

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Technická fakulta

Katedra využití strojů

## ZPRACOVÁNÍ KALŮ TECHNOLOGIÍ KOMPOSTOVÁNÍ

Diplomová práce

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

Vypracoval: Bc. Jaroslav MAZÁČEK

Praha 2011

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Jaroslav Mazáček**

obor Technika a technologie zpracování odpadů

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Zpracování kalů technologií kompostování**

## Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Literární rešerše
4. Vlastní práce
5. Závěr
6. Seznam literatury
7. Přílohy



Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

Voštová, V., – Altmann, V., – Fries, J., – Jeřábek, K.: 2009. Logistika odpadového hospodářství. ČVÚT Praha, 5 - Technické vědy, ISBN 978-80-01-04426-1, 1. vydání, 349 s.

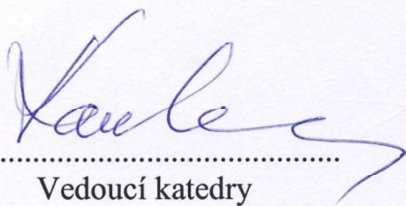
Altmann, V., – Vaculík, P., – Mimra, M.: 2010. Technika pro zpracování komunálního odpadu, ČZU Praha, Powerprint s.r.o., ISBN 978-80-213-2022-2, 1. vydání, 120 s.

Plíva a kol.: 2009. Kompostování na volné ploše v pásových hromadách Profi Press, s.r.o., 136 ISBN: 978-80-86726-32-8 1. vydání, 136 s.

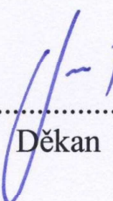
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vlastimil Altmann, Ph.D.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

  
Vedoucí katedry



  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně s pomocí literatury uvedené v seznamu zdrojů diplomové práce.

V Radonicích dne 9. 4. 2011

Jaroslav Mazáček

## **Poděkování**

Děkuji panu doc. Ing. Vlastimilu Altmannovi, Ph.D. za rady a připomínky k vypracování diplomové práce. Děkuji také panu Ing. Petru Plívovi, CSc. za umožnění účasti na probíhajícím experimentu ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky, v.v.i. Dále bych rád poděkoval Ing. Stanislavu Laurikovi za pomoc, rady a vedení v průběhu experimentu.

V Radonicích dne 9. 4. 2011

Jaroslav Mazáček

**Abstrakt:** Ve druhé kapitole po kapitole „Úvod“ je popsán současný stav řešené problematiky, druhy a vlastnosti bioodpadů a je přiblíženo legislativní prostředí. Dále následuje přehled technologií a organizace kompostování. Kapitola je uzavřena popisem průběhu aerobní přeměny, důležitých parametrů kompostování a používané techniky. V následující kapitole „Vlastní práce“ je charakterizován provoz a uspořádání stávající kompostárny včetně všech nedostatků. Následuje výběrové řízení na nákup třídící a drtící lopaty a jeho ekonomické posouzení. Vzhledem ke komplikacím s dodávkou čistírenských kalů nemohl být uskutečněn původně zadaný experiment „Zpracování čistírenských kalů technologií kompostování“. V části kapitoly je tak popsáno měření průběhu teplot, které ověřovalo vhodnost použití teploměrů s bezdrátovým přenosem dat pro řízení kompostovacího procesu. Výsledky měření a návrhu nákupu třídící a drtící lopaty jsou uvedeny v kapitole „Závěr“.

**Klíčová slova:** kompostování, biologicky rozložitelný odpad, teploměr, třídící a drtící lopata

## **Processing of sludge by composting technology**

**Summary:** In the second chapter after chapter “the introduction” is described the current situation of tackled issue, legislation and types and properties of bio-wastes. It is followed by an overview of composting technology and organization. The chapter is concluded by description of the aerobic conversion, important parameters of composting process and applied technique. In the chapter “The main work” is characterized function and arrangement of compost plant, including any deficiencies. The following is a tender for the purchase of screener - crusher and its economic assessment. Due to complications with the delivery of sewage sludge could not have been made initially intended experiment “Processing of sludge by composting technology”. In one part of the chapter is described measurement of the temperature, which audited the appropriateness of the use of thermometers wireless data transmission to manage the composting process. The measurement results and the proposal of purchase screener - crusher are listed in the chapter "Conclusion".

**Key words:** composting, biodegradable waste, thermometer, screener - crusher

## Obsah:

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE A METODIKA</b> .....	<b>2</b>
2.1	CÍL PRÁCE .....	2
2.2	METODIKA MĚŘENÍ TEPLOTY KOMPOSTU .....	2
2.1.1	<i>Stanovení místa měření teploty v pásové hromadě</i> .....	2
2.1.2	<i>Způsob zapichování měřicí sondy</i> .....	2
2.1.3	<i>Časové intervaly měření teploty</i> .....	4
2.1.4	<i>Záznam naměřených hodnot teplot</i> .....	4
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>7</b>
3.1	KOMPOSTOVÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE .....	7
3.2	BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉ ODPADY .....	7
3.2.1	<i>Zemědělské bioodpady</i> .....	8
3.2.2	<i>Komunální bioodpady</i> .....	9
3.2.3	<i>Kaly z čistíren odpadních vod</i> .....	10
3.2.4	<i>Legislativa biologicky rozložitelných odpadů</i> .....	11
3.3	TECHNOLOGIE A ORGANIZACE VÝROBY KOMPOSTU .....	13
3.3.1	<i>Technologie výroby kompostu</i> .....	13
3.3.2	<i>Způsoby organizace výroby kompostu</i> .....	19
3.4	KOMPOSTOVÁNÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ .....	25
3.4.1	<i>Přeměna organických látek</i> .....	27
3.4.2	<i>Důležité parametry kompostovacího procesu</i> .....	28
3.4.3	<i>Surovinová skladba</i> .....	31
3.5	TECHNIKA PRO ZPRACOVÁNÍ BIOODPADŮ .....	32
3.5.1	<i>Energetické prostředky</i> .....	33
3.5.2	<i>Drtiče a štěpkovače</i> .....	33
3.5.3	<i>Překopávače kompostu</i> .....	34
3.5.4	<i>Prosévací zařízení</i> .....	34
3.5.5	<i>Separáčnické zařízení</i> .....	35
3.5.6	<i>Ostatní zařízení a vybavení kompostárny</i> .....	35
<b>4</b>	<b>VLASTNÍ PRÁCE</b> .....	<b>37</b>
4.1	OBJASNĚNÍ ÚKOLU.....	37

4.2	CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍ VÝROBY .....	37
4.3	USPOŘÁDÁNÍ STÁVAJÍCÍHO TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ .....	38
4.3.1	<i>Stavební objekty kompostárny.....</i>	38
4.3.2	<i>Inženýrské sítě .....</i>	38
4.4	NEDOSTATKY STÁVAJÍCÍHO PROVOZU .....	44
4.5	VÝCHOZÍ PODMÍNKY .....	44
4.6	INOVACE EXPERIMENTÁLNÍ KOMPOSTOVACÍ LINKY .....	44
4.6.1	<i>Volba třídící a drtící lopaty.....</i>	44
4.6.2	<i>Výběrové řízení .....</i>	47
4.7	MĚŘENÍ .....	48
4.7.1	<i>Měření objemové hmotnosti vstupních surovin.....</i>	48
4.7.1	<i>Založení kompostu .....</i>	49
4.7.2	<i>Výsledný kompost .....</i>	50
4.7.3	<i>Měření teploty.....</i>	50
4.8	TEORETICKÝ ROZBOR TŘÍDÍCÍ A DRTÍCÍ LOPATY .....	55
4.9	EKONOMICKÉ POSOUZENÍ NÁKUPU TŘÍDÍCÍ A DRTÍCÍ LOPATY .....	56
4.9.1	<i>Výpočet kapacity komerčního provozu .....</i>	57
4.9.2	<i>Charakteristika investičního záměru.....</i>	59
4.9.3	<i>Celkové investiční náklady .....</i>	59
4.9.4	<i>Výpočet cash - flow .....</i>	60
4.9.5	<i>Stanovení základních ukazatelů hodnocení .....</i>	61
4.9.6	<i>Závěrečné shrnutí ekonomického posouzení .....</i>	62
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>69</b>



# 1 Úvod

V minulých dobách neexistoval pojem biologicky rozložitelný odpad. Všechny materiály dnes tímto pojmem označovaný byl pro zemědělce velmi cenný zdroj živin, jejichž zapravení do půdy znamenalo příslib bohaté úrody.

Přestože biologicky rozložitelný odpad má i dnes stejné vlastnosti a dobré předpoklady pro zemědělské využití, není využíván tak, jak by využívan měl být. Dnes je touto cennou surovinou nevhodně plýtváno a velké množství bioodpadů je v rozporu se směrnicemi EU skládkováno. Dochází tak ke ztrátě živin a humusu, který by pomohl udržet klesající úrodnost zemědělské půdy.

Technologie kompostování patří mezi nejstarší způsoby využívání odpadů. Dnes kompostování představuje jeden z hlavních způsobů zpracování biologických odpadů a i přes obtížnou ekonomickou situaci se bude zřejmě dále rozvíjet. I z důvodů dalšího rozvoje kompostování probíhají na experimentální kompostovací lince Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i. experimenty, které mají za cíl ověřit nové techniky kompostování.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem diplomové práce je návrh inovace experimentální kompostovací linky Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i. Inovovaný prvek bude vybrán ve výběrovém řízení. Na základě informací získaných díky kontaktu s distributory bude nákup vybraného stroje ekonomicky posouzen. Dále bude experimentálně ověřena vhodnost použití zapichovacích teploměrů s bezdrátovým přenosem dat pro sledování teploty kompostu. Experiment proběhne také na experimentální kompostovací lince Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i.

### **2.2 Metodika měření teploty kompostu**

K zajištění správného průběhu kompostovacího procesu a dostatečné hygienizaci biologicky rozložitelných odpadů je třeba, aby teplota kompostu dosáhla určité hodnoty. Tato teplota musí být udržena po určitou dobu. Požadované teploty jsou rozdílné podle právního předpisu podle, kterého se při kompostování postupuje a podle vstupních surovin (viz tab. 1). [5]

#### **2.1.1 Stanovení místa měření teploty v pásové hromadě**

Počet měřících míst a jejich rozložení závisí na celkové délce pásové hromady a lze je určit dle tabulky 2. Po celou dobu měření je třeba zachovávat stejná měřící místa a měřit zde po celou dobu kompostování. [5]

#### **2.1.2 Způsob zapichování měřící sondy**

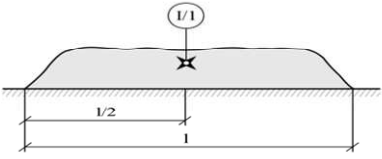
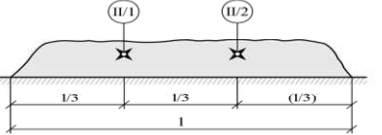
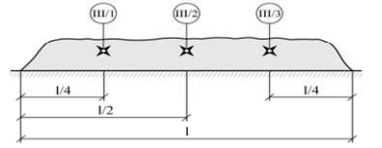
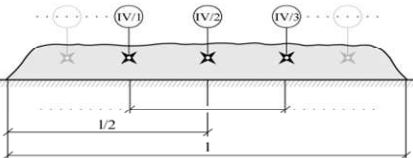
Zapichovací sonda musí být umístěna kolmo k povrchu hromady tak, aby mířila do přibližného středu jejího profilu. Hloubka vpichu je určena z celkové výšky hromady (viz tab. 3). Sonda může být v hromadě zapíchnuta i šikmo, ale je třeba zajistit, aby sonda dosáhla správného měřícího místa. [5]

Tab. 1 Požadované teploty při kompostování

Poř. čís.	Kompostované suroviny	Pož. teplota	Interval požadované teploty	Předpis
1	tuhé komunální odpady, kanalizační kaly, farmaceutické kaly, suroviny s podezřením na obsah patogenních organismů	55 °C	21 dní	ČSN 46 5735
2	ostatní suroviny, neuvedené v řádku 1	45 °C	5 dní	ČSN 46 5735
3	vedlejší živočišné produkty	≥ 70 °C	min. 1 hodina	Nařízení EP a rady (ES) č. 1774/2002
4	odpady ze zahrad a zeleně (malá zařízení)	≥ 45 °C	5 dní	Vyhláška č. 341/2008 Sb.
5	odpady ze zahrad a zeleně, zbytková biomasa ze zemědělství, (otevřené kompostárny)	≥ 45 °C	10 dní	Vyhláška č. 341/2008 Sb.
6	biologicky rozložitelné odpady dle přílohy č. 1 vyhlášky, seznam A (otevřené kompostárny)	≥ 55 °C	21 dní	Vyhláška č. 341/2008 Sb.
		≥ 65 °C	5 dní	
7	biologicky rozložitelné odpady dle přílohy č. 1 vyhlášky, seznam A (uzavřené kompostárny)	≥ 65 °C	5 dní	Vyhláška č. 341/2008 Sb.

Zdroj: [5]

Tab. 2 Doporučený počet měřicích míst v závislosti na délce hromady

Délka hromady l [m]	Schéma	Počet měřicích míst	Poznámka
< 15		1	
15 – 30		2	
30 – 60		3	
> 60		3 + x	x... dle uvážení provozovatele

Zdroj: [5]

### 2.1.3 Časové intervaly měření teploty

První týden od založení hromady je nutné měřit teplotu kompostu každodenně. Od osmého dne do ukončení kompostování se teplota měří alespoň jednou za 3 až 4 dny. [5]

### 2.1.4 Záznam naměřených hodnot teplot

#### 2.1.4.1 Ruční zápis zjištěných hodnot teplot do tabulky,

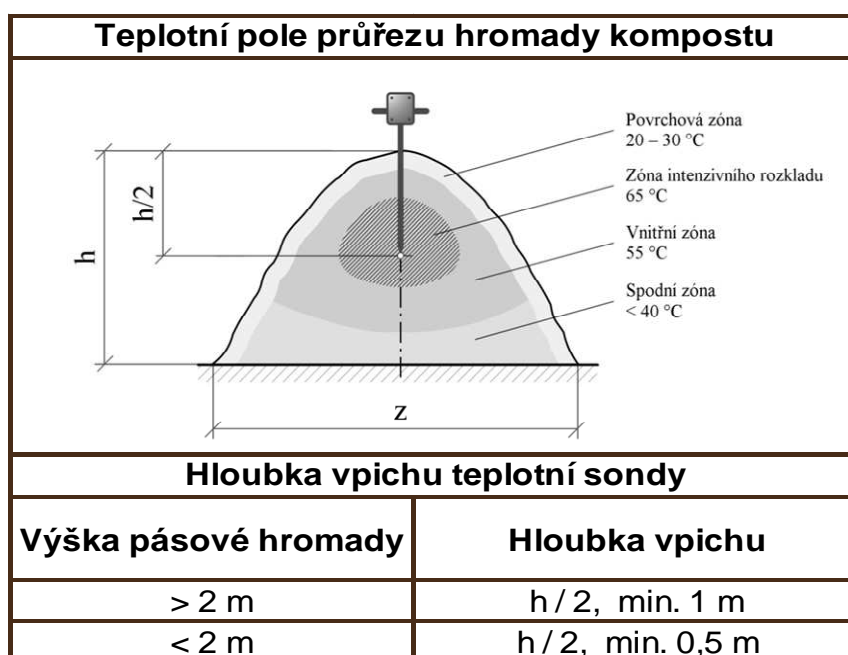
Měření teplot kompostu se provádí na určených a označených měřicích místech. Opakovaná měření je vždy nutné provádět na stejném místě

a zaznamenávat pod stejným označením. Odečtené hodnoty jsou zapisovány do tabulky v provozním deníku. [5]

