

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Zpracování papíru technologií kompostování

Diplomová práce

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

Autor diplomové práce: Bc. Jan Jirec

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra využití strojů

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jan Jírec

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 papíru 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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Vlastimila Altmanna, Ph.D. a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

V Praze, dne 5. dubna 2011

.....

podpis autora

Poděkování

Dovoluji si poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Vlastimilu Altmannovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky. Dále děkuji panu Ing. Petru Plívovi, CSc., Ing. Amitava Royovi a Ing. Stanislavu Laurikovi za možnost zúčastnit se probíhajícího experimentu ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky, v.v.i., za odborné rady a pomoc při experimentu a za svolení k použití výsledků měření v této práci.

Abstrakt

Název diplomové práce: Zpracování papíru technologií kompostování

Diplomová práce je zaměřena na ověření využití papíru technologií kompostování a zjištění parametrů vyrobených kompostů. Vlastní práce spočívá v měření a řízení procesu kompostování. Měření, rozbor a řízení kompostovacího procesu je prováděno ve VÚZT, v.v.i.. Součástí práce je i zpětné stanovení optimální surovinové skladby za pomoci výpočtů. Výsledky měření jsou popsány v kapitole vyhodnocení výsledků a v diskuzi. Dále práce popisuje problematiku biologicky rozložitelných odpadů a jejich zpracování kompostováním včetně použité metodiky. Práce se také zabývá okrajově papírem, který je součástí diplomové práce.

Klíčová slova: biologicky rozložitelný odpad, kompost, základka, papír, využití

Abstract

Title of dissertation: Processing of paper by compost technology

This dissertation concentrates to attest of the use of compost technology for paper and to find out parameters of created composts. The dissertation itself consist in the measurement and in the administration of the process of composting. The measurement, the analysis and the administration of the process of composting is performed in VÚZT, v.v.i. Reverse determination of optimal structure of row materials by means of calculation is also part of this dissertation. Results of measurements are described in chapter of evaluation and in discussion. Further the dissertation describes problem of biodegradable wastes and their processing by composting including used methodics. The dissertation also deals with paper, which forms part of this dissertation.

Key words: biodegradable waste, compost, foundation, paper, usage

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE A METODIKA	2
2.1	POUŽITÁ METODIKA	2
2.1.1	Metodika měření teploty	2
2.1.2	Metodika měření kyslíku	3
2.1.3	Metodika měření vlhkosti.....	4
2.1.4	Metodika měření fyzikálních vlastností.....	6
2.1.5	Metodika měření spalitelných látek, celkového dusíku a poměru C:N.....	7
2.1.6	Metodika měření pH	7
2.1.7	Metodika založení hromad.....	8
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	11
3.1	LEGISLATIVA	11
3.1.1	Směrnice rady 1999/31/ES o skládkách odpadů.....	11
3.1.2	Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech.....	12
3.1.3	Zákon č.314/2006 Sb.	12
3.1.4	Vyhláška č.41/2005 Sb.....	12
3.1.5	Zákon č.308/2000 Sb., o hnojivech.....	13
3.2	BRO.....	14
3.3	KOMPOSTOVÁNÍ.....	15
3.3.1	Způsoby kompostování podle množství a kapacity zařízení.....	17
3.3.2	Technologie kompostování	20
3.3.3	Sběr a soz BRO	22
3.3.4	Stroje a zařízení na kompostování	23
3.3.5	Založení, průběh a řízení kompostu.....	27
3.3.6	Zjišťování vlastností kompostu	28
3.3.7	Přetřídění a expedice hotového kompostu	32
3.3.8	Ekonomika kompostování	33
3.4	PAPÍR	34
3.4.1	Výroba papíru.....	34
3.4.2	Výroba lepenky	34
3.4.3	Využití papírových odpadů	34
4	VLASTNÍ PRÁCE.....	36
4.1	POUŽITÁ TECHNOLOGIE.....	37
4.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJE	37
4.2.1	Zapichovací teploměr	38
4.2.2	Analyzátor spalin.....	39
4.2.3	Analyzátor vlhkosti	40
4.2.4	Váha.....	41
4.3	POUŽITÁ TECHNIKA PRO KOMPOSTOVÁNÍ	42
4.3.1	Univerzální čelní nakladač.....	43
4.3.2	Připojitelný překopávač kompostu	44
4.3.3	Vibrační rovinné síto	46

