustných solí (2,7 – 2,9 mS/cm) a zejména obsah přístupného draslíku (Dubský a Kaplan, 2012). Obsah přijatelného draslíku není ve srovnání s komposty vysoký (1,3 – 1,7 %), ale separát s původní vlhkostí má vysoký obsah amonného dusíku (0,2 %). Ten limituje jeho podíl v pěstební směsi na max. 10 % obj. (Dubský a Kaplan, 2012). Pokud se separát vysuší, obsah amonného dusíku výrazně poklesne a podíl separátu v pěstebním substrátu může být vyšší (20 – 40 % obj.), u rostlin náročných na živiny jako např. u venkovních chryzantém dokonce až 60 % obj. (Kaplan et al., 2011). Přídavkem separátu do rašeliny se zvyšuje vzdušná kapacita a snižuje se obsah lehce dostupné vody pro rostliny (Dubský et al., 2012).

Další možné využití separátu je jako substrát pro houby, což ověřili Stoknes et al. (2013) ve svých pokusech s houbami *Agaricus bisporus* a *Agaricus subrufescens*. Pro úplnou kolonizaci mycelia bylo nutné mechanické odstranění hrudek. Vysoké výnosy *A. subrufescens* byly spojeny s nižšími hodnotami pH při očkování a u sušších kompostů s nižším obsahem separátu a vyšším obsahem slámy.

Suroviny z bioplynových stanic (digestát, fugát a separát) při komerčním využívání nebo při aplikaci na půdu jako hnojivo musí splňovat limitní obsahy rizikových prvků dané vyhláškou, které uvádí tabulka 5 a 6.

Tabulka 5. Limitní hodnoty rizikových prvků v organických hnojivech se sušinou nejvýše 13 % (příloha č. 1 k vyhlášce MZe č. 474/2000 Sb.)

Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
mg/kg sušiny								
2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Tabulka 6. Limitní hodnoty rizikových prvků v organických hnojivech se sušinou nad 13 % (příloha č. 1 k vyhlášce MZe č. 474/2000 Sb.)

Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
mg/kg sušiny								
2	100	1	20	100	150	20	50	600

5 Experimentální část

5.1 Materiál a metody

V této kapitole je popsán způsob založení experimentu, charakteristika použitých surovin, ošetřování kompostů v průběhu kompostování a způsob odebrání vzorků.

5.1.1 Založení experimentu s komposty

Experiment s komposty byl založen dne 8.7. 2014 v ZD Krásná Hora nad Vltavou se sídlem v Petrovicích. Kompostovaným materiálem byla pevná složka digestátu, tzv. separát. V rámci experimentu s komposty byl testován separát z Krásné Hory nad Vltavou a separát vzniklý v ZD v Petrovicích. Do kryté haly se postupně navážel separát z bioplynových stanic a zároveň se připravily čtyři varianty pokusu. První dvě varianty byly připraveny ze separátu Krásná Hora s pšeničnou slámou v různém procentuálním zastoupení. Další dvě varianty byly připraveny ze separátu ZD Petrovice a pšeničné slámy. Celkové schéma pokusu uvádí tabulka 7 v kapitole 5.1.3.

Při zakládání kompostů byla využita technika pásové hromady. Postupným navážením separátu bylo docíleno požadovaného tvaru – lichobežníku, vhodného pro průběh kompostování, o rozměrech: 18 m dlouhého x 5,5 m širokého a 1,20 m vysokého. Na separát se aplikovalo požadované množství jemně řezané slámy o velikosti částic zhruba 2 cm. Tyto dvě suroviny se následně promísily překopávačem italské značky Pezzolato SpA, some s rozměry rámu 1,4 m x 5,4 m. Po promíslení surovin byly do kompostů umístěny teploměry pro sledování teploty.

Obrázek 1. Zakládka separátu do pásové hromady



Podrobnou fotodokumentaci zakládání experimentu uvádím v příloze.

5.1.2 Charakteristika bioplynových stanic

Bioplynová stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.

Bioplynová stanice zemědělského družstva v Krásné Hoře nad Vltavou je situována v areálu vlastního podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. nacházejícího se ve Středočeském kraji v okrese Příbram. Jedná se o zemědělskou bioplynovou stanici uvedenou do provozu v září roku 2008 s výkonem 526 kW/hod. Bioplynová stanice zpracovává kukuřičnou siláž, travní senáž a hovězí kejdu. Celkový objem výstupních surovin zahrnuje denně cca 20 tun. Z výstupních surovin produkuje digestát, následně separát a fugát. Separát a fugát vzniká separací digestátu separátorem.

Bioplynová stanice Petrovice

Bioplynová stanice zemědělského družstva Krásná Hora nad Vltavou, a.s. je situována v obci Petrovice. Jedná se o zemědělskou bioplynovou stanici, která byla uvedena do provozu v říjnu roku 2010 s elektrickým výkonem 834 kW/hod. Zpracovává silážovanou kukuřici v množství 5600 tun/rok, silážovanou travu v množství 4230 tun/rok a hovězí kejdu v množství 11940 tun/rok. Z výstupních surovin stanice produkuje digestát, separát a fugát.

5.1.3 Schéma pokusu

Tabulka 7 znázorňuje přehled procentuálního zastoupení surovin použitých při experimentu s komposty a značení jednotlivých variant.

Tabulka 7. Celkové zastoupení surovin v jednotlivých variantách

Varianta	Značení variant	Složení	
		Separát	Sláma pšeničná
1	K. H. 10 %	Krásná Hora 90 %	10 %
2	K. H. 15 %	Krásná Hora 85 %	15 %
3	P. 10 %	Petrovice 90 %	10 %
4	P. 15 %	Petrovice 85 %	15 %

5.1.4 Průběh kompostování – ošetřování

Aerace

Do středu kompostu byly umístěny teploměry pro sledování teploty. Při překročení teploty nad 60 °C se provedla aerace překopávačem (jinak by došlo k negativním procesům - narušení poměru C : N a jinému složení mikroorganismů). Po překopání došlo k celkovému provzdušnění a ke snížení teploty. Teplota se v průběhu několika hodin opět zvyšovala, po překročení 60 °C se znovu komposty překopaly. Pravidelnou překopávkou se docílilo nejen provzdušnění ale i rychlejšího rozkladu organické hmoty. V průběhu zrání kompostů postupně docházelo k ustálení teploty a zároveň i ke snižování obsahu amonného N.

Obrázek 2. Aerace kompostu překopávačem



Odběry vzorků během experimentu

Pro stanovení základních fyzikálních a chemických vlastností byly provedeny čtyři odběry. Odběr vstupních surovin se uskutečnil při zakládání kompostu (8.7. 2014). První kontrolní odběr probíhal dne 22.7. 2014, další vzorky se odebíraly v pravidelných intervalech po sedmi až devíti dnech. Druhý odběr byl dne 29.7. 2014, třetí odběr 5.8. 2014 a poslední odběr se provedl 14.8. 2014

U každé varianty se odebraly vzorky ve třech opakováních (z kraje, z prostřední části a z konce kompostu) v rámci statického vyhodnocení. Vzorky se vždy odebíraly z „centrální části“ kompostu (místo s nejvyšší teplotou) a ihned se vkládaly do polyetylenových nádob o

objemu 1L. Nádoby s odebranými vzorky se umístily do chladicího boxu z důvodu udržení obsahu N. Vzorky se následně převezly do laboratoře FAPPZ ČZU na požadované analýzy (NH_4^+ , sušina %, EC, pH, makroživiny, mikroživiny a rizikové prvky).

5.1.5 Metody stanovení živin ve vzorcích kompostů

Stanovení fyzikálních a chemických vlastností se uskutečnilo v laboratořích Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin.

Stanovení amonného dusíku

Ke stanovení amonného dusíku byl využit destilační přístroj Gerhardt Vapodest 50s.