#### 2.1.4.2 Automatický záznam naměřených teplot do záznamníku dat

Měření teplot kompostu se provádí pouze na určených a označených měřicích místech, kde na každé měřicí místo připadá jedna měřicí souprava. Měřicí souprava se skládá ze zapichovací sondy a záznamníku dat (dataloggeru). Měření probíhá automaticky v předem nastavených časových intervalech, naměřené hodnoty mohou být kdykoliv kontrolovány na displeji teploměru. Měřicí souprava se z hromady vyjímá pouze z důvodu překopávání. Po ukončení měření a odpojení od zapichovací sondy jsou záznamníky dat připojeny k osobnímu počítači a pomocí softwaru zpracovány do protokolů a grafů. [5]

Tab. 3 Hloubka vpichu teplotní sondy



Zdroj: [5]

### **2.1.4.3 *Bezdrátový přenos naměřených hodnot***

Měření teplot kompostu se opět provádí pouze na určených a označených měřicích místech, kde na každé měřicí místo připadá jeden zapichovací teploměr vyjímáný z kompostovací hromady jen při překopávce. [5]

Měření probíhá v předem nastavených intervalech a naměřené hodnoty jsou ukládány do vnitřní paměti teploměru. V delších časových intervalech jsou uložené hodnoty odesílány do osobního počítače. Přenos dat probíhá na vzdálenost až 500 m. Při použití opakovače (jako opakovač může sloužit i jiný teploměr s bezdrátovým přenosem dat) lze data přenášet až na vzdálenost 2000 m. Uložené hodnoty lze exportovat do programu Excel a zpracovat do protokolů a grafů. [5]

## **3 Literární rešerše**

### **3.1 Kompostování v České republice**

Kompostování je technologie s velmi dlouhou historií. První zmínky o kompostování lze nalézt už ve starých čínských tiscích. [16] Historie průmyslového kompostování na našem území se píše od roku 1915, kdy bylo v Praze – Bubenci vybudováno jedno z prvních evropských zařízení pro řízené kompostování. Od roku 1915 až do roku 1987 se kompostování v Čechách rozvíjelo a v roce 1987 dosáhla produkce svého vrcholu, když bylo zaevidováno rekordních 2,8 mil. t kompostu. [14]

Rozvoj kompostování mezi léty 1955 a 1989 byl zapříčiněn silnou státní podporou. Restrukturalizace zemědělského sektoru po pádu komunizmu měla za následek konec státní podpory a výrazný propad produkce kompostu přibližně na desetinu maximální produkce z roku 1989. S restrukturalizací zemědělství se změnilo i využití kompostu. Masové využití pro pěstování potravin skončilo a nahradilo jej využití pro rekultivace skládek a údržbu veřejné zeleně. [14]

Opětovný nárůst zájmu o kompostování nastal po roce 1998 díky státní podpoře hnojení registrovaným kompostem, která však byla zakrátko ukončena. [3, 14]

### **3.2 Biologicky rozložitelné odpady**

Za biologicky rozložitelný odpad (dále BRO) neboli bioodpad lze považovat všechny odpady podléhající aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. BRO zahrnuje biologicky rozložitelné komunální odpady (dále BRKO), odpady ze zemědělství, z lesnictví, z potravinářství, z textilního průmyslu, z papírenství, ze zpracování kůží a dřeva. Dále do této skupiny patří i některé vodárenské

a čistírenské kaly, obalový odpad a z látkového hlediska k těmto odpadům patří i vedlejší živočišné produkty nesloužící k lidské spotřebě. [7]

Mnoho biologicky rozložitelných materiálů vznikajících při výrobě není považováno za odpad. Tyto materiály lze považovat za druhotné suroviny nebo vedlejší produkty a jsou tedy dále využívány. [7]

Zřejmě nejproblematictější sloužkou BRO je tedy BRKO. Sběr a nakládání s ním velmi ztěžují jeho nestejnorodé vlastnosti. Po léta běžně využívané skládkování představuje významnou ekologickou zátěž životního prostředí. Ekonomicky náročné a obtížné je vzhledem k vysokému obsahu vody i energetické využití. Využití BRKO k výrobě kompostu se tak jeví jako vhodná možnost.

### **3.2.1 Zemědělské bioodpady**

Zemědělská výroba produkuje velmi významné množství zbytkové neboli odpadní biomasy. Živiny, které tato biomasa obsahuje, je vhodné navrátit zpět do půdy ve formě kompostu bohatého na humusové látky.

#### **3.2.1.1 Bioodpady z rostlinné výroby**

Rostlinné bioodpady vznikají především při zpracování zemědělských plodin. V České republice je také k chovu klesajících stavů skotu a prasat využíváno převážně bezstelivového ustájení. Vzniká tedy nadbytek slámy, která je tak hlavním rostlinným bioodpadem ze zemědělské výroby. [9, 17]

Sláma má nízký obsah dusíku a široký poměr C : N. Velmi dobře ji lze využít ke zvýšení pórovitosti pro kompostování málo pórovitých materiálů. Kromě kompostování lze slámu a ostatní zemědělské bioodpady spalovat nebo zpracovat anaerobní fermentací. [2, 17]

Bioodpady vznikají samozřejmě i v dalších odvětvích rostlinné výroby, ale jejich množství je ve srovnání se slámou poměrně malé.



### **3.2.1.2 Bioodpady z živočišné výroby**

Klasický vedlejší produkt živočišné výroby je chlévská mrva (slamnatý hnůj). Jedná se o směs steliva, moči a výkalů. Chlévská mrva vždy byla velmi cenné hnojivo, které umožňovalo téměř dokonalou recyklaci živin a díky tomu se stelivové ustájení dalo považovat za bezodpadovou technologii. [20]

V současnosti převažující bezstelivové provozy produkují především kejdu. Kejda se skládá z pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat s velkým podílem přidané vody. Její využití jako hnojiva je poměrně problematické. Využití komplikuje mimo jiné velmi nízký obsah sušiny. Problematické je její skladování, protože je nedostatek skladovacích jímek. Kejda významně zatěžuje okolí pachem, obsahuje patogenní organizmy a semena plevelů. [20]

### **3.2.2 Komunální bioodpady**

Za komunální bioodpady se dají považovat odpady z údržby zeleně, bioodpady z domácností, papírové odpady, další specifické bioodpady. Odpad z údržby zeleně se skládá z travní seče, stařiny, listí, dřevin atd. Většinou se jedná o nezávadný a dobře kompostovatelný bioodpad. Problematickou složkou mohou být například zvířecí fekálie a odpadky. [2]

#### **3.2.2.1 Odpad ze zeleně**

Nejrozšířenějším odpadem ze zeleně je tráva. Pro zpracování kompostováním má optimální poměr C : N v rozmezí 22 až 30 : 1. Nejlépe zpracovatelnou složkou travních odpadů je krátká seč, která má vyšší vlhkost a vyšší poměr C : N - 30 až 40 : 1 je schopna rychlé mikrobiologické přeměny. Širší poměr C : N - 40 až 60 : 1 má staršina získávaná především ze soukromé zeleně.

Dalším odpadem ze zeleně je listí, které je oproti trávě odolnější mikrobiologickému rozkladu. Poměr C : N je 40 až 60 : 1. V případě

kompostování listí napadeného škůdci a houbami hrozí nebezpečí jejich dalšího šíření. Likvidace škůdců i hub lze dosáhnout vlhčením a přidáním vápna do listí ještě před kompostováním. [2]

Dřevní odpady mají oproti předchozím vyšší poměr C : N - 90 až 120 : 1. Tyto odpady je nutné před kompostováním nejdříve dezintegrovat štěpkováním nebo drcením. Mikrobiální přeměna dřevin probíhá narozdíl od trávy a listí mnohem déle. Pro kompostování má však dřevní štěrka zásadní význam. V průběhu kompostování zajišťuje potřebnou pórovitost kompostu. [2]

Odpady z květinových záhonů jsou také velmi vhodné pro kompostování. Komplikace představují plevele a jejich semena. Pro zamezení jejich šíření je třeba odpad nejdříve tepelně zpracovat. Zpracování se provádí překrytím fólií a působením slunečního světla po dobu deseti dnů. [2]

### **3.2.2.2 *Bioodpady z domácností***

Bioodpady z domácností jsou narozdíl od jiných bioodpadů dostupné celoročně. Podle typu zástavby se jejich produkce stabilně pohybuje v rozmezí 30 až 60 kg na obyvatele. Odpad obsahuje zbytky jídel, zeleniny, ovoce, potravin, trávu, listí, dřeviny, papírové utěrky atd. Seaparovaný sběr domácího bioodpadu se postupně rozšiřuje, ale jeho velká část stále končí ve smíšeném komunálním a následně se skládá. [2]

### **3.2.3 Kaly z čistíren odpadních vod**

Čistírenský kal je vedlejší produkt při čištění splaškových vod. Jedná se o suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původního znečištění vody. Splašková voda obsahuje 1 až 2 % kalu, ale kal obsahuje 50 až 80 % všeho znečištění. Sušina kalu obsahuje až 70 % organických látek. Kaly jsou považovány za nebezpečný odpad vzhledem k přítomnosti patogenních mikroorganismů. Dále mohou obsahovat vyšší koncentrace těžkých kovů. Koncentrace znečišťujících látek a mikroorganismů je závislá na druhu používané technologie a počáteční kvalitě splaškových vod. [10]

Jednou z podmínek dalšího využívání čistírenských kalů v zemědělství je jejich odvodnění, stabilizace a hygienizace. Stabilizovaný kal je takový, který nemá negativní účinky na životní prostředí a nezpůsobuje obtíže při manipulaci. Stabilizace surového kalu lze dosáhnout anaerobními a aerobními postupy, jimiž se téměř zastaví další biologický rozklad. [10]

Další podmínkou je hygienizace kalu. Hygienizace znamená snížení počtu patogenních organismů na určitou mez. Hygienizace může probíhat při stejných procesech jako stabilizace, ale ne vždy tomu tak je. Obsah těžkých kovů je možné korigovat u původce splaškových vod. V minulosti byly kaly ve velkém skládkovány, ale dnes je možnost jejich skládkování omezena. Preferováno je jejich využití jako zemědělského hnojiva, které ale není vždy možné. [10]

### **3.2.4 Legislativa biologicky rozložitelných odpadů**

Plán odpadového hospodářství ČR (dále jen POH ČR) byl vyhlášen nařízením vlády č. 197/2003 Sb. s platností na deset let, tedy do roku 2013. POH ČR podle principů udržitelného rozvoje stanovuje cíle a opatření pro nakládání s odpady na území České republiky a jeho základním účelem je snižování měrné produkce odpadů, využívání odpadů jako náhrady primárních přírodních zdrojů, snížení produkce nebezpečných odpadů a v neposlední řadě minimalizace negativních vlivů na životní prostředí a zdraví lidí. [19]

Směrnice Rady EU 1999/31/ES o skládkování odpadů omezuje skládkované množství biologicky rozložitelných odpadů a produkci skleníkových plynů. V souladu s touto směrnicí se Česká republika zavázala k omezení ukládání BRO na skládky. V roce 2006 tak mělo být v ČR ukládáno na skládky 75 % množství produkce BRO z roku 1995, v roce 2009 50 % a v roce 2016 již jen 35 %. Jelikož v ČR bylo v roce 1995 skládkováno více než 80 % komunálních odpadů je možné dané cíle splnit o 4 roky později tedy v letech 2010, 2013 a 2020. [15]

Odpadové hospodářství ČR se řídí zákonem č. 185/2001 Sb. o odpadech, který má zajistit předcházení vzniku odpadů, minimalizovat jejich produkci a nebezpečné vlastnosti. Podle zákona o odpadech má být odpad, který vznikne využíván především materiálově, méně pak energeticky a pokud nelze jinak, tak má být odstraněn takovým způsobem, který neohrožuje zdraví lidí nebo životní prostředí. Samotný zákon prodělal od svého vzniku mnoho velkých změn a není plně v souladu s legislativou EU. Nejnovější znění zákona o odpadech obsahuje zákon č. 154/2010 Sb. [4, 15, 18]

Nepřehledný a často upravovaný zákon o odpadech 185/2001 Sb. má být v dohledné době nahrazen zákonem zcela novým. Nový zákon o odpadech by měl být zcela v souladu s legislativou EU, avšak jeho návrh je zatím velmi kontroverzní a jeho přijetí se tím brzdí.

Vyhláška č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady se skládá z šesti paragrafů. Paragrafy jsou věnovány seznamu bioodpadů, dále jsou stanoveny požadavky na kvalitu materiálově využívaných bioodpadů, technické požadavky na zařízení biologického zpracování odpadů, technologické požadavky úpravy bioodpadů, obsah provozních řádů, hodnocení a zařazování bioodpadů do skupin . [4]

Vyhláška obsahuje také osm obsáhlých příloh: [4]

- příloha č.1 vyhlášky uvádí seznam využitelných bioodpadů, seznam využitelných bioodpadů pro malá zařízení a požadavky na kvalitu materiálově využívaných bioodpadů,
- příloha č.2 vyhlášky obsahuje jednotlivé technologické požadavky na zpracování bioodpadů a technické požadavky na provoz a vybavení zařízení zpracovávajících bioodpady,
- příloha č.3 vyhlášky se věnuje základním požadavkům na zařízení a provoz „malých“ zařízení,

- příloha č.4 vyhlášky definuje obsah provozních řádů zařízení k využívání bioodpadů,
- příloha č.5 vyhlášky určuje pravidla pro hodnocení a kontrolu výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů (např. tabulkově uvádí limitní koncentrace rizikových látek a prvků, dále uvádí technické normy a četnost kontrol jednotlivých zařízení závislou na roční produkci výstupů),
- příloha č.6 vyhlášky zařazuje do skupin a tříd výstupy ze zařízení na zpracování odpadů podle jejich následného využití (výstupy z malých zařízení smějí být využity jen k údržbě či zakládání zeleně),
- příloha č.7 vyhlášky uvádí zásady pro odběr vzorků z výstupů zařízení využívajících bioodpady,
- příloha č.8 vyhlášky určuje všechny náležitosti a výslednou podobu protokolu o odběru vzorků.

### **3.3 Technologie a organizace výroby kompostu**

#### **3.3.1 Technologie výroby kompostu**

U všech kompostovacích technologií je průběh kompostování podobný, výrazně odlišná je pouze intenzita procesu. Při volbě technologie je tedy nutné brát na zřetel především výši počáteční investice a následných provozních nákladů, protože tyto náklady se následně promítají do ceny kompostu [4].

Technologie kompostování lze rozdělit na [4]:

- Kompostování na volné ploše
  - v plošných hromadách,
  - v pásových hromadách.
- Kompostování v uzavřených nebo polouzavřených zařízeních
  - v boxech nebo žlabech,
  - v bioreaktorech.
- Kompostování ve vacích.
- Vermikompostování.