4.3.4	<i>Pásový dopravník</i>	47
4.3.5	<i>Plachty na přikrývání pásových hromad</i>	48
4.4	POUŽITÉ VÝPOČTY K ZÍSKÁNÍ VÝSLEDNÝCH PARAMETRŮ	49
4.4.1	<i>Výpočet fyzikálních vlastností zakládek kompostů</i>	49
4.4.2	<i>Výpočet optimální surovinové skladby</i>	51
4.5	ZALOŽENÍ KOMPOSTŮ	61
4.6	NAMĚŘENÉ HODNOTY	63
4.6.1	<i>Objemová hmotnost</i>	63
4.6.2	<i>Měření teploty a kyslíku</i>	64
4.6.3	<i>Laboratorní rozbor (vlhkost, pH a obsah C a N)</i>	67
4.7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	68
5	DISKUZE	69
6	ZÁVĚR	70
7	SEZNAM LITERATURY	71
8	SEZNAM ZKRATEK	74
9	SEZNAM TABULEK	75
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	76

1 ÚVOD

Biologicky rozložitelný odpad tvoří podle mnoha průzkumů kolem 30 - 40 % tuhého komunálního odpadu v celé Evropě. Jeho sběr, svoz, zpracování a odstraňování představují významný problém. Sběr bioodpadů v ČR je zatím v počáteční fázi a to i přesto, že u nás tato frakce představuje zhruba 1/3 z celkového objemu domovních odpadů. Je to především proto, že třídění bioodpadů je velmi náročné na organizaci, vybavení a dodržování určených pravidel třídění a sběru. Narozdíl od jiných frakcí jako jsou (sklo, papír, plast) bioodpad nelze dobře dotřídit a jakékoliv hrubé znečištění znehodnocuje celou šarži. Z toho vyplývá, že hlavním problémem při třídění a kompostování bioodpadu je maximální zabezpečení kvality vstupního materiálu, zejména u komunálního bioodpadu. [28, 29]

Bioodpad je fermentabilní materiál, který není vhodný pro skládkování a jeho vysoký obsah vody snižuje efektivnost při energetickém využití. Pokud se bioodpad rozkládá ve skládce, vznikají toxické výluhy, uvolňuje se nepříjemný zápach a s ním skleníkové plyny (CH_4 , CO_2). Je proto zapotřebí bioodpad na skládky neukládat. Z těchto důvodů se hospodaření s biologicky rozložitelným komunálním odpadem dostalo do popředí pozornosti politiky EU. [28, 29]

Jednou ze základních technologií zpracování biologicky rozložitelných odpadů je kompostování. Jedná se o aerobní proces, při kterém mikroorganismy zpracovávají organickou hmotu za dostatečného přístupu vzduchu a přeměňují ji v kompost neboli organické hnojivo. Kompost lze využít jednak jako přírodní hnojivo pro hnojení louk, pastvin a orné půdy, ale také k rekultivačním a protierozním opatřením v krajině. [11, 27]

Vzhledem k omezené kapacitě využití sběrového papíru v České republice, kdy se v důsledku nedostačujících kapacit vyváží značné množství sběrového papíru ze země ke škodě české ekonomiky a životního prostředí se stává problematika využití odpadního papíru aktuálním tématem. Jednou z dalších možných technologií využití sběrového papíru je jeho kompostování.[23]

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

Cílem práce je ověření využití papíru technologií kompostování a zjištění parametrů vyrobených kompostů. Měření, rozbor a řízení kompostovacího procesu je prováděno ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky, veřejné výzkumné instituci (VÚZT, v.v.i.).

2.1 Použitá metodika

Ke zjištění parametrů vyrobených kompostů je využita metodika měření teploty, kyslíku, vlhkosti, fyzikálních vlastností, spalitelných látek, celkového dusíku, poměru C:N, pH a založení hromad včetně výpočtu zakládky. V níže uvedených kapitolách jsou podrobně popsány metodiky měření, které byly použity k získání výsledných hodnot v rámci diplomové práce.

2.1.1 Metodika měření teploty

Měření a evidence teplot kompostu jsou hlavní podmínky kontroly správného kompostovacího procesu. [26]

Měření teplot se provádí pomocí tyčových teploměrů a to buď s digitálním nebo analogovým ukazatelem. Aby měření bylo provedeno kvalitně, musí se dodržovat správná metoda a časové intervaly měření. [26]