- **Předúprava vzorku pro odměrné neutralizační stanovení amonného dusíku s použitím destilačního systému**

Do polyetylenové nádoby (o objemu 1 550 ml) bylo naváženo 100 g čerstvého separátu a přililo se 1000 ml demineralizované vody (s vodivostí 0,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Po uzavření nádoby se obsah ručně promíchal a následně byl protřepán ve vodorovné poloze na vratné třepačce - 3 600 GFL při maximálním pohybu po dobu 60 minut. Kvůli oddělení pevných částí (separát, pšeničná sláma) se zhruba 600 ml suspenze prolilo přes laboratorní síto o průměru ok 1 mm. Poté se výluh přelil do centrifugačních kyvet Nalgene o objemu 60 ml a odstředil se na odstředivce Hettich Universal 30 RF po dobu 10 minut při 4 500 otáčkách za minutu. Po odstředění se filtrát ze všech kyvet smíchal (tj. 360 ml suspenze) a pouze část (přibližně 200 ml) se přelila do polyetylenových nádob s uzávěrem a těsnícím kroužkem o objemu 250 ml. Materiál byl takto připraven k měření amonného iontu na přístroji Gerhardt Vapodest 50s pomocí Kjeldahlovy metody.

- **Postup měření amonného dusíku na destilačním přístroji Gerhardt Vapodest 50s**

Při odměrném neutralizačním stanovení amonného dusíku postup prací souhlasí s instruktážním manuálem systému Gerhardt Vapodest 50s.

Odměrnému neutralizačnímu stanovení amoniakálního dusíku s použitím destilačního systému Gerhardt Vapodest 50s předchází ověření správnosti stanovení amonného dusíku. Kontrola správnosti se zajišťovala pravidelným zařazováním slepého vzorku (destilovaná voda v objemu shodném jako vzorky) a standardu na počátku každé série maximálně dvaceti vzorků. Jako standard se použil roztok chloridu amonného (před přípravou roztoku sušený po dobu 2 hodin při teplotě 105 °C), koncentrace se volila dle obsahu amonného dusíku ve

stanovovaných materiálech. (Například navážka 0,7413 g NH_4Cl p.a. se doplnila do objemu 1L při 20 °C, získal se roztok o koncentraci 250 mg NH_4^+ /L výluhu, takovýto roztok bylo možné použít jako standard při předpokládaných obsazích kolem 200 mg NH_4^+ /L výluhu, roztok se uchovával při 4 °C a po čtyřech týdnech se obnovoval).

Pro metodu amonného dusíku v separátu se zadaly následující poměry: 40 ml destilované vody, 10 ml roztoku NaOH (30 % hmotnostních), 80 ml roztoku H_3BO_3 (1 % hmotnostních), destilační čas 6 minut, delta pH = 1, slepý vzorek v rozmezí (0,05 – 0,1) ml HCl, $c = 0,05$ mol/L, výsledky v mg NH_4^+ /L. Vzorek se do destilační kyvety pipetoval automatickou pipetou v objemech od 5 do 50 ml dle předpokládaného obsahu amonného iontu. U separátu byl předpoklad nižšího obsahu amonného iontu. Každý vzorek se destiloval minimálně dvakrát, v případě rozdílu hodnot vyšším jak 20 mg NH_4^+ /L se předúprava vzorku a destilační stanovení muselo zopakovat

Stanovení hodnoty pH a elektrické vodivosti (EC)

Vzorky byly usušeny při 45 °C do konstantní sušiny a následně zhomogenizovány rozemletím (na mlýnku Fritsch) na jemnou frakci o velikosti částic menší než 2 mm.

Připravil se vodní výluh ze separátu a demineralizované vody v poměru 1 : 10, který byl 5 minut třepán na vratné třepačce a poté se nechal 5 minut odstát. Následně se přímo v suspenzi měřily hodnoty pH a elektrické vodivosti, pomocí přístroje HI 991300, HANNA Instruments.

Stanovení obsahu celkových živin a rizikových prvků

Pro určení obsahu makroživin, mikroživin a rizikových prvků byly použity vzorky sušené při 45 °C a rozemleté na frakci menší než 2 mm.

Vzorky byly převedeny do roztoku pomocí mikrovlnného procesu. Zhruba 0,5 g sušeného separátu bylo naváženo do teflonových kyvet mikrovlnného systému ETHOS 1 o objemu 90 ml a následně se přidalo 10 ml lučavky královské. Rozklady byly provedeny metodou vysokotlakého mikrovlnného rozkladu, tzn. postupné zvyšování vnitřní (160, 190, 210 °C) a vnější teploty (90, 110, 120 °C) za výkonu 800 – 1000 W. Celkový rozklad probíhal 30 minut, pak následovalo 60 minut chlazení. Po vychladnutí rozložených vzorků se uskutečnil odpar kyselin ve speciálním rotoru. Po odpaření kyselin se vzniklý mineralizát přelil do zkumavek o objemu 25 ml, dořídil demineralizovanou vodou, uzavřel parafinovanou páskou a promíchal.

Obsahy prvků se stanovovaly atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací na přístroji Varian 280FS a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji Varian VistaPro, Austrálie.

5.2 Výsledky

Tato kapitola uvádí zjištěné výsledky na základě laboratorních analýz.

5.2.1 Hodnocení vstupních surovin

Tabulka 8. Charakteristika vstupních surovin vyjádřená v sušině

Surovina	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	Sušina (%)
Separát K. H.	8,5	2,853	21,36
Separát P.	8,3	2,635	22,09
Sláma	6,3	0,12	92,13

Tabulka 8 uvádí charakteristiku vstupních surovin pro kompostování. Z tabulky je patrné, že separáty se vyznačovaly vyšší hodnotou pH v rozmezí 8,3 až 8,5. Sláma, která byla použita pro kompostování, se vyznačovala nižším pH. Ze vstupních surovin je z tabulky patrné, že separáty měly vyšší obsah rozpustných solí, separát Krásná Hora 2,853 mS/cm a separát Petrovice 2,635 mS/cm, naopak sláma měla nízký obsah rozpustných solí - 0,12 mS/cm. Oba separáty se vyznačovaly nižším obsahem sušiny v rozmezí 21 až 22 % oproti slámě, která měla vysoký obsah sušiny 92 %.

Tabulka 9. Obsah makroživin ve vstupních surovinách vyjádřen v sušině

Surovina	NH ₄ ⁺ (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
Separát K. H.	1949	8483	14217	22971	7475	3429
Separát P.	2160	7183	13545	24605	6478	3072
Sláma	---	2844	3526	9113	2361	1280

Tabulka 9 charakterizuje obsah makroživin ve vstupních surovinách. Nejvyšší obsah makroživin byl zjištěn u vápníku 24 605 mg/kg ve vzorku separátu pocházejícího z Krásné Hory. Nejnižší obsah makroživin byl zjištěn u síry ve vzorku slámy 1 280 mg/kg. Separát z Petrovic byl chudší na živiny oproti separátu pocházejícího z Krásné Hory.

Tabulka 10. Obsah mikroživin ve vstupních surovinách vyjádřen v sušině

Surovina	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)
Separát K. H.	2998	170	28,1	215	1,480
Separát P.	1742	153	37,2	190	1,467
Sláma	581	59,7	8,171	121	0,991

Tabulka 10 uvádí obsah mikroživin ve vstupních surovinách. Nejvyšší obsah mikroživin byl zjištěn u železa 2 998 mg/kg ve vzorku separátu pocházejícího z Krásné Hory. Nejnižší obsah mikroživin byl zjištěn u molybdenu ve vzorku slámy 0,991 mg/kg. Separát z Krásné Hory měl vyšší obsahy mikroživin oproti separátu z Petrovic. Celkově nejnižší obsahy mikroživin byly naměřeny u slámy.

