

Česká zemědělská univerzita v Praze



Technická fakulta

Katedra využití strojů

**Zpracování travní hmoty z údržby trvalých travních
porostů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vlastimil Altmann, Ph. D.

Autor: Helena Vokounová

Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra využití strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vokounová Helena

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Zpracování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů

Anglický název

Processing of the grass from the maintenance of permanent grassland

Cíle práce

Posouzení kvalitativních změn surovin v procesu kompostování v závislosti na čase.

Metodika

Založením kompostovacího procesu sledovat kvalitativní změny surovin při přeměně na kompost. Suroviny pocházejí z trvalých travních porostů v různém stádiu růstu a zpracování. Kompostovací proces je řízený, tzn. jsou sledovány technologické parametry v době přeměny hmoty.

Osnova práce

- 1 Úvod.
- 2 Cíl práce.
- 3 Stávající stav řešené problematiky - rešerše.
- 4 Metodika diplomové práce.
- 5 Vlastní práce.
 - 5.1 Analýza vstupních surovin.
 - 5.2 Kompostovací technologie.
- 6 Výsledky a diskuse.
- 7 Doporučení pro praxi.
- 8 Závěr.

Rozsah textové části

cca 60 stran včetně tabulek a obrázků

Klíčová slova

Trvalý travní porost, kompostování, využití travní hmoty.

Doporučené zdroje informací

Altmann, V., Mimra, M. 2012. Systém sběru biologicky rozložitelného odpadu v regionech. Metodika pro praxi. Česká zemědělská univerzita v Praze – Technická fakulta. 28 s. ISBN 978 – 80 – 213 – 2217 – 2.

Altmann, V., Vaculík, P., Mimra, M. 2010. Technika pro zpracování komunálního odpadu. ČZU. Praha. 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.

Favoino, E., Habart, J. Oddělený sběr kompostovatelných odpadů, kompostování a biologická úprava zbytkového odpadu zkušenosti a současné trendy v Evropě. Biom.cz [online]. 2003 - 10 - 08. [cit. 2012-11-30]. Dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/oddeleny-sber-kompostovatelnych-odpadu-kompostovani-a-biologicka-uprava-zbytkoveho-odpadu-zkusenosti-a-soucasne-trendy-v>](http://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/oddeleny-sber-kompostovatelnych-odpadu-kompostovani-a-biologicka-uprava-zbytkoveho-odpadu-zkusenosti-a-soucasne-trendy-v).

Hřebíček, J. Prognóza nakládání s biodegradabilním odpadem v ČR do roku 2020. Biom.cz [online]. 2009-05-13 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/progniza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020>](http://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/progniza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020).

Hřebíček, J., Piliar, F., Kalina, J., Manhart, J., Součková, K. 2011. Projektování nakládání s bioodpady v obcích. v rámci projektu „Pomoc národním orgánům při přípravě a řízení projektů financovaných z Fondu soudržnosti v sektoru životního prostředí CCI: 2003/CZ/16/P/PA/005“ Ministerstva životního prostředí. MŽP. ISBN: 978-80-85763-67-6.

Zemánek, P., Burg, P., Kollárová, M., Marešová, K., Plíva, P. 2010. Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. Praha. VÚZT. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.

Vedoucí práce

Altmann Vlastimil, doc. Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015

prof. Ing. Miroslav Kavka, DrSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „Zpracování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů“ vypracovala samostatně, pouze za použití pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 1. 4. 2015

.....

Helena Vokounová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Vlastimilu Altmannovi, Ph.D., za jeho cenné připomínky, odborné rady, trpělivost a ochotu při zpracování diplomové práce.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá možnými způsoby zpracování travního materiálu z údržby trvalých travních porostů. V první části práce byly vysvětleny základní pojmy, jako je trvalý travní porost, zpracování travního materiálu z údržby trvalých travních porostů, využití zbytkové biomasy z údržby trvalých travních porostů kompostováním, technologie využívané při kompostování, obecný postup při návrhu vhodné kompostovací technologie, sledování průběhu kompostovacího procesu a kvalita kompostu. Byly popsány stroje a technická zařízení využívaná při kompostování. V druhé části práce byly porovnány dvě kompostovací hromady z hlediska teplot uvnitř hromad a teplot nad hromadami, posouzení změn surovin v závislosti na čase pomocí obrazové dokumentace. V závěru práce pak byly uvedeny výsledky práce a doporučení pro praxi.

Klíčová slova:

Trvalý travní porost, kompostování, využití travní hmoty

ABSTRACT

This diploma thesis deals with possible methods of processing the grass material from keeping the permanent green grass. In the first part the basic terms as permanent green grass, processing the grass material from keeping the permanent green grass, the use of residual biomass from the keeping permanent green grass by composting, technologies used in composting, the general process of designing an appropriate composting technology, the monitoring of composting process and the quality of compost were explained. The machines and technical equipments used in composting were described. In the second part two compost masses were compared in the light of temperatures inside and outside these masses. The recognition of raw material changes depending on the time was done by means of picture documentation. In the conclusion the results of work and recommendation for use were specified.

Key words: The permanent green grass, composting, the use of green material

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE.....	2
3	STÁVAJÍCÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY – REŠERŠE.....	3
3.1	Trvalé travní porosty	3
3.2	Zpracování travního materiálu z údržby TTP	4
3.2.1	Zpracování travního materiálu na píci	4
3.2.2	Aerobní zpracování travního materiálu.....	7
3.2.3	Anaerobní zpracování travního materiálu	7
3.3	Kompostování jako hlavní způsob využití zbytkové biomasy z údržby TTP.....	8
3.3.1	Popis kompostování	8
3.3.2	Základní podmínky kompostování	9
3.3.2.1	Surovinová skladba	9
3.3.2.2	Vlhkost.....	11
3.3.2.3	Zrnitost a homogenita surovin	11
3.3.2.4	Teplota.....	12
3.4	Technologie využívaná v kompostování	12
3.4.1	Kompostovací proces na volné ploše.....	13
3.4.2	Intenzivní kompostovací technologie	16
3.4.2.1	Kompostování v kompostovacích boxech	16
3.4.2.2	Kompostování v kompostovacích žlabech.....	17
3.4.2.3	Kompostování v bioreaktorech	18
3.4.2.4	Kompostování v PE – vacích	20
3.4.3	Vermikompostování.....	20
3.5	Obecný postup při návrhu vhodné kompostovací technologie	22
3.6	Sledování průběhu kompostovacího procesu.....	22
3.6.1	Měření teploty kompostu	22

3.6.2	Hodnocení vlhkosti kompostu.....	24
3.6.3	Měření obsahu kyslíku v kompostu.....	25
3.7	Kvalita kompostu	26
3.7.1	Zralost a stabilita kompostu	26
3.7.2	Test fytotoxicity.....	27
3.7.3	Mikrobiologické hodnocení kompostu	28
3.7.4	Agrochemické hodnocení kompostu	29
3.7.5	Senzorické hodnocení kompostu.....	30
3.8	Stroje a technická zařízení využívaná při kompostování.....	30
3.8.1	Energetické prostředky	32
3.8.2	Drtiče a štěpkovače.....	33
3.8.2.1	Drtiče	33
3.8.2.2	Štěpkovače	36
3.8.3	Překopávače kompostu	38
3.8.4	Prosévací a separační zařízení	39
3.8.5	Ostatní zařízení	41
4	METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	45
4.1	Surovinové složení	45
4.2	Výpočet poměru C:N.....	45
4.3	Metoda stanovení vlhkosti	47
4.4	Metodika měření teploty	48
5	VLASTNÍ PRÁCE	50
5.1	Analýza vstupních surovin.....	50
5.2	Kompostovací technologie.....	51
6	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	64
7	DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	65

8	ZÁVĚR	67
---	-------------	----

1 ÚVOD

Trvalé travní porosty jsou od pradávna nedílnou a velmi významnou součástí zemědělské krajiny. Význam těchto porostů si lidé uvědomovali již v době, kdy bylo zemědělství na svém úplném začátku, tedy v době před cca 10 000 lety. Tehdy lidé začali jako nejvhodnější způsob obhospodařování trvalých travních porostů používat pastvu. Postupem času byly objeveny další možné způsoby obhospodařování jako například kosení, mulčování, válení, smykování a vláčení.

S novými způsoby obhospodařování trvalých travních porostů se objevily také nové možnosti pro zpracování hmoty z těchto porostů. Dnes stejně jako na úplném začátku zemědělství zůstává převažujícím způsobem přeměny hmoty z trvalých travních porostů její přeměna na píci. Úloha trvalých travních porostů nespočívá pouze v produkci objemných krmiv pro přežvýkavce. Do popředí zájmu se dostávají také mimoprodukční funkce trvalých travních porostů, které souvisejí s ochranou životního prostředí, údržbou a utvářením krajiny, ale i s potřebou revitalizace druhové diverzity. Díky těmto mimoprodukčním funkcím trvalých travních porostů dokážeme posečenou trávu využít jako zdroj entropie, kdy využíváme trávu k výrobě bioplynu nebo k výrobě fytopaliva (brikety, pelety), nebo organického hnojiva.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je posouzení kvalitativních změn surovin v procesu kompostování v závislosti na čase.

Pro tuto práci byly určeny následující dílčí cíle:

- provést stručnou obsahovou analýzu české a zahraniční literatury, uvést knižní i časopisecké zdroje, včetně ověřených internetových zdrojů,
- provést srovnání teplot dvou kompostovacích zakládek,
- provést posouzení změn surovin u kompostovacích zakládek,
- uvést výsledky,
- uvést doporučení pro praxi.

3 STÁVAJÍCÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY – REŠERŠE

3.1 Trvalé travní porosty

Trvalý travní porost je trvalá pastvina, případně stálý porost s převahou travin stanovený ke krmným účelům či k technickému užití, který může být nejvýše 5 let rozorán s úmyslem zúrodnění [1,2].

Travní porosty jsou složitá, smíšená a ve svém celku různorodá a různá společenstva trav, jetelovin a dalších bylinných druhů. Představují základní složku rostlinné části biosféry a jsou jedním z nejrozsáhlejších biomů. Vzhledem k značnému množství druhů, které se podílejí na jejich utváření, mají travní porosty značně širokou stanovištní amplitudu. Na zeměkouli zaujímají skoro 30 000 000 km² plochy, což představuje dvojnásobek orné půdy. Plošné zastoupení jednotlivých biomů na Zemi je uvedeno v tabulce 1 [2,3].

Tabulka 1 – Plošné zastoupení jednotlivých biomů, resp. kultur na Zemi[3]

Biom (resp. kultura)	tis. km²	[%]
Travní porosty	29 900	20,01
Orná půda	14 900	9,98
Lesy	36 500	24,43
Ostatní plochy	68 100	45,58
Celková výměra souše	149 400	100,00

Travní porosty jsou z geografického hlediska zastoupeny ve veškerých vegetačních oblastech – od tropických až po arktická pásma. Z hlediska výškové zonality se uplatňují od nejnižších nadmořských výšek až do vysokohorských poloh, kde přesahují horní hranici lesa (hole) [2,3].

Trvalé travní porosty v České republice zaujímají výměru 950 000 ha, tj. 22,2 % ze zemědělské půdy. Úbytkem stavu skotu, především krav, došlo ke zhoršení stavu obhospodařování a využívání porostů. Travní porosty představují podstatnou a vzácnou součást krajiny ve všech evropských zemích [4,5].

3.2 Zpracování travního materiálu z údržby TTP

3.2.1 Zpracování travního materiálu na píci

Pokosený travní materiál je buď ihned odvezen po seči, nebo je ponechán pár dní k zavadnutí a poté odvezen. Druhým způsobem je sečení píce rovnou na místě, obracení a sušení pokoseného materiálu a jeho odvoz po usušení. Tenhle způsob je nejpřijatelnější z hlediska koncentrace porostu diasporami rostlin, které se uvolňují ze suché biomasy [1].

Posečený travní porost buď osychá přímo na zemi, na sušácích či se předsuší na poli a dosuší se v senících [1].



Obrázek 1 – Fotografie sušení sena [8]

Pro výživu zvířat je podstatné vytvořit hodnotné seno s vysokou výživnou dietetickou hodnotou. Z důvodu omezení možných úbytků na množství, ke kterým dochází v průběhu sušení, při využití dostupných a vyhovujících technologických linek je nejvhodnější systém dosoušení předsušené biomasy v senících [1].

Jakost sena je značně rozdílná a závisí především na: [1,6]

- meteorologických podmínkách během sušení (teplota, proudu vzduchu, déšť),
- typu pícnin a botanické struktury porostu (přítomnost plevelů),
- době sklizně,
- pořadí seče,
- postupu sklizně,
- způsobu úschovy.

K zamezení úbytku živin je nezbytné vysušit rostliny co nejrychleji. Při optimálním počasí, když je mírný vítr, venkovní teplota nad 25 °C a jasno je příležitost docílit 65 % sušiny v průběhu dvou maximálně 3 dnů. Rychlost sušení je závislá také na druhu pícnin, úpravě píce, vegetačním stádiu, četnosti obracení a na výnosu. Při skladování a dosoušení sena je potřeba vyřadit samozáhřev, protože při něm dochází ke ztrátám živin, narušení hygienické hodnoty a k riziku samovznícení sena [1].

Píce se může zakonzervovat silážováním. Silážování je biologický proces, při kterém bakterie mléčného kvašení z cukrů rozložitelných ve vodě bez přístupu vzduchu vytváří kyselinu mléčnou, která rychle snižuje pH v krmivu. Jestliže je pH nízké a okolní prostředí neobsahuje kyslík, potom nemohou narůstat nežádoucí bakterie a plísně, které by krmivo znehodnotily. Mezi úspěšné silážování patří, když se plodina konzervuje s minimálními ztrátami výživné hodnoty, s vysokou hygienickou kvalitou, chutná zvířatům a není škodlivé. Užití konzervačních přípravků je zapotřebí, abychom potlačili nežádoucí mikroorganismy a aby byla zajištěna dostatečná kvalita krmiva a výživné hodnoty krmiva byly sníženy na minimum [1,7,9].

Mezi hlavní podmínky silážování patří: [1]

- píce musí obsahovat dostatečné množství cukrů rozložitelných ve vodě,
- píce musí být nakrájena na řezanku 10 – 40 mm na základě obsahu sušiny,
- z píce musí být perfektně vytěsněn vzduch,
- silážní prostor je nezbytné zaplnit a utěsnit do 3 – 5 dnů od počátku konzervace,
- silážní prostor je potřeba zajistit před prouděním vzduchu, srážkové a podzemní vody.

Mezi okolnosti, které mají vliv na silážovatelnost travního materiálu, patří i stupeň hnojení dusíkem v průběhu vegetace, pořadí seče a fenologická fáze porostu v čase sklizně. Zvýšením dávek dusíkatého hnojení se poměrně zvětší obsah N – látek a sníží se obsah cukrů, tímto vlivem se pak travní hmota špatně silážuje. Omezení či absolutní vyřazení hnojení dusíkem zvětšuje obsah sacharidů rozložitelných ve vodě, snižuje pufrační kapacitu a vylepšuje silážovatelnost. Z tohoto důvodu je, ale na druhé straně v porostech nedostatek dusičnanů a tím chybí ochranný význam dusitanů vůči bakteriím máselného kvašení. To může umožnit produkci kyseliny máselné dříve než pH se sníží na kritický stupeň. Na základě pořadí seče se zlepšuje chemická skladba krmiva a obsah sušiny se obvykle zvyšuje, což

kladně ovlivňuje silážovatelnost. Nejčastější konzervace píce pro zimní období je ve formě sena či siláže [1,9].

Při silážování do žlabů rozhoduje ve velké míře o konečné kvalitě siláže rychlost naskladňování materiálu. Zdlouhavé plnění žlabů a nedostatečné upěchování má za následek zvýšení teploty v biomase, čímž se vytvoří předpoklad pro rozvíjení nežádaných bakterií. Fermentační proces se nevyvíjí žádaným směrem a výsledkem je siláž nízké jakosti, nízké nutriční kvality a nepříjemného zápachu. Dodržením všech technologických postupů se eliminuje nebezpečí odtoku silážních šťáv, a tím i znečištění životního prostředí [1,9].

Travní hmotu je možné konzervovat i ve formě balíků (viz obrázek 2). Výhodou tohoto výrobního postupu je snadná manipulace a uskladnění balíků. Při zhotovování balíků je podstatné zachovat optimální obsah sušiny lisované a obalované hmoty. Doporučuje se, aby rozsah obsahu sušiny se pohyboval od 250 – 450 g.kg⁻¹. Při nízkém obsahu sušiny může při fermentaci dojít k deformaci balíků, narušení fólie a odtoku silážních šťáv. Při lisování materiálu s vysokým obsahem sušiny dochází k vysokému úbytku již na poli při sběru odrolem listových částí, které mají vysoký výživný význam. Přesušený materiál se hůře lisuje a uzavřený vzduch uvnitř balíku podporuje rozvíjení plísní. To má za následek, že se snižuje kvalita a výživná hodnota vyrobených siláží a hrozí také riziko ohrožení zdravotního stavu zvířat mykotoxiny [1,9].



Obrázek 2 – Fotografie konzervování ve formě balíků [9]

Úspěšný proces silážování je základním předpokladem chutnosti siláží, jejich příjmu zvířaty, užitkovosti zvířat a stavu zvířat. Pokud travní hmota není píceinářsky využívána, je

třeba její anaerobní proměna za účelem produkce bioplynu či aerobní zpracování s úmyslem výroby kompostu [1].

3.2.2 Aerobní zpracování travního materiálu

Kompostování je aerobní proces, během kterého dochází k rozložení organických surovin činností mikroorganismů na ustálený materiál – kompost. V průběhu kompostování dochází k uvolňování vody, tepla a oxidu uhličitého [1].

Pro aerobní zpracování má travní hmota zpravidla vhodné chemické složení, přestože její složení může být rozdílné. U čerstvého stébelnatého materiálu se poměr C:N pohybuje od 18:1 až 35:1, u směsi obsahující větší podíl stařiny je poměr C:N okolo 45:1. Problémem během kompostování mohou být fyzikální vlastnosti travního materiálu [1].

Kompostování travní hmoty má mnoho specifík: [1]

- stébelnatá hmota se rychle rozpadá, je velmi sléhavá,
- hotový kompost má pouze 10 % objemu předešlé hmoty,
- homogenizace dopředu neupravené hmoty může být obtížná,
- spolehlivý začátek kompostovacího procesu musí být zajištěn dostatečnou vlhkostí, tj. kompostováním čerstvého či mírně zavadlého travního materiálu
- pro správný průběh kompostování je nutné doplnit surovinové složení o porézní surovinu s vyšším obsahem uhlíku.

Během kompostování travní hmoty je potřebné přidat do surovinového složení nejen dostatečné množství lignocelulóзовých surovin, ale též zajistit důslednou homogenizaci. Pro správný průběh kompostování je nutné zabezpečit aeraci kompostovaných surovin, čímž se zřetelně urychlí kompostovací proces [1].

3.2.3 Anaerobní zpracování travního materiálu

Anaerobní proces je proces, při kterém rozložení látek probíhá bez přístupu vzduchu ve vlhkém prostředí vlivem metanových bakterií za teplot v rozmezí 0 °C až 70 °C [1,10].

Na rozdíl od kompostovacího procesu nevzniká teplo, ale vytváří se plyn – bioplyn. Hlavní výhřevnou složkou bioplynu je metan. Bioplyn obsahuje kromě metanu ještě další složky například oxid uhličitý, vodu, stopové plyny, humusové látky, apod. [1,10].