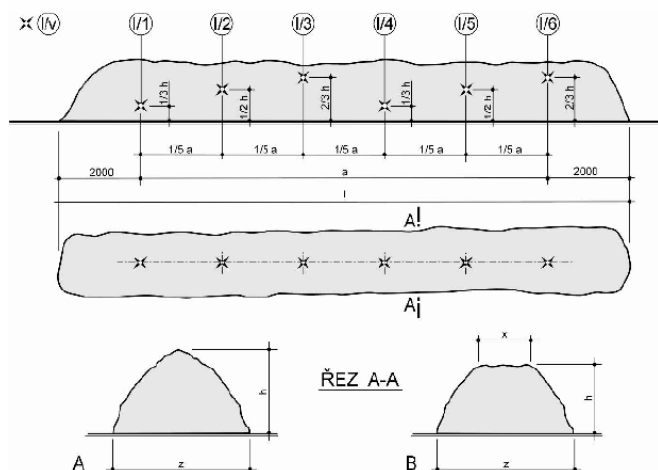
Metoda měření teploty zapichovacím teploměrem:

- vpich sondy je veden kolmo k povrchu hromady tak, aby mířil do jejího středu podle jejího příčného profilu (trojúhelníkový nebo lichoběžníkový profil),
- po dosažení doporučené hloubky vpichu od povrchu hromady je nutno vpich zastavit a provést změření teploty s dostatečně dlouhým intervalem měření (cca 2 min.),
- vzdálenosti jednotlivých vpichů po horizontále jsou definovány podle celkové délky hromady (viz obr. 1),
- jednotlivá měřicí místa na jednotlivých hromadách je nutno označit a toto označení používat po celou dobu jedné zakládky. [26]

V případě, že měřicí přístroj nemá elektronický výstup, je třeba hodnoty naměřené teploměrem zapisovat podle označených měřicích míst do tabulky. Při opakovaných měřeních je nutné vždy naměřené hodnoty ze stejného místa zaznamenávat pod stejným označením. [26]

Časové intervaly měření teploty během jedné zakládky:

- do 7. dne každodenně - v tomto období jsou teploty nejvyšší a je tedy třeba kontrolovat, zda dochází k biologickému prohřátí kompostu a je udržena minimální teplota 45 °C (dle surovinové skladby) po určitou dobu za účelem hygienizace a zda teploty nepřevyšují 65 °C (musí hromada zchladit - překopáním),
- od 8. dne do ukončení kompostovacího procesu 1x za 3 - 4 dny. [26]



Obr. 1: Schéma měřících míst

[Plíva a kol.: *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2]

2.1.2 Metodika měření kyslíku

Obvykle se obsah kyslíku neměří přímo v kompostu, ale vzduch z kompostu je odsáván pomocí zapichovací tyče s perforací u hrotu. Zapichovací tyč je spojena s měřícím přístrojem, který odsává vzorek vzduchu buďto pomocí gumového balónku, malé vývěvy a nebo malého elektrického čerpadla. Pro měření a určování obsahu kyslíku se používá sorpční nebo elektrochemická metoda. [1,4]

Měření obsahu kyslíku není metodicky předepsáno, ale pokud bude rozhodnuto měření kyslíku provádět je vhodné ho spojit s měřením teploty a dodržovat tak stejné intervaly jako pro teplotu. [1,4]

2.1.3 Metodika měření vlhkosti

Mezi metody určování vlhkosti patří gravimetrická metoda stanovení vlhkosti, kdy se určuje vlhkost suroviny v laboratoři. Výhodou této metody je vysoká přesnost, naopak nevýhodou je vazba na laboratorní zařízení. Dále je tato metoda využívána pro kalibraci jiných vlhkoměrů, pracujících na různých fyzikálních principech. Podstatou gravimetrické metody je oddělení vody od pevné fáze, jedná se zde o přímé měření. [1,4,5]

Při zjišťování vlhkosti hotového kompostu je odebrán vzorek o hmotnosti 1 kg, tento vzorek se rozprostře na podložce, větší hrudky se rozdrtí a kvartací se zmenší vzorek na 500 g a projde sítím o velikost ok 5 mm (viz obr. 2). Z takto vyseparovaného vzorku se předá 20 g do předem zvážené vysoušečky a vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě 105 °C. Po vychladnutí v exsikátoru se vzorek zváží a zjistí jeho vlhkost. [4]