### **3.3.1.1 Kompostování na volné ploše**

#### *3.3.1.1.1 Kompostování na volné ploše v plošných hromadách*

Kompostování v plošných hromadách je nejstarší a nejjednodušší technologie výroby kompostu. V minulosti se na souvratích vrstvila chlévská mrva, sláma a dalších biologicky rozložitelných odpadů do výše 0,5 m a výsledná zakládka byla zavlažována močůvkou. Místo překopávání byl kompost převrstvován pluhem a po 2 – 3 letech mohl být využit jako tzv. tučný hon pro pěstování krmných teplomilných plodin. [4]

V současnosti je tato technologie využívána ve velkých městských kompostárnách, kde se takto zpracovávají velké objemy BRO a především BRKO. Hromady v těchto kompostárnách dosahují výšky až 5 m a tudíž vyžadují speciální překopávače, které kompost vrství na vedlejší plochy. [4]

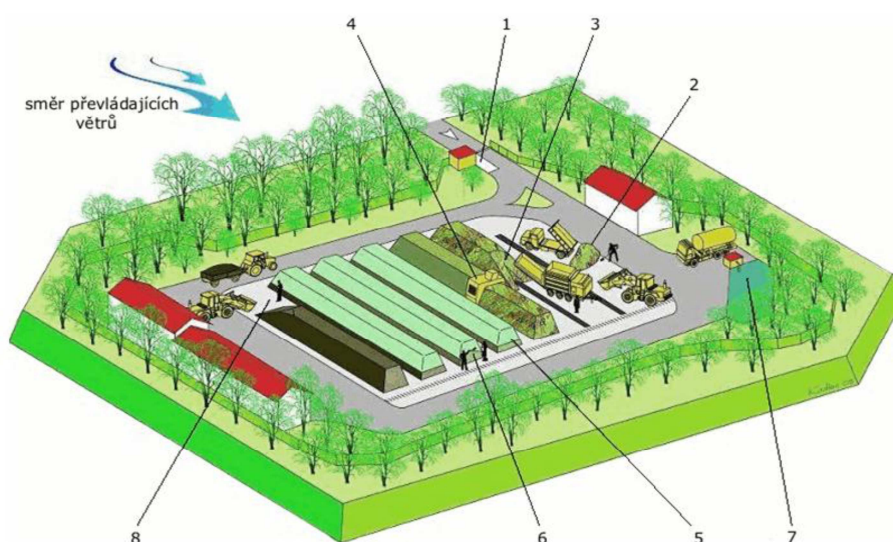
#### *3.3.1.1.2 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách*

Kompostování na volné ploše v pásových hromadách je ideální technologie pro řízené kompostování. Při tomto způsobu kompostování se výchozí suroviny zakládají do pásových hromad o trojúhelníkovém nebo

lichoběžníkovém průřezu. Velikost průřezu ovlivňuje rozměry použité mechanizace. Pásové hromady se zakládají na zpevněných plochách se speciálními požadavky a jejich délku ovlivňuje jen délka těchto ploch (viz obr. 1). [4]

V České republice se nečastěji při kompostování v pásových hromadách využívá překopávání za účelem provzdušňování, kdy se využívá pórovitost materiálu. Aby byl dostatek vzduchu pro správnou činnost aerobních organismů je třeba hromady překopávat podle vhodně zvoleného harmonogramu. [3]

*Obr. 1 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách*



*Legenda: 1 – mostová váha, 2 – příjem surovin, 3 – zakládání kompostu, 4 - překopávání kompostu, 5 – zrání kompostu, 6 – dohled nad kompostováním, 7 – jímka, 8 – expedice kompostu.*

*Zdroj: [6]*

Dále lze také kompost provzdušňovat aktivně. K aktivnímu provzdušňování se využívají ventilátory, které vhání vzduch do perforovaného potrubí položeného v celé délce hromady. Surovinová skladba pásových hromad musí být navržena tak, aby vzduch mohl hromadou prostupovat od středu průřezu směrem k okrajům a nedocházelo k hnití materiálu. Výsledná

hromada může mít díky absenci překopávání větší rozměry, než hromady překopávané. V horších klimatických podmínkách je vhodné hromadu pokrýt cca 15 cm silnou vrstvou hotového kompostu, která zabraňuje nadměrným tepelným ztrátám, nadměrnému vysychání, snižuje možnost výskytu obtížného hmyzu a unikání zápachu. [3]

### **3.3.1.2 Kompostování v uzavřených nebo polouzavřených zařízeních**

#### *3.3.1.2.1 Kompostování v boxech*

Kompostování v boxech se využívá tam, kde okolnosti nedovolují využití výše zmíněných technologií kompostování na volné ploše. Boxy s nucenou aerací se využívají při nedostatku volné plochy nebo při zpracovávání bioodpadů s obsahem živočišných složek (kuchyňské odpady). Uzavřený prostor boxu umožňuje vyčištění odpadního vzduchu od zápachu a důkladně izoluje kompostovaný materiál od okolí a především od hmyzu a nežádoucích hlodavců (krys a potkanů). [11]

Kromě aeračního systému boxy mají i skrápěcí systém, kterým lze regulovat vlhkost kompostu v průběhu kompostování. Celý proces může být velmi snadno automatizován. Překopávání se v tomto případě provádí pouze výjimečně. Výraznou nevýhodou této technologie tak jsou především vysoké investiční náklady. [3, 11]

Pro účely domácího kompostování se vyrábějí i kompostéry malých objemů, které jsou relativně velmi levné. Tyto kompostéry ovšem nedisponují výhodami výše zmíněných větších boxů. Jedná se v podstatě jen o uzavřené nádoby s provzdušňovacími otvory a případně s rošty pro odvod přebytečných kapalin.

#### *3.3.1.2.2 Kompostování ve žlabech*

Kompostovací žlab tvoří dvěma zdmi, které tvoří dlouhý kanál. Překopávač kompostu se pohybuje po kolejnicích na zdech. Čelní nakladač



zakládá materiál na začátek kanálu a překopávač při jednotlivých průjezdech materiál přesouvá na konec kanálu, kde se materiál odebírá. Během posunu materiálu kanálem proběhnou všechny fáze kompostovacího procesu. Na rozdíl od kompostování na volné ploše můžou překopávače pracovat v automatickém režimu bez zásahů obsluhy. [3]

Parametry kompostovacího žlabu jsou určeny použitým typem překopávače. Některé žlaby jsou zároveň vybaveny systémem nucené aerace ventilátory a perforovaným potrubím pod kompostem. Zároveň jsou žlaby většinou zastřešeny. Kompostovací proces v nezastřešených žlabech může být velmi negativně ovlivněn nepříznivými klimatickými podmínkami. [3]

### **3.3.1.3 Kompostování v bioreaktorech**

#### *3.3.1.3.1 Kompostování v silech*

Kompostování v silech významně minimalizuje nároky na zastavěnou plochu díky použití sil se spodním vyprazdňováním. Materiál pro kompostování se umísťuje do horní části sila a musí být velmi dobře promíchán, protože v silu už dochází jen k velmi malému promíchání. Šnek v dolní části sila každý den odebírá materiál ze spodní části sila, díky čemuž se materiál v silu sesune a uvolní místo pro nový materiál v horní části. Vzhledem k tomu, že kompostovací proces v silu by měl proběhnout ve čtrnácti dnech, je potřeba každý den odebírat 1/14 kapacity sila. Odebraný materiál se umísťuje do druhého sila, kde dozraje. [3]

Provzdušňovací systém vhání vzduch do spodní části sila odkud postupuje dále směrem vzhůru. Vzhledem k uzavřenému pracovnímu prostoru lze v horní části snadno jímat odpadní plyny a čistit je na biofiltru. [3]

#### *3.3.1.3.2 Kompostování v rotačních bubnových reaktorech*

Kompostování v rotačních bubnových reaktorech je technologie vhodná pro kompostování rychle rozložitelných materiálů. Zdržení materiálu bývá 3 dny,

ale může to být i méně. Osa rotačního bubnového reaktoru je přibližně vodorovná. Reaktor je nainstalován na velkých ložiscích a otáčen pomocí ozubených převodů. Během otáčení se materiál konstantně posouvá a proti směru toku materiálu je vháněn vzduch, který se ohřívá a v nově založeném materiálu tak podporuje velmi rychlý start kompostovacího procesu. [3]

Dobu zdržení materiálu v bubnu určuje sklon osy, rychlost otáčení bubnu a jeho konstrukce, která může být otevřená a nebo segmentovaná. V otevřených bubnech se pohybuje najednou všechnen materiál a zároveň je soustavně přiváděn nový. Segmentované bubny jsou rozděleny na několik komor příčkami s otevíratelnými přepážkami. V každé komoře zůstává, po přemístění materiálu do následující komory, část původního materiálu jako očkovací látka. Tento druh bubnů umožňuje mnohem přesnější řízení procesu. [3]

#### **3.3.1.4 Kompostování ve vacích**

Kompostování ve vacích (Ag Bag) je relativně levná a jednoduchá technologie. Silážní polyetylenové vaky jsou naplněny namíchaným a dezintegrováním bioodpadem. Během plnění je do vaku vloženo perforované potrubí pro provzdušňování. Následný kompostovací proces je ovládán automatickou jednotkou, která na základě teploty uvnitř vaku zvyšuje nebo snižuje množství vzduchu vháněného do potrubí ventilátorem. [12]

Oproti kompostování na volné ploše má tato technologie výhody v nenáročnosti na obsluhu, vyžaduje méně techniky a především pro vaky není nutná vodohospodářsky zabezpečená plocha. Pro manipulaci s odpadem a uložení vaků stačí pouze plocha zpevněná o mnohem menší velikosti než je třeba pro kompostování stejného objemu na volné ploše. Kompost zrající v uzavřených vacích je do jisté míry chráněn proti přístupu hmyzu a hlodavců, dále zabraňuje nežádoucím únikům kapalin a prachovým a pachovým emisím. [12]

### **3.3.1.5 Vermikompostování**

Kompostováním s pomocí žížal lze dosáhnout dokonalejší přeměny organických látek bioodpadů, než lze dosáhnout při běžném kompostování. V našich podmínkách se využívá speciálně vyšlechtěný červený kalifornský hybrid *Eisenia Foetida*. Tento hybrid se vyznačuje vysokou produktivitou a plodností. Každý jedinec denně spotřebuje organické látky o shodné hmotnosti jako má on sám a vyrobí z nich 60% biohumusu a zbytek využije pro vlastní metabolismus. Hermafroditní jedinci pohlavně dospívají za tři měsíce a mohou se dožít až šestnácti let. Dva dospělí jedinci vyprodukují za rok až 1 500 mladých žížal. [2]

Pro správný průběh vermikompostování je třeba zajistit žížalám optimální podmínky pro život. Ideální teplota je v rozmezí 19 – 25 °C, pokud je teplota mimo tento interval, tak jsou žížaly netečné a při větších odchylkách hynou. Oproti ostatním kompostovacím technologiím s optimální vlhkostí 40 – 60 % je optimální vlhkost substrátu pro tuto technologii cca 80 %. Při vlhkosti substrátu ležící mimo interval 60 – 90 % žížaly uhynou. Dále žížaly pro život potřebují neutrální prostředí 6 - 8 pH. [2]

Přestože je získaný vermikompost vysoce kvalitní je tato technologie otíže využitelná. Citlivost žížal na pesticidy, sluneční světlo, vítr a jejich nároky (pH, vyšší vlhkost, nižší teplota) mají za následek častý neúspěch vermikompostováním. [2]

## **3.3.2 Způsoby organizace výroby kompostu**

### **3.3.2.1 Domácí kompostování**

Domácí kompostování představuje jednoduchý a tradiční způsob jak lze dosáhnout snížení podílu bioodpadů ze zahrad a kuchyňského bioodpadu ve směsném domovním odpadu. Vyjmutím bioodpadu z domovního odpadu lze ušetřit cestu svozových automobilů, lze snížit objem odpadů ukládaných

na skládku a domácnosti mohou použít získaný produkt na vlastních pozemcích. [2, 3]

K významnému snížení tohoto nežádoucího podílu v komunálním odpadu je třeba motivovat obyvatele k využívání této technologie ekonomickými výhodami jako jsou například příspěvky na kompostéry nebo snížení poplatků za odvoz odpadu. Dále je třeba zajistit dostatečnou informovanost veřejnosti o technologii kompostování, o důležitých zásadách kompostování, o kompostovatelných materiálech a v neposlední řadě o ekologickém přínosu kompostování. Nízká informovanost může mít za následek produkci nekvalitního kompostu. Nevýhodou tohoto způsobu kompostování je, že nelze prokázat snižování produkce komunálních bioodpadů podle směrnic EU. [2, 3]

Domácí kompostování lze dále rozdělit na [2]:

- kompostování na jedné zakládce,
- kompostování v boxech,
- kompostování v kompostérech,
- domácí vermikompostování.

#### *3.3.2.1.1 Kompostování na jedné zakládce*

Kompostování na jedné zakládce je velmi vhodný a nenáročný způsob domácího kompostování. Zakládka se vytváří postupným vrstvením a promícháváním bioodpadů do výše 1,5 m s patní šířkou profilu zakládky přibližně 2 m. Délku zakládky opět omezuje pouze velikost plochy, kde je umístěna. Ideálně se jedná o místo dobře přístupné i v nepříznivém počasí, které je chráněno před přímým slunečním svitem a větrem. [2]

Po 3 až 6 měsících je vhodné provést homogenizační překopávku nejlépe opakovaným přeházením, kdy se zakládka vrátí zpět na původní místo. Překopávání a prosévání zralého kompostu je prováděno ručně. Při přípravě materiálu je vhodné použít drtič nebo štěpkovač. Jiná mechanizace

se nevyužívá. Veškeré operace jsou prováděny jen za pomoci běžného zahradního nářadí (lopata, vidle, kovec, prosévačka). [2]

K intenzifikaci procesu lze vytvořit podmínky pro lepší provzdušnění zakládky tak, že podloží hromady je do výšky 10 cm vytvořeno z porézního materiálu (kůra, dřevěná štěpka) a vytvoří se svislé průduchy pro lepší přístup vzduchu. Tyto ventilační průduchy se umísťují ve vzdálenosti 1 m od sebe v ose hromady. Průduchy se formují okolo kulatiny průměru 10 cm. Po zformování hromady se kulatina otáčením vyjme a vzniknou průduchy. [2, 3]

#### *3.3.2.1.2 Kompostování v boxech*

Technologie boxového kompostování je stejná jako při kompostování na jedné zakládce. Boxy usnadňují tvarování kompostovacích hromad. Výška hromad se pohybuje od 1 m do 1,5 m. Boxy lze vyrobit svépomocí z prken, z kulatiny, z kovového pletiva nebo je lze vyzdít. Boxy je opět vhodné umístit na dobře přístupné místo, chráněné před přímým slunečním svitem a větrem. Pokud takové místo na zahradě není k dispozici, lze box chránit sříškou. [2]

Překopávání boxů i kompostérů je prováděno ze zaplněného boxu do prázdného nebo zpětným přehozem. Při ideálním tříboxovém postupu slouží jeden box ke shromažďování bioodpadů, druhý ke zrání kompostu a třetí k dozrávání po překopání. [2]

#### *3.3.2.1.3 Kompostování v kompostérech*

Na trhu jsou také k dispozici komerční kompostéry různých konstrukcí o objemech 240 – 600 l z polyetylénu. Kompostéry jsou plněny víkem. Na víku se nachází otvor pro regulaci přístupu vzduchu. Dvířka pro odběr vyzrálého kompostu jsou ve spodní části na boku. Kompostéry mohou být bez dna, ostatní mají na dně nádobu pro odvod vlhkosti a zrající kompost umístěný na roštu.

Některé konstrukce jsou vybaveny žebrováním vnitřních stěn k zamezení přilnutí bioodpadů. Větrání kompostéru závisí na komínovém efektu, jehož síla je určena velikostí a umístěním větracích otvorů (viz obr. 2). [2, 7]

Obr. 2 Proudění vzduchu v kompostéru



Zdroj: <http://hobby.blesk.cz/clanek/hobby-zahrada/135717/zakladame-kompost-co-do-nej-patri-a-co-ne.html>

Nevýhodou kompostérů je jejich vyšší pořizovací cena, omezený objem a obtížné překopávání. Naopak velkou výhodou kompostérů je jejich vzhled a především dobrá izolace kompostu od okolí. Kompostér tak může být umístěn libovolně a uspokojivě pracovat i při špatných meteorologických podmínkách.