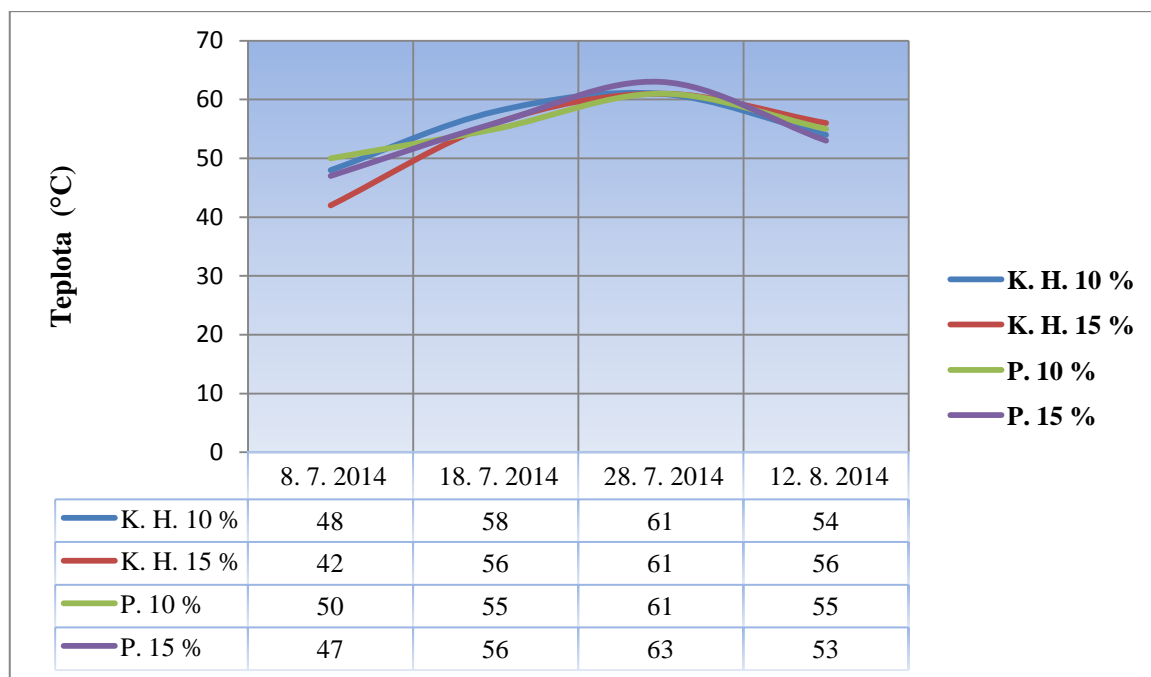
Tabulka 11. Obsah rizikových prvků ve vstupních surovinách vyjádřen v sušině

Surovina	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
Separát K. H.	1,025	0,075	<0,05	2,740	3,361
Separát P.	1,325	0,112	<0,05	3,116	2,905
Sláma	1,101	0,164	<0,05	3,462	2,326

Tabulka 11 charakterizuje obsah rizikových prvků ve vstupních surovinách. Nejvyšší obsah rizikových prvků byl zjištěn u niklu 3,361 mg/kg ve vzorku separátu Krásná Hora. Nejnižší obsah rizikových prvků byl naměřen u arsenu. Ve všech vzorcích vstupních surovin byla hodnota arsenu menší jak 0,05 mg/kg. Separát z Petrovic vykazoval vyšší obsahy rizikových prvků oproti separátu pocházejícího z Krásné Hory.

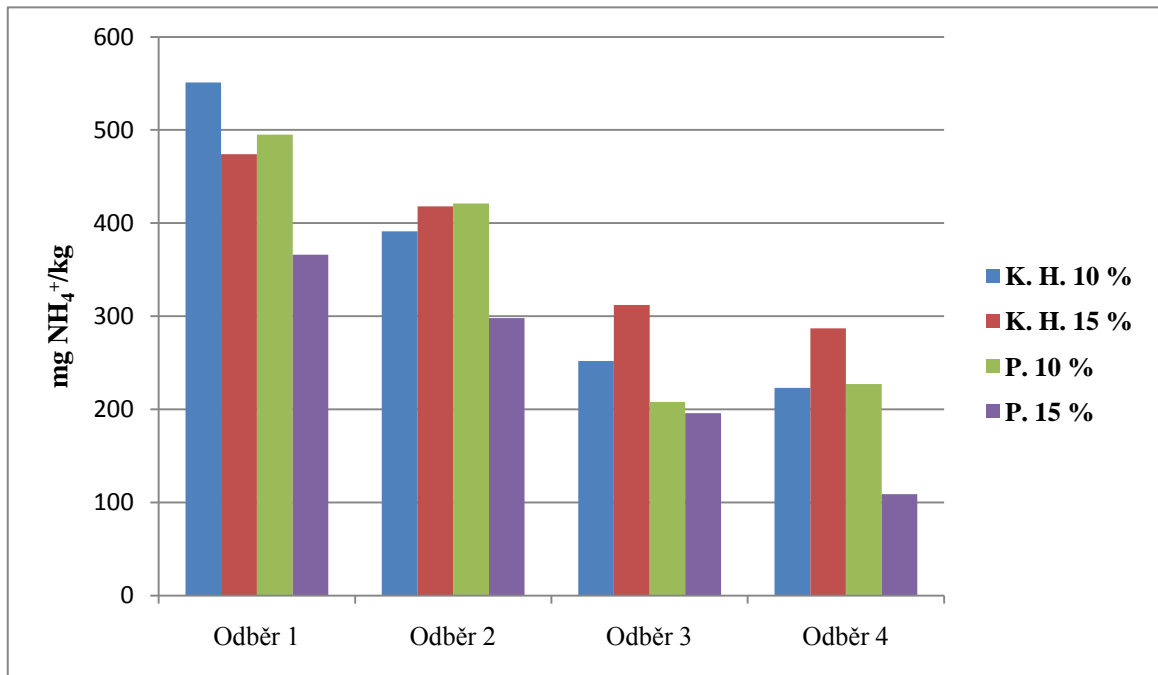
5.2.2 Hodnocení průběhu kompostování

Graf 2. Průběh teplot ve vzorcích kompostu



Graf 2 znázorňuje průběh teplot ve vzorcích kompostů ve vybraných termínech. Teplota po založení kompostu (8.7. 2014) postupně narůstala, zhruba po šesti dnech dosáhla v různých variantách 55 až 60 °C. Z grafu je patrné, že takto vysoké teploty (v uvedeném rozmezí) se držely po celý průběh kompostování v závislosti na překopávce, po které se teplota snížila o 20 – 30 °C a někdy i více. Od konce července teplota pozvolna začínala klesat.

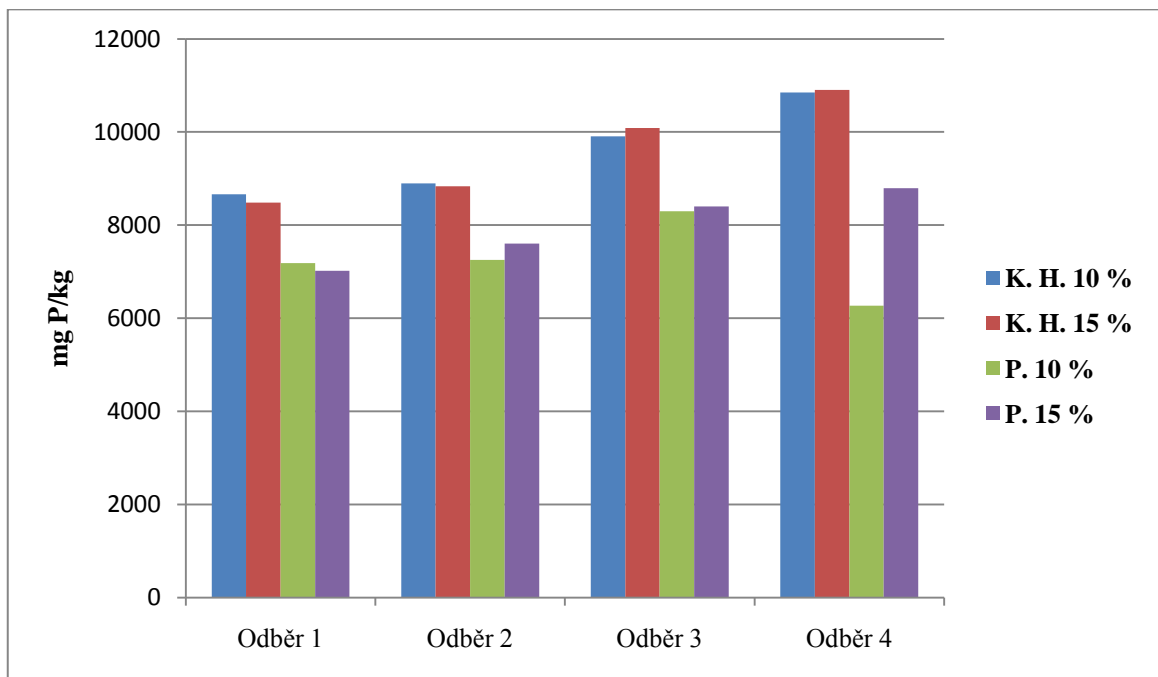
Graf 3. Průměrný obsah NH_4^+ ve vzorcích čerstvého kompostu