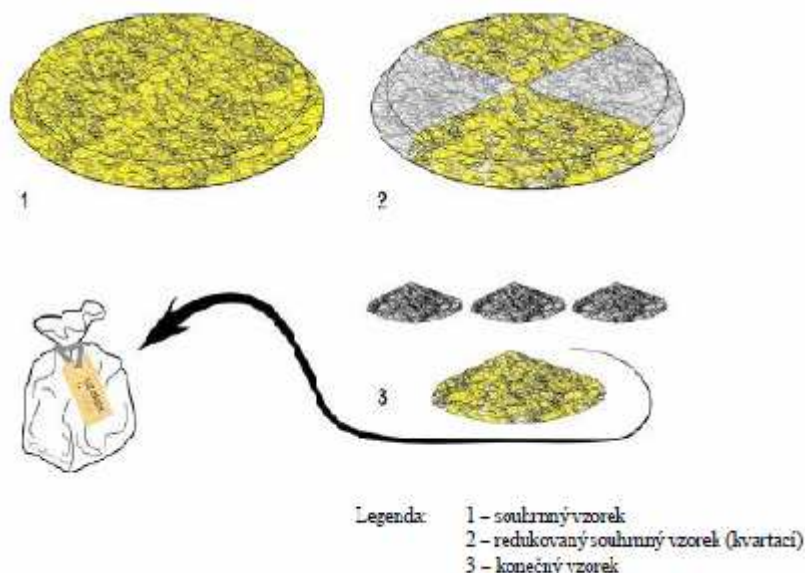
Výpočet obsahu vlhkosti: [4]

$$x = \frac{m_1 \cdot 100}{m} \quad (\%) \quad (1)$$

kde: x – obsah vlhkosti (%)

m_1 - úbytek na hmotnosti vzorku sušením (g)

m- hmotnost vzorku před sušením (g)

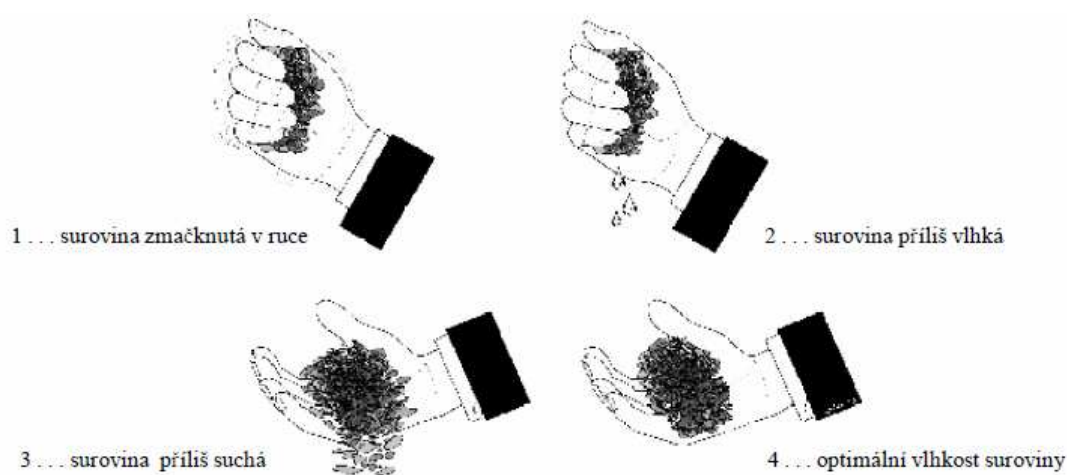


Obr. 2: Postup odběru vzorku kompostu podle vyhlášky č.273/1998 Sb. ve znění vyhlášky 475/2000 Sb.

[Plíva a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2]

Další metodou je měření vlhkosti přenosným vlhkoměrem. Zde je přesnost měření menší a je nutná častá kalibrace přístroje, ale výhodou je okamžitá znalost výsledku, možnost nedestruktivního měření a mobilnost. U této metody se měří vlhkost surovin nepřímo, jelikož k jejímu určení se využívá řada fyzikálních vlastností vody, obsažených v surovinách a měřením těchto vlastností (vodivost, kapacita, apod.) poté usuzují obsah vody v daných surovinách. [1,4,5]

V neposlední řadě je možné určit vlhkost kompostu orientační pěstní zkouškou (viz obr. 3), kdy se rukou odebere surovina kompostu z vnitřku hromady a zmáčkne se v pěst, v optimálním případě by se neměla mezi prsty objevit voda a po uvolnění by měla surovina kompost mít souvislý tvar. V případě přebytečné vlhkosti při sevření pěsti kape ze suroviny voda a naopak při nízké vlhkosti se surovina po otevření pěsti rozpadne. Takto lze v případě nutnosti jednoduše a rychle zjistit hrubou vlhkost kompostu. [1,4,5]



Obr. 3: Orientační (pěstní) zkouška vlhkosti

[Plíva a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2]

Počáteční měření vlhkosti kompostu lze doporučit ihned po ukončení první překopávky, dále během intenzivní aerobní činnosti (1. až 8. den) se provádí měření co nejčastěji (minimálně 1 za 8 dní). Po uplynutí intenzivní aerobní činnosti se zjišťuje měření v intervalu tří týdnů. Na závěr kdy je kompostovací proces u konce se určuje vlhkost hotového kompostu. [1,4]

2.1.4 Metodika měření fyzikálních vlastností

Zjišťují se fyzikální vlastnosti jako je objem, hmotnost a objemová hmotnost jak jednotlivých vstupních surovin tak celkového kompostu.