#### 3.3.2.1.4 Domácí vermikompostování

Domácí vermikompostování probíhá na folii, betonu nebo v polypropylénových přepravkách. Zakládá se tzv. nízký záhon o výšce maximálně 30 cm. Záhon je tvořen částečně zkompostovanými bioodpady o stáří 2 - 3 měsíce. Vyžralý kompost díky nedostatku živin není vhodný

pro žížaly. Po založení je třeba upravit vlhkost na požadovaných 78 až 82 %. Žížaly je vhodné přikrmovat čerstvými zbytky rostlin, papírem a kartonem přibližně jednou týdně. Současně je důležité kontrolovat zda jsou optimální všechny parametry ovlivňující činnost žížal. [2]

V zimním období výrazně klesá aktivita žížal a tím se prodlužuje interval přikrmování. Kompostoviště lze zateplit například vyšší vrstvou materiálu, slámou nebo listím, ale nejvýhodněji se jeví přemístění chovu do teplejších prostor. Vzhledem k citlivosti kalifornských žížal proběhl experiment s žížalou hnojní a žížalou obecnou. Tyto žížaly jsou odolnější a lépe snášejí nižší teploty. Postrádají ovšem plodnost a výkonnost zpracování bioodpadu, které jsou vlastní kalifornskému hybridu.[2]

Žížaly se dobře hodí ke kompostování kuchyňských odpadů s výjimkou velkých kusů živočišných zbytků. K tomuto účelu se výborně hodí přepravky s do dna navrtanými otvory. Přepravky se skládají na sebe. Postup vermikompostování v přepravkách se neliší od vermikompostování na záhonech. Základní substrát je shodný, ale přikrmuje se kuchařským odpadem. [2]

### **3.3.2.2 Komunitní kompostování**

Komunitní kompostování je založeno na třídění a společném sběru bioodpadů určitou skupinou obyvatelstva a jejím kompostování ve společném zařízení. Získaný kompost se dělí mezi všechny účastníky. Tento způsob organizace kompostování se uplatňuje například na sídlištích nebo kdekoli jinde při nedostatku vhodné kompostovací plochy. Dále je komunitní kompostování s úspěchem používáno u zahrádkářských kolonií. [2]

Problémem komunitního kompostování bývá horší kvalita vyříděných bioodpadů daná nekázní nebo malo informovaností jednotlivých účastníků. Pro komunitní kompostování se nejvíce využívá kompostování na zakládce nebo v boxech. Při zpracovávání větších objemů bioodpadů se využívá mechanizace

v podobě malých nakladačů a drtičů nebo štěpkovačů. Do jisté míry ale lze všechny operace provádět také manuálně. [2, 3]

Novela zákona o odpadech 314/2006 Sb. (§ 10a ) také upravuje právní předpisy pro komunitní kompostování. Pokud podle této novely obec obecně závaznou vyhláškou stanoví systém komunitního kompostování a využití výsledného produktu k údržbě vlastního území, pohlíží se na komunitní kompostárnu jako na zařízení sloužící k prevenci vzniku bioodpadů a ne jako na zařízení pro nakládání s odpadem. Při jejím provozu je třeba zabránit narušování životního prostředí a zabránit vzniku zápachu a emisím metanu. [13]

### **3.3.2.3 Centrální kompostování**

Centrální nebo také průmyslové kompostování je z legislativního hlediska mnohem složitější činnost než předchozí způsoby kompostování. Tato činnost je omezena hygienickými předpisy, vodohospodářskými předpisy, předpisy o nakládání s odpady a pokud je výsledný produkt uváděn do oběhu, tak i dalšími požadavky. [2]

K centrálnímu kompostování slouží kompostoviště s produkcí 50 až 500 t kompostu ročně nebo průmyslové kompostárny s produkcí nad 1 000 t kompostu ročně. Výroba v těchto zařízeních se řídí normou ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ nebo podnikovými normami. [7]

Tento způsob organizace zpracování bioodpadů je od předchozích diametrálně odlišný použitou mechanizací, požadavky na vlastnosti kompostovacích ploch a požadavky na pravidelnost dodávaného materiálu což se výrazně promítá do nákladů na kompostování. Největší investici vyžaduje výrobní plocha kompostárny. Metr čtvereční vodohospodářsky zabezpečené plochy s obrubníky proti vnikání přívalových srážek stojí přibližně 3 000 Kč. Dále náklady zvyšuje nutnost jímání srážkových vod ve vhodně dimenzovaných jímkách. [7]



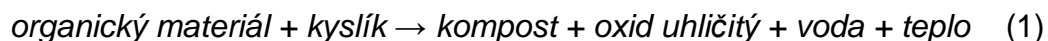
V současné ekonomické situaci se jeví velmi výhodné využití chátrajících vodohospodářsky zabezpečených staveb, které se již nevyužívají. Jedná se o bývalé uhelné sklady, silážní žlaby, hnojiště a zemědělská uložiska. Tyto objekty plně dostačují nárokům provozu a náklady na jejich rekonstrukci jsou neporovnatelně nižší, než náklady na výstavbu nových ploch. [7]

Specializovaná výkonná mechanizace užitá při provozu je soustavou většinou jednoúčelových strojů jejíž odpisy představují vysokou finanční zátěž. Užití univerzální mechanizace je nevýhodné z hlediska nákladů na mzdy a palivo. Rovněž klesá kvalita prováděných technologických operací. [7]

V podmínkách České republiky je výhodné zajistit na kompostárně služby mobilní technologické linky, která ač složena z jednoúčelových strojů, je tak plně využita i na jiných kompostárnách. S využitím těchto mobilních linek dochází ke sdružování jednotlivých kompostáren do větších subjektů. V zahraničí je problém vysokých nákladů na mechanizaci řešen pomocí krátkodobých výpůjček jednoúčelových strojů. [7]

### **3.4 Kompostování biologicky rozložitelných odpadů**

Při kompostování je aerobní přeměna nestabilních organických látek kompostovaných surovin na stabilní humusové látky způsoben činností mikroorganismů, hub a drobných živočichů. Jedná se o analogické procesy k procesům probíhajícím v půdě, které lze zjednodušit a shrnout do vztahu (1).



Vytvořením optimálních podmínek však lze dosáhnout až desetinásobného počtu mikroorganismů oproti půdnímu prostředí, čímž dochází k výraznému zrychlení rozkladu. [2]

K zajištění optimálního průběhu rozkladného procesu je třeba dodržovat různé technologické předpoklady [4]:

- vybrat vhodné technologie kompostování,
- provést kontrolu a důkladný rozbor chemických, fyzikálních a mikrobiologických vlastností surovin,
- vhodně skladovat vstupní suroviny,
- upravit vlastnosti surovin před kompostováním,
- vybrat optimální recepturu zakládky,
- správně odhadnout dobu kompostování,
- vhodně zvolit a používat stroje a zařízení.

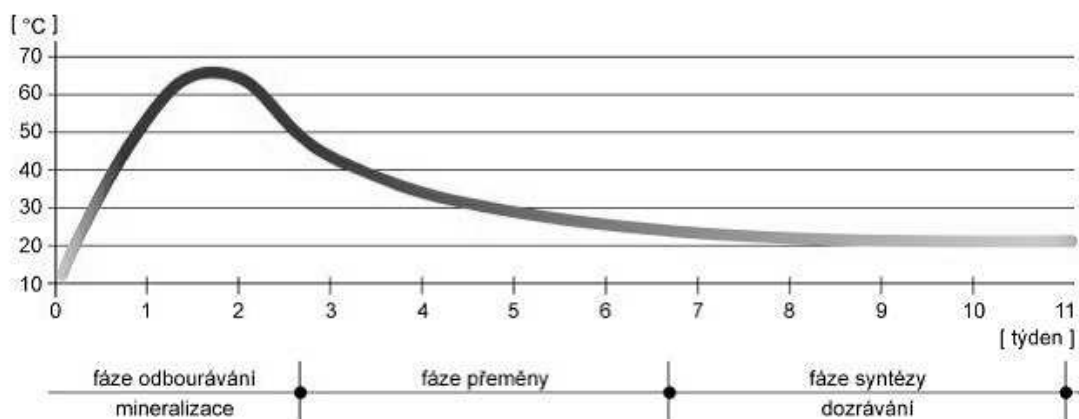
Stejně jako samotná technologie je pro optimální průběh a řízení kompostovacího procesu důležité zajistit vhodný sled sedmi jednotlivých kroků [4]:

1. volba jednotlivých vstupních surovin,
2. úprava vlastností surovin (velikost částic, vlhkost),
3. skladování surovin (oddělené skladování podle druhu suroviny, skladování pouze surovin s nízkou vlhkostí a širokým poměrem C : N),
4. tvorba surovinové skladby a založení kompostu,
5. kompostovací proces,
6. zrání a stabilizace kompostu (délka kompostovacího procesu závisí na zvolené technologii a druhu kompostovaných surovin),
7. závěrečná úprava zralého kompostu (závisí na způsobu dalšího využití vyrobeného kompostu, jedná se především o prosévání, frakční členění a separaci nežádoucích příměsí).

### 3.4.1 Přeměna organických látek

Kompostování je kontinuální proces a nelze jej přesně rozdělit na jednotlivé fáze. V literatuře se proto zjednodušeně uvádí, že při procesu dochází k přeměně organických látek ve třech různých fázích (viz obr. 3). [3]

Obr. 3 Graf optimálního průběh teploty při kompostování



Zdroj: [6]

První fáze je fáze rozkladu, jinak také fáze hydrolyzní, mineralizační nebo horká. Během této fáze dochází vlivem činnosti mikroorganismů k nárůstu teploty kompostu na teplotu mezi 50 °C a 70 °C a značnou redukci objemu zakládky. Aerobní organizmy rozkládají škrob, celulózu, sacharidy, polysacharidy, bílkoviny a tuky na jednoduché látky (mineralizace) a živí se uvolněnými živinami. Tyto organizmy vyžadují intenzivní provzdušňování zakládky a dýcháním uvolňují do prostředí oxid uhličitý. Zvýšená tvorba organických kyselin snižuje hodnotu pH. V závislosti na složení zakládky probíhá tato fáze 2 - 3 týdny, ale může probíhat i 2 měsíce. [2]

Ve fázi přeměny dochází ke změně zastoupení jednotlivých organismů, nástupu drobných živočichů a tím k poklesu teploty na 40 až 45 °C. Se změnou zastoupení organismů klesá potřeba intenzivní aerace, dochází ke zvýšení pH a změně vzhledu a struktury kompostu. V této fázi již nelze rozeznat jednotlivé složky a kompost má v celém objemu stejnou barvu a vůni. [2]

V poslední fázi dozrávání klesá teplota na teplotu okolí a dochází k pevnějšímu zabudování živin do organických vazeb humusových látek. Struktura i vůně dostatečně stabilizovaného kompostu je velmi podobná zahradní zemině. [2]

### **3.4.2 Důležité parametry kompostovacího procesu**

Pro správné založení a efektivní řízení kompostovacího procesu je třeba sledovat v průběhu celého procesu důležité fyzikální, chemické a mikrobiologické parametry. Hodnoty těchto parametrů přesně vypovídají o kvalitě probíhajícího rozkladného procesu. Jedná se především o obsah chemických prvků ovlivňujících průběh kompostování, obsah kyslíku, vlhkost pH, zrnitost, teplota a další.

#### **3.4.2.1 Teplota**

Teplota je dána mikrobiální aktivitou. Zároveň je funkcí kompostovacího procesu a lze podle ní určit zralost kompostu. V průběhu kompostování se teplota pohybuje ve dvou hlavních fázích. V mezofilní fázi má kompost teplotu 10 až 40 °C. V průběhu termofilní fáze má kompost teplotu vyšší než 40 °C. Po těchto fázích následuje pokles teploty a její stabilizace na úrovni okolí. [3]

#### **3.4.2.2 Vlhkost**

Voda v kompostu slouží k transportu živin, jako prostředí pro chemické reakce a zároveň slouží k pohybu mikroorganismů. Optimálně se vlhkost kompostu pohybuje v intervalu 40 – 60 %. Nedostatečná vlhkost zpomaluje mikrobiální procesy, nadbytek vody způsobuje ucpávání pórů kompostu, čímž dochází k vytvoření nežádoucího anaerobního prostředí. [3]

Po zahájení kompostování dochází ke ztrátám vody vypařováním díky zvýšení teploty kompostu a mikrobiální aktivitě. Ztráty vlhkosti jsou závislé také na množství dodávaného vzduchu. S intenzitou provzdušňování rostou i ztráty vlhkosti. Ideální vlhkost u čerstvého kompostu představuje zaplnění 70 % pórů

vodou. Kompost je třeba během kompostování vlhčit. Vlhčení je třeba provádět velmi obezřetně, protože odstranit přebytečnou vlhkost z kompostu lze jen velmi obtížně. [3]

### **3.4.2.3 Hodnota pH**

Hodnota pH při kompostování by měla být blízká neutrální hodnotě. Ideálně by měla ležet v intervalu 6,5 – 8. Kyselé prostředí s hodnotou pH menší než 6 způsobuje úhyn mikroorganismů. Zásadité prostředí s hodnotou pH vyšší než 8,5 má za následek ztrátu dusíku, který v podobě plynného amoniaku uniká do okolí. [3]

Na počátku kompostovacího procesu je nízká hodnota pH v prostředí hromady. Počáteční pH okolo 5 vyhovuje především houbám a plísním. S rozkladem kyselin postupně stoupá hodnoty pH až k hodnotě 8,5. S vyšším pH se postupně zvyšuje i celkový podíl aerobních bakterií na rozkladu kompostu. [3]

### **3.4.2.4 Poměr C : N**

Uhlík, dusík, draslík a fosfor jsou základní živiny, které vyžadují aerobní mikroorganismy obsažené v kompostu. Uhlík je základní stavební kámen hmoty mikroorganismů a spolu s dusíkem umožňuje syntézu bílkovin. Fosfor s draslíkem ovlivňují látkovou výměnu a množení mikroorganismů. Uhlík a dusík ovšem ovlivňují nejvíce kvalitu výsledného kompostu. Důležitý je zvláště jejich poměr, tedy poměr C : N. [6]

V kompostovacím procesu není důležitý absolutní obsah uhlíku v kompostovaném materiálu, ale především obsah uhlíku přístupný mikroorganismům. Poměr C : N se u ideálně vyzrálého kompostu pohybuje v intervalu 25 až 30 jednotek uhlíku na jednotku dusíku. V závislosti na aktivitě aerobních mikroorganismů dochází během kompostování k poklesu obsahu uhlíku v kompostovaném materiálu. Během respirace mikroorganismů dochází k uvolňování uhlíku do atmosféry v podobě oxidu uhličitého. Poměr C : N

čerstvě založeného kompostu by se tedy ideálně měl pohybovat v intervalu 30 až 35 : 1. [3]

Tab. 4 Poměr C : N ve vybraných bioodpadech

Odpady	Poměr C : N
Tráva mladá (krátká seč)	22 - 30 : 1
Tráva z extenzivních ploch	30 - 40 : 1
Stařina	40 - 60 : 1
Listí	40 - 60 : 1
Zelená štěpka	70 - 90 : 1
Štěpka z průřezů	90 - 120 : 1
Štěpka z kmenů	100 - 200 : 1
Kůraa jehličnanů	100 - 120 : 1
Kuchyňské odpady	20- 30 : 1
Papír	150 - 200 : 1
Piliny, hobliny	150 - 200 : 1
Králičí trus	15 : 1
Zvířecí fekálie, drůbeží trus	8 - 10 : 1
Koňský hnůj	15 - 25 : 1
Sláma	100 - 120 : 1
Čistírenské kaly	5 - 8 : 1
Obsah kuchyňských lapolů	180 - 200 : 1

Zdroj: [2]

Suroviny s poměr C : N užším než 10 : 1 jako je kejda nebo čistírenské kaly se rozkládají velmi rychle a tak jsou pro mikroorganismy snadno využitelné. Při rozkladu těchto materiálů ovšem vzniká nadbytek dusíku ve formě čpavku. Suroviny s poměrem C : N širším než 50 : 1 naopak kompostovací proces zpomalují. Nadbytek uhlíku způsobuje nadměrný růst hmoty mikroorganismů a nedostatek dusíku úhyn těchto mikroorganismů. Jedná se o dřevní štěpku, listí, slámu a další. Orientační přehled hodnot poměru C : N vybraných materiálů je uveden v tabulce 4. [3]

#### **3.4.2.5 Pórovitost, zrnitost a homogenita**

Pórovitost i zrnitost jsou určeny velikostí částic, tvarem a dalšími fyzikálními vlastnostmi vstupních surovin. Určují objem vzduchu v hromadě a tak přímo ovlivňují kompostování. Pórovitost a struktura vstupních surovin jsou určeny mírou dezintegrace a promíchání před začátkem kompostování. Struktura určuje odolnost surovin proti zhutnění. [3]

Velké a homogenní částice mají za následek velkou pórovitost, ale malou oxidační plochu přístupnou mikroorganismům. Menší částice snižují pórovitost kompostu, ale lze je vystavit mnohem intenzivnějšímu působení mikroorganismů a tedy výrazně kompostování urychlit. Optimální velikost částic se pohybuje v intervalu 20 až 50 mm. [3]

#### **3.4.2.6 Obsah kyslíku**

K zachování aerobního prostředí podporujícího mikrobiální aktivitu je třeba, aby obsah kyslíku v pórech kompostu byl více než 6 %. Provzdušňováním kompostu lze také snižovat vlhkost v kompostovacích hromadách a regulovat teplotu. Provzdušňovat kompost lze překopáváním nebo je možné vzduch distribuovat ventilátory a perforovaným potrubím do vnitřku hromady. [3]

#### **3.4.3 Surovinová skladba**

Surovinová skladba reprezentuje hmotnostní poměr jednotlivých bioodpadů tvořících základku. Významně ovlivňuje efektivitu a úspěšnost následného procesu a určuje tak i kvalitu získaného produktu. Pro optimální průběh kompostování je třeba vytvořit optimální základku dle těchto kroků [8]:

1. výběr vstupních surovin a stanovení jejich hmotnosti,
2. odhad vlhkosti a stanovení obsahu důležitých chemických látek laboratorním měřením nebo podle tabulek,
3. propočet složení základky,

4. úprava surovinové skladby za účelem dosažení optimálního poměru C : N, vlhkosti a dalších důležitých parametrů,
5. odhad hmotnostních ztrát v průběhu zrání kompostu,
6. výpočet předpokládaného množství kompostu a jeho kvality.