Graf 3 uvádí průměrný obsah NH_4^+ ve vzorcích čerstvého kompostu v průběhu kompostování. Nejvyšší obsah amonného dusíku byl zjištěn při prvním odběru 22.7. 2014, ve variantě vzorku kompostu K. H. 10 %. Tato varianta byla tvořena 90 % separátu Krásná Hora a 10 % slámy. Z grafu je patrný postupný pokles obsahu NH_4^+ v průběhu kompostování ve vzorcích všech variant. Tuto skutečnost potvrzuje i Habart a kol. (2009). Nejnižší obsah NH_4^+ byl zjištěn při posledním (čtvrtém) odběru 14.8. 2014 ve variantě vzorku kompostu připraveného ze separátu Petrovice (85 %) a 15 % slámy.

Poměrně vysoké obsahy NH_4^+ byly po celou dobu kompostování u separátu Krásná Hora 15% oproti separátu Petrovice 15 %, který vykazoval již od prvního odběru nejnižší hodnoty obsahu NH_4^+ po celý průběh kompostování.

Graf 4. Průměrný obsah P ve vzorcích kompostu vyjádřený v sušině

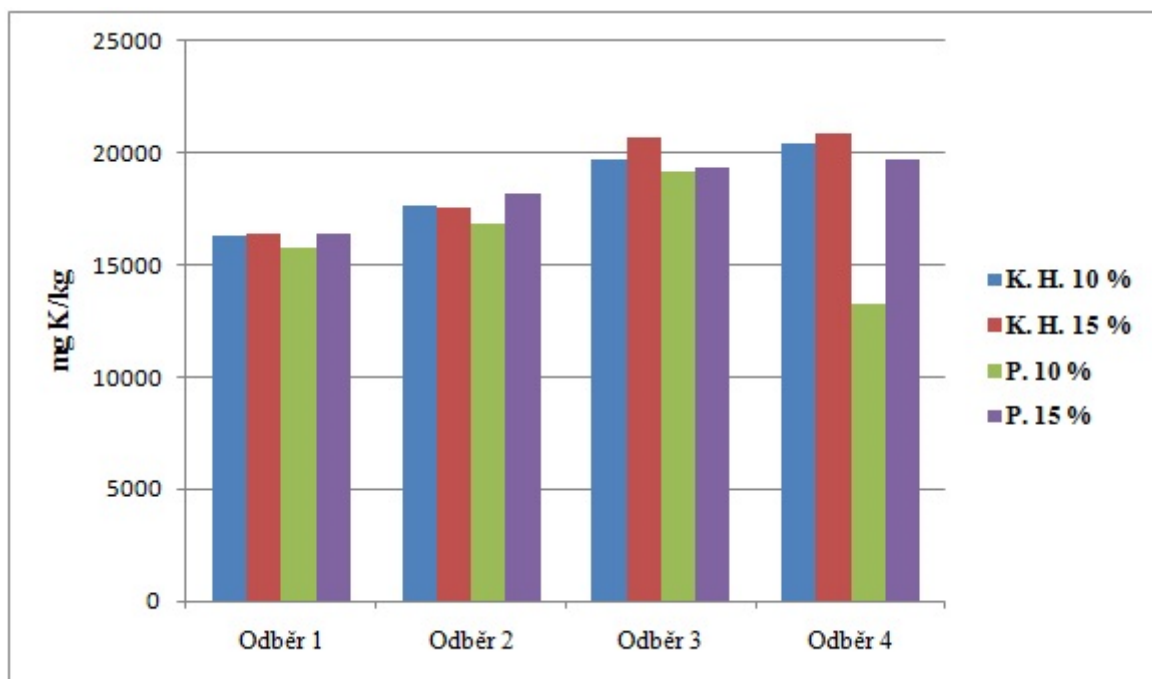


Graf 4 znázorňuje průměrný obsah celkového fosforu ve vzorcích kompostu v průběhu kompostování. Oproti obsahu NH_4^+ , který v průběhu kompostování klesal, obsah fosforu v průběhu kompostování narůstal. Obsah fosforu byl relativně vyrovnaný u variant Krásná Hora 10 % a 15 % při každém odběru, obdobně tomu bylo i u separátů z Petrovic. Nejvyšší obsah fosforu byl zjištěn při posledním odběru (14.8. 2014), u obou variant Krásná Hora. Obsah fosforu těchto variant byl velmi podobný, ve variantě K. H. 10 % dosahoval P 10 846 mg P/kg a ve variantě K. H. 15 % 10 903 mg P/kg.

Nejnižší obsah fosforu byl zaznamenán ve vzorku suchého kompostu u varianty Petrovice 10 % při posledním odběru (14.8. 2014), kdy obsah fosforu poklesl z 8 297 mg/kg (3. Odběr) na 6 267 mg/kg (4. odběr). Pokles byl pravděpodobně způsoben nehomogeností materiálu.

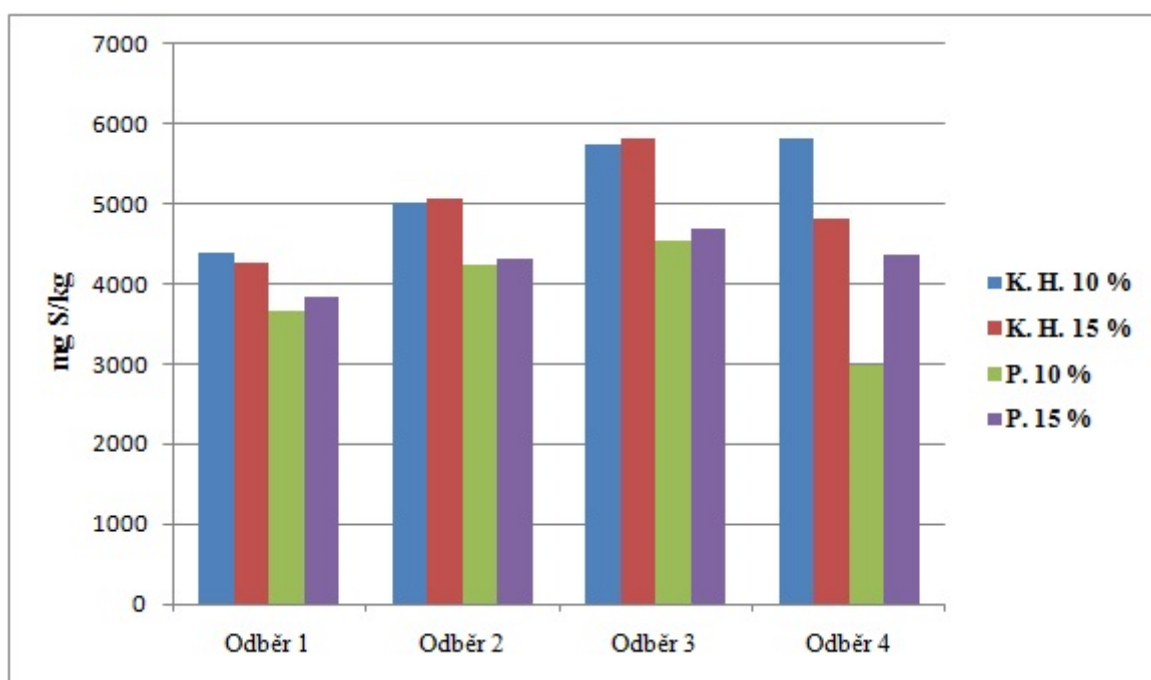
Z grafu vyplývá, že separát z Krásné Hory se vyznačoval vyšším obsahem fosforu.