2.1.4.1 Určení objemu a hmotnosti jednotlivých surovin

Při zakládání kompostů byl určován objem a hmotnost jednotlivých vstupních surovin kompostů. K určení objemu a hmotnosti jednotlivých surovin byly použity vzorce:

Objem jednotlivých surovin:

$$V_s = x_L \cdot V_L \quad (\text{m}^3) \quad (2)$$

kde: V_s – objem jednotlivých surovin (m^3)

x_L – počet lžic univerzálního čelního nakladače

V_L – objem lopaty čelního nakladače (m^3), je znám = $0,375 \text{ m}^3$

Hmotnost jednotlivých surovin:

$$m_s = V_s \cdot m_v \quad (\text{kg}) \quad (3)$$

kde: m_s – hmotnost jednotlivých surovin (kg)

V_s – objem jednotlivých surovin (m^3)

m_v – objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

2.1.4.2 Měření objemové hmotnosti

Metodika spočívá ve vážení známého objemu surovin. Z navážených hodnot je poté dopočítán údaj v požadovaném rozměru ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Pro vážení se používá běžná váha s maximální navázkou do 50 kg a nádoba, u které je ocejchován objem. [25]

Postup stanovení objemové hmotnosti je následující: [25]

- z dané suroviny je odebrán vzorek pro stanovení vlhkosti,
- po naplnění měřicí nádoby o známém objemu je nádoba s danou surovinou zvážena a od zjištěné hodnoty je odečtena hmotnost prázdné měřicí nádoby,
- váží se celkem tři vzorky ze stejné suroviny,
- objemová hmotnost je následně vypočtena ze vztahu (4),
- výsledné hodnoty se zaznamenají do protokolu o měření.

Výpočet objemové hmotnosti: [25]

$$m_v = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{n \cdot V_n} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (4)$$

kde: m_v – objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

m_1, m_2, m_3 – hmotnosti vzorků č. 1, 2, 3 (kg)

n – počet vzorků

V_n – objem nádoby o známém objemu = $0,036 \text{ m}^3$

2.1.5 Metodika měření spalitelných látek, celkového dusíku a poměru C:N

Spalitelné látky tvoří organické sloučeniny, jejichž hlavní složkou je uhlík. V organických látkách je obsažen zhruba z 50 %. Podle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ musí být hodnota spalitelných látek ve vysušeném vzorku minimálně 25 %. Obsah spalitelných látek je určen z vysušeného vzorku spálením a vyžiháním v elektrické peci při teplotě $450 \text{ }^\circ\text{C}$ do konstantní hmotnosti. [4]

Obsah dusíku v kompostu je důležitý z hlediska potřeb mikroorganismů, které jej potřebují k syntéze bílkovin. Podle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ musí být hodnota celkového dusíku, přepočtená na vysušený vzorek minimálně 0,6 %. Stanovení celkového dusíku lze zjistit tak, že je převeden mineralizací kyselinou sírovou za varu a v přítomnosti katalyzátoru na amoniak, který se po destilaci stanoví titračně. [4]

Ke stanovení poměru C:N se vychází ze získaných hodnot spalitelných látek, kde uhlík odpovídá zhruba jejich polovině obsahu a z hodnot celkového dusíku. [4]

Výpočet poměru C:N: [4]

$$C : N = \frac{w_1}{w_2 \cdot 2} \quad (-) \quad (5)$$

kde: w_1 – hmotnostní vzorek spalitelných látek ve vysušeném vzorku (%)

w_2 – hmotnostní vzorek celkového dusíku, přepočteného na vysušený vzorek (%)

2.1.6 Metodika měření pH

Podle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ musí hodnota pH ležet v rozmezí 6,5 až 8,5 tedy v blízkosti neutrální hodnoty. Hodnota pH se nejčastěji stanovuje buď ve vodní suspenzi pomocí indikátorových papírků, pH metrem ve vodní suspenzi pomocí skleněné elektrody a nebo titračně v laboratoři. [4]