Anaerobní rozklad obvykle probíhá v přírodě na místech, kde není přístup vzduchu, například na dnech moří, řek, jezer, močálů, v rašeliništích, ve vrstvách půdy, které jsou neprovětrávané, ale dokonce i na skládkách, kde vzniká tzv. skládkový plyn [1].

Anaerobní fermentací se travní hmota zpracovává nejčastěji v kombinaci s dalšími druhy surovin. Samotný travní materiál není vhodný pro vyhnívání, poněvadž má malou pufrací kapacitu. Odvodněná bioplynovaná substance na základě travní fytomasy pokud není ihned použita jako organické hnojivo, tak má náklonnost ke kysnutí, ztekucování a k růstu fytotoxicity. Pro využití travního materiálu v bioplynových stanicích je podstatným ukazatelem obsah organické sušiny. Sklizeň travního materiálu je nezbytné konat v době nejvyššího obsahu organické sušiny, jelikož její obsah má dopad na produkci metanu. Druhým významným ukazatelem je nárůst fytomasy. U převážné části plodin je to v období kvetení a potom po odkvětu [1].

3.3 Kompostování jako hlavní způsob využití zbytkové biomasy z údržby TTP

3.3.1 Popis kompostování

Kompostovací proces je aerobní mikrobiologická přeměna biologicky rozkladných surovin na ustálený výstup, nebo-li kompost, který obsahuje humusové látky a rostlinné živiny. Kompost se v půdě pomalu mineralizuje a zajišťuje půdní úrodnost, zlepšuje půdní hydrolimity a zvyšuje působivost minerálních hnojiv. Při kompostování je nutné se zaměřit na správné sestavení surovinové skladby kompostu tak, aby vzniklý kompost vytvářel vhodné prostředí pro rozvoj mikroflóry a tyto vhodné podmínky udržovat v průběhu zrání kompostu zabezpečením vhodné technologie [5,11,14].

Pro kompostování platí: [5]

- jedná se o přirozenou přeměnu biologicky rozložitelných surovin,
- převážnou část biologicky rozložitelných surovin je možné kompostovat (travní materiál, sláma, pozůstatky rostlin, statková hnojiva, dřevní štěpka, apod.)
- na kompostování je potřeba navrhnout zařízení tak, aby se minimalizoval vliv na složky životního prostředí,
- kompostovacím procesem dochází k poklesu výdajů na skládkování přebytečné travní hmoty, která se neužívá ke zhotovení krmiv,
- kompostováním dosáhneme dále použitelného produktu – kompostu,

- technologie kompostování může být ekonomicky přípustná, pokud se stane částí systému hospodaření v podniku,
- kompostování vyžaduje čas proti klasickému zacházení se statkovými hnojivy,
- kompostování zabrání úbytku živin a organické hmoty při skládkování statkových hnojiv na polních hnojištích,
- zda není v podniku užít produkt kompostování k výživě a hnojení rostlin, musí mít jiné uplatnění.

Z hlediska podílu určitých druhů dekompozičních mikroorganismů probíhá kompostování ve dvou hlavních fázích: [5]

- fáze primární,
- fáze sekundární.

Primární fáze probíhá v zahajovací fázi mikrobiologické přeměny a účastní se jí hlavně termofilní dekompoziční mikroorganismy, zapříčiňující důležité prohřátí směsi, které napomáhá nejen biodegradačnímu procesu, ale také i procesu hygienizace kompostu. Primární fáze kompostování může být pokládána za dokončenou, pokud vnitřní teploty kupy kompostu už dlouhodoběji nevystoupí nad 40 °C [5].

Sekundární fáze navazuje na fázi primární, během ní dochází k ustálení a humifikaci kompostovaných surovin. Sekundární etapa se účastní mezofilní skupiny mikroorganismů. Po kompletní přeměně lehce odbouratelných organických látek se v této fázi zřetelně snižují nároky na kyslík a uvolňování energie. Délka sekundární fáze kompostování bývá odlišná, na základě charakteru vstupních surovin. Za ukazatel postačujícího ustálení a dokončování kompostování lze považovat samovolný snížení teploty kompostovaných surovin pod 30 °C [5].

3.3.2 Základní podmínky kompostování

Pro správný postup kompostování je nutné optimalizovat surovinovou skladbu kompostu, zejména poměr C:N, dále pozměnit zrnitost, vlhkost a pH vstupních surovin a zajistit jejich homogenitu a dostačující provzdušnění [5,11,12,14].

3.3.2.1 Surovinová skladba

Surovinová skladba kompostu a technologie jeho výroby by měla být optimalizována tak, aby konečný produkt obsahoval co největší množství humusových látek s převahou

humínových kyselin a svým působením dlouhodobě zvyšoval úrodnost půdy. Konečný produkt by měl být odolný dalšímu intenzivnímu rozkladu. Podstatným parametrem z hlediska optimální surovinové skladby je poměr C:N u vstupních surovin kompostu. Ideální poměr C:N je 30 – 35:1 [5,13,19].

Pro určení surovinové skladby je potřebné znát přesněji kvalitu travního materiálu stanoveného ke kompostování. Kvalita travního materiálu se mění na základě technologie sklizně, stáří porostu a botanické stavby rostlin. Travní hmota má zpravidla vhodné chemické složení pro kompostování, ačkoli její struktura může být různorodá. Na základě literárních zdrojů se obsah dusíku v sušině trávy pohybuje v rozmezí 1,6 – 2,9 %, draslíku 1,5 - 2,5 %, fosforu 0,6 – 0,9 %, vápníku 0,8 – 1 % a hořčíku 0,3 – 0,4 %. Poměr uhlíku a dusíku je mezi (22 – 45):1 [5].

U čerstvého stébelnatého materiálu se poměr uhlíku a dusíku pohybuje v rozmezí 18:1 až 35:1, u směsi s větším procentem stařiny je poměr C:N okolo 45:1. Travní fytomasa z intenzivně obhospodařovaných ploch, eventuálně trávníků rekreačních ploch, je tvořena rostlinami po odkvetení s vyšším stupněm pevnosti pletiv. Obsah dusíku v sušině se pohybuje v rozmezí 1 – 1,8 %, poměr C:N je vyšší než u travního materiálu z parku a může dosáhnout i hodnot v rozmezí (35 – 45):1 [5].

Mezi vhodné přísady do surovinové skladby travní hmoty patří zemina, zvláště orniční skryvka, z důvodu zajištění vhodné mikroflóry. Zeminu je možné vykompenzovat přísadkou již vyžralého kompostu. Následujícím vhodným přísadkou je lignocelulózová substance vylepšující fyzikální vlastnosti a zabezpečující hlavně pórovitost a přirozené větrání zrajícího kompostu. Zde je přijatelné využít dřevní štěpku, rozdrcenou stromovou kůru nebo rozřezanou slámu obilnin či olejnin. Tyto hmoty mají rozsáhlý poměr C:N v rozmezí 80 – 100:1 [5].

V praxi je běžné, že zaměstnanci v kompostárnách často surovinovou skladbu odhadují, což není úplně nejvhodnější. K těmto odhadům jsou obvykle využívány nejrůznější hodnoty, získané pro jistý druh suroviny [11].

Tabulka 2 – Hodnoty poměru C:N u některých materiálů používaných při kompostování [11]

Materiál	C:N [-]	Materiál	C:N [-]
Kůra	120:1	Drůbeží trus	10:1
Piliny	500:1	Močůvka	2:1
Odpad ze zahrady	40:1	Kejda skotu	10:1
Listí	50:1	Hnůj skotu	25:1
Posečená tráva	20:1	Sláma (žito, oves)	60:1
Seno	35:1	Sláma (pšenice, ječmen)	100:1

3.3.2.2 Vlhkost

Další podmínkou pro řádnou činnost a aktivitu mikroorganismů je vlhkost surovin. Nepostačující vlhkost může zapříčinit snížení životních funkcí mikroorganismů a tudíž i jejich aktivity. Dále nedostačující vlhkost narušuje a brzdí i související biochemické děje. Naopak příliš vysoká vlhkost může mírnit optimální teplotní stav v kompostové zakládce, a tím zpomalovat aktivitu mikroorganismů. Vysoká vlhkost záporně působí i tím, že naplňuje strukturální meziprostory, ve kterých se jinak uschovávají vzduchové zásoby pro dýchání mikroorganismů. Rovněž vysoké procento vody v zakládce tvoří kyseliny negativně působící tak, že nahrazuje samotné pH prostředí na kyselé. Tento děj ovlivňuje chemické děje v zakládce a bakterie v kompostu [5].

3.3.2.3 Zrnitost a homogenita surovin

Pro správný průběh kompostovacího procesu je třeba zabezpečit přítomnost dostatečného množství strukturálních surovin v zakládce kompostu. Strukturální suroviny (dřevní štěpka, piliny, sláma, apod.) vytváří předpoklady pro obohacení kompostové zakládky vzduchem a vytváří tak podmínky pro uchránění základních životních funkcí mikroorganismů [5].

Homogenita a zrnitost surovin působí i na efektivitu technických operací během kompostování. Nejvýznamněji má vliv na operaci provzdušňování a prosévání kompostu. Získání vhodné zrnitosti a tím i snadnější homogenizace je významné především tam, kde se suroviny, oproti jiným rozkládají pomaleji. Jedná se například o stromovou kůru, dřevní štěpky, rozdrcené réví, apod. [5,11,12].

Z technické stránky je docílení zrnitosti a homogenity kompostovaných surovin jedním z nejdůležitějších předpokladů, protože tvoří vysoké energetické a investiční požadavky na používaná zařízení, kterými jsou drtiče a štěpkovače. Homogenita celé směsi se odráží

i v jiných operacích, kdy může například zřetelně ovlivnit kvalitu a výkonnost překopávání [5,11,12].

Menší částky vstupních surovin mají větší povrchovou plochu ve srovnání s jejich objemem a mohou být postaveny výraznějšimu vlivu mikroorganismů. Silný vliv mikroorganismů urychluje proces rozkládání a zkracuje tudíž i dobu kompostování. Naopak moc malé částky vstupních surovin mohou zapříčinit nežádoucí pokles pórovitosti a tím i problémy s dostatečným provzdušněním kompostu [5].

3.3.2.4 Teplota

Teplota uvnitř zakládky je regulátorem veškerých dějů v kompostu. Nízké teploty potlačují, až zadržují aktivitu mikroorganismů. Tento děj je u mikroorganismů zpravidla vratný, protože po prohřátí prostředí se jejich činnost znova rozvíjí. Na druhé straně vyšší teploty (nad 70 °C) mají na mikroorganismy nevratný vliv [5].

Změna teploty v čase působí na rychlost kompostovacího procesu a je důležitá pro výrobu stabilního kompostu. Nejdůležitějším zřetelem teploty je její působení na populaci mikroorganismů. S teplotou se však mění i jiné důležité děje a prvky kompostovacího procesu. Teplota ovlivňuje vlhkost a vlhkost zase ovlivňuje populaci mikroorganismů a tím i průběh kompostovacího procesu [5].

Dodržení jisté výšky teploty po určenou dobu má význam z hlediska hygienizace a stabilizace kompostu. Na základě ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ se při kompostování odpadů s podezřením na přítomnost patogenních organismů požaduje udržet teplota 55 °C po dobu 21 dní. U kompostu vyráběných z jiných surovin požaduje teplotu 45 °C po dobu 5 dnů [5].

Jedním z parametrů pro posouzení zakončení kompostovacího procesu a zralosti konečného kompostu je teplota kompostu. ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ dovoluje expedici průmyslového kompostu nejprve za 14 dní po zakončení druhé překopávky. V té době nesmí být 0,5 m pod povrchem kompostu teploty větší než 45 °C [5].

3.4 Technologie využívaná v kompostování

Existuje řada kompostovacích technologií. Správná technologie kompostování musí zajišťovat vhodné podmínky pro činnost aerobních mikroorganismů a tím dosažení optimálního průběhu kompostování [1].

Zakládka kompostu tudíž musí splňovat podmínky umožňování výměny plynů mezi kompostovanými surovinami a okolím. Zakládka musí být pórovitá a kyprá, nesmí být suchá a ne příliš vlhká. Velice důležitá je také homogenita a důkladné promísení jednotlivých surovin, aby jejich styčný povrch byl co největší a mohly na sebe působit co nejrychleji [1,35].

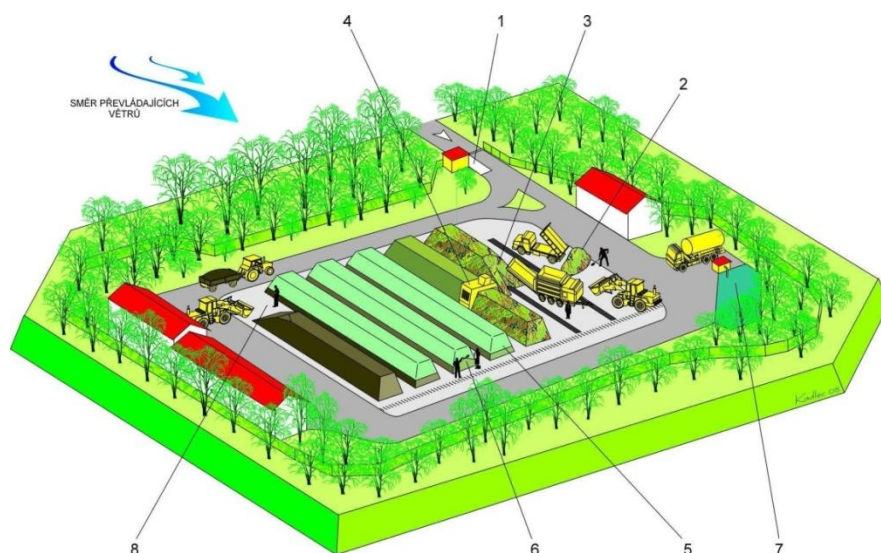
Z technologické stránky lze základní způsoby výroby kompostu rozdělit na: [1,11,12,13]

- kompostování na volné ploše (v plošných hromadách, v pásových hromadách),
- intenzivní kompostovací technologie,
 - kompostování v biofermentorech (bioreaktorech),
 - kompostování v boxech či žlabech,
 - kompostování v PE – vacích (AgBag kompostování),
- vermikompostování

Pro kompostování travního materiálu z údržby travních porostů lze doporučit podle závěrů vykonaných experimentů technologii monitorovaného mikrobiálního kompostování na volné ploše v pásových hromadách [1].

3.4.1 Kompostovací proces na volné ploše

Jedná se o kompostování na volné ploše v plošných či pásových hromadách [12]. Kompostování na volné ploše v plošných hromadách patří k nejstarší kompostovací technologii. V minulosti se uplatňovala hlavně proto, že nebyla náležitá mechanizace k založení pásových hromad. Plošné hromady se zakládaly na souvratích. Kompost byl zakládán vrstevně z chlévské mrvy, slámy a jiných odpadů do výšky 0,5 m a obvykle byl zavlažován močůvkou. Tento kompost byl převrstvován pluhem, který horní vrstvu zapravoval dolů stejným stylem, jako by se konala hluboká orba. Plocha, která se takto vytvářela, byla po 2 – 3 letech užívána jako tzv. tučný hon k pěstování krmných plodin či teplomilných zelenin. Obdělávání těchto plodin také zčásti nahrazovalo překopávání kompostu. Po zrušení „tučného honu“ se kompost rozvezl na zbylou část pozemku [11,12,13]. Kompostárna pro kompostování v pásových hromadách je uvedena na obrázku 3.



Obrázek 3 – Schéma vizualizace kompostárny pro kompostování na volné ploše v pásových hromadách [11]

Pozice: 1 – evidence surovin – mostová váha, 2 – příjem surovin, 3 – zakládání do pásových hromad, 4 – překopávání kompostu, 5 – zrání kompostu v přikryté hromadě, 6 – monitorování kompostovacího procesu, 7 – jímka zapuštěná do terénu, 8 – expedice hotového kompostu

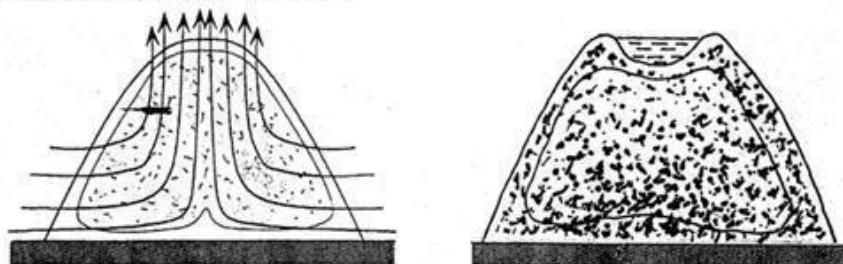
Plošné hromady jsou v novodobém kompostování užívány především ve velkých kompostárnách, kde se zpracovává rozsáhlé množství biologicky rozložitelných odpadů, a to hlavně BRKO. Hromady jsou zakládány do výšky 5 m. Na překopávání se používá speciální překopávač kompostu s pracovním ústrojím, které pracuje z boku kompostovací hromady. Dále je kompost přehazován a vrstven na nové, vedlejší stanoviště [11,12].

U technologie kompostování v pásových hromadách se jedná o klasickou výrobu kompostů, kdy se kompostovaný materiál vrství do pásových hromad trojúhelníkového či lichoběžníkového průřezu. Délka hromad je omezena délkou stanoviště. Minimální doporučená šířka je 2,0 m, ale z technické stránky bývá běžná šířka 2,5 – 4,0 m. Stanoviště musí splňovat určité požadavky. Musí umožnit otáčení mechanizačních prostředků při navážení a překopávání a zabránit ohrožení povrchových a podzemních vod [1,11,12,13,19].

Pásové hromady kompostovací zakládky mohou mít trojúhelníkový nebo lichoběžníkový profil [13]. U trojúhelníkového profilu hromady (viz obrázek 4) je výhodou přirozené provětrávání zakládky, stálá výměna vzduchu v kompostovaném materiálu.

Nevýhodou zakládky je, že mohou být narušovány deštěm nebo větrnou erozí a špatně se v nich udržuje optimální vlhkost [13,16].

Trojúhelníkový profil hromady



Obrázek 4 – Schéma provzdušňování u trojúhelníkového profilu hromady [15]

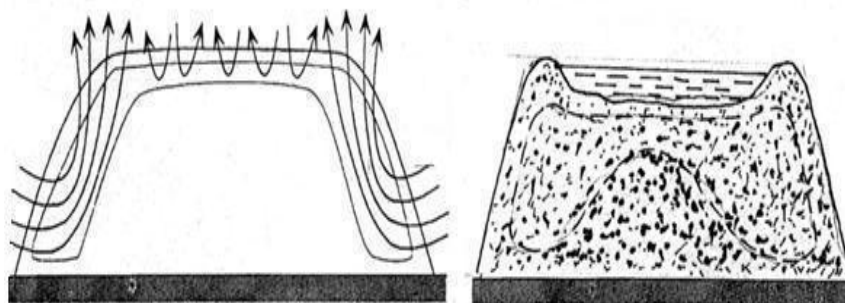
Výška profilu je dána charakterem materiálu a má následující parametry:

Tabulka 3 – Parametry trojúhelníkové profilu pásové hromady [13]

šířka pásové hromady B [m]	výška profilu H [m]
2,0	1,10 – 1,20
2,50	1,30 – 1,50
3,0	1,50 – 1,80
4,0	2,20

Lichoběžníkový profil (viz obrázek 5) umožňuje podélné navážení traktorovými přívěsy a úpravu hromady nakladačem. Dále umožňuje snadné ovlhčování vodou nebo jinými tekutými materiály, lépe se v něm udržuje teplo a je jen slabě narušován deštěm či větrem. Jeho nevýhodou je horší přirozené provětrávání. Je proto nutné ho mnohokrát překopávat, aby byly zabezpečeny podmínky pro činnost aerobních mikroorganismů [13,16].