### 3.5 Technika pro zpracování bioodpadů

Mechanizace použitá při kompostování hraje v celém procesu důležitou roli a při kompostování větších objemů materiálu je nezastupitelná. Dále bude zmíněna jen technika užívaná pro kompostování na volné ploše. Jednoúčelové výkonné stroje i univerzální stroje jsou pro zabezpečení jednotlivých operací v požadovaném sledu uspořádány do kompostovacích linek. Kompostovací linka se může skládat z těchto strojů [4]:

- drtiče – dezintegrace vstupních surovin,
- překopávače – míchání a provzdušňování kompostu,
- prosévací zařízení – prosévání a frakční rozčlenění výsledného kompostu,
- separátory – roztřídění nadsítného zbytku z prosévání,
- ostatní zařízení – zabezpečení dalších souvisejících činností.

Kompostovacích linky lze dále rozlišovat podle agregace jednotlivých strojů a energetických prostředků na [4]:

- linky s jedním energetickým prostředkem s řadou připojitelného zařízení,
- linky složené z univerzálních strojů,
- linky kombinované.



### 3.5.1 Energetické prostředky

Energetické prostředky nejčastěji používané v kompostovacích linkách jsou kolové traktory, nosiče nářadí a čelní nakladače. U traktorů i nosičů nářadí je vyžadována možnost připojit čelní lopatu. Dále je nutné, aby oba tyto prostředky dosahovali plzivé pracovní rychlosti  $0,1 - 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , tedy aby byly vybaveny super regulační převodovkou. Využití čelního nakladače jako energetického prostředku podmiňuje jeho schopnost nést další pracovní zařízení a disponuje dostatečným výkonem. Výhodné je, že čelní nakladače bývají vybaveny hydraulickým pohonem, který umožňuje nakladači pohybovat se nízkou rychlostí. [4]

Energetické prostředky mohou mít připojeny tyto stroje [4]:

- čelní lopatu nebo drapák pro manipulaci s kompostem a kompostovanými surovinami,
- drtič nebo štěpkovač pro dezintegraci kompostovaných surovin,
- překopávač kompostu pro míchání a provzdušňování pásových hromad,
- prosévací zařízení,
- zařízení pro manipulaci s plachtou na přikrývání pásových hromad,
- zařízení pro aplikaci kapalin a biotechnologických přípravků.

### 3.5.2 Drtiče a štěpkovače

Drtiče rozmělnují suroviny drcením a trháním. Nadrcené částice nejsou homogenní, ale mají velkou aktivní plochu. Charakter rozmělnění závisí na typu drtícího ústrojí, počtu a tvaru kladiv (cepů, nožů), otáček motoru a nastavení drtícího koše. [4]

Štěpkovače na rozdíl od drtičů produkují relativně homogenní částice s malou aktivní plochou. Štěpkování je oproti drcení proces pracnější

a zdlouhavější. Pracovní nástroj (talíř s pevnými noži) je choulostivější na případné nečistoty ve štěpkovaném materiálu. [4]

### **3.5.3 Překopávače kompostu**

Překopávače primárně míchají a provzdušňují kompost. Dále formují kompostovací hromadu do vhodného profilu a případně i rozmělnují kompost. V celém kompostovacím procesu je překopávání nejdůležitější operací. Překopávače pracují kontinuálně a mohou být samojízdné nebo složené z překopávacího pojezdového zařízení. Pracovní rychlost s možností regulace v intervalu  $0,1 - 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  umožňuje optimální překopání. Pracovní zařízení překopávačů být bubnové čelní, bubnové, šnekové, dopravníkové, kotoučové a kombinované. [4]

### **3.5.4 Prosévací zařízení**

Prosévací zařízení slouží k oddělení nerozložených částic od výsledného kompostu. Kromě oddělení nadsítného zbytku lze hotový kompost roztřídit na různé frakce určené k expedici. Podle konstrukce mohou být prosévací zařízení rozdělena na [4]:

- vibrační třídíče s rovinným sítem – jednoduché a spolehlivé zařízení s přerušovaným pohybem materiálu po šikmo umístěném rovinném sítu,
- rotační třídíče s válcovým sítem – výkonné zařízení s plynulým posunem materiálu rotujícím válcovým sítem (rovinně uložená síta jsou doplněna vnitřní šroubovicí),
- rotační (aktivní) rošty–složené z hřidelů se stejným smyslem otáčení, pravidelnou roztečí, pryžovými nebo ocelovými pracovními elementy mezi kterými propadáva posouvaný materiál,
- třídící lopaty – speciální lopaty pro čelní nakladače, které kompost prosévají a případně i drtí.

### **3.5.5 SeparáčnÍ zařÍzení**

Separátory se využívají především při zpracování komunálních bioodpadů. Při třídění nadsítného zbytku po prosetí kompostu oddělují bioodpad od nežádoucích příměsí, jako jsou kameny, plasty a kovový odpad. Funkce všech konstrukcí separačních zařízení je založena na rozdílných fyzikálních vlastnostech jednotlivých materiálů. [4]

### **3.5.6 Ostatní zařÍzení a vybavení kompostárny**

K zabezpečení provozu kompostárny se využívá množství dalších strojů a zařízení. Tyto stroje a zařízení jsou navrženy speciálně ke kompostování nebo se může jednat o stroje běžně využívané v zemědělství a komunální sféře. Dále je vybráno jen několik důležitých zařízení. [4]

#### **3.5.6.1 ZařÍzení k evidenci materiálů**

K evidování množství přijímaného a expedovaného materiálu se používají mostní váhy nebo přenosné nájezdové váhy. Náhradním řešením pro určování hmotnosti přepravovaných materiálů je přepočítání za pomoci přepravních nástaveb a kontejnerů známých objemů při znalosti objemových hmotností materiálů, kterým je manipulováno. [4]

#### **3.5.6.2 Vodohospodářsky zabezpečená výrobní plocha**

Vodohospodářsky zabezpečená plocha tvoří základ každé kompostárny. Jedná se o investičně nejnáročnější část kompostárny. Nepropustná plocha je v úrovni okolního terénu a je ohraničena obrubníky o výšce minimálně 40 cm nad úroveň terénu. Povrch výrobní plochy musí odolávat výluhům z kompostu, účinkům mrazu a přejezdům mechanizace. Hladký a rovný povrch je vybudován se sklonem minimálně 2 % za účelem odvodu přebytečné vody a srážek do vhodně dimenzované jímky. [2, 4]

Provedení výrobní plochy záleží na konkrétních podmínkách a návrhu projektanta. Nepropustnost plochy je nejčastěji zajištěna hydroizolační fólií,

která je chráněna geotextilií. Pokud je plocha tvořena betonovými panely dosahuje se nepropustnosti těsněním spár tmelem a epoxydehtovou zálivkou. Při umístění kompostárny ve vodohospodářsky zájmových oblastech je nutné zřízení kontrolního systému. Systém se umísťuje pod úroveň nepropustné vrstvy a umožňuje odvod případných průsaků do kontrolních šachet mimo výrobní plochu. [2, 4]

### **3.5.6.3 Plachty**

Plachty sloužící k přikrývání pásových hromad umožňují zachytávat vodu na povrchu kompostovací hromady a zároveň omezují ochlazování povrchu hromad. Díky těmto vlastnostem nedochází k vyplavování živin z kompostu a teplotní pole je rovnoměrnější v celém průřezu hromady. Dále plachty umožňují výměnu plynů mezi hromadou a okolím. [4]

## **4 Vlastní práce**

Kapitola vlastní práce shrnuje stávající nedostatky a technologické uspořádání kompostovací linky, která bude inovována. Dále jsou popsány všechny technologické prostředky potřebné k provozu linky.

Základem návrhu inovace kompostovací linky je nahrazení vibračního síta a pásového dopravníku třídící a drtící lopatou, nesenou smykem řízeným čelním nakladačem. Měření mělo za cíl ověření použitelnosti bezdrátových zapichovacích teploměrů v procesu kompostování. Dále následuje teoretický rozbor předmětu inovace a ekonomické zhodnocení návrhu.

### **4.1 Objasnění úkolu**

Zadaný úkol má za cíl návrh technologické inovace kompostovací linky. Kompostovací linka Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i. (dále jen VÚZT, v.v.i.) se používá k experimentům s novými způsoby kompostování, zakládání kompostů a řízení kompostovacího procesu. Na kompostárně se v poslední době ověřovala funkce a využití systémů pro měření teploty kompostu s bezdrátovým sběrem hodnot. Technologická inovace se bude týkat zkvalitnění míchání vstupních surovin a zjednodušení prosévání stabilního kompostu použitím nesené třídící a drtící lopaty.

### **4.2 Charakteristika stávající výroby**

Experimentální kompostárnu provozuje Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. sídlící na adrese Drnovská 507, Praha 6 – Ruzyně. Kompostárna se nachází v odlehlé části areálu VÚZT. Výrobní plocha leží v mírném svahu a je oplocena. Kompostování probíhá podle zásad technologie kompostování na volné ploše. Zpracovávají jsou suroviny získané svépomocí z vlastního areálu i od externích dodavatelů.

K přípravě vstupních surovin je využíván štěpkovač s vlastním pohonem. K manipulaci se surovinami, zakládání hromad a jejich formování se používá univerzální čelní nakladač. Univerzální čelní nakladač slouží v dalším kroku také jako energetický prostředek pro nesený překopávač. Celý kompostovací proces je řízen a sledován pomocí zapichovacích teploměrů. Po skončení kompostování je stabilizovaný kompost proset pomocí vibračního síta.

### **4.3 Uspořádání stávajícího technologického zařízení**

#### **4.3.1 Stavební objekty kompostárny**

Stavební objekt SO-01 je plocha určená k přípravě surovin a vlastnímu kompostování. Nachází se v mírném svahu a je oplocen. Území tvaru lichoběžníku má velikost přibližně 600 m<sup>2</sup>. Povrch kompostovací plochy je tvořen převážně zhutněnou zeminou, v horní části se nachází betonová plocha vhodná zejména k přípravě vstupních surovin. Vzhledem k experimentální povaze kompostárny a provozu po omezený časový úsek není kompostárna vybavena vodohospodářsky zabezpečenou plochou.

Stavební objekt SO-02 je zděná budova obsahující sklad, laboratoř a sociální zařízení. Budova je napojena na elektrickou, vodovodní a kanalizační síť. Schématická uspořádání kompostárny je znázorněné na obrázku 4.

#### **4.3.2 Inženýrské sítě**

##### **Vodovodní síť**

Vodoměrná šachta se nachází v blízkosti kompostárny. Uvnitř šachty je vodoměr s hlavním uzávěrem a přímo je napojena budova. Za hlavním uzávěrem je odbočka ke kompostárně pro vodovodní zásuvku umístěnou v šachtě nedaleko kompostovací plochy. Potrubí a tvarovky průměru 32 mm jsou z materiálu PE-HD.

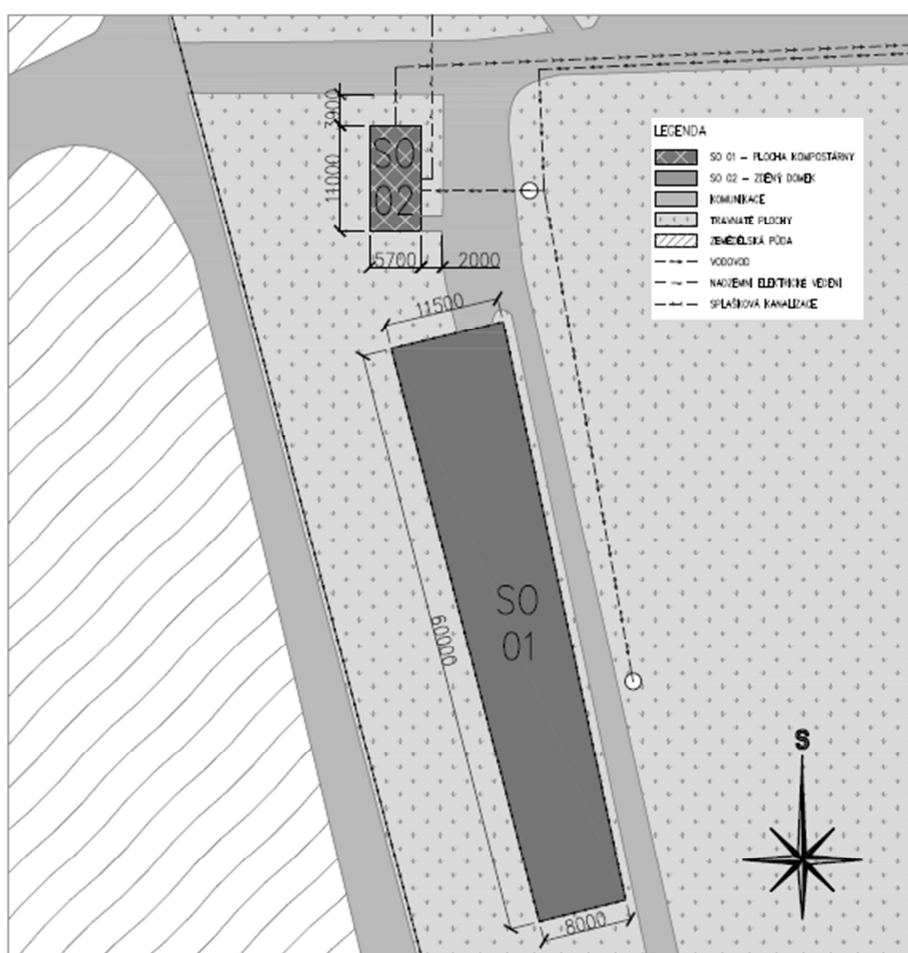
## Kanalizace

Budova SO-02 je napojena na jednotnou splaškovou kanalizaci potrubím PVC DN 100.

## Elektrická síť

V budově SO-02 je umístěn nadzemní rozvaděč s přípojkou 230/400 V. Rozvaděč má 25 A jistič. Elektrický proud je přiveden nadzemním vedením.

Obr. 4 Schéma uspořádání kompostárny



### 4.3.3.1 Technika k dezintegraci vstupních surovin

Vstupní suroviny jsou dezintegrovány pomocí štěpkovače s vlastním pohonem (viz obr. 5). Základní parametry štěpkovače jsou shrnuty v tabulce 5.

Tab. 5 Parametry štěpkovače

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výrobce	-	PEZZOLATO
Typ	-	PZ 110 M-b
Rozměry (d x š x v)	[mm]	2550 x 1050 x 2150
Hmotnost	[kg]	420
Výkonnost stroje	[m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	3 – 4
Max. průměr podávaného mat.	[mm]	110
Získaná frakce	[mm]	5 – 12
Vstup	-	Horizontální podávací válce (2)
Výstup	-	Ventilátor s otočnou hubicí
Pohon	-	Benzínový motor
Příkon	[kW]	10

#### 4.3.3.2 Manipulace, tvarování a vrstvení profilu, nesení nářadí

Obr. 5 Fotografie štěpkovače Pezzolato



Kompostovací hromady jsou tvarovány a zakládány pomocí univerzálního čelního smykem řízeného nakladače. Tento univerzální nakladač je pro celý kompostovací proces velmi důležitý, protože slouží jako nosič a energetický prostředek pro níže uvedený překopávač kompostu (viz obr. 6).