2.1.7 Metodika založení hromad

Základním předpokladem kvalitního kompostování je docílit optimální surovinové skladby zakládky, kterou ovlivňuje mnoho faktorů. Nejvýznamnějším faktorem je správný poměr uhlíku a dusíku (C:N) a počáteční vlhkost kompostu. U čerstvě založeného kompostu by se měl poměr C:N pohybovat v rozmezí 30 až 35:1. [1, 3]

Pro získání přesného poměru surovinové skladby slouží výpočty poměru C:N nebo lze použít speciální programy zabývající se výpočtem surovinové skladby kompostu. [1, 3]

Počáteční vlhkost kompostu by se měla pohybovat mezi 50 až 60 %, u porézních surovin až 65 %. Tuto vlhkost lze spočítat několika výpočty. V případě, že neznáme vlhkost vstupní suroviny, kterou chceme vložit do kompostu, tak ji můžeme zjistit laboratorním měřením na základě rozdílu hmotností vysušeného a čerstvého vzorku. [1]

Při optimalizaci surovinové skladby je nutné, aby zakládka obsahovala minimální obsah fosforu, pro metabolickou potřebu mikroflóry k zabezpečení tvorby humusu. Toto minimum je 0,2 % P_2O_5 v sušině. [33]

Optimalizaci surovinové skladby kompostu je možno provést v následujících krocích:

- a) výběr BRO, které chceme kompostovat a určení jejich předpokládané hmotnosti,
- b) odhad vlhkosti, obsahu organických látek, dusíku a P_2O_5 jednotlivých BRO buď na základě hodnot z tabulek nebo s využitím laboratorních rozborů,
- c) provedení propočtu složení kompostové zakládky (vlhkost, organické látky, N, P_2O_5 , C:N),
- d) korekce surovinové skladby k dosažení optimální vlhkosti, C:N a minima P_2O_5 . Korekci vlhkosti provedeme přidáním nebo ubráním tekutin. Snížení poměru C:N provedeme přidáním surovin bohatých na dusík. Naopak zvýšení poměru C:N provedeme přidáním surovin bohatých na uhlík. Případnou optimalizaci P_2O_5 provádíme přídatkem superfosfátu,
- e) propočet opravené surovinové skladby,
- f) odhad ztrát v průběhu zrání kompostu. U kompostů z biodegradabilních odpadů jsou hmotnostní ztráty v průběhu zrání 30 - 50 % hmotnosti zakládky, kdy nižší hodnoty ztrát lze očekávat u zakládek s vyšším podílem zeminy, bahna apod., naopak u zakládek s převahou travní hmoty, listí, BRKO apod. je třeba uvažovat s vyššími hodnotami. Z tohoto množství připadají tři čtvrtiny na ztráty vody a jedna čtvrtina na ztrátu spalitelných látek. Ztráty dusíku případně fosforu jsou zanedbatelné,
- g) výpočet předpokládaného množství a kvality kompostu. [33, 34]

2.1.7.1 Metodika propočtu optimální surovinové skladby

Propočet složení zakládky zahrnuje výpočet hmotnostních podílů vody, spalitelných látek (organických látek), dusíku a fosforu, které jsou vyjádřeny samostatně z celkové hmotnosti každé suroviny (vzorec 6 a 7) . [34]

Následuje výpočet celkové hmotnosti všech surovin v zakládce, který se provede součtem hodnot. Obdobným způsobem se provede součet celkových hmotnostních podílů připadajících na vodu, spalitelné látky, dusík a fosfor (vzorec 8). [34]

Ze získaných hodnot výpočtem (vzorec 9,10,11) následně stanovíme orientační procentické zastoupení jednotlivých parametrů v zakládce. [34]

Následuje stanovení poměru C:N viz. kapitola 2.1.5 vzorec (5). V případě, že poměr C:N není v rozmezí 30 - 35:1 je nutné provést korekci zakládky. [34]

Výpočet předpokládaného množství a kvality vyžralého kompostu spočívá v odečtení hmotnosti připadající na ztráty hmotnosti zakládky (vzorec 12), kdy je zvolena hodnota mezi 30 - 50 %, podle použitých surovin v kompostu, z toho tři čtvrtiny představují ztráty vody a jedna čtvrtina ztrátu spalitelných látek. Poté následuje nový propočet složení hotového kompostu a poměru C:N, stejným způsobem jako u propočtu zakládky na začátku. [34]