Lichoběžníkový profil hromady



Obrázek 5 – Schéma provzdušňování u lichoběžníkového profilu hromady [17]

3.4.2 Intenzivní kompostovací technologie

Pro všechny intenzivní kompostovací technologie je společné to, že intenzifikují hlavně první rozkladnou fázi. Intenzifikace provzdušněním vede k docílení větších teplot a tím i ke zkrácení celé etapy. Zařízení jsou investičně náročná, a tudíž je potřeba je dimenzovat právě jen na zdržnou dobu první fáze kompostování. Intenzivní proces v první fázi nabourá svou razancí organickou hmotu takovým stylem, že i ostatní fáze kompostování proběhnou rychleji [1,13,18].

Zařízení pro intenzivní kompostování je možno rozdělit do tří skupin: [1,13]

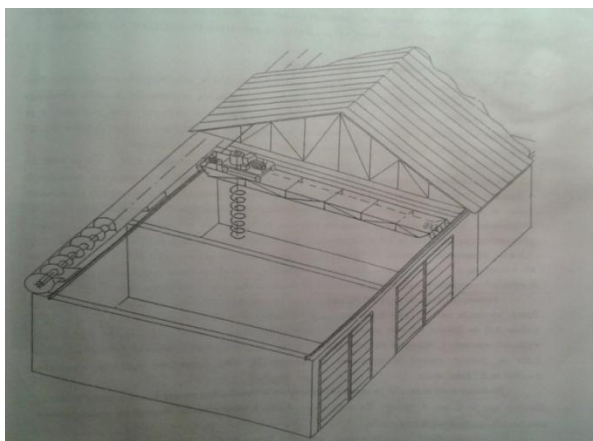
- polouzavřená kompostovací zařízení – polouzavřené boxy, žlaby,
- zavřená kompostovací zařízení – bioreaktory,
- kompostování v PE – vacích.

3.4.2.1 Kompostování v kompostovacích boxech

Boxy jsou umístěny pod střechou, z důvodu ochrany před deštěm, aby nedošlo k převlhčení. Jsou z betonových monolitických desek a jejich délka je 10 – 12 m, šířka 3 – 4 m a výška 2,50 – 3,0 m. Čelo každého boxu je otevíratelné. Zařízení je převážně vybaveno jeřábovou drahou uloženou na stěnách boxů, po které pojíždí jeřábový most s kočkou. Jeřábový most má rozpětí 10 – 12 m a na jeřábové dráze je umístěn naskladňovací šnekový dopravník, jehož výpustné otvory jsou ovládány hydraulicky [13,19]

Zavlažovací zařízení je součástí systému, které zajišťuje potřebnou vlhkost. Dále jsou součástí ventilátory, které zabezpečují provzdušňování. Překopávací zařízení je neseno na jeřábové kočce a zasáhne lehce kterékoli místo v každém boxu. Pracovní orgán překopávače je spirála vybavená výčnělkou, které zajišťují průběžnou mechanickou destrukci částic. Spirála se při přejezdech vytáčí nad jeřábovou kočku či sklápí do vodorovné polohy. Šroubovice slouží k vynášení částic materiálu z dolních vrstev zakládky až na povrch a tím dochází k intenzivnímu provzdušňování. Celý proces je zcela automatizovaný. Zařízení je vybaveno centrálním řídicím systémem a kontrolním systémem [13,19].

Doba kompostování v jednom boxu trvá 2 – 4 měsíce. Po ukončení dozrávání se otevírá čelo boxu a box se vyskladní kolovým nakladačem. Systém je energeticky náročný, ale představuje jen 20 % nároků na plochu v porovnání s kompostováním v hromadách [13,19].



Obrázek 6 – Fotografie kompostovacího zařízení v boxech [13,19]

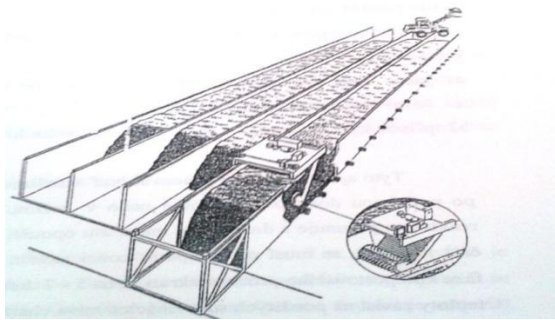
3.4.2.2 Kompostování v kompostovacích žlabech

Kompostovací prostory mají tvar podlouhlých žlabů a jsou zaplněné kompostem (viz obrázek 7). Nad žlabem se pohybuje překopávací mechanismus. Několik přijímacích bunkrů umožňuje mísení různých surovin a optimalizaci zakládky. Na jednom konci žlabu je umístěno zavážecí zařízení, které není pojízdné. Zavážení kompostu se koná jednou až dvakrát denně. Nad žlabem se pohybuje mobilní provzdušňovací zařízení a homogenizační zařízení [13,19].

Americký systém ROYER používá žlaby o šířce 2,8 m a výšce 2,5 – 3,0 m. Během kompostování se naskladněný materiál provzdušňuje soustavou ventilátorů v podlaze. Po ocelových kolejnicích umístěných na stěnách žlabu se pohybuje překopávací zařízení. Překopávací zařízení se skládá z válcového rotoru o průměru 750 mm, které je vybaveno trny a z šikmého dopravníku, který prokypřený materiál přesune o 3,6 m za překopávací zařízení. Překopává se až 15 krát za 21 denní cyklus, který je kontinuální, protože materiál je pořád přesunován k vyskladňovacímu konci. Po vyskladnění se kompost nechává 1 až 2 týdny dozrát [13,19].

Německá firma BACKHUS, která se zabývá především výrobou strojů pro kompostovací linky, vyvinula zařízení pro kompostování v kompostovacích žlabech o šířce 3,0 – 4,5 m a výšce 2,0 m. Překopávací zařízení je výškově stavitelné [13,19].

Překopávaný materiál je stále posouván k vyskladňovacímu konci a cesta biomasy tak trvá přibližně 4 týdny. Za tuto dobu dojde k biochemické degradaci, která je podporována mechanickou destrukcí materiálu [13].



Obrázek 7 – Fotografie kompostování v kompostovacích žlabech [13,19]

3.4.2.3 Kompostování v bioreaktorech

Bioreaktory (viz obrázek 8) se od předešlých polouzavřených systémů odlišují ve dvou základních principech: [1,13]

- jde o úplně zavřená zařízení kontejnerového typu ve formě boxu či válce, která jsou častokrát tepelně izolována,
- přívod kyslíku se provádí provzdušňováním kompostované vrstvy od zdola.

Tato zařízení mohou fungovat jednak ve stavu vsádkovém, nebo v režimu kontinuálním. Vsádkový režim znamená, že zařízení se naplní a vsádka se po potřebnou dobu provzdušňuje. V kontinuálním režimu se kompost reaktorem posouvá a každý den jeho část opouští reaktor na výstupním konci a tomu příslušná část materiálu se musí na vstupním konci navézt. Za usilovného provzdušňování se první fáze kompostování zkrátí na 5 – 7 dnů, na základě kompostovaných surovin. Kompost po krátké fermentaci nemá charakter zralého kompostu s vzniklými humusovými látkami a musí se z tohoto důvodu nechat ještě 2 – 4 týdny uzrát. Výroba kompostu s užitím bioreaktorů má v porovnání s klasickou metodou kompostování na hromadách přibližně dvojnásobné náklady [1,13].



Obrázek 8 – Fotografie bioreaktoru [20]

Rozdělení bioreaktorů:[13]

- rotační biostabilizátory,
- uzavřené kompostovací boxy,
- věžové bioreaktory,
- tunelové bioreaktory.

Rotační biostabilizátory tvoří přechod od polouzavřených systémů. Kompost se sice rozkládá v uzavřeném prostoru, ale aerace se děje převalováním materiálu v zvolna rotujícím obřím bubnu. Do bubnu se zavádí vzduch a kompost v bubnu zůstane jen po dobu nejnutnější k docílení stabilizace a hygienizace [13].

Uzavřené kompostovací boxy jsou kovové nebo plastové hranaté kontejnery a mohou být mobilní či stacionární. Tomu odpovídá i jejich objem. Menší mobilní boxy mají objem do 10 m³ a stacionární do 50 m³. Jde o vsádkový bioreaktor, do kterého se vhání vzduch. Nevýhodou tohoto zařízení je, že materiál v kontejneru nevykonává žádný pohyb [13,16].

Věžové bioreaktory se skládají z válcové nádoby o průměru 8 – 10 m a výšky cca 7 m. Na dně válce je vyprazdňovací mechanismus a provzdušňovací mechanismu, který je tvořen válcovou frézou pohybující se okolo osy věže podobně jako u vybíračů. Fréza při vyprazdňování dopravuje materiál k otvoru, kde vypadává ven. Bioreaktor se plní dopravním pásem ze shora. Zařízení má tudíž klasický kontinuální chod. Nevýhodou je docela komplikovaný a snadno zranitelný mechanismus. Jeho oprava je velice náročná, jelikož dolní část věžového bioreaktoru je hůře přístupná a materiál je potřeba většinou ručně vyprazdňovat [13,16].

Tunelové bioreaktory jsou provozovány v kontinuálním režimu. Průřez bioreaktoru je obdélníkový a spodní část je vybavena systémem kanálů pro rozvod vzduchu. Posun materiálu zajišťuje pohyblivé dno či čelní pohyblivý štít. Posunutím dna či štítu o 1/14 délky reaktoru se vytvoří prostor pro další zavláčku. Tyto reaktory mají mnoho výhod. Provzdušnění je rovnoměrnější než u předešlého zařízení a také se minimalizuje riziko zkratových kanálků, protože poměrně nízká vrstva, která se denně pohybuje a stlačuje, tyto zkratové kanálky narušuje. Mezi další výhodou patří, že veškeré mechanické části jsou lehce přístupné. To umožňuje běžnou údržbu [13,16].

3.4.2.4 Kompostování v PE – vacích

Jedná se o speciální technologii kompostování. Kompostování v PE – vacích (viz obrázek 9) se nazývá také jako technologie AG Bag Eco – POD. Jde o kompostování s použitím PE – vaků, známých z oblasti uchování a uskladnění statkových krmiv, ovšem upravených pro kompostování, spočívající například v rozdílném barevném uskutečnění povrchové vrstvy a síle stěny fólie [1].

PE – vaky jsou plněny surovinovou zakládkou prostřednictvím speciálního stroje AG Bag. Pro zajištění aerobního procesu je plnicí stroj přizpůsoben k souběžnému vkládání PE – hadice do vaku během jeho plnění, která je ve stejnoměrných rozestupech vybavena otvory zabezpečujícími pravidelný přívod vzduchu do celého profilu vaku, a to prostřednictvím ventilátoru s časovacím mechanismem. V průběhu kompostování je prováděno předepsané monitorování a po ukončení kompostovacího procesu je kompost z PE – vaku vyndán a podle potřeby dále upraven [1,21].



Obrázek 9 – Fotografie kompostování ve vaku [22]

3.4.3 Vermikompostování

Vermikompostování (viz obrázek 10) je považováno za nejpokročilejší metodu kompostování. Vermikompost má v porovnání s klasickým kompostem výrazně lepší vlastnosti. Je bohatý na živiny, ale rovněž obsahuje vysoce kvalitní humus, růstové hormony, enzymy a látky, které jsou schopné ochraňovat rostliny před škůdci a chorobami. Poté zvyšuje nutriční hodnotu produktů a brání vstupu cizorodých látek do rostlin. Dosažený kompost prostřednictvím žížal dosahuje vyšší úrovně přeměny organické hmoty odpadů než obyčejné komposty. Nejhodnotnější částice vyrobeného vermikompostu jsou žížalí trusy, které lze

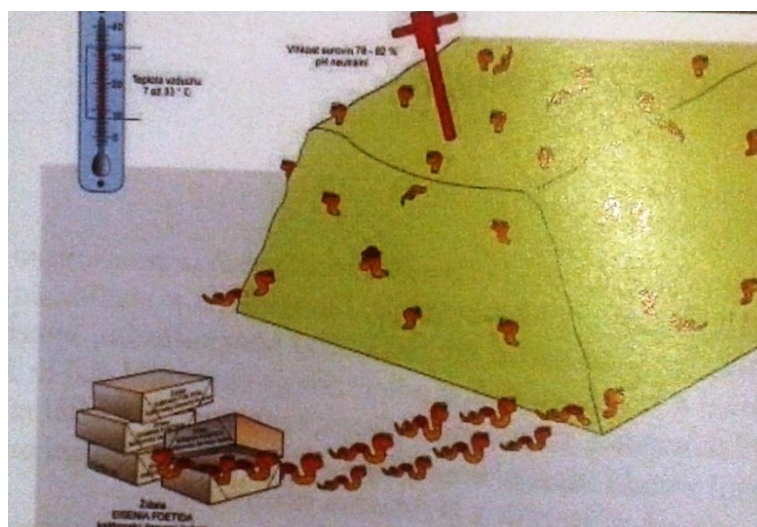
osamostatnit po usušení vermikompostu na sítu. Kompostování s použitím žížal probíhá přibližně 6 měsíců [1,14,16,23].

Pro toto kompostování se v našich podmínkách využívá druh *Eisenia Foetida*. Jedná se o kalifornského červeného hybrida s vysokým výkonem a plodností. Dospělý červ zkonzumuje každý den množství krmiva odpovídající hmotnosti jeho organismu a vytvoří z něj 60 % biohumusu a 40 % použije pro svůj metabolismus [1,14,16,19,23].

K vermikompostování se má využívat bioodpad, který prošel hygienizací ve kterém byla už mineralizována většina lehce rozložitelných organických látek. Pokud bioodpad obsahuje velké množství těžce rozložitelných látek, nechává se 2 – 3 měsíce předkompostovat [1,14,16,23].

Žížaly mají velice speciální nároky na teplotu a vlhkost. Proto je potřeba zajistit optimální teplotu prostředí mezi (19 – 22 °C). Při teplotě pod 7 °C a nad 33 °C jsou žížaly nehybné a při teplotě pod 0 °C a nad 42 °C hynou. Optimální vlhkost substrátu se pohybuje v rozmezí od 78 – 82 %. Vlhkost nižší než 60 % a vyšší než 90 % má vliv na úhyn žížal. Žížaly vyžadují neutrální pH, neboť hodnota pH vyšší než 8 a nižší než 6 žížaly usmrcuje. Žížaly hledají vrstvy kompostu s dostatkem kyslíku. Krmivo nesmí obsahovat přebytečné množství čpavku a bílkovin. Žížaly usmrcují už nízké koncentrace pesticidů a dále nemají rádi sluneční paprsky a vítr. Jejich nepřátelé jsou ptáci, žáby, stonožky, krtci a jiní hlodavci [1,14,16,19,23].

V případě vzkvétajícího chovu lze množství žížal z jedné hromady kompostu použít k vytvoření 3 podobně velkých hrad. V zimě je potřeba přemístit chov žížal do zabezpečených či zateplených míst [1,14,16,23].



Obrázek 10 – Fotografie vermikompostování [1,23]

3.5 Obecný postup při návrhu vhodné kompostovací technologie

Během návrhu vhodné kompostovací technologie pro zpracování biomasy z údržby lze, po určitých modifikacích vyplývajících z konkrétních podmínek, použít konkrétní metodický postup [5].

Metodický postup se skládá z těchto částí: [5]

- Charakteristika podniku

Jedná se o charakteristiku základních předpokladů dané oblasti, stavbu zemědělského fondu podniku, podíl rostlinné a živočišné produkce.

- Surovinová skladba kompostování

Očekávaná výroba surovin pro kompostování za rok a jejich průměrná hodnota. Plán surovinové skladby tak, aby odpovídal požadavkům na optimální surovinovou skladbu.

- Plán technologie kompostování

- Technické zařízení pro kompostování

Podle shora uvedených popisů návrh vhodné technologie kompostování mimo strojního zabezpečení.

- Monitoring kompostování

Sledování jakosti zrajícího kompostu a základních veličin kompostování. U zakončeného kompostu rozbor základních jakostních znaků dle požadavků ČSN 465735.

- Využití kompostu

Způsob využití vytvořeného kompostu, umístění do systému výživy rostlin, apod.

- Ekonomické vyhodnocení kompostování

Kontroluje se řada parametrů.

3.6 Sledování průběhu kompostovacího procesu

Pro zabezpečení správného průběhu kompostování a tím i výroby kvalitního kompostu je potřeba jeho systematické a pravidelné monitorování [24].

3.6.1 Měření teploty kompostu

Teplota je snadno zjistitelným ukazatelem zrání kompostu, který koresponduje s intenzitou činnosti mikroorganismů. Sledování a evidence teplot je z tohoto důvodu základní podmínkou kontroly správného kompostování. Pokud po zakládce kompostu a první

překopávce kompostu se teplota nezvyšuje, či po předešlém vzestupu teploty nastává zřetelné snížení teploty, jsou podmínky pro mikroorganismy nepříznivé. Důvod může být v první řadě v nesprávné surovinové skladbě, v přílišné vlhkosti surovin a v omezeném obsahu kyslíku v kompostu. Snížení teploty v základce začíná i při malé vlhkosti kompostovaných surovin, eventuálně při vyschnutí kompostu [5,11,12].

Při měření teploty kompostu se užívají kontaktní elektronické zapichovací teploměry s digitálním či analogovým ukazatelem. Teploměr je opatřen tyčovou zapichovací sondou odlišné délky, kterou je možné zapíchnout do hromady kompostu nejméně do hloubky 1 m pod povrch hromady. Tímto je zabezpečeno měření teploty v celém průřezu hromady. Počet měřících míst a doba nutná pro odečet zjišťovaných hodnot po jejich stabilizaci bývá určena metodikou měření [5,11,12].

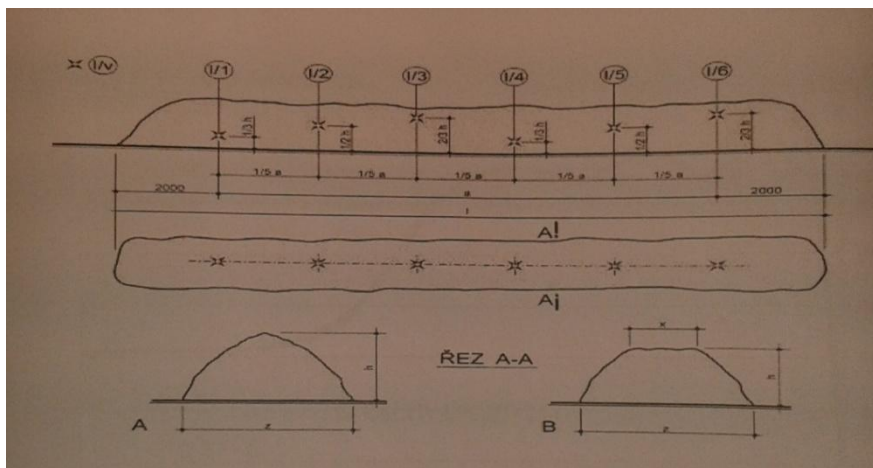
V každé metodice pro měření teploty kompostu zapichovacím teploměrem musí být udán postup měření a časové úseky měření teploty. Metoda měření určuje, jakým způsobem a kde bude přístroj do kompostu zapíchnut (viz obrázek 11). Časové intervaly stanovují termíny, kdy bude měření konáno [5,11,12].