Graf 5. Průměrný obsah K ve vzorcích kompostu vyjádřený v sušině



Graf 5 charakterizuje postupný nárůst obsahu draslíku ve vzorcích kompostu v průběhu kompostování. Nárůst obsahu draslíku byl relativně vyrovnaný u všech variant. Nejvyšší obsahy draslíku byly zjištěny při posledním odběru vzorků (14.8. 2014) u varianty Krásná Hora 15 % - 20 820 mg K/kg. Podobného obsahu (20 380 mg K/kg) dosahovala i varianta Krásná Hora 10 %. Nejnižší obsah draslíku byl zaznamenán u varianty Petrovice 10 % při posledním odběru - 13 261 mg/kg, kdy došlo k poklesu obsahu draslíku oproti třetímu odběru, ve kterém hodnota draslíku dosahovala 19 187 mg/kg. Tuto odchylku pravděpodobně zapříčinila nehomogenost materiálu.

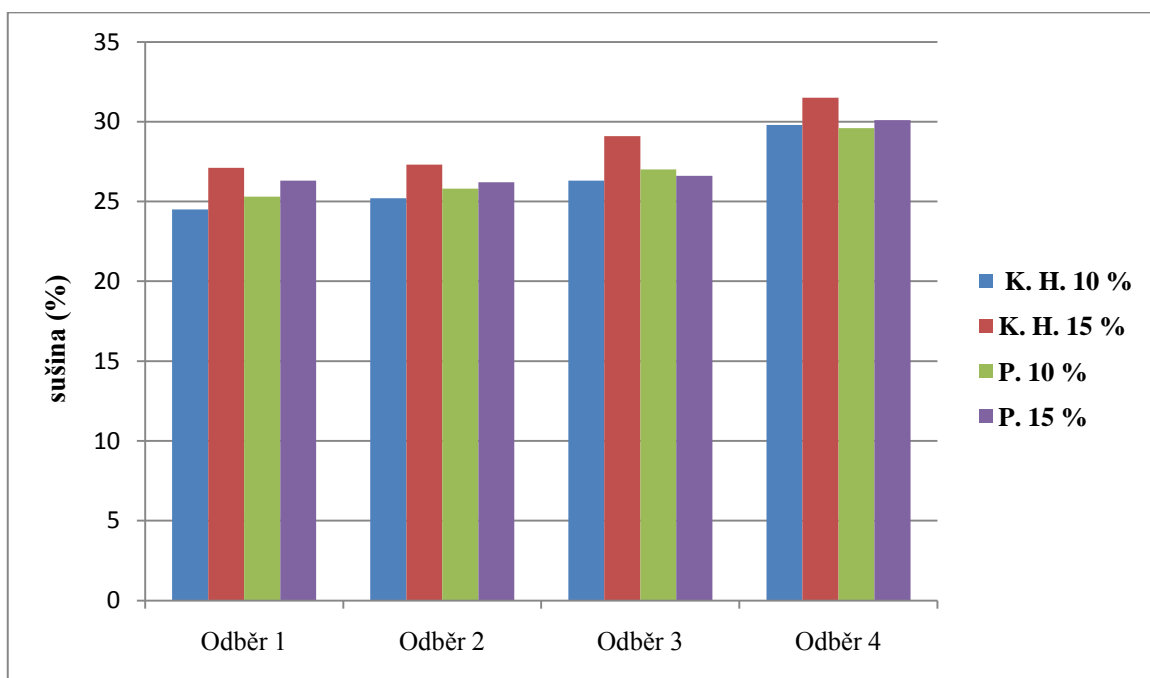
Graf 6. Průměrný obsah S ve vzorcích kompostu vyjádřený v sušině



Graf 6 znázorňuje postupný nárůst obsah síry ve vzorcích kompostu v průběhu kompostování. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u separátu Krásná Hora. Největší obsah síry (5 828 mg S/kg) se nacházel ve vzorku varianty Krásná Hora 10 % při posledním odběru 14.8. 2014. Nejnižší obsah síry byl naměřen u varianty Petrovice 10 % při posledním odběru - 2 988 mg S/kg. Tento pokles pravděpodobně zapříčinila nehomogenost materiálu.

Nárůst obsahu síry byl relativně vyrovnaný u variant Krásná Hora, ale i Petrovice. Separát z Krásné Hory vykazoval po celou dobu kompostování vyšší obsahy síry oproti separátu z Petrovic.

Graf 7. Průměrný obsah sušiny ve vzorcích kompostu



Graf 7 znázorňuje průměrný obsah sušiny ve vzorcích kompostů v průběhu kompostování. V jednotlivých variantách docházelo k postupnému nárůstu sušiny vlivem mírného vysychání a oxidace organické hmoty v průběhu kompostování. Nejvyšší obsah sušiny vykazoval separát Krásná Hora 15 % po celou dobu kompostování, oproti tomu separát Krásná Hora 10 % se vyznačoval ve srovnání se všemi separáty nejnižším obsahem sušiny.

5.3 Diskuze

Separáty pocházely ze zemědělských bioplynových stanic Krásná Hora nad Vltavou a Petrovice, které zpracovávají silážovanou kukuřici, senážovanou travu a hovězí kejdu. Díky těmto vstupním surovinám měly separáty vláknitou strukturu, což potvrzuje i Tlustoš a kol. (2013).

Po založení kompostu (8.7. 2014) teplota postupně narůstala a již v den zakládky po několika hodinách dosahovala hodnot kolem 45 °C. Po třech týdnech kompostování (tj. 29.7. 2014) teplota stále dosahovala hodnot kolem 60 °C. Vysoké teploty se držely po dlouhou dobu kompostování (cca 5 týdnů), avšak při kompostování tradičních surovin (tráva, zvířecí hnůj, štěpka aj.) dochází již kolem 21. dne k ochlazení zakládky pod 55 °C, jak uvádí Hejátková (2008). Dlouhodobé působení vysokých teplot bylo způsobeno zakládkou na betonovém podkladu a v kryté hale, komposty tak byly chráněny před klimatickými vlivy.

Pravidelné překopávky značně urychlily proces zrání kompostu, s čímž se ztotožňuje i Vaněk a kol. (2012). Kompostování separátů s pšeničnou slámou trvalo podstatně kratší dobu než kompostování tradičních surovin, což ověřil i Teglia et al. (2011) ve svých pokusech.

Vaněk a kol. (2012) uvádí, že kompostování tradičních surovin trvá nejméně 12 týdnů, avšak kompostování separátů z Krásné Hory nad Vltavou a Petrovic trvalo pouhých 39 dnů. Po této době separáty získaly charakteristickou drobtovitou strukturu, což uvádí i Hejátková (2008) u běžně kompostovaných surovin na konci zrání kompostu.

Separáty vykazovaly vyšší pH (kolem 9), což potvrzuje i Dubský a kol. (2012), oproti běžným kompostům, jejichž pH je nižší a pohybuje se v rozmezí 6,0 – 6,5 jak uvádí Hejátková (2008). Obsah sušiny v separátech během kompostování mírně narůstal a při posledním odběru se pohyboval kolem 30 %. Separáty s tímto obsahem sušiny jsou vhodné pro přípravu pěstebních substrátů, což potvrzuje i Dubský a Kaplan (2012). Tito autoři zároveň uvádějí, že pro jeho použití v pěstebních substrátech je limitní obsah rozpustných solí 2,7 – 2,9 mS/cm, což testované separáty splňují, neboť obsah rozpustných solí se pohyboval do 2,5 mS/cm.

Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že takto upravené separáty jsou bohatým zdrojem živin a patří tak mezi vhodné komponenty pro přípravu pěstebních substrátů, což potvrzuje i Dubský a Kaplan (2012) ve svých pokusech se separáty.

6 Závěr

V rámci zpracování literární části bakalářské práce byly popsány hlavní fáze procesu kompostování a faktory, které tento proces ovlivňují. Zároveň je v práci charakterizováno dělení kompostů a popis surovin vhodných pro kompostování. V zemědělských kompostech se kompostuje hnůj, drůbeží nebo prasečí kejda, v zelených kompostech odpad vznikající při údržbě zeleně, ale i dřevní štěpka. Průmyslové komposty zpracovávají kůru nebo zeminy a vermikomposty vznikají rozkladným procesem pomocí žížal. V neposlední řadě byly definovány vedlejší suroviny vznikající při produkci bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích a zároveň bylo popsáno jejich možné využití.

Experimentální část potvrdila hypotézu práce, že kompostovaný separát se slámou je bohatým zdrojem živin (zejména fosforu a draslíku), který lze získat v krátkém časovém intervalu, a tak může omezit používání rašeliny jako základní organické složky pěstebních substrátů. V průběhu kompostování docházelo ke zvyšování obsahu makroživin a mikroživin, kdy největší obsahy byly naměřeny při posledním odběru vzorků (14.8. 2014):

- Nejvyšší (průměrný) obsah P byl zjištěn u varianty Krásná Hora 15 % - 10 903 mg P/kg suché hmoty. Nejnižší obsah P byl naměřen při prvním odběru u varianty Petrovice 15 % - 7 021 mg P/kg, s výjimkou varianty Petrovice 10 %, kdy nejnižší obsah P byl naměřen při posledním odběru (6 267 mg P/kg suché hmoty). Tento pokles byl pravděpodobně způsoben nehomogenitou kompostovaného materiálu.
- Nejvyšší obsah K byl naměřen u varianty Krásná Hora 15 % – 20 820 mg K/kg suché hmoty. Nejnižší obsah K byl při první odběru - 15 787 mg K/kg suché hmoty.
- V průběhu kompostování obsah NH_4^+ v čerstvé hmotě klesal ve všech variantách.

Po dobu pěti týdnů se pohybovala teplota v rozmezí 55 – 63 °C ve všech variantách kompostů – důvodem bylo založení pokusu v kryté hale na betonovém podkladu, (pokus byl založen 8.7. 2014, kdy teplota postupně narůstala mírně přes 60 °C, teprve 15.8. 2014 teplota začala klesat pod 50 °C).

Separát z Krásné Hory má vyšší obsah síry a fosforu než separát z Petrovic. Obsahy draslíku jsou u všech založených variant relativně shodné. Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že separát z Krásné Hory je vhodný pro přípravu pěstebních substrátů na živiny náročných rostlin.

7 Seznam použité literatury

1. Abubaker, J., Risberg, K., Pell, M. (2012): Biogas residues as fertilisers – Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*, vol. 99, pp. 126 – 134.
2. Albuquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Najera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldan, A., Cegarra, J., Bernal, M. P. (2012): Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*. vol. 43. pp. 119 - 128
3. Bustamante, MA., Albuquerque, JA., Restrepo, AP., de la Fuente, C., Paredes, C., Moral, R., Bernal, MP. (2012): Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture, *Biomass and Bioenergy*, vol 43, pp. 26-36.
4. Crippa, L., Zaccheo, P., Orfeo, D. (2013): Utilization of the Solid Fraction of Digestate from Anaerobic Digestion as Container Media Substrate. *International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis, Book Series: Acta Horticulturae*, vol. 1013, pp. 367 – 373.
5. Diaz, Luis F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., Stentiford, E. (2007): *Compost Science and Technology*. Elsevier. Amsterdam. 380 s.
6. Dubský M., 4. září 2014. osobní sdělení
7. Dubský, M. (2012): Pěstování poinzécií v substrátu s vermikompostem. *Zahradnictví*, 11/5, pp. 56–58.
8. Dubský, M., Kaplan, L. (2012): Substráty a zeminy s komposty a separovaným digestátem *Zahradnictví* 8/2012, pp. 62 – 65.
9. Dubský, M., Šrámek, F. (1998): Replacement of peat in Growing substrates by paper mill waste materials. *Zahradnictví – Hort. Sci.* vol. 25/3 pp. 115 – 119.
10. Dubský M., Šrámek F. (2006): Pěstební substráty s přidavkem minerální plsti. *Acta Pruhoniana* 82, VÚKOZ Průhonice, pp. 11 – 16.
11. Dubský M., Šrámek F. (2007): Obsah a dostupnost stopových prvků v substrátech. *Zahradnictví* 99/5, pp. 56 – 57.
12. Dubský, M., Šrámek, F. (2008): Pěstební substráty s přidavkem kompostů, jejich příprava a hodnocení, *Uplatněná metodika*, VÚKOZ Průhonice, 24 s.
13. Dubský, M., Tlustoš, P., Kaplan, L. (2012): Využití pevné fáze digestátu pro přípravu pěstebních substrátů. *Sborník Racionální použití hnojiv*, Praha, pp. 53 – 58.
14. Epstein, E. (1996): *The Science of Composting*. CRC Press. 504 s.
15. Gomez, A. (1998): The evaluation of kompost quality, *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, vol 17, pp. 310-314,

16. Habart, J., Tlustoš, P., Hanč, A., Vaněk, V. (2009): Komposty - významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti. Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze FAPPZ KAVR. pp. 42 - 49
17. Hejátková K., (2008): Řešení bioodpadu v regionu, první vydání, zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšř nad Oslavou, 60 s.
18. Chandna, P., Nain, L., Singh, S., Kuhad, R. C. (2013): Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts, BMC mikrobiology, vol 13, 99 s.
19. Kára, J., Pastorek, Z., Jelínek, A. Kompostování zbytkové biomasy [online]. 31. ledna 2002. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>.
20. Kaplan, L., Tlustoš, P., Száková, J., Najmanová, J. (2011): Vliv pevné fáze digestátu z bioplynové stanice na růst a kvetení chryzantém. Sborník Racionální použití hnojiv, Praha, pp. 102 – 106.
21. Kolář, L., Kužel, S., Peterka, J., Borová-Batt, J. (2010): Agrochemical value of the liquid phase of wastes from fermenters during biogas production. Plant, Soil and Environment, vol. 56, pp. 23 – 27.
22. Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S., Štindl, P. (2009): Využití odpadů z bioplynových stanic. Sborník Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze, pp. 50 – 57.
23. Lazcano, C., Arnold, J., Tato A, Zaller, J. G., Domínguez, J. (2009): Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Spanish Journal of Agricultural Research, vol. 7, pp. 944 – 951.
24. Ocana, ERO, Rebellon, L. F. M., Lozada, P.T. (2014): Influence of pile turning frequency for moisture control in municipal biowaste composting. Revista internacional de contaminación ambiental. vol. 30, pp. 91 – 100.
25. Raviv, M. (2013): Composts in Growing Media: What's New and What's Next?, International Symposium on Responsible Peatland Management and Growing Media Production. vol 982, pp. 39-52.
26. Raviv, M. (2011): The Future of Composts as Ingredients of Growing Media. International Symposium on Growing Media and Composting. vol 891, pp. 19-32.
27. Restrepo, A. P., Medina, E., Pérez-Espinosa, A., Agulló, E., Bustamante, M. A., Mininni, C., Bernal, M. P., Moral, R (2013): Substitution of Peat in Horticultural Seedlings: Suitability of Digestate-Derived Compost from Cattle Manure and Maize Silage Codigestion. Communications in Soil Science and Plant Analysis. vol 44. pp. 668 – 677,