Základní parametry univerzálního čelního nakladače jsou shrnuty v tabulce 6, parametry překopávače v tabulce 7.

Obr. 6 Fotografie překopávače kompostu neseného čelním nakladačem



Tab. 6 Základní parametry čelního nakladače

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výrobce	-	DETVA
Typ	-	UNC 060
Rozměry (d x š x v)	[mm]	3220 x 1700 x 1990
Hmotnost	[kg]	2875
Objem diesel motoru	[cm <sup>3</sup> ]	2696
Výkon	[kW]	33,1
Počet válců	-	3
Geometrický objem lopaty	[m <sup>3</sup> ]	0,375
Spotřeba paliva	[g · kW <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> ]	250
Průtok oleje	[l · min <sup>-1</sup> ]	60
Nosnost	[kg]	750

#### 4.3.3.3 Překopávání kompostu

K překopávání slouží nesený překopávač Ostratický NPK 250H.

Tab. 7 Základní parametry překopávače kompostu

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výrobce	-	OSTRATICKÝ
Typ	-	NPK 250H
Pracovní prostor (š x v)	[mm]	2500 x 1200
Rozměry (d x š x v)	[mm]	1500 x 1800 x 800
Hmotnost	[kg]	700
Výkonnost stroje	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]	600
Způsob připojení	-	Nesený přední nebo zadní
Požadovaný příkon	[kW]	min 60

#### 4.3.3.4 Prosévání kompostu

Stabilizovaný kompost je separován na dvě frakce pomocí vibračního síta a pásového dopravníku. Vibračním sítem propadává podsítná složka na pásový dopravník a je vynášena mimo pracovní prostor (viz obr. 7). Nadsítná složka je odváděna žlabem a připravena k opětovnému kompostování. Základní parametry univerzálního pásového dopravníku jsou shrnuty v tabulce 8, parametry vibračního rovinného síta v tabulce 9.

#### Pásový dopravník

Tab. 8 Základní parametry pásového dopravníku

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výrobce	-	NOVER
Typ	-	RM 9-019
Šířka pásu	[mm]	300
Rozměry (d x š x v)	[mm]	5100 x 1590 x 1500
Výkonnost	[m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	21
Požadovaný příkon	[kW]	1,5

## Vibrační rovinné síto

Obr. 7 Fotografie vibračního síta a pásového dopravníku



Tab. 9 Základní parametry rovinného vibračního síta

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výrobce	-	NOVER
Typ	-	VSD-01
Rozměry (d x š x v)	[mm]	2667 x 1264 x 1836
Velikost oka síta	[mm]	10 x 10, 16 x 16, (20 x 20)
Výkonnost	[m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	8 – 15
Vstup	[mm]	Síto 1360 x 750
Výstup	-	Násypka dopravníku / žlab
Pohon	-	Elektromotor
Požadovaný příkon	[kW]	0,25
Zvláštní vlastnosti	-	Nastavitelný sklon síta, dva vibrační stupně

### 4.3.3.5 Navážení a expedice

Dopravu surovin a hotového kompostu lze zajistit pomocí dopravních prostředků z majetku VÚZT, v.v.i., nosičem kontejnerů AVIA 31 a kolovým traktorem Zetor 5245 s valníkem.

#### **4.4 Nedostatky stávajícího provozu**

Experimentální kompostárna není vybavena vodohospodářsky zabezpečenou plochou. Plochu kompostárny tvoří pouze mírně zhutněná zemina. Vzhledem k dočasnému charakteru, velikosti produkce kompostu a umístění kompostovací plochy nepředstavuje kompostárna ekologickou zátěž pro okolí.

Kompostárna je umístěna ve svahu, proto je v případě vyšších srážek ztížena přístupnost kompostovací plochy a omezena možnost manipulace s kompostovacími hromadami. V současnosti je obtížné správně dezintegrovat karton, protože v kompostovací lince chybí vhodné zařízení.

#### **4.5 Výchozí podmínky**

Strojní vybavení kompostovací linky je dostačující pro kompostování téměř všech biodegradabilních surovin kromě kartonu. Umístění kompostárny je výhodné z hlediska dostupnosti inženýrských sítí a krátkých svozových vzdáleností místních kompostovatelných surovin v areálu VÚZT.

#### **4.6 Inovace experimentální kompostovací linky**

Navržená inovace kompostovací linky má za účel nahrazení prosévacího zařízení třídící a drtící lopatou, která se dá využít kromě prosevu i pro míchání vstupních surovin a v omezené míře i k jejich dezintegraci.

##### **4.6.1 Volba třídící a drtící lopaty**

Před výběrovým řízením byla provedena analýza trhu. Limitujícími parametry byl průtok oleje nosnost a hmotnost univerzálního smykem řízeného nakladače UNC 060. Pro výběrové řízení na nákup třídící a drtící lopaty byly od výhradních distributorů vybrány dva zahraniční výrobky.

Hlavní požadavky na lopaty byly:

- hmotnost do 750 kg,
- průtok oleje do  $60 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ,
- prosévání na velikost částic alespoň 25 mm
- možnost míchání vstupních surovin,
- přídatná výbava,
- cena.

#### **4.6.1.1 Neuenhauser Gala – Star model 2 – 15 N**

Lehká lopata Gala - Star (viz obr. 8) je určena pro nosiče o vlastní hmotnosti 3 – 8 t. Rozteč disků na hřídeli přibližně udává velikost frakce. Lopata má dva rotační hřídele s navařenými disky a vyměnitelnými pracovními nástroji. Velikost frakce je dána poloviční roztečí disků. Velikost frakce 0 - 25 mm lze využít v kompostování. Velikost frakce 25 - 40 mm se používá např. na třídění sutě, zemin atd.

*Obr. 8 Fotografie třídící a drtící lopaty Gala - Star*



Zdroj: [www.codet.cz](http://www.codet.cz)

Pro změnu velikosti frakce je možné vyměnit hřídele. Tato operace trvá přibližně 3 hodiny a díky této vlastnosti je lopata využitelná pro velké množství dalších činností s kompostováním nesouvisejících. Lopata může díky patentovanému systému Kronenberger zpracovávat i vazké a vlhké materiály. Pro větší výkonnost je možné lopatu dovybavit přídatnou nástavbou pro zvětšení objemu lopaty a odolným wolfram – karbidovým dnem.

#### **4.6.1.2 Allu SML 2 – 12**

Ultralehká lopata Allu SML 2 – 12 (viz obr. 9) je určena pro nosiče o vlastní hmotnosti 1 – 9 t. Lopata má dva rotační hřídele s disky a vyměnitelnými nástroji. Velikost frakce je 0 - 25 mm.

Lopatou lze míchat, třídít, drtit a provzdušňovat rozličné materiály. Výraznou předností je fakt, že na rozdíl od jiných zařízení nehrozí u této lopaty žádné nebezpečí poškození při vniknutí kamene nebo ocelových zbytků, které mohou být díky reverznímu chodu jednoduše uvolněny.

*Obr. 9 Fotografie třídící a drtící lopaty Allu SML 2 - 12*



*Zdroj: [www.staves.cz](http://www.staves.cz)*

#### 4.6.2 Výběrové řízení

Výběrové řízení je shrnuto v tabulce 10. Všechny důležité parametry lopat jsou zde uvedeny a ohodnoceny podle „školní“ stupnice 1 - 5. Hodnocení 1 znamená, že daný parametr výborně vyhovuje všem požadavkům. Vyhodnocení výběrového řízení je provedeno sečtením všech hodnocení. Lopata s nižším součtem vyhovuje lépe.

Tab. 10 Výběrové řízení

Parametry	Gala - Star		SML 2 - 12	
Hmotnost [kg]	500	2	420	1
Hmotnost nosiče [t]	3 - 8	2	2 - 12	1
Průtok oleje [l/min]	50	2	40 - 60	1
Velikost frakce [mm]	0-25 (25-40)	1	0 - 25	3
Zpracování vlhkého materiálu	ano	1	ano (mírně)	3
Rozměry (š x v x h)	1798 x 893 x 946	1	1382 x 924 x 867	2
Obsah lopaty (ISO / SAE) [m <sup>3</sup> ]	0,5 / 0,65	1	0,4	3
Příkon [kW]	18	1	20	2
Přídavné vybavení	Nástavba, odolné dno	1	Nástavba	2
Cena bez DPH	11000 € *	2	266 000 Kč	1
<b>Celkem</b>	<b>14</b>		<b>19</b>	

\* 1 € = 25 Kč

Lépe hodnocena byla lopata Gala Neuenhauser Gala – Star. Jejimi přednostmi jsou především schopnost zpracovat vlhké materiály, větší obsah, širší doplňková výbava a větší variabilita daná možností relativně snadné výměny rotačních hřídelů.

## **4.7 Měření**

Cílem měření bylo ověřit, zda jsou zapichovací teploměry s bezdrátovým přenosem dat spolehlivým prostředkem pro sledování teploty kompostu. Na základě informací z těchto teploměrů by bylo možné rychle a vhodně upravit kompostovací proces, ovlivnit tak jeho průběh a pozitivně upravit kvalitu a vlastnosti finálního kompostu.

Kompostování probíhalo na experimentální kompostárně VÚZT, v.v.i. od 21. 8. 2010 do 20. 10. 2010 podle postupů technologie řízeného kompostování v pásových hromadách na volné ploše s využitím kompostovacích plachet. Měření teploty kompostu bylo prováděno na jedné kompostovací hromadě, kde zároveň probíhalo měření teploty vzduchu.

### **4.7.1 Měření objemové hmotnosti vstupních surovin**

Objemová hmotnost byla zjišťována u trávy, nadsítného podílu a již smíchaných surovin zakládky. Objemová hmotnost listí byla dopočítána. K určení objemové hmotnosti jednotlivých surovin byla použita metoda vážení známého objemu suroviny. Na základě tohoto údaje byla následně dopočítána objemová hmotnost. K měření byla použita váha s možností navážky 50 kg a nádoba s ocejchovaným objemem 0,038 m<sup>3</sup>. [6]

Z každého měřeného materiálu byl nejprve odebrán vzorek. Vzorkem byla naplněna nádoba se známým objemem 0,038 m<sup>3</sup>, která byla následně zvážena. Od výsledné hmotnosti bylo odečteno 1,4 kg vlastní hmotnosti nádoby. Z každé suroviny byly odebrány a zváženy tři vzorky. [6]



Tab. 11 Objemová hmotnost surovin zakládky

Suroviny	Hmotnost vzorků			Průměrná hmotnost [kg]	Objem nádoby [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]
	m <sub>1</sub> [kg]	m <sub>2</sub> [kg]	m <sub>3</sub> [kg]			
Tráva	10,10	11,10	9,05	10,08	0,038	265,35
Nadsítný podíl	32,10	31,90	30,60	31,53		829,82
Listí	-	-	-	7,33		192,98
Zakládka	15,45	17,30	16,20	16,32		429,39

Objemová hmotnost byla následně vypočítána podle vztahu (2) a výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce 11.

$$\overline{m}_v = V_n \cdot \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} \quad (2)$$

kde:  $V_n$  – objem zkušební nádoby [m<sup>3</sup>]

$m_i$  – hmotnost vzorku [kg]

#### 4.7.1 Založení kompostu

Založena byla jedna pásová hromada lichoběžníkového průřezu. Šířka základny byla přibližně 1 m a délka hromady 33 m.

Zakládka se skládala z nadsítného podílu z předchozího kompostování, trávy a listí. Jednotlivé suroviny byly vrstveny a míchány čelním nakladačem. Lopata čelního nakladače má objem 0,375 m<sup>3</sup>. Trávy i listí bylo naloženo 20 lopat. Nadsítného podílu bylo naloženo 10 lopat. Jednoduchým výpočtem bylo zjištěno, že celkový objem surovin v zakládce byl přibližně 18,75 m<sup>3</sup> a hmotnost zakládky přibližně 6,5 t. Hodnoty jsou shrnuty v tabulce 12.

Tab. 12 Hmotnost surovin a celková hmotnost zakládky

Suroviny	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]
Tráva	7,50	1990,13
Nadsítný podíl	3,75	3111,84
Listí	7,50	1447,37
Celkem	18,75	6549,34

#### 4.7.2 Výsledný kompost

U výsledného kompostu byla měřena objemová hmotnost stejným způsobem jako objemová hmotnost zakládky a vstupních surovin. Vlastnosti kompostu nebyly pro hodnocení experimentu důležité. Měření teplot díky tomu mohlo probíhat i v jiné kompostovací hromadě, kam byly teploměry přemístěny 16. 9. 2010. Vlastnosti kompostu byly využity pro ekonomické posouzení nákupu třídicí a drticí lopaty v kapitole 4.9 a jsou shrnuty v tabulce 13.

Tab. 13 Objemová hmotnost kompostu

Surovina	Hmotnost vzorků			Průměrná hmotnost [kg]	Objem nádoby [m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]
	m <sub>1</sub> [kg]	m <sub>2</sub> [kg]	m <sub>3</sub> [kg]			
Výsledný kompost	19,20	18,50	18,80	18,83	0,038	495,61

#### 4.7.3 Měření teploty

K měření teplot byly použity kontrolní teploměry Testo 175 s dataloggerem a zapichovací tyčovou sondou. A ověřované zapichovací teploměry s bezdrátovým přenosem ZAT - 1000 . Teploměry byly svázány do pevné sestavy, z důvodu zajištění co nejpřesnějšího měření (viz obr. 10).

Sondy teploměrů byly do kompostovací hromady umístěny tak, aby jejich konce směřovaly přibližně do středu lichoběžníkového profilu hromady.

Všechny tři teploměrové sestavy byly ukryty pod plachtami. Účelem bylo ochránit teploměry před případným odcizením.

*Obr. 10 Fotografie sestavy teploměrů*

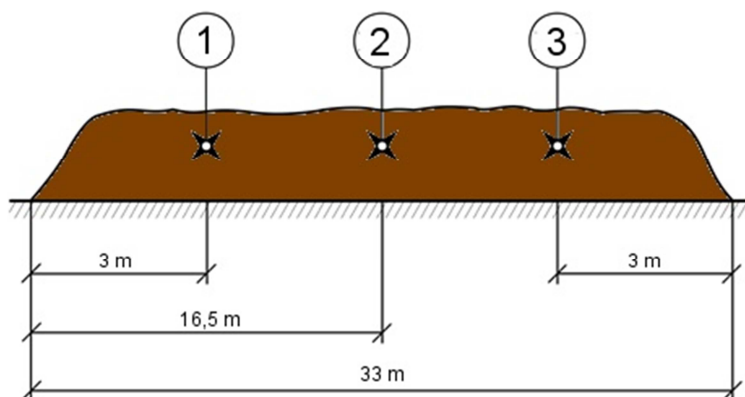


Vzhledem k automatickému sběru dat byly teploměry nastaveny na měření teploty 4 x za den po celou dobu průběhu kompostovacího procesu. Teploměry snímaly teplotu ve středu profilu hromady. Teploměry byly umístěny v kompostovací hromadě po celou dobu kompostování. Vyjímány byly pouze při provádění překopávek a před koncem experimentu také při jejich přesunu do jiné kompostovací hromady.

#### **4.7.3.1 Měřící body**

Vzhledem k délce hromady byly pro zapíchnutí teploměrů zvoleny tři body. Dva body se přibližně 3 m od obou konců hromady, třetí bod se nacházel přibližně v polovině délky hromady (viz obr. 11 a 12).