Postup měření teploty zapichovacím teploměrem: [5,11,12]

- vpich sondou je potřebné vést kolmo k povrchu hromady tak, aby směřoval do jejího středu podél jejího příčného tvaru (trojúhelníkový či lichoběžníkový profil),
- po vymezené délce vpichu od povrchu hromady je nezbytné vpich zadržet a provést odečtení stálé teploty,
- poté pokračovat se zaváděním vpichu až do středu hromady a znova odečíst ustálenou teplotu,
- měřící místa jsou závislé na celkové délce hromady,
- měřící místa na hromadách je nutné vyznačit a toto označení užívat po celou dobu kompostování,
- pokud teploměr nemá elektronický výstup, je potřeba naměřené hodnoty si poznamenávat na základě označených měřících míst do tabulky, při opakujících se měřeních je pokaždé potřeba změřené hodnoty ze stejného místa registrovat pod stejným značením.

Časové intervaly měření teploty v průběhu jedné zakládky: [5,11,12]

- do 7. dne každý den, protože v tomto období dochází k nejvyššímu nárůstu teploty. Zpravidla na konci tohoto časového období teploty zaznamenávají prudký pokles a je potřeba vykonat aerační překopávku i zesílení rozložení surovin,
- od 8. dne do zakončení kompostovacího procesu měření 1x za 3 – 4 dny.



Obrázek 11 – Fotografie schématu měřících míst [5,12]

3.6.2 Hodnocení vlhkosti kompostu

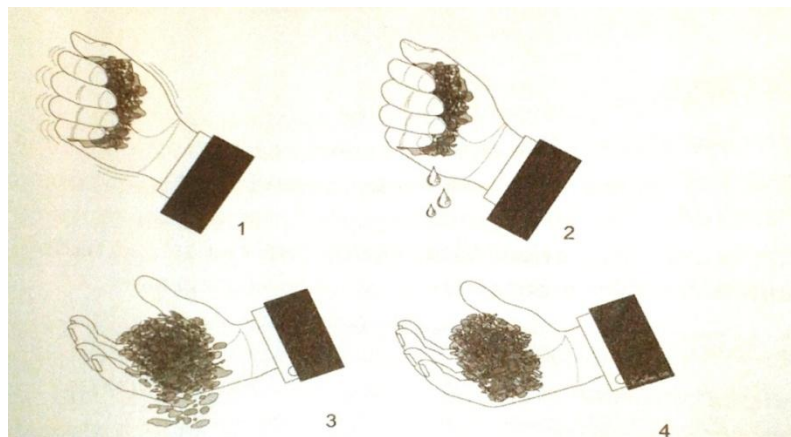
Vlhkost patří při zakládání a v době zrání mezi parametry, které velkou mírou mají vliv na úspěšný průběh kompostování. Jako každý živý organismus, tak i mikroorganismy přítomné v zakládce potřebují jisté množství vody. Optimální vlhkost je, když 70 % pórovitosti faremního kompostu je naplněno vodou. Při nedostatku vlhkosti se mikroorganismy zastavují, eventuálně zpomalují svoji činnost. Naopak při nadbytečné vlhkosti dochází k hnilobným procesům [5,11,12].

Pro určení vlhkosti jsou používány standardní metody nebo lze vlhkost měřit přenosnými vlhkoměry. Mezi výhody vlhkoměru patří okamžitá znalost výsledku, možnost nedestruktivního měření a mobilnost přístroje. Naopak nevýhodou těchto vlhkoměrů je menší přesnost měření a potřeba kalibrace přístroje [5,11,12].

Během kompostování se v každé zakládce provádí mnoho testů na vyhodnocení vlhkosti surovin. Začáteční hodnocení vlhkosti se provede okamžitě po ukončení první překopávky. V průběhu intenzivní aerobní činnosti je hodnocení vlhkosti nezbytné provádět denně. Po zakončení kompostovacího procesu je potřeba určit vlhkost hotového kompostu [5,11,12].

V případě nutnosti lze stanovit vlhkost kompostovaného materiálu pomocí orientační zkoušky (viz obrázek 12). K jejímu vykonání je nezbytné surovinu vzít do ruky a pevně

stisknout. Pokud má surovina optimální vlhkost, tak se mezi prsty neobjeví voda. Při zjištění více než jedné kapky vody je surovina příliš vlhká. Při otevření pěsti ale musí surovina zůstat pohromadě ve tvaru „knedlíku“. Jestliže je surovina hodně suchá, tak se při otevření pěsti znova rozpadne [5,11,12].



Obrázek 12 – Fotografie orientační zkoušky vlhkosti [5,11,12]

Pozice: 1 – surovina stisknutá v ruce, 2 – surovina moc vlhká, 3 – surovina hodně suchá, 4 – ideální vlhkost suroviny

3.6.3 Měření obsahu kyslíku v kompostu

Nejdůležitější zásadou kompostování je provzdušňování kompostu a vytváření aerobních podmínek. Mikroorganismy, které přeměňují organickou hmotu při kompostovacím procesu, mají vysoké požadavky na kyslík a vytváří oxid uhličitý. Technologie kompostování musí umožnit výměnu plynů mezi zrajícím kompostem a okolím, tak aby byl dostatek čerstvého vzduchu s kyslíkem [5,11,12].

Založený kompost by měl být kyprý, pórovitý, nepřevlhčený a musí obsahovat dostatek kyslíku pro začáteční nastartování procesu. Způsoby zajišťování dostatečného množství vzdušného kyslíku během zrání se odlišuje podle použitých kompostovacích technologií. Při pokrývání pásových hromad, z důvodu předejití vlivu atmosférických jevů je nezbytné použít jen speciální prodyšné kompostářské plachty [5,11,12].

Obsah kyslíku se zpravidla nezjišťuje rovnou v kompostu, ale vzduch z kompostu je odsáván pomocí zapichovací duté tyče. Vzorek vzduchu k měření je odsáván s použitím gumového balónku nebo pomocí elektrického čerpadla nebo malé vývěvy. Měření obsahu kyslíku není metodicky nařízeno, ale pokud bude obsah kyslíku v kompostu měřen, je přijatelné toto měření sloučit s měřením teploty a zachovávat časové intervaly identické jako pro měření teploty [5,11,12].

3.7 Kvalita kompostu

Dostatečně uzrálý kompost nesmí obsahovat velké množství amoniakálního dusíku a také ne produktů anaerobního rozložení. Kompost má „lesní“ aroma, tmavě hnědou barvu, stavba jednotlivých prvotních surovin je skoro neznatelná [5].

Mezi ukazatele, které se využívají k hodnocení kvality kompostu patří: [5]

- zralost a stabilita kompostu,
- test fytoxicity,
- mikrobiologické hodnocení kompostu,
- agrochemické hodnocení,
- senzorické hodnocení.

3.7.1 Zralost a stabilita kompostu

Stabilita patří mezi základní charakteristiky kompostu. Norma neuvádí, jakým postupem by se měla stabilita měřit a ani neuvádí, jakých hodnot by měla dosahovat. Biologicky rozložitelné suroviny mají zpravidla velice nízkou stabilitu. Během biologické úpravy, nejčastěji kompostováním se stabilita suroviny zvyšuje až je tzv. zralá. Stabilitu je možné rozlišovat na dočasnou nebo trvalou [5,12].

Stabilní nebo-li uzralé komposty mají tyto vlastnosti: [5,12]

- živiny uvolňují postupně, účinkují i v dalších letech po použití do půdy,
- kvůli obsahu humusových látek mají zřetelný kladný vliv na kvalitu půdy a obsah organické hmoty,
- jsou způsobilé vstřebávat jiné látky a tak optimalizovat strukturu půdního roztoku,
- při delším skladování bez přístupu vzduchu nezapáchají.

Je řada postupů pro stanovení stability a zralosti kompostu. Mezi metody pro stanovení stability a zralosti kompostu patří: [5,12]

- Subjektivní metoda

Posoudit, zda se jedná o čerstvou surovinu nebo surovinu do určité míry stabilizovanou, lze i laicky pomocí svých smyslů [5,12].

Nezralý kompost má velice dobře viditelnou původní strukturu, spíše zapáchá, na dotknutí může být teplý i horký. Z takové hromady kompostu může stoupat i za normálních

povětrnostních podmínek vodní pára a na povrchu jednotlivých částic jsou znatelné povlaky hub, obvykle nejsou přítomni půdní živočichové, i přestože do kompostu mají přístup [5,12].

Stabilizovaný zralý kompost má aroma po lesní půdě a neměl by zapáchat. Stabilní kompost má teplotu okolí, jen hlouběji v jádru větší hromady může být teplota mírně vyšší. Zralý kompost je podobný zahradnické zemině [5,12].

- Samozáhřevný test

Samozáhřevný test měří zvětšení teploty kompostu při běžných laboratorních podmínkách v termonádobě s dvounásobnými izolačními stěnami, která zabezpečuje pro všechny vzorky shodné podmínky, čímž je možné jednotlivá měření následně mezi sebou srovnávat [5,12].

Nádoba je naplněna prosetým kompostem. V případě potřeby je kompost navlhčen a vytemperován na laboratorní teplotu. Dále se do nádoby vsune 300 mm dlouhá sonda s teploměrem připojeným na záznamové zařízení. Druhé teplotní čidlo kontroluje teplotu okolí, která by se měla pohybovat kolem 20 °C [5,12].

Výsledkem testu je rozdíl mezi největší změřenou teplotou kompostu a teplotou okolí. Test trvá obvykle jeden den až devět dní [5,12].

- Dynamický respirační index

Dynamický respirační test měří okamžité spotřebování kyslíku použitého k biochemické oxidaci lehce rozkladných látek v organických surovinách při nucené aeraci vzduchu do vzorku. Výsledkem toho testu je dynamický respirační index. Na základě metody stanovení se rozlišuje potenciální a reálný dynamický respirační index [5,12].

- Speciální míra spotřeby kyslíku (SOUR – specific oxygen uptakerate)

Metoda SOUR monitoruje množství rozpuštěného kyslíku ve vodní suspenzi kompostu, a to za podmínek zabezpečujících optimální mikrobiální aktivitu a maximální rychlost reakce. Tato metoda využívá technologii, která se obvykle používá při měření rozpuštěného kyslíku ve vodě nebo odpadní vodě [5,12].

3.7.2 Test fytotoxicity

Test fytotoxicity je postup vyhodnocování intenzity rozložení organických surovin a zralosti hotového kompostu. Jde o biologický postup hodnocení fytotoxicity výluhu vzorku veličinou klíčivosti citlivé rostliny. Tato metoda alespoň zčásti odstraňuje chyby počínající při určování stability hotového produktu kompostování jen za pomoci teploty. Znakem stability

je teplota kompostu podobná teplotě okolí či teplota nižší než 45 °C. Teplota kompostu, ale může být ovlivňována i jinými faktory, jakými jsou například nízká vlhkost nebo nedostatek kyslíku [5,12].

Postup je založen na vypočtení indexu klíčivosti citlivé rostliny v prostředí vodního výluhu kompostu. Velikost fytotoxicity, která je přímým odrazem obsahu toxických meziproductů, vzniklých při aerobním rozložení organických odpadů, umožňuje jakostní vyhodnocení intenzity rozložení, kdy nepřítomnost fytotoxinů je ukazatelem zralého kompostu. Okamžitá fytotoxicita je významná při řádně vedeném fermentačním postupu. Z tohoto důvodu je potřeba při zavádění nové technologie či hlavní změně surovinového složení zkontrolovat touto metodou celý průběh zrání a to po smíchání surovin, před první překopávkou, před další překopávkou a v době ukončování kompostování [5,12].

3.7.3 Mikrobiologické hodnocení kompostu

Na kompostovacím procesu mají podíl 3 zásadní skupiny mikroorganismů, a to bakterie, aktinomycety a nižší houby (plísně) [5,12].

Bakterie jsou přítomné obvykle v kompostovaných hromadách, jsou jak mezofilní, tak termofilní. Původem patogenních organismů, které se v kompostech mohou vyskytovat, jsou různé typy podestýlky, čistírenské kaly, exkrementy zvířat, kejda či hnůj, které jsou jednou ze vstupních materiálů do kompostu. Převážná část patogenních organismů, které jsou přítomny v kompostech, jsou mezofilní a při dodržení technologie kompostování a zvýšení teploty k 60 °C po dostatečně dlouhou dobu dochází k jejich odstranění s výjimkou sporotvorných organismů [5,12].

Pro vyhodnocení kompostu se využívá hodnocení podle přítomnosti indikátorových organismů. V České republice jsou jako indikátorové organismy určeny termotolerantní koliformní bakterie, bakterie rodu *Salmonella* a enterokoky [5,12].

Termotolerantní koliformní bakterie jsou přítomné v tlustém střevě obratlovců a ve vlhkém prostředí, kromě organismu, přetrvávají velmi dlouho (1 – 2 roky) [5,12].

Enterokoky jsou skupinou bakterií, které mají totožné biochemické vlastnosti. Jsou součástí střevní mikroflóry a jejich výskyt svědčí o čerstvé fekální kontaminaci prostředí. Na rozdíl od termotolerantních koliformních bakterií mají vyšší odpor k dezinfekčním prostředkům obsahujících chlór. Kompostováním se snižuje množství termotolerantních koliformních bakterií a salmonel lépe než počty enterokoků [5,12].

Salmonely se vyskytují v zažívacím ústrojí člověka a u zvířat. Jelikož jsou tyto bakterie nenáročné, mohou se též množit mimo tělo živočichů, hlavně v potravinách živočišného původu a organických materiálech. V půdě odumírají v teplých letních měsících v průběhu několika dnů, v zimních měsících ale mohou přežívat měsíce až rok [5,12].

Pro provozovatele výroby kompostu a i pro jeho uživatele je podstatné znát jeho jakost z hlediska výskytu patogenních organismů, která se monitoruje mikrobiologickým stanovením indikátorových mikroorganismů [5,12].

3.7.4 Agrochemické hodnocení kompostu

Při laboratorních rozborech kompostu se postupuje podle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ a určují se tyto znaky jakosti: [5,12]

- Vlhkost

Dle ČSN 46 5735 se musí hodnota vlhkosti pohybovat v rozmezí od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, ale minimálně 40,0 % a maximálně 65,0 % [5,12].

- Celkový obsah spalitelných látek

Spalitelné látky tvoří organické sloučeniny, jejichž nedílnou součástí je uhlík. V organických látkách je uhlík obsažen zhruba z 50 %. Dle ČSN 46 5735 musí hodnota spalitelných látek ve vysušeném vzorku docílit hodnoty minimálně 25 %. Obsah spalitelných látek se určuje z vysušeného vzorku spálením a vyžiháním v elektrické peci při teplotě 450 ° C do stálé hmotnosti [5,12].

- Obsah celkového dusíku

Mikroorganismy vyžadují dusík k syntéze bílkovin. Bakterie mohou obsahovat 7 % až 11 % dusíku v sušině a houby 4 % až 6 % dusíku. Dle ČSN 46 5735 musí hodnota celkového dusíku přepočtená na vysušený vzorek být alespoň 0,6 %. Aby byla u vyzrálého kompostu dosažena hodnota C:N v rozmezí 20 – 30:1, je potřeba, aby ve vstupní směsi byl poměr 30 – 35:1. Což zabezpečuje vysokou stabilitu a agronomickou účinnost. Dusík lze zjistit tak, že je převeden mineralizací kyselinou sírovou za varu a v přítomnosti katalyzátoru na amoniak, který se po destilaci určí titračně [5,12].

- Poměr C:N

Podle ČSN 46 5735 je maximální dovolená hodnota C:N = 30:1. Poměr C:N je stanoven ze získaných hodnot spalitelných látek, kde uhlík odpovídá přibližně jejich polovině obsahu a z hodnot celkového dusíku [5,12].

- pH ve vodní suspenzi

Hodnotu pH lze formulovat jako záporný dekadický logaritmus vodíkových iontů. Podle ČSN 46 5735 musí hodnota pH ležet v rozmezí 6,5 – 8,5, tudíž blízké neutrální hodnotě. Pokud je hodnota pH menší než 7, znamená to, že v roztoku má převahu koncentrace vodíkových iontů nad koncentrací hydroxylových iontů a roztok reaguje kyselě. Naopak pokud je hodnota pH větší než 7 je poměr skupiny iontů opačný a roztok reaguje zásaditě. Hodnotu pH je možné určovat několika způsoby například ve vodní suspenzi pomocí indikátorových papírků nebo pH metrem ve vodní suspenzi pomocí skleněné elektrody [5,12].

- Stanovení nerozložitelných příměsí

Nerozkladné příměsi jsou částice, které nelze rozmačkat tlakem ruky, či rozstříhat a které také v nejpříznivější poloze nelze protlačit sítím o velikosti ok 5 mm. Dle ČSN 46 5735 nesmí hodnota nerozkladných příměsí, vyjádřená v %, překročit hodnotu 2,0. Po odebrání jednotlivých vzorků kompostu a vytvoření celkového vzorku se napřed stanoví obsah nerozložitelných příměsí ve vzorku [5,12].

- Hodnocení homogenity celku

Homogenita celku se vyjadřuje v relativních %. Dle ČSN 46 5735 se může hodnota vzorku odlišovat od hodnoty uváděné v jakostních znacích až o hodnotu ± 30 %. Kontrola homogenity kompostu se koná jen při podezření z nesplnění předepsané technologie či při podezření na nehomogenitu kompostu [5,12].

3.7.5 Senzorické hodnocení kompostu

Senzorické hodnocení kompostu zařazuje hodnocení barvy, struktury a pachu [5].

3.8 Stroje a technická zařízení využívaná při kompostování

Pro volbu strojů a zařízení, nutných pro technické zabezpečení kompostovacího procesu, je vhodné je vztáhnout k dílčím potřebným technologickým krokům, zajišťujícím proces kontrolovaného kompostování: [12,25]

- příprava materiálu do zakládek kompostu – drtiče,
- provzdušňování a promísení kompostu – překopávače kompostu,
- prosévání hotového kompostu – prosévací zařízení,
- roztřídění nadsítného odpadu z prosévání – separátory,
- jiné činnosti související s provozováním kompostování – ostatní zařízení.