28. Schievano et al. (2009) in Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M. (2014): Racionální použití hnojiv, Powerprint s.r.o., ČZU v Praze, pp. 36 – 42.
29. Sonneveld, C., Voogt, W. (2009): Plant Nutrition of Greenhouse Crops, Springer Science + Business Media B. V., Netherlands , 431 s.
30. Stoknes, K., Beyer, DM., Norgaard, E. (2013): Anaerobically digested food waste in compost for *Agaricus bisporus* and *Agaricus subrufescens* and its effect on mushroom produktivity, Journal of The Science of Food and Agriculture. vol 93, pp. 2188-2200.
31. Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., Adani, F. (2010): Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere. vol 81, pp. 577-583.
32. Teglia, C., Tremier, A., Martel, L. (2011): Characterization of Solid Digestates: Part 2, Assessment of the Quality and Suitability for Composting of Six Digested Products. Waste and Biomass Valorization. vol 2. pp. 113 - 126
33. Tlustoš, P., Kaplan, L., Száková, J., Dubský, M., Roubíková, I., Šrámek, F. (2013): Využití pevné složky digestátu pro přípravu pěstebních substrátů, certifikovaná metodika, Powerprint s.r.o., ČZU v Praze. 20 s.
34. Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M. (2014): Racionální použití hnojiv, Sborník z 20. mezinárodní konference. Powerprint s.r.o., ČZU v Praze, pp. 36 – 42.
35. Váňa, J. Kompostování bioodpadu [online]. 21. listopadu 2001 [cit. 2014-10-31]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-bioodpadu>>.
36. Váňa, J. Kompostování odpadů. [online]. 14. ledna 2002. [cit. 2014-10-31]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>.
37. Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012): Výživa zahradních rostlin, Academia, Praha, pp. 349 – 371, ISBN: 978-80-200-2147-2
38. Vydlák, J. 2001. Kůrový humus - významná surovina na výrobu substrátů. Informace pro zahradnictví. 5/2. 3 s.
39. Weiland, P. (2010): Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology. vol. 85, pp. 849 – 860.

8 Samostatné přílohy

Seznam příloh:

Seznam tabulek:

- Příloha 1. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)*
- Příloha 2. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)*
- Příloha 3. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)*
- Příloha 4. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)*
- Příloha 5. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)*
- Příloha 6. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)*
- Příloha 7. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)*
- Příloha 8. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)*
- Příloha 9. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)*
- Příloha 10. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)*
- Příloha 11. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)*
- Příloha 12. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)*
- Příloha 13. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)*
- Příloha 14. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)*
- Příloha 15. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)*
- Příloha 16. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)*

Seznam obrázků:

- Příloha 17. Fotodokumentace zakládání kompostu pásovou metodou 8.7. 2014 v BPS Petrovice*
- Příloha 18. Fotodokumentace separátu navezeného do pásu (18 m dlouhý x 5,5 m široký x 1,20 m vysoký)*
- Příloha 19. Fotodokumentace navážky jemně řezané slámy na separát*
- Příloha 20. Fotodokumentace vrstvení slámy na separát pracovníkem ZD Petrovice*
- Příloha 21. Fotodokumentace překopávače využívaného k aeraci kompostů (rozměry rámu 140 x 540 cm)*
- Příloha 22. Fotodokumentace homogenizace surovin (separát + pšeničná sláma) překopávačem*
- Příloha 23. Fotodokumentace struktury kompostu po jeho založení 8.7. 2014*
- Příloha 24. Fotodokumentace variant založených kompostů: vlevo separáty Petrovice (vpředu P. 10 %, vzadu P. 15%) vpravo separáty Krásná Hora (vpředu K. H. 10 %, vzadu K. H. 15%)*
- Příloha 25. Fotodokumentace ošetřování kompostů - měření teploty v kompostech*
- Příloha 26. Fotodokumentace struktury kompostu na konci procesu kompostování 12.8. 2014*
- Příloha 27. Fotodokumentace vytékajícího digestátu z fermentoru (BPS Krásná Hora)*
- Příloha 28. Fotodokumentace separátoru v ZD Petrovice*
- Příloha 29. Fotodokumentace odseparované pevné složky digestátu (separát Petrovice)*

Příloha 1. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)

Varianta	Sláma (%)	pH (H₂O)	EC (mS/cm)	Sušina (%)
Separát K. H.	10	9,3 ± 0,075	2,124 ± 0,232	24,5 ± 2,028
Separát K. H.	15	9,4 ± 0,01	1,904 ± 0,018	27,1 ± 1,920
Separát P.	10	9,4 ± 0,025	1,71 ± 0,018	25,3 ± 2,029
Separát P.	15	9,4 ± 0,01	1,670 ± 0,004	26,3 ± 0,998

Příloha 2. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)

Surovina	Sláma %	NH₄⁺ mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	S mg/kg
Separát K. H.	10	551 ± 41,7	8660 ± 207	16305 ± 38,2	24035 ± 551	7761 ± 159	4388 ± 60,3
Separát K. H.	15	474 ± 78,3	8483 ± 161	16385 ± 369	23350 ± 583	7518 ± 79,3	4266 ± 171
Separát P.	10	495 ± 42,4	7183 ± 301	15787 ± 49,2	25969 ± 1355	6521 ± 297	3673 ± 45,9
Separát P.	15	366 ± 13,7	7021 ± 54,9	16430 ± 8,681	25556 ± 753	6425 ± 59,9	3845 ± 38,4

Příloha 3. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)

Surovina	Sláma %	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg
Separát K. H.	10	3471 ± 160	180 ± 2,424	30,2 ± 0,121	233 ± 5,867	1,586 ± 0,026
Separát K. H.	15	3227 ± 82,4	177 ± 0,249	29,5 ± 2,570	232 ± 4,540	1,592 ± 0,064
Separát P.	10	1832 ± 117	150 ± 3,241	36,0 ± 0,343	199 ± 4,475	1,476 ± 0,029
Separát P.	15	1790 ± 48,2	159 ± 16,7	37,2 ± 0,501	210 ± 17,3	1,502 ± 0,029

Příloha 4. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době I. odběru (22.7. 2014)

Surovina	Sláma %	Pb mg/kg	Cd mg/kg	As mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg
Separát K. H.	10	1,374 ± 0,187	0,122 ± 0,028	<0,05	3,190 ± 0,491	2,635 ± 0,150
Separát K. H.	15	1,612 ± 0,214	0,151 ± 0,018	<0,05	3,066 ± 0,107	2,713 ± 0,199
Separát P.	10	1,519 ± 0,048	0,122 ± 0,021	<0,05	3,339 ± 0,179	2,610 ± 0,201
Separát P.	15	1,278 ± 0,133	0,136 ± 0,017	2,588	3,388 ± 0,183	2,738 ± 0,101

Příloha 5. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)

Varianta	Sláma (%)	pH (H₂O)	EC (mS/cm)	Sušina (%)
Separát K. H.	10	9,423 ± 0,025	2,060 ± 0,024	25,2 ± 0,580
Separát K. H.	15	9,407 ± 0,031	2,068 ± 0,012	27,3 ± 1,625
Separát P.	10	9,360 ± 0,110	1,881 ± 0,070	25,8 ± 1,141
Separát P.	15	9,460 ± 0,050	1,838 ± 0,034	26,2 ± 1,762

Příloha 6. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)

Surovina	Sláma %	NH₄⁺ mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	S mg/kg
Separát K. H.	10	391 ± 50,6	8894 ± 286	17637 ± 121	24620 ± 488	7937 ± 232	5005 ± 59,7
Separát K. H.	15	418 ± 39,7	8832 ± 86,3	17550 ± 584	24367 ± 316	7869 ± 96,6	5057 ± 24,9
Separát P.	10	421 ± 5,892	7251 ± 686	16865 ± 187	26072 ± 3027	6580 ± 673	4239 ± 308
Separát P.	15	298 ± 59,0	7600 ± 269	18151 ± 368	26965 ± 2170	6977 ± 324	4310 ± 47,3

Příloha 7. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)