Hmotnostní podíly látek: [34]

$$m_v = m_s \cdot \frac{x}{100} \quad (\text{kg}) \quad (6)$$

kde: m_v - hmotnostní podíl vody (kg)

m_s - hmotnost jednotlivých surovin (kg) viz vzorec (3)

x - obsah jednotlivých látky (vlhkost, spal. látky, dusík) (%)

$$m_{SI/N} = (m_s - m_v) \cdot \frac{x}{100} \quad (\text{kg}) \quad (7)$$

kde: $m_{SI/N}$ - hmotnostní podíl spalitelných látek případně dusíku (kg)

Výpočet celkové hmotnosti surovin a hmotnostních podílů látek: [34]

$$m_{CS/CV/CSI/CN} = \sum m_{S/V/SI/N} \quad (\text{kg}) \quad (8)$$

kde: $m_{CS/CV/CSI/CN}$ - celková hmotnost všech surovin případně vody, spalitelných látek a nebo dusíku (kg)

Procentické zastoupení jednotlivých parametrů: [34]

$$p_{\text{vlhkost}} = \frac{m_{\text{CV}}}{m_{\text{CS}}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (9)$$

kde: p_{vlhkost} - procentické zastoupení vlhkosti (%)

$$m_{\text{sušiny}} = m_{\text{CS}} - m_{\text{CV}} \quad (\text{kg}) \quad (10)$$

kde: $m_{\text{sušiny}}$ - hmotnost sušiny (kg)

$$p_{\text{spal.latek / dusíku}} = \left(\frac{m_{\text{CSl / CN}}}{m_{\text{sušiny}}} \right) \cdot 100 \quad (\%) \quad (11)$$

kde: $p_{\text{spal.latek/dusíku}}$ - procentické zastoupení spalitelných látek případně dusíku (%)

Výpočet ztrát hmotnosti zakládky: [34]

$$m_{\text{Z}} = m_{\text{CS}} \cdot \frac{z}{100} \quad (\text{kg}) \quad (12)$$

kde: m_{Z} - hmotnostní ztráty zakládky (kg)

z - procentuální vyjádření ztráty hmotnosti během zrání - volí mezi 30 – 50 %

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Legislativa

Legislativa ukazuje jak se má v souladu se zákonem s danou problematikou zacházet, aby bylo vše v pořádku a bylo tak vyhověno příslušným zákonům, normám a předpisům.

Základní normy a předpisy se snaží především o to, aby byla zabezpečena ochrana životního prostředí na jedné straně a právo na svobodné rozhodování občanů a podnikatelských subjektů na straně druhé. [18]

Mezi hlavní cíle právních a technických norem týkajících se produkce a nakládání s BRO patří:

- nakládání s BRO musí být bezpečné z hlediska ochrany zdraví občanů a ochrany životního prostředí,
- produkt musí být zdravotně nezávadný,
- s ohledem na členství v EU musí splňovat požadavky EU ve formě nařízení, směrnic a norem,
- umožnit příslušným orgánům kontrolu a evidenci. [18]

V kapitolách níže je popsána základní legislativa, která se týká nakládání s BRO.

3.1.1 *Směrnice rady 1999/31/ES o skládkách odpadů*

Po vstupu České republiky do Evropské unie se stala tato směrnice jedním z hlavních zákonů ovlivňující nakládání s BRO. [2]

Směrnici č. 1999/31/ES je ukládáno vypracovat národní strategii opatření k recyklaci, kompostování, produkci bioplynu nebo zhodnocení surovin a energie, jejíž realizace povede k omezení množství biologicky rozložitelného odpadu odcházejícího na skládky. [7]

Tato strategie má zabezpečit snížení maximálního množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů ukládaných na skládky tak, aby podíl této složky činil v roce 2010 nejvíce 75 % hmotnostních, v roce 2013 nejvíce 50 % hmotnostních a výhledově v roce 2020 nejvíce 35 % hmotnostních z celkového množství vzniklého v roce 1995. [8]

Veškerá opatření snižování biologicky rozložitelného odpadu ukládaného na skládku jsou prováděna především za účelem:

- snížení tvorby metanu ze skládek (metan je 21 x horším skleníkovým plynem než oxid uhličitý), v zájmu zmírnění globálního oteplování v důsledku skleníkového efektu,
- podpory odděleného sběru bioodpadu, k jeho úpravě, využívání a recyklaci,
- vracení organické hmoty a živin do půdy. [7]

3.1.2 Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech

Zákon o odpadech je základní právní normou, která upravuje problematiku odpadového hospodářství v České republice a je v něm jasně upřednostňováno využívání odpadů před jejich odstraněním. [2]