Uvedené mechanizační prostředky je užitečné používat sestavené do strojních (kompostovacích) linek. Dle používání a agregace jednotlivých strojů je možné kompostovací linky rozdělit na: [12,25,30]

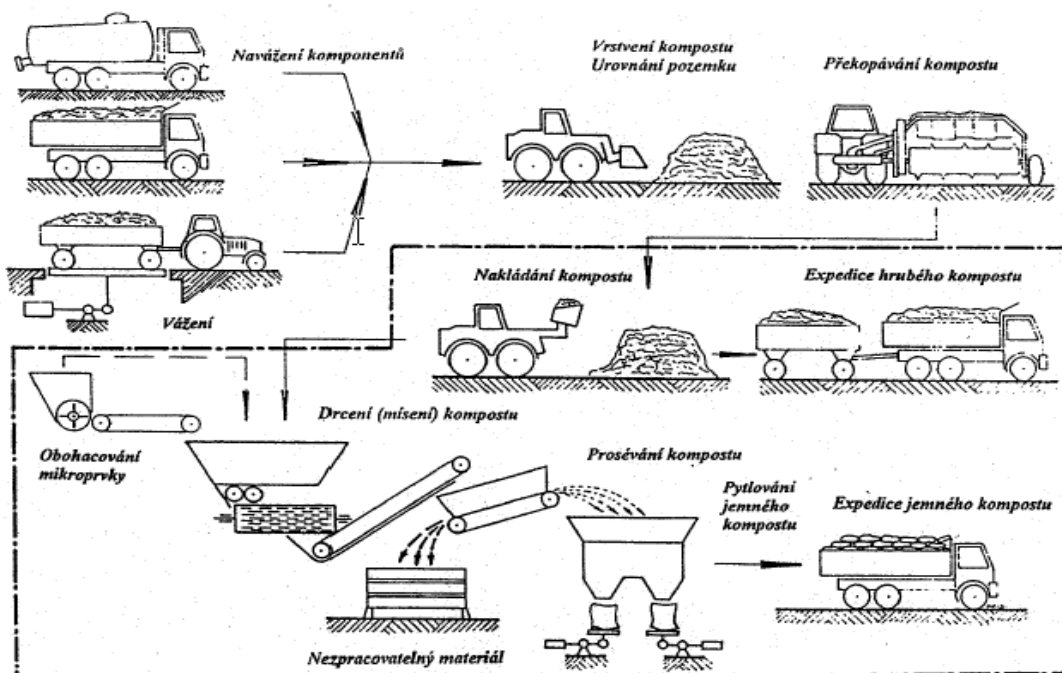
- linky s jedním energetickým zdrojem s řadou zapojitelného nářadí,
- linky sestavené z jednoúčelových strojů s vlastním pohonem,
- linky sestavené v kombinaci předešlých dvou variant.

Na základě požadavků na kvalitu konečného produktu lze kompostovací linky rozdělit do dvou základních částí: [25]

- úsek linky pro výrobu hrubého kompostu,
- část linky pro dokončování a expedici vyrobeného kompostu.

Tyto technické prostředky, které jsou zobrazeny na obrázku 13, by měly patřit do základního vybavení každé kompostovací linky: [1,12,25]

- energetický prostředek,
- drtič,
- překopávač kompostu,
- prosévací zařízení,
- ostatní zařízení.



Obrázek 13 – Fotografie kompostovací linky[26]

3.8.1 Energetické prostředky

Energetické prostředky jsou v kompostovacích linkách používány v případě, že nějaké operace jsou zajišťovány připojitelnými stroji, které nemají svůj vlastní energetický zdroj a pro svoji funkci musí být spojeny s energetickým prostředkem. Často bývá jako energetický prostředek používán: [1,12,25]

- kolový traktor,
- nosič nářadí,
- čelní nakladač.



Obrázek 14 – Fotografie kolového traktoru [27]

V případě využití traktoru, který je zobrazen na obrázku 14 či nosiče nářadí (viz obrázek 15) je potřeba, aby k němu bylo možné zapojit čelní lopatu nutnou pro manipulaci se zpracovávanými surovinami. Druhým nezbytným vybavením těchto dvou typů energetických prostředků je možnost dosahovat pracovní pojezdovou rychlost v rozmezí $(0,1 - 2,0) \text{ km.h}^{-1}$. Z toho vyplývá, že prostředek musí být vybaven superredukční převodovkou, umožňující výběr velice nízké pojezdové rychlosti. Zda tuto redukci nemá, je možné u nějakých typů energetických prostředků nechat dodatečně namontovat přídatnou redukční převodovku [1,12,25,30].



Obrázek 15 – Fotografie univerzálního nosiče nářadí [28]

V případě využití čelního nakladače, který je zobrazen na obrázku 16, jako energetického zdroje je potřeba uvážit, zda je možné k němu mechanicky zapojit jiné pracovní zařízení a zda čelní nakladač disponuje dostatečným výkonem. Mezi výhodu nakladače patří, že bývá vybaven hydraulickým pohonem pojezdu [1,12,25].



Obrázek 16 – Fotografie čelního nakladače [29]

3.8.2 Drtiče a štěpkovače

Dřevní biomasa, založená do kompostovaných hromad, potřebuje pro snadnější promísení a homogenizaci kompostovaných surovin rozmělnění nebo rozdrčení. Převážně se jedná o drcení nebo štěpkování biomasy o vlhkosti pohybující se kolem hodnoty 50 %, kam lze zahrnout suroviny typu dřevní odpady, hrubá zelená hmota, kůra, réví, listí, ale i organický podíl vytříděný z komunálního odpadu. Pro jemnou dezintegraci dřevní biomasy se využívají drtiče a štěpkovače [1,13,25].

3.8.2.1 Drtiče

Drtiče (viz obrázek 17) jsou v kompostovacích linkách stanoveny pro drcení větví, zeleného materiálu, kůry a jiných měkčích odpadů. Na suroviny působí jednak pracovním ostřím, úderem či pomalým tlakem, přičemž dochází ve větší míře k jeho zlámání, štípání, eventuálně rozmělnění na menší částice [13,25].

Dělení drtičů lze uskutečnit podle následujících kritérií: [1,13,25]

- podle energetického zdroje
 - zapojitelné k energetickému prostředku,
 - přívěsné s vlastním motorem pro pracovní ústrojí,
 - samojízdné s vlastním motorem.

- podle druhu pohonu
 - s elektromotorem,
 - se spalovacím motorem,
 - od vývodového hřídele traktoru.
- podle příkonu motoru
 - malé - pro domácí využití,
 - střední - pro profesionální pracovníky údržby zeleně,
 - velké – pro orientované firmy zabývající se zpracováním zemědělským, lesnických a dalších bioodpadů.
- podle způsobu přepravy
 - přenosné,
 - převozná.
- podle počtu otáček
 - pomaloběžné - využívají se na drcení objemných surovin ze dřeva například kořenů, pařezů a silných kmenů,
 - rychloběžné – rozdrcují veškeré biologické suroviny s výjimkou shora uvedených
- podle druhu pracovního ústrojí

Pracovní ústrojí je činitelem výkonnosti a kvality rozmělnění a rozděluje se na: [12,13,25]

- kladivové
Pracovní ústrojí kladivové je nejvíce běžné, toto ústrojí se skupina kovových kladiv, uspořádaných na hřídeli rychle se otáčející, materiál je tloučen proti zahnuté kovové desce s různou velikostí otvorů, na velikost částic má vliv použité síto.
- sítové
Zpravidla s pevným rotorem, na němž jsou přidělány výstupky z tvrzené oceli, které drtí materiál o tvrdá síta s různou velikostí otvorů, materiál je namačkáán do vany pod rotorem.
- cepové
Cepové ústrojí má různě konstruované typy cepů s přísuvným dopravníkem, odlišnou velikost sít a vyprazdňovací dopravník. Tenhle typ je zpravidla používán na širších strojích, které mají vyšší rychlost rotoru, na němž jsou připevněny cepy, stupeň rozdrcení materiálu závisí na druhu a počtu nožů, na otáčkách drtícího bubnu a rychlosti podávání.

- bubnové
Bubnové ústrojí je složeno z více disků na hřídeli rotujících v bubnu, disky šikmým spirálovitým pohybem rozdrucují materiál a ten míří k sítu, přes které pokračuje do zadní části drtícího setrvačnicku a vypadává ven.
- talířové
Talířové ústrojí s 1, 2 či více noži, přičemž talíř je uložen svisle nebo šikmo ke směru přiváděného materiálu.
- nožové
Nožové ústrojí rozdrucuje materiál ostrými, na rotoru pevně osazenými noži, rozdrčená hmota má stejně velké částice, jejichž velikost závisí na rychlosti vtahování materiálu, počtu nožů a otáčkách rotoru.
- spirálové ostří
Je uložené v kotouči svisle či šikmo ke směru přiváděného materiálu, výhodou jsou menší rázy a plynulejší řez u silnějších materiálů.
- kombinované
Pracovní ústrojí je například talířové a kladívkové.

Nověji se u drtičů uplatňují mechanismy se zvolna rotujícími pracovními orgány, které tvoří drtící ústrojí:[13,25]

- s frézovacím válcem,
- se šnekovým řezacím mechanismem.



Obrázek 17 – Fotografie drtiče [31]

3.8.2.2 Štěpkovače

Štěpkovač, který je zobrazen na obrázku 18, je stroj určený k beztrískovému dělení dřeva přes nebo podélně jeho vláken. Štěpka vyrobená na štěpkovači má poměrně malou aktivní plochu, která přichází do styku s bakteriemi zajišťujícími rozklad. To má za následek delší dobu kompostování a tím i zvětšení výdajů. Mezi další nevýhodu patří poměrně vysoká pracnost, zdlouhavost procesu štěpkování. Kvůli tomu, že pracovní ústrojí má pevné nože, jsou vhodné jen pro dřevo bez příměsí, nebo dochází k opakovanému poškození pracovního ústrojí. Naopak mezi výhodu štěpkovačů patří schopnost stroje produkovat štěpku skoro rovnoměrné velikosti při beztrískovém dělení dřeva [1,12,13,25].

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující kvalitu štěpky patří: [13,25]

- pracovní ústrojí štěpkovačů,
- vlastnosti zpracovávaného dřeva,
 - sukovitost,
 - rovnost dřeva,
 - tuhost dřeva,
 - původ dřeva,
 - jiný kvalitativní ukazatele fyzikálních vlastností vláknin (dřevo čerstvé, staré, přestárlé; dřevo mokré, suché; dřevo široké, tenké)

Vyhovující z hlediska kvality a kvantity štěpek je dřevo čerstvé, promočené a široké, z hlediska druhu dřeva měkký, plochý, bez suků, které pochází z kmene stromu. Na výkon a kvalitu štěpkovačů má vliv i mechanické zašpinění povrchu dřeva hlinou, pískem, popelem apod. Při výrobě dřevních štěpek je klíčovou otázkou posunutí dřeva do štěpkovače, eventuálně k řezacím nožům [25].

Rozdělení štěpkovačů lze provést na základě těchto kritérií: [13,25]

- podle energetického zdroje,
 - připojitelné k energetickému prostředku,
 - přívěsné s vlastním motorem pro pracovní ústrojí,
 - samojízdné s vlastním motorem.
- podle pracovního ústrojí,
 - diskový,
 - bubnový,

- spirálový.
- podle příkonu motoru,
 - malé - vlastní podvozek, zapojitelné za traktor,
 - střední - jednonápravový či dvounápravový přívěs,
 - velké – nesené na traktorovém podvozku či samojízdné.

Štěpkovače s diskovým pracovním ústrojím jsou běžným a nejvýkonnějším zařízením na tvorbu štěpek. Umožňují štěpkování dřeva až do průměru 500 mm a nepotřebují ventilátor, protože samotný kotouč, opatřený lopatkami, má dostatečný vrhací a ventilační účinek. Velikost vstupního otvoru je omezena poloměrem nožového kotouče a z tohoto důvodu tyto štěpkovače nejsou vhodné pro štěpkování nesourodého materiálu [13,25].

U štěpkovačů s bubnovým pracovním ústrojím jsou uloženy nože na povrchu otáčejícího válce rovnoběžně s jeho osou, častokrát však šikmo. Velikost vstupního otvoru pro podávání materiálu ke štěpkování lze poměrně lehce při konstrukci zvětšovat prodlužováním válce a zvětšováním jeho průměru. Tudíž je tato konstrukce vyhovující pro štěpkování neuspořádaného materiálu, například klestu, vyžadujícího velký vstupní otvor a použití mačkáčích podávacích válců [13,25].

U štěpkovačů se spirálovým pracovním ústrojím je dřevo vtahováno do pracovního prostoru směrem k většímu průměru. Až nakonec v posledním závitě šroubovice dojde k odnětí štěpky a jejímu vypadnutí z pracovní komory. Štěpkovače bývají mnohdy provedeny jako traktorové nesené, s vkládacím hrdlem směřujícím dozadu [13,25].



Obrázek 18 – Fotografie štěpkovače [32]

3.8.3 Překopávače kompostu

Překopávání kompostu je nejpodstatnější pracovní operací v celém technologickém postupu rychlokompostování. Jeho cílem je provzdušnit kompost a tím dosáhnout řízení mikrobiální činnosti. Z hlediska dosahované výkonnosti, úplného využití pracovního času, kvality práce, ale i prostorových požadavků na kompostovací plochu, jsou nejvýhodnější překopávače pracující kontinuálně. Stroje s přerušovaným pracovním cyklem se používají jen jako nouzové východisko a nelze je v žádném případě doporučit pro překopávání pásových hromad [1,12,13].

Překopávačekompostu se dělí dle různých kritérií. Mezi nejvýznamnější patří typ pracovního ústrojí, který působí na dosahovanou kvalitu provzdušnění kompostu. Mezi druhý podstatný parametr pro rozdělování kompostu patří způsob pohonu jeho pracovního a pojezdového ústrojí. Překopávače jsou rozdělovány do dvou skupin: [1,12]

- překopávače kompostu připojitelné,
- překopávače kompostu samojízdné.

3.8.3.1 Překopávače kompostu připojitelné

Překopávače kompostu připojitelné se rozdělují na: [1]

- Nesený vpředu
Základní částí je masivní rám, který je zavěšen na tříbodovém závěsu energetického prostředku umístěného na jeho přední části. K rámu je upevněn rotor. K rámu bývá též někdy upevněno podpěrné kolo.
- Nesený vzadu
Překopávač nesený vzadu, který je zobrazen na obrázku 19, je připevněn na tříbodový závěs energetického prostředku. Nesený překopávač zpracovává hmotu rotorem tak, že jí míchá a tlačí do strany, kde tvoří novou hromadu. Umožňuje tak zpracovávat kompost z více řad nebo z jedné rozlehlé řady do jedné řady bez nároku na místo pro průjezd soupravy. Kvůli tuhosti celé soupravy a stylu najíždění překopávače kompostu do záběru umožňuje souprava zpracovávat i těžké suroviny.
- Návěsný
Většina taženým překopávačů je opatřena nádrží, umístěnou na podvozku, která slouží za prvé jako zátěž pro vylepšení pojezdových vlastností, jako protizávaží

při sklápění mostu a jako zásobník pro zvlhčovací kapalinu nebo startovací roztok. Návěsný překopávač má dostatečnou stabilitu při překopávání. Hodí se pro středně těžké překopávané suroviny a vyžaduje energetický prostředek s plzivou rychlostí do 1 km.h^{-1} .

3.8.3.2 Překopávače kompostu samojízdný

Jedná se o prostředek mobilní, u kterého lze používat různé druhy pohonu, a tím i dosahovat různých výkonů. Samojízdný překopávač se skládá z pojezdového ústrojí a překopávacího ústrojí. Překopávač pro pojezd používá kola s pneumatikami anebo pásy. Překopávací ústrojí bývá často bubnové nebo bubnové postranní. Většina zařízení je opatřena i různými příhrnovacími štíty [1,12].

Samojízdné překopávače patřící do kategorie „malé“ bývají lehce transportovatelné a mají velice snadnou a pohodlnou obsluhu. Nejmenší modely o záběru 2,0 m mohou být poháněny elektromotorem s kabelovým bubnem, ale častější je pohon spalovacím motorem. Využívají se pro lehké až středně těžké suroviny. Většina samojízdných překopávačů však patří do kategorie „velký“ [1,12].



Obrázek 19 – Fotografie neseného překopávače kompostu [33]

3.8.4 Prosévací a separační zařízení

Prosévací zařízení, které je zobrazeno na obrázku 20, slouží pro úpravu kompostu při větším podílu nerozkladných částic. Kompostárnu je potřeba vybavit prosévacím zařízením s odpovídajícím výkonem, který umožní roztřídit hotový kompost na dvě i více částí určených k expedici, či k dalšímu zpracování v kompostovacím procesu. Na základě požadavku na konečný produkt se používají síta s různými velikostmi ok. Většina prosévacích zařízení je

opatřena čistícím kartáčem, který umožňuje čištění síta za chodu a zamezuje tak ucpávání ok síta při nepříznivých podmínkách pro prosévání [1,12,25].

Separátory se využívají především při kompostování bioodpadu z odděleného sběru biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Důvodem je množství plastových a dalších příměsí, které se musí oddělit po prosetí kompostu prosévacím zařízením. Z toho vyplývá, že nadsítný materiál je dotříděn na kovový odpad, lehké příměsi, kameny, apod. [12,25].

Dělení prosévacích zařízení: [1,12,25]

- Vibrační třídíče s rovinným sítem
Podstatou činnosti je přerušovaný posun materiálu ve směru spádnice po šikmo uloženém plochem sítu. Mezi výhody lze zahrnout konstrukční jednoduchost, vysokou živostnost a malou energetickou náročnost. Zařízení mívají výkonnost ($5 - 15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), která záleží na typu prosévané suroviny a na požadované velikosti částic. Většinou bývají realizována jako stacionární, protože vyžadují pevné ukotvení rámu stroje.
- Rotační třídíče s válcovým sítem
Principem činnosti je souvislý posun materiálu vnitřním povrchem otáčejícího válcového síta, které má lehce šikmou horizontální osu rotace a je uloženo na otočných rolnách. Základní výhodou válcových sít je jejich vysoká výkonnost, která je dána dobrou průchodností materiálu přes samočistící prvky. V případě nutnosti lze tato síta jednoduchým způsobem doplnit kartáči na jejich čištění. Materiál je do jisté výšky unášen po obvodu síta a dále působením vlastní gravitace padá a proces se opakuje.
- Rotační rošty
Rotační rošty jsou tvořeny soustavou hřídelí, na kterých jsou v pravidelných roztečích dány ocelové či pryžové prvky kotoučovitého, hvězdicovitého nebo jiného tvaru. Při rotaci hřídelí pokaždé stejným směrem dochází k pohybu materiálu po pracovních plochách elementů a jeho třídění začíná propadem mezi elementy, řazenými za sebou dle roztečí elementů od nejmenší po největší. Mezi základní výhodu rotačních roštů patří vysoká výkonnost, která je dána dobrou průchodností materiálu přes samočistící prvky.
- Třídící a drtící lopaty
Specifickými prosévacími zařízeními jsou lopaty, které si zatím v našich podmínkách hledají uplatnění. Lze je použít na čelní nakladač, s jejich pomocí je

možno současně promístit a drtit zpracovávané suroviny. Po skončení kompostovacího procesu lze třídit i hotový kompost.

Dělení separačních zařízení: [12,25]

- odstředivé odlučovače,
- třídíče využívající geometrického tvaru,
- vzduchové třídíče.

Odstředivé odlučovače fungují na principu různých balistických drah rozdílně hmotných částic, na různé intenzitě odrazu pružných a nepružných částic nebo na principu odlišných valivých třecích vlastností částic [12,25].

Třídíče využívající geometrického tvaru jsou zařízení, které používají pro třídění odlišný geometrický tvar separovaných částic, kdy na tzv. překulovačích dochází k propadnutí částic s kulovitým tvarem a ostatní částice, které se nepřekulují, jsou dále vynášeny dopravníkem [12,25].