Surovina	Sláma %	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg
Separát K. H.	10	3473 ± 229	184 ± 3,911	30,8 ± 0,871	241 ± 6,245	1,890 ± 0,250
Separát K. H.	15	3350 ± 61,5	183 ± 6,765	30,0 ± 1,712	241 ± 6,102	1,650 ± 0,034
Separát P.	10	1853 ± 194	152 ± 11,3	26,5 ± 6,650	203 ± 19,0	1,268 ± 0,167
Separát P.	15	2065 ± 479	161 ± 11,0	39,5 ± 0,740	214 ± 9,753	1,605 ± 0,011

Příloha 8. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době II. odběru (29.7. 2014)

Surovina	Sláma %	Pb mg/kg	Cd mg/kg	As mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg
Separát K. H.	10	1,604 ± 0,284	0,197 ± 0,061	2,623	2,932 ± 0,349	2,293 ± 0,091
Separát K. H.	15	1,384 ± 0,132	0,162 ± 0,025	2,583	2,783 ± 0,137	2,221 ± 0,172
Separát P.	10	1,163 ± 0,153	0,105 ± 0,028	2,596	2,386 ± 0,421	2,137 ± 0,165
Separát P.	15	1,742 ± 0,652	0,151 ± 0,020	3,569	3,557 ± 0,686	2,448 ± 0,205

Příloha 9. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)

Varianta	Sláma (%)	pH (H₂O)	EC (mS/cm)	Sušina (%)
Separát K. H.	10	9,130 ± 0,010	2,462 ± 0,043	26,3 ± 1,169
Separát K. H.	15	9,280 ± 0,030	2,367 ± 0,027	29,1 ± 1,301
Separát P.	10	9,250 ± 0,044	2,250 ± 0,250	27,0 ± 2,549
Separát P.	15	9,150 ± 0,160	2,122 ± 0,046	26,6 ± 2,961

Příloha 10. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)

Surovina	Sláma %	NH₄⁺ mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	S mg/kg
Separát K. H.	10	252 ± 15,9	9904 ± 149	19744 ± 359	27339 ± 341	8899 ± 211	5739 ± 51,6
Separát K. H.	15	312 ± 38,3	10087 ± 277	20724 ± 705	26404 ± 2280	8813 ± 354	5814 ± 20,3
Separát P.	10	208 ± 44,6	8297 ± 137	19187 ± 123	28124 ± 2760	7262 ± 107	4542 ± 20,6
Separát P.	15	196 ± 60,1	8400 ± 203	19374 ± 821	27265 ± 777	7307 ± 192	4700 ± 129

Příloha 11. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)

Surovina	Sláma %	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg
Separát K. H.	10	3705 ± 135	197 ± 1,105	33,7 ± 0,634	260 ± 4,880	1,766 ± 0,043
Separát K. H.	15	3783 ± 111	214 ± 1,270	35,8 ± 1,668	275 ± 8,035	1,819 ± 0,040
Separát P.	10	2120 ± 136	166 ± 3,213	44,7 ± 0,495	225 ± 3,848	1,659 ± 0,050
Separát P.	15	2294 ± 365	169 ± 5,584	44,8 ± 1,416	226 ± 5,200	1,653 ± 0,039

Příloha 12. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době III. odběru (5.8. 2014)

Surovina	Sláma %	Pb mg/kg	Cd mg/kg	As mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg
Separát K. H.	10	1,477 ± 0,005	0,150 ± 0,002	<0,05 ± 0	2,971 ± 0,125	2,417 ± 0,122
Separát K. H.	15	1,666 ± 0,189	0,180 ± 0,014	0,055 ± 0,001	3,267 ± 0,207	2,339 ± 0,116
Separát P.	10	1,549 ± 0,088	0,184 ± 0,026	2,879 ± 0,125	3,941 ± 0,139	2,543 ± 0,060
Separát P.	15	1,468 ± 0,332	0,168 ± 0,019	2,789 ± 0,231	3,967 ± 0,513	2,518 ± 0,281

Příloha 13. Tabulka chemického složení vzorků kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)

Varianta	Sláma (%)	pH (H₂O)	EC (mS/cm)	Sušina (%)
Separát K. H.	10	9,190 ± 0,125	2,566 ± 0,120	29,8 ± 1,262
Separát K. H.	15	9,303 ± 0,042	2,454 ± 0,048	31,5 ± 2,557
Separát P.	10	9,117 ± 0,203	2,325 ± 0,149	29,6 ± 1,723
Separát P.	15	9,133 ± 0,099	2,354 ± 0,146	30,1 ± 2,095

Příloha 14. Tabulka obsahu makroživin ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)

Surovina	Sláma %	NH₄⁺ mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	S mg/kg
Separát K. H.	10	223 ± 151	10846 ± 52,9	20380 ± 233	26686 ± 245	9074 ± 72,5	5828 ± 424
Separát K. H.	15	287 ± 102	10903 ± 88,6	20820 ± 341	26842 ± 647	9053 ± 69,4	4821 ± 45
Separát P.	10	227 ± 155	6267 ± 497	13261 ± 487	19597 ± 1593	5265 ± 495	2988 ± 213
Separát P.	15	109 ± 33	8791 ± 348	19713 ± 863	28071 ± 2356	7509 ± 366	4369 ± 722

Příloha 15. Tabulka obsahu mikroživin ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)

Surovina	Sláma %	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg
Separát K. H.	10	3983 ± 116	210 ± 3,860	39,3 ± 1,727	273 ± 1,950	1,866 ± 0,078
Separát K. H.	15	4126 ± 204	213 ± 2,653	38,7 ± 1,909	278 ± 3,801	1,756 ± 0,034
Separát P.	10	1547 ± 175	123 ± 11,9	34,4 ± 3,198	164 ± 13,7	1,388 ± 0,087
Separát P.	15	2448 ± 413	174 ± 9,760	46,4 ± 2,779	236 ± 14,7	1,717 ± 0,064

Příloha 16. Tabulka obsahu rizikových prvků ve vzorcích kompostu v době IV. odběru (14.8. 2014)

Surovina	Sláma %	Pb mg/kg	Cd mg/kg	As mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg
Separát K. H.	10	1,680 ± 0,178	0,171 ± 0,015	2,836 ± 0,462	3,623 ± 0,110	2,975 ± 0,283
Separát K. H.	15	1,909 ± 0,679	0,178 ± 0,026	3,951 ± 0,235	3,776 ± 0,199	2,744 ± 0,248
Separát P.	10	1,326 ± 0,156	0,101 ± 0,011	2,329 ± 0,145	3,193 ± 0,213	2,246 ± 0,210
Separát P.	15	1,735 ± 0,372	0,162 ± 0,015	3,185 ± 0,829	4,632 ± 1,038	3,393 ± 0,562

Příloha 17. Fotodokumentace zakládání kompostu pásovou metodou 8.7. 2014 v BPS Petrovice



Příloha 18. Fotodokumentace separátu navezeného do pásu (18 m dlouhý x 5,5 m široký x 1,20 m vysoký) - připraveného k vrstvení slámy



Příloha 19. Fotodokumentace navážky jemně řezané slámy na separát



Příloha 20. Fotodokumentace vrstvení slámy na separát pracovníkem ZD Petrovice



*Příloha 21. Fotodokumentace překopávače využívaného k aeraci kompostů
(rozměry rámu 140 x 540 cm)*



Příloha 22. Fotodokumentace homogenizace surovin (separát + pšeničná sláma) překopávačem



Příloha 23. Fotodokumentace struktury kompostu po jeho založení 8.7. 2014



Příloha 24. Fotodokumentace variant založených kompostů: vlevo separáty Petrovice (vpředu P. 10 %, vzadu P. 15%) vpravo separáty Krásná Hora (vpředu K. H. 10 %, vzadu K. H. 15%)



Příloha 25. Fotodokumentace ošetřování kompostů - měření teploty v kompostech



Příloha 26. Fotodokumentace struktury kompostu na konci procesu kompostování 12.8. 2014 u varianty Krásná Hora 10 % slámy



Příloha 27. Fotodokumentace vytékajícího digestátu z fermentoru (BPS Krásná Hora)



Příloha 28. Fotodokumentace separátoru v ZD Petrovice



Příloha 29. Fotodokumentace odseparované pevné složky digestátu (separát Petrovice)