Obr. 11 Schéma navržených měřících bodů



Obr. 12 Fotografie umístění teploměrů v pásové hromadě



#### 4.7.3.2 Použité teploměry

##### 4.7.3.2.1 Teploměr Testo 175

Jako kontrolní teploměr byl k měření použit teploměr Testo 175, který se skládá z krytu, vnitřní elektroniky, rukojetí, zapichovací sondy a záznamníku dat (dataloggeru). Použitá zapichovací sonda teploměru měla délku 1,5 m. Průběh

experimentu byl průběžně kontrolován na displeji teploměru. Data z dataloggeru byla zpracována až po konci experimentu.

#### 4.7.3.2.2 Teploměr ZAT - 1000

Porovnávaný teploměr ZAT – 1000 se skládá z krytu, vnitřní elektroniky, rukojetí a zapichovací sondy. Teploměr použitý při experimentu byl také vybaven zapichovací sondou o délce 1,5 m. Díky výhodné vzdálenosti teploměrů od laboratoře mohla být data přenášena bez použití opakovače. Teplota byla dle nastavení měřena v šestihodinových intervalech a ukládána do vnitřní paměti. Po celou dobu experimentu byla data minimálně dvakrát týdně odesílána do sběrné jednotky a kontrolována.

#### 4.7.3.2.3 Základní vlastnosti teploměrů

V tabulce 14 jsou uvedeny parametry obou použitých typů teploměrů.

Tab. 14 Shrnutí základních vlastností teploměrů

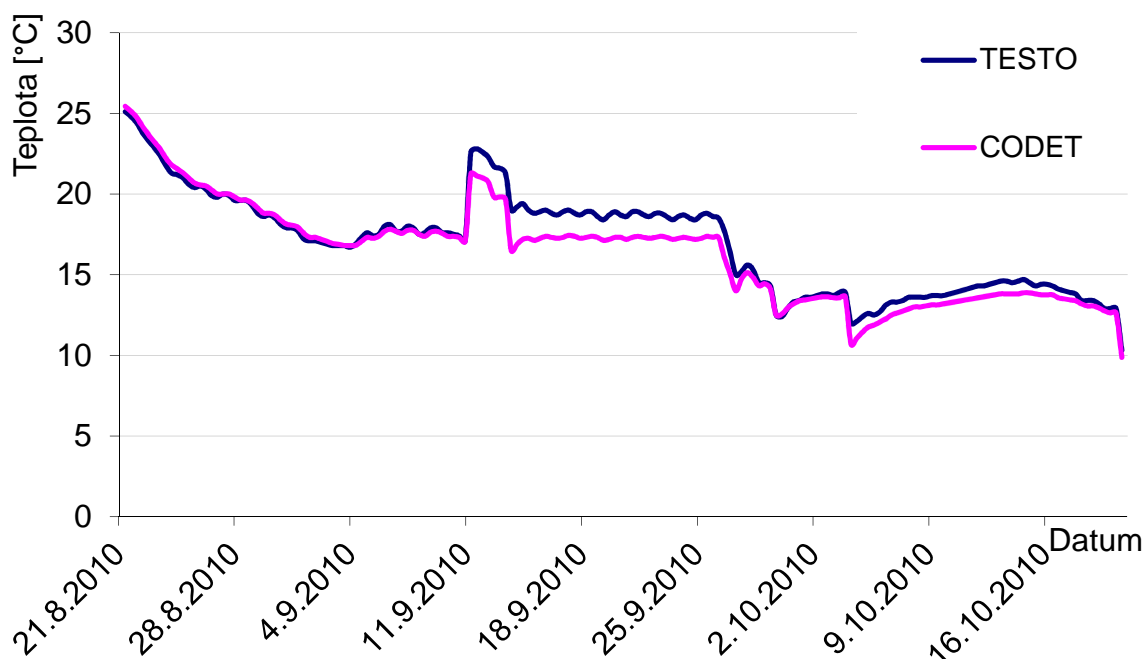
Označení přístroje	Zapichovací sonda s dataloggerem Testo 175-T2	Zapichovací teploměr s bezdrátovým přenosem ZAT – 1000
Měřicí rozsah (°C)	-40 až +120	-55 až +125
Hmotnost (g)	84 (bez sondy)	1 500 (včetně sondy)
Rozměry přístroje (mm)	82 x 52 x 30	Vysílač zapichovací sondy – 125 x 115 (držák 390) x 60 Přijímač signálu – 150 x 50 x 20
Typ / délka sondy (- / mm)	NTC – externí senzor / 1500	– / 1 000, 1500 nebo dle domluvy
Napájení	Lithiová baterie (1AA)	Alkalická baterie
Cena bez DPH (Kč)	od 14 500,- (dle propojení s PC)	od 38 000,- (souprava s 3 zap.teploměry)

### 4.7.3.3 Dosažené výsledky měření

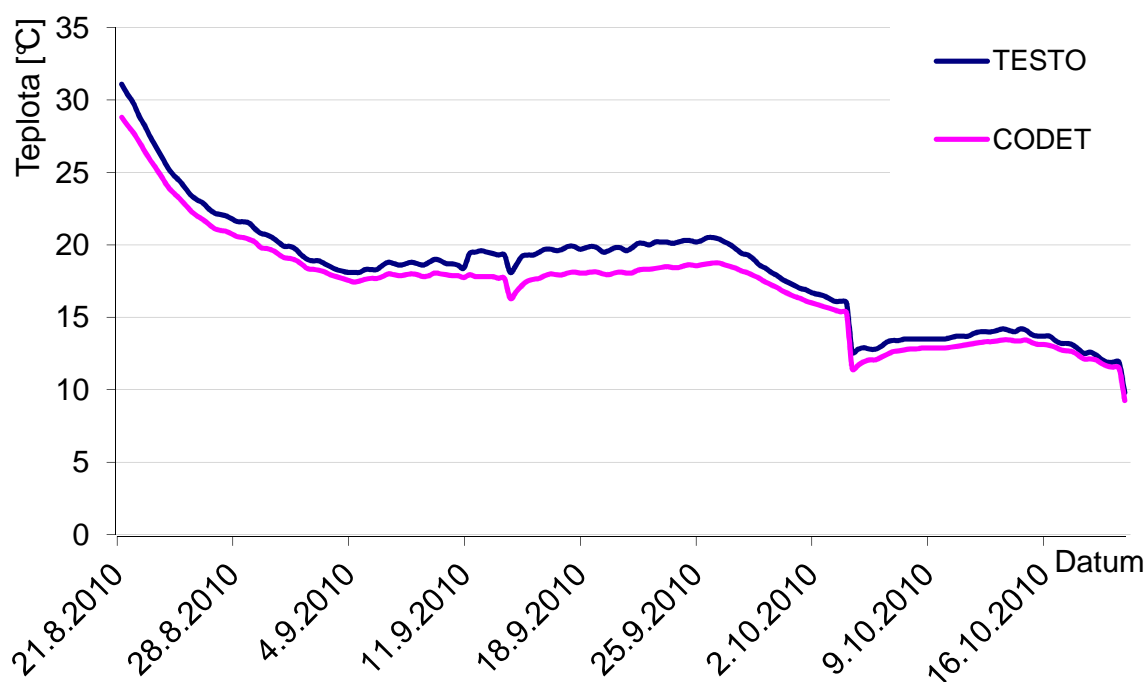
Po skončení experimentu byly teploměry vyjmuty z hromady a data v nich uložená byla stažena do počítače. Z jednoho bezdrátového teploměru nebylo možné data přenést kvůli závadě. Hodnocena tak byla data pouze ze dvou svazků.

Údaje z teploměrů byly exportovány do programu Excel a následně vyhodnoceny. Průměrná odchylka činila 0,81 °C. Maximální odchylka činila 2,14 °C. Průběhy teplot teploměrů v měřících svazcích jsou znázorněny v grafech na obrázcích 13 a 14. Data a protokoly s výsledky měření jsou uloženy u řešitele projektu.

Obr. 13 Graf průběhu teplot prvního svazku teploměrů



Obr. 14 Graf průběhu teplot druhého svazku teploměrů



#### 4.7.3.4 Shrnutí výsledků měření

Výsledky porovnávacího měření při kompostování potvrdily shodnost průběhů teplot ověřovaných teploměrů s bezdrátovým přenosem s kontrolními teploměry. Průměrná odchylka měření ležela v přijatelném rozmezí  $\pm 1$  °C. Experiment tedy ověřil, že zapichovací teploměry s bezdrátovým přenosem dat jsou spolehlivými a vhodnými prostředky pro měření teploty při kompostování v pásových hromadách.

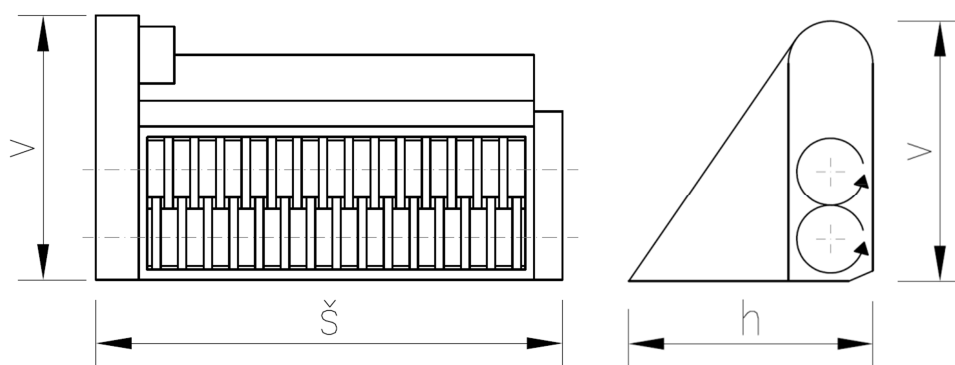
## 4.8 Teoretický rozbor třídící a drtící lopaty

Skříňová konstrukce lopaty je ocelová. Ocelové jsou i rotační hřídele na kterých jsou navařeny disky, jejichž rozteč ovlivňuje velikost výstupní frakce. Tvrzené pracovní nástroje jsou přišroubované na disky. Lopata má jeden radiální pístový hydromotor. Hydromotor pohání oba hřídele pomocí řetězových

kol. Tlakový olej dodává nosič lopaty. Zjednodušené schéma lopaty je znázorněno na obrázku 15.

Při otáčení hřídelů dochází k rozrušení materiálu a propadávání drobnějšího materiálu v mezerách mezi stěnami lopaty a hřídeli. Pracovní nástroje zároveň zachycují materiál o větší zrnitosti, vtahují ho mezi hřídele a stěny lopaty, kde dochází k rozrušení materiálu. Lopata dokáže zpracovávat i vlhký materiál, ovšem s vyšší vlhkostí zpracovávaného materiálu klesá hodinová výkonnost. Míchání materiálu je relativně snadné, ale dodavatelé upozorňují, že k dosažení dobré výkonnosti je třeba aby si obsluha vytvořila vlastní posupy v závislosti na tom jaké materiály budou míchány.

Obr. 15 Zjednodušené rozměrové schéma třídící a drtící lopaty



Rozměry lopaty Gala – Star jsou:  $v = 1798 \text{ mm}$ ,  $š = 893 \text{ mm}$ ,  $h = 946 \text{ mm}$ .

#### 4.9. Ekonomické posouzení nákupu třídící a drtící lopaty

K ekonomickému posouzení nákupu třídící a drtící lopaty je třeba zohlednit, že Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. nevyužívá experimentální kompostárnu pro komerční provoz. Roční produkce kompostu je velmi malá, z toho důvodu bude pro posouzení základních ekonomických faktorů tohoto investičního záměru uvažován komerční provoz kompostárny s maximální kapacitou produkce. Pro potřeby této práce budou dále zanedbány nedostatky stávajícího provozu, které by komerční provoz neumožňovaly.



Prostředky na pořízení lopaty budou čerpány z úvěru, ovšem v případě skutečné realizace nákupu by byla třídící a drtící lopata zakoupena ze státních prostředků na základě schváleného projektu.

#### 4.9.1 Výpočet kapacity komerčního provozu

Kompostování bude probíhat na ploše přibližně obdélníkového tvaru o rozměrech 45 x 8 metrů. Počet pásových hromad je zvolen s ohledem na šířku plochy a pracovní záběr překopávače. Šířka základny pásové hromady je 1,4 m a pracovní mezera mezi hromadami 1,9 m (viz obr. 16). Potřebná pracovní plocha k uložení pásových hromad  $S_p$  je stanovena podle vztahu (3):

$$S_p = n \cdot L \cdot B \quad (3)$$

kde:  $n$  – počet pásových hromad 3

$L$  – délka pásové hromady 40 m

$B$  – šířka základny pásové hromady 1,4 m

$$S_p = 168 \text{ m}^2$$

Lichoběžníková plocha profilu kompostovací hromady  $A$  je stanovena podle vztahu (4) [4]:

$$A = \frac{B + B_1}{2} \cdot H \quad (4)$$

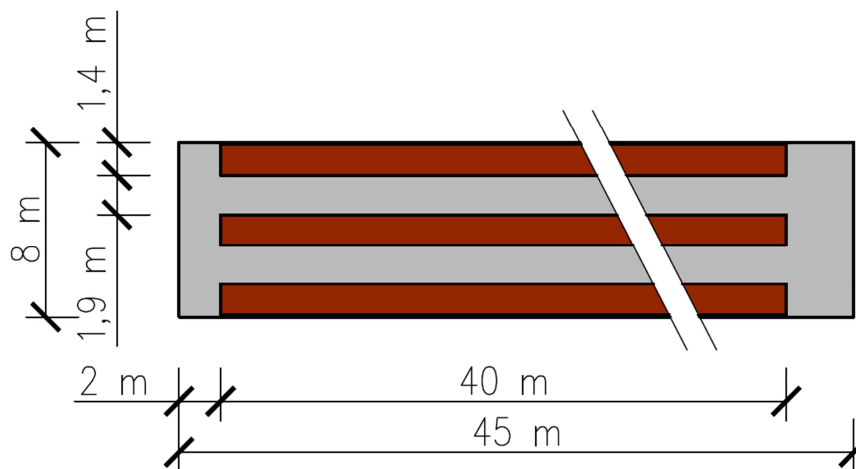
kde:  $B$  – šířka základny pásové hromady 1,4 m

$B_1$  – horní šířka pásové hromady 0,9 m

$H$  – výška pásové hromady 1,0 m

$$A = 1,15 \text{ m}^2$$

Obr. 16 Schéma rozložení pásových hromad



Objem kompostu na jeden metr komstovací plochy  $P$  je stanoven podle vztahu (5) [4]:

$$P = \frac{A}{B} \quad (5)$$

kde:  $A$  – plocha profilu pásové hromady  $1,15 \text{ m}^2$

$B$  – šířka základny pásové hromady  $1,4 \text{ m}$

$$P = 0,82 \text{ m}^3 / \text{m}^2$$

Kapacita kompostárny  $M$  je stanovena podle vztahu (6) [4]:

$$M = \frac{S_p \cdot \rho_s \cdot 36 \cdot P}{T} \quad (6)$$

kde:  $S_p$  – celková pracovní plocha kompostárny  $168 \text{ m}^2$

$\rho_s$  – navržená předpokládaná obj. hmotnost kompostu  $0,45 \text{ t} / \text{m}^3$

$P$  – objem kompostu na  $1 \text{ m}^2$  plochy  $0,82 \text{ m}^3 / \text{m}^2$

$T$  – kompostovací cyklus  $7 \text{ týdnů}$

$$M = 318,82 \text{ t} / \text{rok}$$

#### 4.9.2 Charakteristika investičního záměru

Investiční záměr je nákup třídící a drtící lopaty Neuenhauser Gala – Star. Tato lopata byla zvítězila ve výběrovém řízení. Cena lopaty je závislá na aktuálním kurzu eura. Při uvažovaném kurzu 1 € = 25 Kč je cena lopaty 275 000 Kč bez DPH. Prostředky na nákup budou získány z úvěru 330 000 Kč. Úvěr bude splácen pět let s úrokem 7,5 %.