Vzduchové třídíče jsou zařízení, kde dochází k odnětí lehkých surovin proudem vzduchu, zbylá těžká část odchází do drtiče a může být poté kompostována [12,25].



Obrázek 20 – Fotografie prosévacího zařízení [34]

3.8.5 Ostatní zařízení

Pro správný provoz kompostárny, popřípadě kompostovací linky, je zapotřebí mnoho dalších strojů a zařízení, která jsou buď často používaná při jiné zemědělské a komunální činnosti, či jsou to stroje a zařízení speciální, stanovená jen pro kompostování [1,12,25].

Zvláště u malých kompostáren je výhodné spojit technické zázemí, skladovací prostory, prostory pro ukrytí strojů, sociální zařízení pro obsluhu, apod. s jiným pracovištěm

podobného zaměření, které těmito zařízeními a prostory disponuje a ne úplně je využívá [1,12,25].

3.8.5.1 Zařízení pro evidenci příjmu surovin

Pokud kompostárna musí zabezpečovat pravidelný příjem surovin ke zpracování a distribuce kompostu je konána ve větším množství, je potřebná malá kancelář pro vedení evidence pohybu a kvality surovin, popřípadě hotového kompostu. Dále technické zařízení pro stanovování množství přijímaných popřípadě odvážených surovin. Pro tyto situace se využívají obvyklé mostové váhy různé nosnosti, popřípadě přenosné nájezdové silniční váhy. Tato zařízení stanovují hmotnostní množství zpracovávaných surovin. Jako náhradní východisko pro určování množství převážených surovin může být používáno i různých přepravních nástaveb [12,25].

3.8.5.2 Přípojka elektrického proudu 380/220 V, popř. vlastní zdroj

Pro provozování kompostárny bývá nutná přípojka elektrického proudu pro pohon různých technologických zařízení, pro pohon elektrického čerpadla využívaného k vyprazdňování jímky kompostoviště, poté elektrické zabezpečení administrativního pracoviště a v první řadě i osvětlení objektu [12,25].

3.8.5.3 Zastřešená plocha

Vzhledem k tomu, že kompostování v pásových hromadách budou používat menší kompostárny, lze očekávat, že jejich provoz nebude celoroční a zpracovávání surovin bude na zimní měsíce přerušeno. Proto je vhodné, aby součástí kompostárny byla zastřešená plocha, pod kterou by bylo možné na mimosezónní období stroje z kompostovací linky uschovat [12,25].

3.8.5.4 Pozemní úprava objektu kompostárny

Základem každé kompostárny je zajištěná, popřípadě jen zpevněná plocha. Kompostárna musí být pokaždé oplocena s uzamykatelným přístupem. Po obvodu kompostárny je vhodné vysadit keřové dřeviny, které vytvoří pohlednou dekoraci a opticky oddělí prostor od okolí. Toto živé oplocení také zčásti zamezí přenosu pachových látek přenášených prouděním ovzduší do okolí kompostárny. Součástí kompostárny by měla být jímka na odpadní vodu, protože je možné používat vodu ke zvlhčování kompostu [12,25].

3.8.5.5 Zařízení pro vlhčení kompostu v pásových hromadách

Nejjednodušší úprava vlhkosti v kompostovací zakládce je pomocí postřiku hadicí. Hadice je napojena na rozvod vody nebo na čerpadlo. Je to ale způsob velice pracný a nepřesný z hlediska dávkování požadovaného množství tekutiny pro optimalizaci průběhu kompostovacího procesu. Vhodnější je napojení hadice rovnou na pojíždějící překopávač, který je opatřen rozvodem k jednotlivým postřikovacím tryskám, které zajišťují postřik do hromady kompostu v průběhu překopávání. Tento způsob však potřebuje zařízení pro odvinování, respektive navinování hadice při pojezdu stroje. Jeho nevýhodou je pak snížení manévrovatelnosti překopávače. Proto je nejvýhodnějším řešením zařízení pro vlhčení kompostu, které je součástí překopávače. Jedná se o sestavu, která je složena z přídavné nádrže a je umístěna přímo na překopávači [1,12,25].

3.8.5.6 Biotechnologické přípravky

Během kompostování dochází při rozkládání biomasy k uvolňování řady pachových plynů, které způsobují zápach v okolí zakládek a v jistých lokalitách je potřeba řešit i tento problém. Pro tyto situace je na trhu k dispozici řada biotechnologických přípravků, které dokáží zápach zlikvidovat nebo podstatně omezit. V určitých případech dokonce biotechnologické přípravky stimulují kompostovací proces, čímž dochází ke snížení počtu překopávek [1,12,25].

3.8.5.7 Zařízení pro manipulaci s kompostovací plachtou

Manipulace s plachtou může být zajišťována jednak ručně, což je ale způsob velmi obtížný, či pomocí mechanizace. Z tohoto důvodu jsou v současné době překopávače kompostu vybavovány automatickými navíječi plachet. Položení a stáhnutí plachty na pásovou hromadu kompostu je prováděno přídavným adaptérem, který je umístěn na překopávači, a operace jsou vykonávány naprosto automaticky. Zařízení tvoří zpravidla buben, ze kterého je plachta odvíjena při pokládání a který slouží současně i pro zpáteční navíjení. Určité překopávače jsou vybaveny zařízením, jehož funkce umožní jen zdvihnutí plachty před rotorem překopávače a její následující položení po průjezdu překopávače pásovou hromadou. Ve výjimečných případech lze využít zařízení, které je určeno jen pro manipulaci s plachtami [1,12,25].

3.8.5.8 Plachty pro přikrývání kompostu v pásových hromadách

Hlavní vlastností těchto plachet je schopnost zachytit vodu na povrchu pásové hromady a zároveň umožňovat dostačující výměnu plynů. Vyplavování kompostu musí být minimalizováno z důvodu úbytku živin a prodyšnost plachty musí zabezpečit aerobní průběh kompostovacího procesu. Druhou výhodou používání plachet je zrovnoměnění teplotního pole v celém průřezu pásové hromady. Z toho vyplývá, že při využití plachty nedochází k intenzivnímu chladnutí povrchu pásové hromady. Plachta musí být rovněž odolná vůči ultrafialovému záření a musí též zajistit optimální vlhkost surovin zakládanych do kompostu [1,12,25].

Příkladem plachty, která je vhodná na krytí hromad kompostu a použitelná při technologii monitorovaného mikrobiálního kompostování v pásových hromadách je plachta Top Tex. Plachta je zhotovená z recyklovaného materiálu, je chemicky a biologicky stabilní, odolná vůči mrazu a UV záření. Plachta zajišťuje optimální vlhkoštní podmínky hromady kompostu. Odvádí déšř ze svého povrchu a zajišťuje nejenom ochranu kompostu před vysoušením, větrem a sluncem, ale i minimalizaci vyplavování živin z kompostu. Svými vlastnostmi vede k dobré struktuře kompostu a brání růstu plevelů na povrchu hromady během kompostování [1,25].

Zvláštním způsobem přikrývání kompostu v pásových hromadách je používání kompostovací technologie Ag – bag. Jedná se o kompostování s použitím vaků ve tvaru perforovaného umělohmotného tunelu, do kterého jsou plněny zpracovávané suroviny speciálním strojem. K plnicímu stroji lze zapojit nádrž na zachycování vzduchu, což umožňuje, aby se vak plynule provětrával a bylo možné regulovat zápach v jakékoliv fázi plnění [12,25].

4 METODIKA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjistit, jak rychle dochází ke změnám v surovinách během kompostování. V průběhu kompostování se měřením budou zjišťovat teploty uvnitř hromad i nad hromadami. Teploty značí, jak probíhají rozkladné a další mikrobiologické procesy v kompostovaných hromadách. Též se podle nich určí doby překopávek a ukončení celého procesu. Jako další kontrolované hledisko během kompostování bude vlhkost uvnitř zakládek, která umožňuje spuštění činnosti mikroorganismů v látkách obsažených. K porovnání teplot a rozkladu o stejném surovinovém složení budou založeny dvě hromady. Jeden kompostér se nachází v městys Lukavec, kraji Vysočina a druhý v Praze.

4.1 Surovinové složení

Surovinová skladba kompostu byla navážena na závěsných vahách a zapsána do tabulky 4.

Tabulka 4 – Připravená tabulka na surovinové složení kompostu

Surovina	Hmotnost [kg]

4.2 Výpočet poměru C:N

Přesněji lze surovinovou skladbu kompostu stanovit prostřednictvím programů na výpočet surovinových skladeb kompostů. Nejpřesněji lze určit surovinovou skladbu kompostu jen výpočtem [11].

Výpočet poměru C:N: [11,12]

- **Vztahy pro výpočet poměru C:N u jedné suroviny**
 - pokud je znám procentní obsah uhlíku a dusíku dané suroviny, lze poměr C:N stanovit podle jednoduchého vzorce:

$$C:N = \frac{\%C}{\%N} \quad [-] \quad /1/$$

kde:

% C – obsah uhlíku [%]

% N – obsah dusíku [%]

– obsah živin v nevysušené surovině lze zjistit ze vztahu:

$$\% \text{ živin (ve vlhkém stavu)} = \frac{\% \text{ živin v sušině} * (100 - \% \text{ vlhkosti})}{100} \quad [\%] \quad /2/$$

kde:

% živin – obsah živin ve vlhkém stavu [%]

% živin v sušině – obsah živin v sušině [%]

% vlhkosti – obsah vlhkosti [%]

– podle normy ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ lze poměr C:N stanovit podle vzorce:

$$C:N = \frac{w_3}{W_4 * 2} \quad [-] \quad /3/$$

kde:

w_3 – hmotnostní zlomek spalitelných látek ve vysušeném vzorku [%]

w_4 – hmotnostní zlomek celkového dusíku přepočtený na vysušený vzorek [%]

- **Vztahy pro výpočet poměru C:N u většího počtu surovin**

– u výpočtu poměru C:N u většího počtu vstupních surovin je potřeba vzít v úvahu procentní zastoupení uhlíku a dusíku u každé suroviny a dále tu hraje podstatnou roli aktuální vlhkost každé suroviny

– hodnotu poměru C:N lze vypočítat dosazením náležitých hodnot do vztahu:

$$C:N = \frac{\sum_{i=1}^n \% C_i * W_i * (1 - M_i)}{\sum_{i=1}^n \% N_i * W_i * (1 - M_i)} \quad [-] \quad /4/$$

kde:

W_i – množství i – té suroviny [kg]

M_i – hodnota vlhkosti i – té suroviny [%]

C_i – procentuální obsah uhlíku v sušině i – té suroviny [%]

N_i – procentuální obsah dusíku v sušině i – té suroviny [%]

- výše uvedený vzorec lze interpretovat i tímto způsobem:

$$C:N = \frac{[\% C_1 * m_1 * (1 - V_1)] + [\% C_2 * m_2 * (1 - V_2)] + \dots + [\% C_n * m_n * (1 - V_n)]}{[\% N_1 * m_1 * (1 - V_1)] + [\% N_2 * m_2 * (1 - V_2)] + \dots + [\% N_n * m_n * (1 - V_n)]} \quad /5/$$

kde:

m_1 – celková hmotnost první suroviny [kg]

m_2 – celková hmotnost druhé suroviny [kg]

m_n – celková hmotnost další n – té suroviny [kg]

V_1, V_2, \dots, V_n - vlhkost surovin 1, 2, ... n [%]

$\% C_1, \% C_2, \dots, \% C_n$ – procentuální obsahy uhlíku v sušině surovin 1, 2, ... n [%]

$\% N_1, \% N_2, \dots, \% N_n$ – procentuální obsahy dusíku v sušině surovin 1, 2, ... N [%]

4.3 Metoda stanovení vlhkosti

V průběhu kompostování byla stanovena vlhkost kompostovaných surovin pouze pomocí orientační zkoušky.

Výpočet vlhkosti [11,12]

- Stanovení vlhkosti u jedné suroviny

- pokud není známa vlhkost suroviny, která má být využita v kompostu, je možné ji zjistit laboratorně na základě rozdílu hmotností vysušeného a čerstvého vzorku

$$V_n = \frac{(m_c - m_s)}{m_c} * 100 \quad [\%] \quad /6/$$

kde:

V_n – vlhkost suroviny „n“ [%]

m_c – hmotnost čerstvého, nevysušeného vzorku [g]

m_s – hmotnost vysušeného vzorku [g]

- **Stanovení vlhkosti pro větší množství surovin ve směsi**

- pro výpočet celkové vlhkosti nově založeného kompostu je potřeba znát jednotlivá množství vstupních surovin společně s jejich hodnotami vlhkosti. Potom je možné stanovit konečnou vlhkost směsi dosazením do vztahu:

$$V_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad [\%] \quad /7/$$

kde:

V_c – celková vlhkost [%]

m_i – hmotnost i – té suroviny [kg]

V_i – vlhkost i – té suroviny vyjádřená desetinným číslem [% vlhkosti/100]

- výše uvedený vzorec lze interpretovat následovně:

$$V_c = \frac{(m_1 \cdot V_1) + (m_2 \cdot V_2) + \dots + (m_n \cdot V_n)}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad [\%] \quad /8/$$

kde:

V_c – celková vlhkost [%]

m_1, m_2, \dots, m_n – hmotnost jednotlivých vstupních surovin [kg]

V_1, V_2, \dots, V_n – vlhkosti jednotlivých vstupních surovin vyjádřených desetinným číslem [% vlhkosti/100]

4.4 Metodika měření teploty

Pro měření teploty byl použit zapichovací teploměr. Nejdříve byla odhrnuta vrchní vrstva kompostu, aby vpich teploměru mířil do jejího středu. Měření teploty bylo prováděno v prvních 10 dnech každý den, po té 1 krát za týden. Teploty byly zapisovány do připravené tabulky 5.

Tabulka 5 – Připravená tabulka k měření teploty

datum	teplota v hromadě	teplota nad hromadou	poznámky
12.7.2014			
13.7.2014			
14.7.2014			
15.7.2014			
16.7.2014			
17.7.2014			
18.7.2014			
19.7.2014			
20.7.2014			
21.7.2014			
26.7.2014			
2.8.2014			
9.8.2014			
16.8.2014			
22.8.2014			
30.8.2014			
7.9.2014			
14.9.2014			
20.9.2014			
28.9.2014			
5.10.2014			
12.10.2014			

5 VLASTNÍ PRÁCE

V letním období, 12. 7. 2014 byla provedena zakládka surovin. Byly založeny dva kompostéry stejného surovinového složení tak, aby byly dosaženy co nejlepší výsledky. Jeden kompostér byl založen v kraji Vysočina – Lukavci. Kompostér byl vyroben z dřevotřísky a dno měl prázdné. V kompostéru bylo vyříznuto okénko, z důvodu fotografování vzorků kompostu. Kompostér byl překrýván plachtou, aby byla zvyšována teplota uvnitř kompostu. Dále byl kompost překopáván. Pro porovnání výsledků byl založen druhý kompostér otevřený a bez překopávek v Praze. V předem stanovených intervalech bylo prováděno měření a nafocení vzorků. V případě potřeby docházelo k navlhčení či k překopávání kompostu.

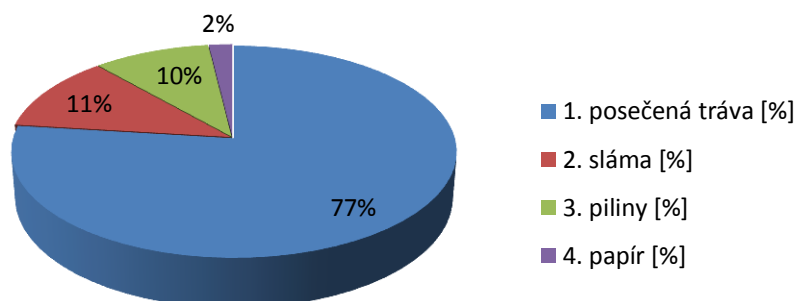
5.1 Analýza vstupních surovin

Hlavní složkou surovinové skladby byla travní hmota. Dále byla přidána sláma, piliny ze smrkového dřeva a papír. Hmotnost jednotlivých vstupních surovin v kompostéru je uvedena v tabulce 6 a na obrázku 21 je zobrazeno poměrové zastoupení surovin v kompostu.

Tabulka 6 – Surovinové složení kompostu

Surovina	Hmotnost [kg]
posečená tráva	160
sláma	24
piliny	20
papír	4

Suroviny kompostu



Obrázek 21 – Graf poměrového složení surovin v kompostu

Před založením kompostu probíhala příprava surovin. Papír byl nastříhán na velikost 5 x 5 cm. Byl použit kancelářský papír, noviny, propagační materiály z lesklého křídového papíru a kartonový papír. Papír byl navážen na digitálních vahách. Dále byly připraveny balíky slámy, pytel pilin. Balík slámy byl rozebrán na částice. Posekaná tráva se připravila na hromadu. Jednotlivé suroviny byly naváženy na závěsných vahách.



Obrázek 22 – Fotografie připraveného papíru

Po vytvoření kompostéru bylo jeho dno vystláno vrstvou trávy. Na trávu byla přidána vrstva slámy, trochu pilin a papíru. Celý proces se opakoval, než došlo ke spotřebě připravených surovin.

5.2 Kompostovací technologie

Pro kompostování je použita technologie kompostování v kompostéru. Jeden kompostér je přikrytý plachtou za účelem urychlení procesu rozkladu a udržení potřebných teplot a vlhkosti v kompostu. Druhý kompostér je otevřený.

Během kompostování byla v každé hromadě sledována teplota. K měření a získávání konečných hodnot byl použit zapichovací teploměr COMARK PDT 300, který je zobrazen na obrázku 23. Teploměr je opatřen tyčovou zapichovací sondou, kterou lze zapíchnout do kompostovací hromady, a takto monitorovat teplotu v celém průřezu hromady. Vpich sondy byl směřován do středu hromady. Naměřené hodnoty byly zapisovány do tabulky 5.

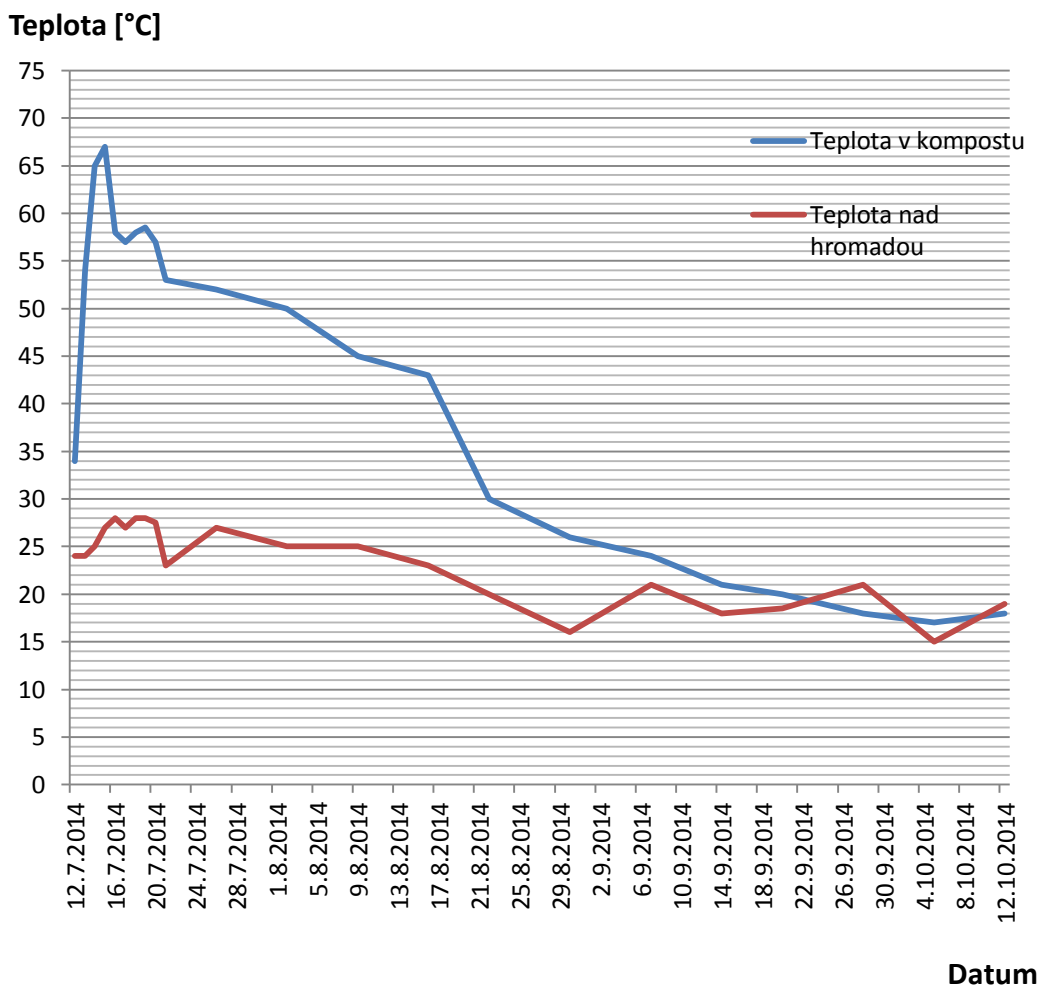


Obrázek 23 – Fotografie zapichovacího teploměru COMARK PDT 300 [36]

Tabulka 7 – Teploty kompostovací hromady 1

Datum	Teplota v kompostu [°C]	Teplota nad hromadou [°C]	Poznámky
12.7.2014	41	24	Zakládka
13.7.2014	68	22	
14.7.2014	69	23	
15.7.2014	72	26	
16.7.2014	67,2	24	
17.7.2014	63	23	
18.7.2014	63,7	24	
19.7.2014	65	25	
20.7.2014	60,1	25	
21.7.2014	57	19,5	
26.7.2014	55	24	
2.8.2014	55,3	22	
9.8.2014	44	22,5	překopávka
16.8.2014	46	26	
22.8.2014	33	17	překopávka
30.8.2014	28,5	13,5	
7.9.2014	33	17	
14.9.2014	25	21	překopávka
20.9.2014	25	15	
28.9.2014	20,5	20	
5.10.2014	20	16	
12.10.2014	22	17	

Hodnoty z tabulky byly vloženy do grafu, aby byl zobrazen přehled průběhu teplot uvnitř kompostovací hromady a nad hromadou. Dále je u hodnot v tabulkách zapsaná poznámka, kdy bylo prováděno překopávání dané hromady.



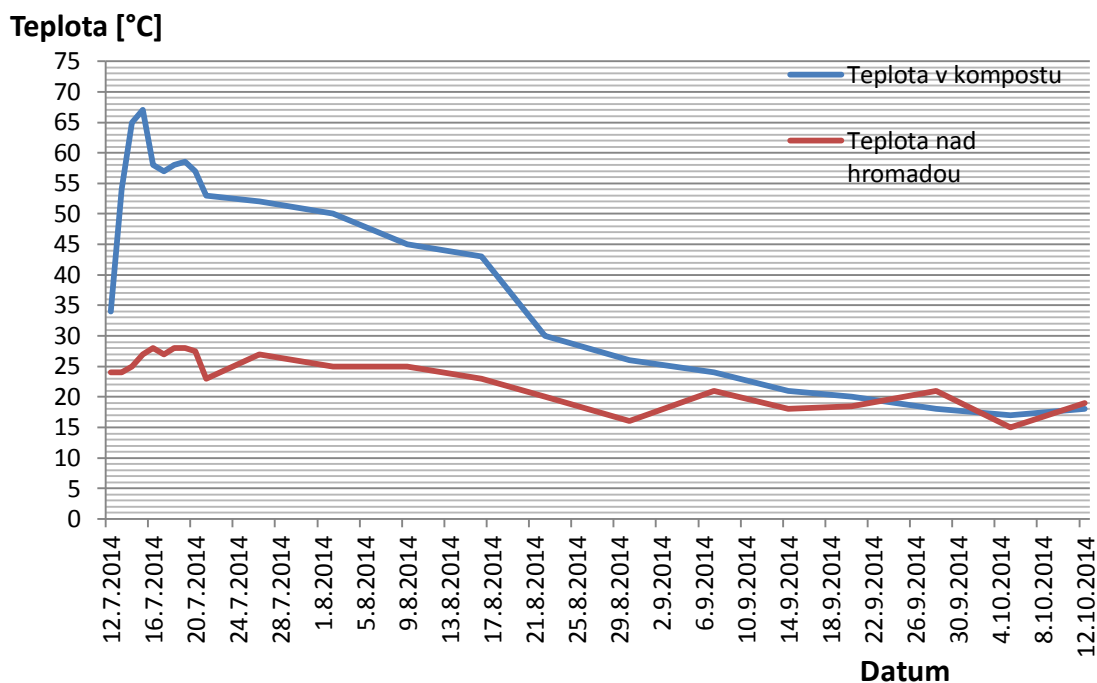
Obrázek 24 – Graf průběhu teplot v kompostovací hromadě 1

Na obrázku 23 jsou graficky znázorněny průběhy teplot v kompostovací hromadě 1. Z grafu je patrné, že kompost byl založen 12. 7. 2014. Začátek kompostování proběhl úspěšně. Během prvních 9 dnů byl zaznamenán prudký nárůst teplot uvnitř kompostéru, a to až na teplotu 72 °C. 2. 8. 2014 začala teplota postupně klesat, tak 9. 8. 2014 následovala první překopávka kompostu. Při překopávce byl kompost prokypřen vidlemi, kompletně promíchán a přehozen, aby byl umožněn lepší přístup vzduchu. Tím se zvýšila teplota o 2 stupně, což mohlo být následkem venkovní teploty či překopáváním. 22. 8. 2014 následovala druhá překopávka a 14. 9. 2014 proběhla poslední překopávka. V této době bylo pozorováno postupné snížení hmoty. Týden před ukončením celého kompostování, tedy 5. 10. 2014 byla zaznamenána teplota pouhých 20 °C uvnitř kompostovací hromady. V den ukončení kompostování, tedy 12. 10. 2014 byla v kompostu naměřena teplota 22 °C.

Nejvyšší teplota nad hromadou byla 26 °C a nejnižší 16 °C, v průběhu procesu teploty kolísaly. V průběhu dozrávání kompostu se teplota kompostu přibližovala teplotě okolí.

Tabulka 8 – Teploty kompostovací hromady 2

Datum	Teplota v kompostu [°C]	Teplota nad hromadou [°C]	Poznámky
12.7.2014	34	24	
13.7.2014	54	24	
14.7.2014	65	25	
15.7.2014	67	27	
16.7.2014	58	28	
17.7.2014	57	27	
18.7.2014	58	28	
19.7.2014	58,5	28	
20.7.2014	57	27,5	
21.7.2014	53	23	
26.7.2014	52	27	
2.8.2014	50	25	
9.8.2014	45	25	
16.8.2014	43	23	
22.8.2014	30	20	
30.8.2014	26	16	
7.9.2014	24	21	
14.9.2014	21	18	
20.9.2014	20	18,5	
28.9.2014	18	21	
5.10.2014	17	15	
12.10.2014	18	19	



Obrázek 25 – Graf průběhu teplot v kompostovací hromadě 2

Na obrázku 25 jsou graficky znázorněny průběhy teplot v druhé kompostovací hromadě. Kompost byl založen ve stejný den jako první kompost, a to 12. 7. 2014 se stejným surovinovým složením. Prudký nárůst teplot byl zaznamenán během prvních 3 dnů, a to až na teplotu 67 °C. Tato kompostovací hromada byla bez překopávek. Od 16. 8. 2014 je z grafu vidět výrazný pokles teplot až na 30 °C. V den ukončení kompostování byla naměřena teplota 18 °C uvnitř hromady. Teplota nad kompostovací hromadou byla na počátku měření 24 °C, ke konci kompostovacího procesu se ochlazovalo a teplota na konci kompostování byla 19 °C.

K porovnání rozkladu kompostu byla použita fotografie z druhé kompostovací hromady, a to z počátku kompostování a z ukončení kompostovacího procesu. Průběh kompostování byl pozorován na kompostovací hromadě 1.

1. Počátek pozorování

Kompostovací hromada 1



Kompostovací hromada 2



Obrázek 26 – Fotografie kompostovací hromady 1 a 2

Při založení kompostu 12. 7. 2014 byly pořízeny fotografie (viz obrázek 26) u obou kompostovacích hromad. Na fotografiích je zobrazena skladba kompostu a jednotlivé vrstvy.

Jak je zobrazeno na fotografiích, tak se první vrstva skládá z čerstvě posečené trávy. Na posečenou trávu byla přidána vrstva slámy a na tu byly nasypány piliny. Dále následovala vrstva papíru. A ve stejném pořadí se vrstvy opakovaly, až došlo ke spotřebě připravených surovin.

Průběh kompostování kompostovací hromady 1 je zobrazen na následujících fotografiích.

2. Druhý a třetí den pozorování - 13. 7. 2014 a 14. 7. 2014



Obrázek 27 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 13. 7. a 14. 7. 2014

Druhý a třetí den od založení kompostéru (viz obrázek 27) dochází k nárůstu teplot uvnitř kompostovací hromady až na teplotu 69 °C. Na kompostovaných surovinách není pozorována zatím žádná změna. Z okénka kompostéru je možné vidět jednotlivé vrstvy kompostu.

3. Průběh pozorování- 15. 7. 2014 a 16. 7. 2014



Obrázek 28 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 15. 7. a 16.7 2014

Během 5 dnů od založení kompostu (viz obrázek 28) došlo k nárůstu teplot. Teplota uvnitř kompostu stoupla až na teplotu 72 °C. Kompost začíná pomalu vlhnout. Z okénka kompostéru je možné pozorovat, jak travní hmota a piliny začínají být mírně mokré. Travní hmota začíná být lehce slehlá. Na papírech a na slámě není pozorována zatím žádná změna.

4. Průběh pozorování - 17. 7. 2014 a 19. 7. 2014



Obrázek 29 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 17. 7. a 19.7 2014

6 den od založení kompostu (viz obrázek 29) mírně klesla teplota na rozdíl od předešlého dne. Teplota uvnitř kompostu se pohybovala kolem 63 °C. To mohlo způsobit menší ochlazení venkovní teploty. 8 den došlo k nárůstu teploty o 2 °C na teplotu 65 °C uvnitř kompostu. Z okénka jsou pozorovány mokré piliny. Travní hmota začíná být vlhčí. Na papíru se zatím neobjevila žádná změna.

5. Průběh pozorování - 20. 7. 2014 a 21. 7. 2014



Obrázek 30 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 20. 7. a 21. 7. 2014

Po 9 dnech od založení kompostu (viz obrázek 30) teplota začala klesat. 10. den klesla až na teplotu 57 °C uvnitř kompostu. Z okénka kompostéru byly pozorovány mokré piliny. Travní hmota čím dál více ulehávala. Na okénku se vlivem vlhkosti zobrazila srážející voda. V celku byl pozorován už jen kartonový papír. Novinový papír už skoro nebyl zpozorován. Objevila se mírně plíseň a bylo zpozorováno snížení objemu kompostu.

6. Průběh pozorování - 26. 7. 2014 a 2. 8. 2014



Obrázek 31 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 26. 7. a 2. 8. 2014

Po 15 dnech 26. 7. 2014 (viz obrázek 31) teplota klesla na teplotu 55 °C. Došlo k postupnému slehnutí materiálu. Piliny a stébla slámy byla mokrá. Travní hmota začala být tmavá. Kartonový papír zatím nebyl rozložen. Byl zaznamenán růst menších hub. Po 22. dnech se objevily houby ze strany uprostřed kompostu.

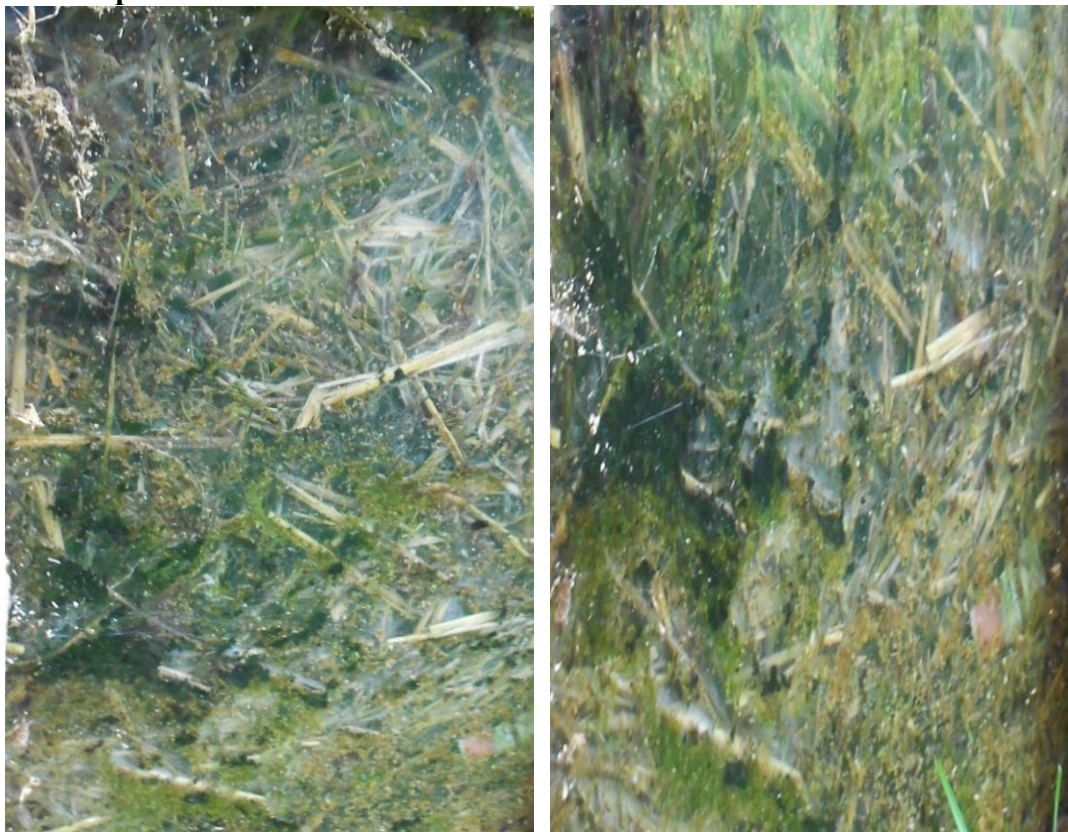
7. Průběh pozorování - 9. 8. 2014 a 16. 8. 2014



Obrázek 32 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 9. 8. a 16. 8. 2014

29. den od založení kompostu (viz obrázek 32) nebyla v kompostu už známka po travní hmotě. Tráva byla rozložena. Kompost se stal polovičním. Byly pozorovány už pouze mokré piliny a sláma. Uvnitř kompostu pořád rostly houby. Z okénka nebyl objeven papír. Došlo k velkému poklesu teploty na 44 °C. 36. den byla provedena překopávka kompostu, aby došlo k promísení a provzdušnění kompostovaných surovin.

8. Průběh pozorování - 22. 8. 2014 a 30. 8. 2014



Obrázek 33 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 22. 8. a 30. 8. 2014

42. den po překopávce kompostu (viz obrázek 33) byla teplota uvnitř kompostu 33 °C. Kompostované suroviny byly promíchány. V celku už bylo jen možné pozorovat stébla slámy. Z okénka už nebyl objeven papír ani kartonový. 50. den teplota klesla na 28,5 °C uvnitř zakládky a následovala další překopávka kompostu.

Po překopávce došlo k promísení surovinového složení. V celku už bylo možné jen pozorovat stébla slámy.

9. Průběh pozorování - 7. 9. 2014 a 14. 9. 2014



Obrázek 34 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 7. 9. a 14. 9. 2014

58. den po překopávce kompostu (viz obrázek 34) se teplota uvnitř kompostu zvýšila o 4, 5 °C na teplotu 33°C. Ze surovinového složení v kompostu už na fotografiích jsou k poznání jen stébla slámy. Travní hmota, piliny a papír už jsou k nerozeznání, došlo k jejich rozložení. 65. den klesla teplota až na 25 °C.

10. Průběh pozorování – 20. 9. 2014 a 28. 9. 2014



Obrázek 35 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 20. 9. a 28. 9. 2014

71. den po poslední překopávce kompostu (viz obrázek 35) se stébla slámy začínají pomalu rozkládat. Došlo k úplnému slehnutí materiálu. Kompost během rozkladu se zmenšil na čtvrtinu oproti velikosti kompostu při založení. 79. den se teplota pohybovala okolo 20,5 °C. Teplota uvnitř kompostu se vyrovnává okolní teplotě.

11. Průběh pozorování – 5. 10. 2014 a 12. 10. 2014



Obrázek 36 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 5. 10. a 12. 10. 2014

87. den (viz obrázek 36) teplota uvnitř kompostu byla 20 °C. Z okénka bylo pozorováno už jen pár nerozložených stébel slámy. 94. den došlo k rozložení kompostu. Na fotografii z 12. 10. 2014 je zobrazen pokles kompostovací hromady na čtvrtinu. V kompostu už nepoznáme trávu, piliny, papír a ani už slámu.

Kompostovací hromada 1, která byla založena v Lukavci a kompostovací hromada 2, která byla založena v Praze, byly porovnány na konci kompostovacího procesu a to 12. 10. 2014.

12. Ukončení kompostovacího procesu

Kompostovací hromada 1



Kompostovací hromada 2



Obrázek 37 – Fotografie ukončení kompostovacího procesu

U kompostovací hromady 1 je na obrázku 37 zobrazeno úplné rozložení surovinové zakládky. V kompostu už nenajdeme jednotlivé složení kompostu. Naproti tomu v kompostovací hromadě 2 nedošlo k úplnému rozložení surovinového složení. Na obrázku je možné vidět nerozložený papír a stébla slámy.

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

V průběhu měření byla vyhodnocena jedna veličina, a to teplota. Při porovnání teplot z měření kompostovací hromady 1 a kompostovací hromady 2 je z grafů patrné, že průběhy teplot v hromadách jsou na začátku kompostování dosti odlišné. Kompostovací hromada 1 měla vyšší teploty uvnitř hromady než kompostovací hromada 2. 15. 7. 2014 překročila teplota uvnitř kompostu 72 °C, což je základní podmínkou hygienizace, tedy odstranění patogenních organismů z kompostu a zamezení jejich dalšímu vzniku. Od 20. 7. 2014 byly až na malé výchyly teploty skoro identické. Teploty nad hromadami během kompostování byly vyšší u kompostovací hromady 2, která byla založena v Praze. V Praze bývají vyšší teploty než v kraji Vysočina.