#### 4.9.3 Celkové investiční náklady

Úročitel je stanoven podle vztahu (7) [1]:

$$q = 1 + \frac{p}{100} \quad (7)$$

kde:  $p$  – úroková míra 7,5 %

$$q = 1,075$$

Velikost pravidelných anuitních splátek je stanovena podle vztahu (8) [1]:

$$A = Ko \cdot \frac{q^n(q - 1)}{q^n - 1} \quad (8)$$

kde:  $Ko$  – počáteční jistina (pořizovací cena) 330 000 Kč

$q$  – úročitel 1,075

$n$  – doba odepisování 5 let

$$A = 81\,564 \text{ Kč}$$

Roční anuitní splátka byla stanovena na 81 564 Kč za rok. Celkový zaplacený úrok je spočítán z rozdílu pořizovací ceny lopaty a součtu všech anuitních splátek a činí 77 820 Kč. Z vypočítaných hodnot lze sestavit splátkový kalendář [1], který je uveden v tabulce 15.

Tab. 15 Splátkový kalendář

Rok	Stav na počátku [Kč]	Úrok [Kč]	Anuitní splátka [Kč]	Splátka [Kč]	Stav na konci [Kč]
1	330 000	24 750	81 564	56 814	273 186
2	273 186	20 489	81 564	61 075	212 110
3	212 110	15 908	81 564	65 656	146 454
4	146 454	10 984	81 564	70 580	75 874
5	75 874	5 691	81 564	75 874	0

#### 4.9.4 Výpočet cash - flow

Tab. 16 Cash - flow

	2012 [Kč]	2013 [Kč]	2014 [Kč]	2015 [Kč]	2016 [Kč]
Odběr surovin	54 096	56 801	59 641	62 623	65 754
Prodej kompostu	318 820	334 761	351 499	369 074	387 528
<b>Celkové tržby</b>	372 916	391 562	411 140	431 697	453 282
Náklady na zpracování surovin	203 726	224 099	246 508	271 159	298 275
Odpisy dlouhodobého hmotného majetku	81 564	81 564	81 564	81 564	81 564
Úroky z úvěru	24 750	20 489	15 908	10 984	5 691
<b>Celkové náklady</b>	310 040	326 152	343 981	363 708	385 530
Výsledek hospodaření (daňový základ)	62 876	65 410	67 159	67 989	67 752
Daň z příjmu (19 %)	11 946	12 428	12 760	12 918	12 873
Výsledek hospodaření za účetní období	50 929	52 982	54 399	55 071	54 879
<b>Cash - flow</b>	132 494	134 546	135 963	136 636	136 443

Pro potřeby výpočtu cash flow nepřímou metodou byla stanovena cena 1000 Kč za tunu prodáváného kompostu. Tržby z odběru surovin byly navrženy

podle aktuálních cen firmy Kabrna spol. s.r.o. Jednotkové náklady na zpracování biomasy počítány dle tabulek VÚZT, v.v.i. Meziroční nárůst cen je 5 % a nákladů na zpracování biomasy 10 %. Cash – flow v letech 2012 až 2016 je uveden v tabulce 16.

#### 4.9.5 Stanovení základních ukazatelů hodnocení

Nákladová rentabilita v jednotlivých letech je stanovena podle vztahu (9) a výsledky jsou uvedeny v tabulce 17 [1]:

$$r_N = \frac{\text{čistý zisk}}{\text{náklady}} \cdot 100 \quad (9)$$

Tab. 17 Nákladová rentabilita

Rok	Čistý zisk [%]	Náklady [%]	Rentabilita [%]
2012	50 929	310 040	16,43
2013	52 982	326 152	16,24
2014	54 399	343 981	15,81
2015	55 071	363 708	15,14
2016	54 879	385 530	14,23

Nákladová rentabilita se pohybuje od 14,23 % do 16,43 %.

Tab. 18 Kumulativní cash - flow

Rok	Cash - flow [Kč]	Kumulativní cash - flow [Kč]
2012	132 494	132 494
2013	134 546	267 040
2014	135 963	403 003
2015	136 636	539 639
2016	136 443	676 081

Pořizovací cena lopaty Gala – Star je 330 000 Kč včetně DPH. Z tabulky 18 je tedy zřejmé, že doba návratnosti investice leží mezi druhým

a třetím rokem. Návratnost investice s přesností na jeden měsíc je stanovena podle vztahu (10) [1]:

$$\text{měsíc návratnosti investice} = \frac{PC - \text{kum. } CF_2}{CF_3} \cdot 12 \quad (10)$$

kde: *PC* – pořizovací cena 330 000 Kč

*kum. CF<sub>2</sub>* – kumulativní cash – flow ve druhém roce 267 040 Kč

*CF<sub>3</sub>* – cash – flow ve třetím roce 135 963 Kč

***Měsíc návratnosti investice = 5,56 měsíce***

Návratnost investice je přibližně 2 roky a 6 měsíců.

#### **4.9.6 Závěrečné shrnutí ekonomického posouzení**

Výpočty rentability nákladů a návratnosti investice ukázaly, že zvolený způsob financování nákupu lopaty Gala – Star úvěrem s úrokem 7,5 % je vhodný. Návratnost investice je téměř 2 roky a 6 měsíců.

## 5 Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou zpracování biologicky rozložitelných odpadů kompostováním. Nejběžnější technologií pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů je kompostování v pásových hromadách na volné ploše, na kterou byl také v této práci kladen největší důraz. Tato technologie vyniká jednoduchostí a nízkými náklady.

Směrnice EU omezují skládkování veškerého BRO a kompostování tak nabývá na významu. Biologicky rozložitelný odpad zpracovaný na stabilní kompost má dobré předpoklady pro zemědělské využití a kompostování jako takové je velmi přístupnou technologií i pro nejmenší zpracovatele.

V rámci diplomové práce byla navržena inovace experimentální kompostovací linky VÚZT, v.v.i., konkrétně nahrazení vibračního rovinného síta a pásového dopravníku třídící a drtící lopatou. Navržena byla třídící a drtící lopata nejlehčí kategorie, která je nesena smykem řízeným nakladačem. Takto jednoduchá kompostovací linka je vhodná především pro malé zpracovatele.

Třídící a drtící lopata má velmi širokou možnost využití. V kompostování ji lze použít pro přípravu a částečnou dezintegraci vstupních surovin a následně pro třídění stabilního kompostu. Dále ji lze využít pro drcení a třídění sutí a zemin. Tyto vlastnosti lopatu přímo předurčují pro využití v malých kompostárnách u sběrných dvorů, kde lopata může být využita i při jiných činnostech než je kompostování.

Ve výběrovém řízení byl vybrán model Gala – Star německého výrobce Neuenhauser vybavený dvěma rotačními hřídeli s navařenými disky a vyměnitelnými pracovními nástroji. Výhodou této lopaty je možnost změny hřídelů a tím i změny frakce. Dále lopata snadněji zpracovává vlhké materiály. Za menší nevýhodu lze považovat vyšší hmotnost oproti konkurenci.

Pro návrh výhodnosti nákupu třídící a drtící lopaty byl na stávající experimentální kompostárně uvažován komerční provoz s maximální možnou kapacitou produkce. Z ekonomických údajů poskytnutých VÚZT, v.v.i., aktuálních cen za odběr bioodpadů a prodej hotového kompostu byl sestavena tabulka cash – flow, nákladové rentability a doby návratnosti investice. Provoz kompostárny se ukázal jako ziskový. Pořízení třídící a drtící lopaty na úvěr se tedy jeví jako vhodná investice s poměrně krátkou dobou návratnosti.

V rámci vlastního měření byla měřena objemová hmotnost vstupních surovin a výsledného kompostu. Cílem hlavního měření bylo ověření vhodnosti použití bezdrátových zapichovacích teploměrů pro sledování teploty kompostu a řízení kompostovacího procesu. Měření probíhalo v jedné pásové hromadě zakryté plachtou. V hromadě byly umístěny tři svazky teploměrů. Každý svazek byl tvořen zapichovacím teploměrem s bezdrátovým přenosem dat a kontrolním zapichovacím teploměrem se záznamníkem dat.

Ověřené teploměry se záznamníkem dat sloužily jako kontrolní zdroje dat. Po ukončení experimentu byla data z teploměrů exportována do programu Excel a vyhodnocena. Bohužel se díky závadě podařilo data exportovat pouze ze dvou teploměrových svazků, ale i tato data postačovala k vyhodnocení experimentu.

Průměrná odchylka teplot činila 0,81 °C. Průměrná odchylka měření teplot  $\pm 1$  °C je pro využití při kompostování hodnocena jako přijatelná. Tyto výsledky porovnávacího měření potvrdily, že zapichovací teploměry s bezdrátovým přenosem dat jsou vhodným prostředkem pro řízení kompostovacího procesu.



## Seznam použité literatury

- [1] BERVIDOVÁ, Ludmila - VANČUROVÁ, Pavlína. *Cvičení z ekonomiky podniků I*. 1. vydání. Praha: Reprografické studio PEF ČZU v Praze, 2009. 118 s. ISBN 978-80-213-1192-3.
- [2] KOTOULOVÁ, Zdenka - VÁŇA, Jaroslav. *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001. 70 s. ISBN 80-7212-201-0.
- [3] MALAŤÁK, Jan – VACULÍK, Petr. *Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství – zpracování biologicky rozložitelných odpadů*. 1. vydání. Praha: PowerPrint, 2008. 180 s. ISBN 978-80-213-1747-5.
- [4] PLÍVA, Petr et.al. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2009. 132 s. ISBN 978-80-86726-32-8.
- [5] PLÍVA, Petr – LAURIK, Stanislav. *Metody měření teploty kompostu využitelné pro řízení kompostovacího procesu a archivaci dat*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2010. 28 s. ISBN 978-80-86884-56-1.
- [6] PLÍVA, Petr et.al. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha, 2006. 65 s. ISBN 80-86884-11-2.
- [7] VÁŇA, Jaroslav – HANČ, Aleš – HABART, Jan. *Pevné odpady 2009*. 3. přepracované vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009. 190 s. ISBN 978-80-213-1992-9.
- [8] VÁŇA, Jaroslav. *Výroba a využití kompostu v zemědělství*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství ČR v Praze, 1994. 40 s. ISBN: 80-7105-075-X.
- [9] VOŠTOVÁ, Věra et.al. *Logistika odpadového hospodářství*. 1. vydání. Praha: Česká technika, 2009. 349 s. ISBN 978-80-01-04426-1.

- [10] DOHÁNYOS, Michal. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 9. 5. 2006 [cit. 22. 3. 2011]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>.
- [11] HABART, Jan et.al. Příprava a výstavba kompostáren využívajících biologicky rozložitelné odpady z domácností a údržby městské zeleně. *Czbiom.cz* [online]. Srpen 2009 [cit. 16. 9. 2010]. Dostupné z: <http://www.czbiom.cz/data/Upload/PDF/kompostarny.pdf>.
- [12] SALAČ, Josef. *Technologie kompostování AG BAG* [online]. 9. 12. 2003 [cit. 17. 9. 2010]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/45702/technologie-kompostovani-ag-bag>.
- [13] ŠLEJŠKA, Antonín. Komunitní kompostování v obcích podle zákona o odpadech. *Biom.cz* [online]. 24. 10. 2007 [cit. 21. 9. 2010]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komunitni-kompostovani-v-obcich-podle-zakona-o-odpadech>. ISSN: 1801-2655.
- [14] VÁŇA, Jaroslav. Kompostování odpadů. *Biom.cz*[online]. 14. 1. 2002 [cit. 3. 5. 2010]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>. ISSN: 1801-2655.
- [15] VÁŇA, Jaroslav. Koncepce nakládání s komunálními bioodpady v České republice. *Biom.cz* [online]. 19. 8. 2003 [cit. 3. 5. 2010]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/koncepce-nakladani-s-komunalnimi-bioodpady-v-ceske-republice>. ISSN: 1801-2655.
- [16] VÁŇA, Jaroslav. *Kompostování bioodpadu je technologií trvale udržitelného života*. [online]. 17. 3. 2006 [cit. 3. 5. 2010]. Dostupné z: [http://www.ekodomov.cz/index.php?id=singleview\\_komunit\\_komp&tx\\_ttnews\[pointer\]=2&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=117&tx\\_ttnews\[backPid\]=20&cHash=1d26d0f3a6](http://www.ekodomov.cz/index.php?id=singleview_komunit_komp&tx_ttnews[pointer]=2&tx_ttnews[tt_news]=117&tx_ttnews[backPid]=20&cHash=1d26d0f3a6).

- [17] Akční plán pro biomasu pro ČR na období 2009 – 2011. *Biom.cz* [online]. 12. 10. 2007 [cit. 17. 10. 2010]. Dostupné z: [http://biom.cz/upload/93a6e8e6b11e93816bea14d0c95745a2/AP\\_biomas\\_a\\_09\\_01.pdf](http://biom.cz/upload/93a6e8e6b11e93816bea14d0c95745a2/AP_biomas_a_09_01.pdf).
- [18] Legislativa týkající se fytoenergetiky a kompostování. *Biom.cz* [online]. 6. 11. 2010 [cit. 6. 11. 2010]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa>.
- [19] Plán odpadového hospodářství ČR. Ministerstvo životního prostředí České republiky [online]. 28. 8. 2008 [cit. 3. 11. 2010]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/plan\\_odpadoveho\\_hospodarstvi\\_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr).
- [20] *Životní prostředí* [online]. 24. 9. 2007 [cit. 22. 3. 2011]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchop/velebudice/odpady/odpady2.htm>.

## Seznam použitých zkratk

<b>BRO</b>	biologicky rozložitelný odpad
<b>BRKO</b>	biologicky rozložitelný komunální odpad
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>ČSN</b>	česká technická norma
<b>EU</b>	Evropská unie
<b>MŽP</b>	Ministerstvo životního prostředí
<b>POH ČR</b>	plán odpadového hospodářství České republiky
<b>VÚZT, v.v.i.</b>	Výzkumný ústav zemědělské techniky, veřejná výzkumná instituce

## Seznam obrázků

Obr. 1 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách .....	15
Obr. 2 Proudění vzduchu v kompostéru .....	22
Obr. 3 Graf optimálního průběh teploty při kompostování .....	27
Obr. 4 Schéma uspořádání kompostárny .....	39
Obr. 5 Fotografie štěpkovače Pezzolato .....	40
Obr. 6 Fotografie překopávače kompostu neseného čelním nakladačem .....	41
Obr. 7 Fotografie vibračního síta a pásového dopravníku .....	43
Obr. 8 Fotografie třídící a drtící lopaty Gala - Star .....	45
Obr. 9 Fotografie třídící a drtící lopaty Allu SML 2 - 12 .....	46
Obr. 10 Fotografie sestavy teploměrů .....	51
Obr. 11 Schéma navržených měřících bodů .....	52
Obr. 12 Fotografie umístění teploměrů v pásové hromadě .....	52
Obr. 13 Graf průběhu teplot prvního svazku teploměrů .....	54
Obr. 14 Graf průběhu teplot druhého svazku teploměrů .....	55
Obr. 15 Zjednodušené rozměrové schéma třídící a drtící lopaty .....	56
Obr. 16 Schéma rozložení pásových hromad .....	58

## Seznam tabulek

Tab. 1 Požadované teploty při kompostování .....	3
Tab. 2 Doporučený počet měřicích míst v závislosti na délce hromady .....	4
Tab. 3 Hloubka vpichu teplotní sondy .....	5
Tab. 4 Poměr C : N ve vybraných bioodpadech.....	30
Tab. 5 Parametry štěpkovače .....	40
Tab. 6 Základní parametry čelního nakladače .....	41
Tab. 7 Základní parametry překopávače kompostu .....	42
Tab. 8 Základní parametry pásového dopravníku .....	42
Tab. 9 Základní parametry rovinného vibračního síta .....	43
Tab. 10 Výběrové řízení .....	47
Tab. 11 Objemová hmotnost surovin zakládky.....	49
Tab. 12 Hmotnost surovin a celková hmotnost zakládky .....	50
Tab. 13 Objemová hmotnost kompostu .....	50
Tab. 14 Shrnutí základních vlastností teploměrů.....	53
Tab. 15 Splátkový kalendář.....	60
Tab. 16 Cash - flow .....	60
Tab. 17 Nákladová rentabilita.....	61
Tab. 18 Kumulativní cash - flow .....	61