Kompostovací hromady byly založeny se stejným surovinovým složením. Kompostovací hromada 1 byla přikryta plachtou a kompostovací hromada 2 byla otevřená. Vlivem překopávek kompostu, které promísily a provzdušnily zakládku, došlo k úplnému rozložení u kompostovací hromady 1. U druhé kompostovací hromady na rozdíl od kompostovací hromady 1 nebyla vykonávána překopávka kompostu. Tím nedošlo k provzdušnění kompostu a je možné, že z tohoto důvodu nedošlo k úplnému rozložení papíru a slámy.

Celková doba kompostovacího procesu trvá obvykle tři až šest měsíců. Naopak při řízeném kompostování, kdy se na základě zjištěných záznamů rozvrhuje načasování dílčích operací, je běžná doba v rozmezí od osmi do dvanácti týdnů. Kompostovací zakládka tohoto měření byla ukončena po třinácti týdnech, kdy byla určena dostatečná zralost kompostovací hromady 1. K porovnání výsledků byla ukončena i kompostovací hromada 2, kde kompost nebyl dostatečně uzrálý.

7 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Kompostování je přírodní, člověkem ovládaný proces, při kterém dochází k rozložení biologických odpadů za přístupu vzduchu. Vlivem mikroorganismů a půdních organismů, tak vzniká organické hnojivo nebo-li kompost. Proto, aby průběh kompostování proběhl úspěšně a aby přeměna proběhla v žádaném čase a s požadovaným výsledkem, je potřeba vytvořit optimální podmínky pro činnost a rozvoj mikroorganismů a půdních organismů, které se na kompostování podílejí. Pro svůj život potřebují dostatečné množství rozmanité a vyvážené výživy, ideální velikost potravy, dostatek vzduchu a dostačující vlhkost.

K tomu je potřeba dodržet čtyři zásadní pravidla, a to aby materiály před zamísením do kompostu měli správnou velikost a aby surovinová skladba měla optimální poměr uhlíku a dusíku. Dále je potřeba zabezpečit dostatečné provzdušnění kompostovaného materiálu větracími otvory, které umožní samovolné provzdušňování či překopáváním minimálně 1 – 2x během doby rozkladu. Každé překopávání urychluje rozklad surovin. Mezi další zásadní pravidlo patří správná vlhkost, protože pokud má kompostovaný materiál nedostatek vlhkosti, proces se zpomaluje nebo se zastaví. Nebo pokud je vlhkost nadměrná, dochází k nežádoucímu hnilobnému procesu.

Během léta či při kompostování za tepla dochází ke zvýšení vypařování vody z kompostovaných surovin. Při nízké vlhkosti dochází k prudkému zpomalení, v některých situacích až skoro k zastavení rozkladu. Tomu se může předejít stálou kontrolou vlhkosti. Typickým znakem pro suchý kompost je bělavý plísňový povlak a houbovitý zápach surovin. To je možné upravit přidáním tekutiny nebo čerstvých zelených surovin a kompost promíchat a tím dosáhnout, aby celá směs kompostu byla rovnoměrně vlhká.

Mokřý kompostovaný materiál se lehce pozná na základě nepříjemného zápachu. Následující problém vzniká tehdy, když se do kompostu dá velké množství vlhkých dusíkatých surovin bez toho, aby byly smíchány se suchými strukturovanými materiály. To přispívá k nepřítomnosti vzduchu v kompostu a způsobuje vytvoření hniloby a zápachu.

Pokud by se tomuto problému nevěnovala pozornost, vznikla by místo kvalitního kompostu pouze nezdravá, mazlavá a zapáchající hmota.

Kompostovat je možné různými způsoby a to buď na hromadě, v domácích vyrobených kompostérech, které mohou být vytvořeny z různého materiálu a konstrukce nebo v zakoupených plastových kompostérech. Záleží jen, který způsob bude zvolen.

Mezi základní výhodu kompostování v plastových kompostérech patří, že se dokáže jednodušším způsobem cíleně korigovat rozložení kompostovaných surovin. Z toho vyplývá, že použitím vhodného kompostéru se minimalizuje působení vnějšího prostředí, jako jsou například povětrnostní podmínky, ale též střídání dne a noci, na rozkladný proces. Mezi další výhodu plastového kompostéru patří, že zamezuje nadměrné zamokření kompostovaného materiálu, zabraňuje nadměrnému vysušování, zamezuje přístupu nežádoucích živočichů a hmyzu a má dlouhou životnost. Výše uvedené výhody plastových kompostérů nám zabezpečí bezproblémový rozložení kompostovaných surovin, které dokážou oproti ostatním způsobům zkrátit v některých situacích až o polovinu.

Správný kompostér by měl mít co největší počet provzdušňovacích štěrbin a měl by být vyroben z kvalitního a zdraví neškodlivého materiálu. Kompostér je vhodný umístit tak, aby nebyl poblíž zdroje pitné vody, byl zajištěn kontakt se zemí a aby nebyl vystaven přímému slunci.

V zásadě se může kompostovat veškerý biologický odpad, který se tvoří v domácnosti a na zahradě. Optimální je co nejrozmanitější směs materiálů.

Rychlost zhotovení kompostu je závislá na dodržování základních podmínek kompostování. Vyzrálý kompost je hnědé až tmavě hnědé barvy a nezapáchá. Syrový kompost se používá na půdu na podzim. Vyzrálý kompost se dále může používat kdykoliv a k jakýmkoliv rostlinám. Jeho stálé používání zajišťuje rostlinám dostatek živin v průběhu celého vegetačního období v takové formě a v takovém poměru, který jim velice dobře vyhovuje, udržuje a zlepšuje mechanicko – fyzikální vlastnosti půdy, její pórovitost a hlavně její schopnost udržovat vlhkost, zlepšuje chemické a fyzikálně – chemické vlastnosti půdy, napomáhá biologické činnosti v půdě tím, že zvyšuje množství půdních mikroorganismů a obohacuje půdu o organické látky a humus.

8 ZÁVĚR

V současné době je normální třídit jednotlivé složky odpadu. Ve většině měst a obcí jsou přístupné sběrné nádoby na separované složky domovního odpadu, například na papír, plasty a sklo. V domovním odpadu je ale rovněž podstatně zastoupen biologicky rozložitelný odpad, nebo-li bioodpad. Analýzy směsného odpadu uvedly, že je zde zastoupen přibližně čtyřiceti procenty. V současné době zpravidla končí většinou na skládkách, kde hnije a vytváří se zapáchající skládkové plyny. Základní součástí skládkového plynu je metan, který je současně silným skleníkovým plynem. Výhodnější a šetrnější cesta je tedy bioodpad třídit a využívat ho.

Bioodpad tvoří jediný druh domovního odpadu, který si můžeme sami doma změnit na kvalitní organické hnojivo tzv. kompost. Je až tak běžný, že si často ani neuvědomujeme jeho cenu. Kompost dodává půdě významné minerální látky, zadržuje v ní vlhkost, vyživuje rostliny a působí jako ochrana proti většině škůdců a chorob.

Stačí malá zahrádka a bioodpad z kuchyně a ze zahrady je možné kompostovat. Bioodpady jako například trávu, listí, našťípané větve, pozůstatky ovoce a zeleniny je možné kompostovat na volné hromadě či v zásobnících tzv. kompostérech. Ty se můžou zakoupit v obchodech se zahradnickými potřebami nebo snadně vyrobit. Na rozložení surovin v kompostu se podílí bakterie, houby a další živočichové. Organismy vyžadují dostatek vzduchu a vody, tudíž je nutné sledovat vlhkost kompostu a překopávat ho. Kompost je lepší osázet rostlinami například dýní, protože listy rostlin chrání kompost před prudkým sluncem a přívalovým deštěm a kompost dává rostlinám živiny.

Připravený kompost můžeme použít ke hnojení trávníků, záhonů a domácích květin. Přeměnou bioodpadů ze zahrady a z kuchyně je možné si zadarmo vytvořit jedinečné organické hnojivo, které obsahuje humusové látky zvětšující kvalitu půdy. Humus na sebe dokáže vázat vodu, živiny a podstatně tak má vliv na strukturu, kyprost a mikrobiální osídlení půdy.

Ale ne každý má svojí zahradu, na které by mohl kompostovat. V dnešní době však existují i jiné možnosti jak využít bioodpad. Například kdo bydlí v panelovém domě, může se sousedy založit komunitní kompostoviště. Ve specifických boxech, které jsou uzamykatelné a brání dostupnosti hlodavců, je možné kompostovat bioodpady z kuchyně a z přilehlé zeleně. Konečný kompost je především využíván v místě vzniku. Může se využít na přípravu substrátu pro pokojové rostliny nebo ho použít na zeleň v okolí domu. Komunitní

kompostování má různorodou podobu, která závisí na velikosti komunity, která se do činnosti začlení. Typické pro tento druh kompostování je dohled pověřené osoby nad provozem kompostoviště. I při tomto způsobu je nutné zabezpečit provzdušňování kompostu a stále sledovat čistotu vstupní suroviny.

Dále je možné využívat bioodpady také v uzavřených objektech. Příkladem může být vermikompostování, při kterém se využívá schopnosti žížal přeměňovat rostlinné pozůstatky na velice kvalitní organické hnojivo. K vermikompostování si lze zakoupit speciální nádoby nebo si je vytvořit. Vermikompostér se může umístit na balkón, do garáže, do předsíně či do jiné místnosti. Podstatné je vždy zabezpečit pro žížaly optimální teplotu. K tomuto způsobu kompostování se používají speciální druhy žížal, které jsou schopné rychleji rozkládat organickou hmotu.

V dnešní době existuje řada technologií, které umožňují využívat bioodpady v uzavřených prostorech. Individuální způsoby jsou využívány hlavně v zahraničí. Se zvyšující se osvětou a dosažitelností dílčích technik lze očekávat jejich rozvíjení a rozšíření.

Převážná většina měst a obcí poskytuje občanům svoz zahradního odpadu nebo příležitost odevzdávat bioodpad ve sběrných dvorech. Druhou možností je sběr bioodpadů do zvláštních hnědých sběrných nádob. Tímto způsobem vytríděný bioodpad se sváží častokrát na kompostárnu, kde se zpracovává na kompost.

Kompostování má tedy vlivný vliv na životní prostředí a je to ekologicky nejvhodnější způsob nakládání s odpady.

Použité zdroje

- [1] KOLLÁROVÁ, M.; 2007: *Zásady pro obhospodařování trvalých travních porostů*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 53 s. ISBN 978-80-86884-20-2.
- [2] VOKOUNOVÁ, H; *Způsoby obhospodařování trvalých travních porostů*. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita
- [3] KLIMEŠ, F.; 1997: *Lukařství a pastvinářství: ekologie travních porostů*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1. vyd., 140 s. ISBN 80-704-0215-6.
- [4] *Hospodaření na půdě ve zranitelných oblastech se zřetelem na trvalé travní porosty*. [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/hospodareni-na-pude-ve-zranitelnych-oblastech-se-zretelem-na-trvale-travni-porosty>
- [5] KOLLÁROVÁ, M., et al.; *Zásady pro zpracování zbytkové biomasy z údržby TTP*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-808-6884-325
- [6] *Hodnocení kvality sena a senáží* [online]. [cit. 2015-02-23]. http://www.google.cz/url?url=http://opr.zf.jcu.cz/docs/predmety/Lukarstvi-a-pastvinarstvi-f868e98de8.doc&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=qkTrVPOUDs_taMrageAG&ved=0CBQQFjAA&usg=AFQjCNGQvSrL8608hQlvAq_FbFrv1AOuFQ
- [7] *Silážování jazykem zemědělců*. [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://nutrivet.cz/konz/silazovani.pdf>
- [8] *Farma Ovčí stezka* [online]. [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.ovcistezka.cz/index.php?page=interier&id=054&idsub=0123>
- [9] *Multimediální texty do pastvinářství a lukařství - Sklizeň píce pro výrobu sena a siláží*. [online]. 4.1.2014 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=2158
- [10] *Sborník z II. mezinárodní konference Biologicky rozložitelné odpady, jejich zpracování a využití v zemědělské a komunální praxi*. Náměšť nad Oslavou, 2006. ISBN 80-903548-1-5.
- [11] ALTMANN, V., Petr Vaculík. *Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010. ISBN 978-802-1320-222.
- [12] PLÍVA, P., et al.; *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. 1. vyd. Praha: ProfiPress, 2009. ISBN 978-808-6726-328.
- [13] ZEMÁNEK, P.; *Speciální mechanizace: mechanizační prostředky pro kompostování*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80-715-7561-5.

- [14] VÁŇA, J.; *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, 1994. ISBN 80-710-5075-X.
- [15] *Trojúhelníkový profil hromady kompostu*. [online]. [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/trojuhelnikovy-profil-hromady-kompostu>
- [16] TESAŘOVÁ, M., et al. *Biologické zpracování odpadů*. první, 2010. v Brně: Mendelova univerzita, 2010. ISBN 978-80-7375-420-4.
- [17] *Lichoběžníkový profil hromady kompostu*. [online]. © 2001-2009 [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/lichobeznikovy-profil-hromady-kompostu>
- [18] *Zařízení pro intenzivní kompostovací technologie*. [online]. [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/doporuc/ekolog/pliva22.htm>
- [19] *Technika zpracování odpadů* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://studium.pavelmach.cz/downloading/studium/kompostovani_2009.pdf. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- [20] *Nakládání s biologickými odpady v provincii Miláno (4) Compostaggio Lodigiano S.r.l.* [online]. © 2001-2009 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologickymi-odpady-v-provincii-milano-4-compostaggio-lodigiano-s-r-l>
- [21] *Metodický návod - komunitní/ obecní kompostárna*. [online]. 2012 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: http://www.krvysocina.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=450008&id_dokumenty=4045843
- [22] *Kompostování ve vaku – II. / Komunální technika*. [online]. 2013 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://komunalweb.cz/kompostovani-ve-vaku-ii/>
- [23] HANČ, A. a PLÍVA, P.; *Vermikompostování bioodpadů*. Česká zemědělská univerzita. Praha, 2013. ISBN 978-80-213-2422-0.
- [24] JELÍNEK, A. a KOLLÁROVÁ; *Monitorování průběhu kompostovacího procesu*. s. 1-7. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/clanky/zivotniprostredi/0412kompomonitor.pdf?menuid=159>
- [25] PLÍVA, P. *Technika pro kompostování v pásových hromadách*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005, 72 s. ISBN 80-868-8402-3.
- [26] *Kompostování zbytkové biomasy*. [online]. České sdružení pro biomasu, © 2001-2009 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>
- [27] *Kolový traktor ZETOR 7540*. [online]. © Autoline, Ltd. 2002-2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://autoline-eu.cz/sf/zemedelsky-stroj-kolovy-traktor-ZETOR-7540-14061115122873617100.html>
- [28] *Univerzální nosič Reform Metrac H7 SX*. [online]. © 2006 – 2015 PROFISTROJE.CZ [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: http://www.profistroje.cz/univerzalni-nosic-reform-metrac-h7-sx_137.html

- [29] *Čelní nakladač CN14*. [online]. Copyright (c) 2009 Traktorservis s.r.o. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.traktorservis.cz/Produkty-H4/Nakladace-C666/Celni-nakladac-CN14-P42396/>
- [30] PLÍVA, Petr. *Strojní vybavení kompostovací linky*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 16 s. ISBN 978-80-86884-33-2.
- [31] *Drtič větví Bystron Barakuda*. [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.zvagro.cz/katalog-zemedelske-techniky/drtic-vetvi-bystron-barakuda.php>
- [32] *Štěpkovače*. [online]. COMPANY | 2013 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.greenmech.cz/stepkovace>
- [33] *Nesený překopávač kompostu*. [online]. Copyright © 2015 - STS Prachatice [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.stsprachatice.cz/neseny-prekopavac-kompostu.html>
- [34] *Prosévací zařízení a síta*. [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://agointegsweb.webmium.com/prosevaci-zarizenisita>
- [35] FLOWERDEW, Bob. *Kompost*. Vyd. 1. V Praze: Metafora, 2011, 112 s. Biozahrada. ISBN 978-80-7359-274-5.
- [36] *Pocket Digital Thermometerwiththin tip probe | Comark*. [online]. © Comark - A FlukeCompany [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.comarkinstruments.com/pocket-digital-thermometer-pdt300>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Fotografie sušení sena [8].....	4
Obrázek 2 – Fotografie konzervování ve formě balíků [9].....	6
Obrázek 3 – Schéma vizualizace kompostárny pro kompostování na volné ploše v pásových hromadách [11].....	14
Obrázek 4 – Schéma provzdušňování u trojúhelníkového profilu hromady [15]	15
Obrázek 5 – Schéma provzdušňování u lichoběžníkového profilu hromady [17]	15
Obrázek 6 – Fotografie kompostovacího zařízení v boxech [13,19].....	17
Obrázek 7 – Fotografie kompostování v kompostovacích žlabech [13,19].....	18
Obrázek 8 – Fotografie bioreaktoru [20]	18
Obrázek 9 – Fotografie kompostování ve vaku [22]	20
Obrázek 10 – Fotografie vermikompostování [1,23].....	21
Obrázek 11 – Fotografie schématu měřících míst [5,12].....	24
Obrázek 12 – Fotografie orientační zkoušky vlhkosti [5,11,12].....	25
Obrázek 13 – Fotografie kompostovací linky[26].....	31
Obrázek 14 – Fotografie kolového traktoru [27].....	32
Obrázek 15 – Fotografie univerzálního nosiče nářadí [28].....	32
Obrázek 16 – Fotografie čelního nakladače [29].....	33
Obrázek 17 – Fotografie drtiče [31].....	35
Obrázek 18 – Fotografie štěpkovače [32]	37
Obrázek 19 – Fotografie neseného překopávače kompostu [33]	39
Obrázek 20 – Fotografie prosévacího zařízení [34].....	41
Obrázek 21 – Graf poměrového složení surovin v kompostu	50
Obrázek 22 – Fotografie připraveného papíru.....	51
Obrázek 23 – Fotografie zapichovacího teploměru COMARK PDT 300 [36].....	52
Obrázek 24 – Graf průběhu teplot v kompostovací hromadě 1.....	53

Obrázek 25 – Graf průběhu teplot v kompostovací hromadě 2.....	54
Obrázek 26 – Fotografie kompostovací hromady 1 a 2	55
Obrázek 27 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 13. 7. a 14.7 2014	56
Obrázek 28 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 15. 7. a 16.7 2014	57
Obrázek 29 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 17. 7. a 19.7 2014	57
Obrázek 30 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 20. 7. a 21.7 2014	58
Obrázek 31 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 26. 7. a 2. 8. 2014	59
Obrázek 32 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 9. 8. a 16. 8. 2014	59
Obrázek 33 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 22. 8. a 30. 8. 2014	60
Obrázek 36 – Fotografie průběhu kompostování hromady 1 – 5. 10. a 12. 10. 2014	62
Obrázek 37 – Fotografie ukončení kompostovacího procesu	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Plošné zastoupení jednotlivých biomů, resp. kultur na Zemi[3].....	3
Tabulka 2 – Hodnoty poměru C:N u některých materiálů používaných při kompostování [11]	11
Tabulka 3 – Parametry trojúhelníkové profilu pásové hromady [13].....	15
Tabulka 4 – Připravená tabulka na surovinové složení kompostu	45
Tabulka 5 – Připravená tabulka k měření.....	49
Tabulka 6 – Surovinové složení kompostu	50
Tabulka 7 – Teploty kompostovací hromady 1	52
Tabulka 8 – Teploty kompostovací hromady 2	54