3.1.3 Zákon č.314/2006 Sb.

Zákon provádí změnu zákona č.185/2001 Sb., o odpadech. Novela zákona a navazující vyhláška přinesla řadu změn a to především za účelem zjednodušit současné přísné požadavky na výstavbu a provoz zařízení na zpracování bioodpadů a stanovit tyto požadavky odlišně v závislosti na kapacitě těchto zařízení a na druzích zpracovávaných odpadů. Dále se snaží pomoci řešit problémy s odbytem vyrobených kompostů a umožnit jejich lepší uplatnění na trhu. [9]

Ukázkou zjednodušení je například proces povolování provozu malých kompostáren s roční kapacitou do 150 tun bioodpadů, u nichž bude na rozdíl od dosavadní praxe stačit jen kladné vyjádření obecního úřadu obce s rozšířenou působností. V současné době je zákon o odpadech v platném znění zákona č.154/2010 Sb. [9, 38]

3.1.4 Vyhláška č.41/2005 Sb.

Vyhláška mění vyhlášku č.383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Především požadavky Směrnice rady 1999/31/ES, o skládkách odpadů se projeví v zákoně o odpadech a jeho vyhláškách. Kdy v příloze č.8 k Vyhlášce 383/2001 Sb. je uveden přehled odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky všech skupin. Zakázáno je ukládat využitelný odpad, včetně složek již vytríděných z komunálních odpadů. Rovněž jsou zde zahrnuty kompostovatelné odpady s výjimkou kompostovatelných odpadů v komunálním odpadu (skupiny 20 00 00 dle Katalogu odpadů), pro které platí harmonogram postupného omezování

ukládání na skládky, s výjimkou ukládání do skládek již provozovaných se zavedenou výrobou bioplynu v souladu s provozním řádem skládky. [2]

Plán odpadového hospodářství ČR uvádí i přehled návrhů připravovaných Evropským společenstvím týkající se problematiky BRKO. Nová směrnice, která je nyní plánována, má za cíl podpořit separovaný sběr a zpracování bioodpadů tak, aby napomohla k naplnění cílů Směrnice rady 1999/31/ES, o skládkách odpadů. Je zde navrženo, aby se zavedl oddělený sběr bioodpadů u sídel s více než 100 000 obyvateli do 3 let a u sídel s více než 2000 obyvatel do 5 let. V současné době je vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady v platném znění vyhlášky č.341/2008 Sb. [2, 38]

Výstavba a provoz kompostárny je ovlivňován: [2, 39]

- *odpadářskou legislativou* – **zákon č.185/2001 Sb.**, o odpadech a o změně některých dalších zákonů, **vyhláška č. 383/2001 Sb.**, o podrobnostech nakládání s odpady
- *vodohospodářskou legislativou* – **zákon č.254/2001**, o vodách a o změně některých zákonů, v platném znění zákona č.150/2010 Sb.,
- *legislativou hnojiv* – **zákon č.156/1998 Sb.**, o hnojivech, ve znění zákona **č.308/2000 Sb.**, v platném znění zákona č.9/2009 Sb.

3.1.5 Zákon č.308/2000 Sb., o hnojivech

Zákon upravuje uvádění kompostu do prodeje a jeho užívání na zemědělské půdě. Tento zákon stanovuje podmínky pro uvádění do oběhu a pro používání hnojiv, statkových hnojiv, pomocných půdních látek, pomocných rostlinných přípravků a substrátů. Do tohoto zákona spadají i průmyslové komposty na základě definice uvedené v ČSN 46 5735, která upravuje výrobu, zkoušení, dodávání a užívání kompostů vyráběných průmyslovým způsobem a používaných jako organické hnojivo. Podle této normy musí být průmyslový kompost hnědá, šedohnědá až černá homogenní hmota drobkovité až hrudkovité struktury. Kompost nesmí zapáchat a provádí se na něm sledování nejvyššího přípustného množství daných látek. [2]

3.2 BRO

Biologicky rozložitelný odpad je odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. [30]

Mezi biologicky rozložitelné odpady patří s největším hmotnostním podílem biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO), dále zemědělské, zahradnické a lesnické BRO, biologicky rozložitelné odpady z potravinářského průmyslu, průmyslu papíru a celulózy, ze zpracování dřeva, z kožedělného a textilního průmyslu, papírové a dřevěné obaly, čistírenské a vodárenské kaly. [30]

Mezi hlavní důvody využívání BRO k výrobě kompostu či bioplynu patří:

- dlouhodobě nízký podíl půdního humusu v zemědělských půdách,
- nahrazení minerálních hnojiv, které jsou náchylnější k vyplavování živin vpravených do půdy do povrchových či podzemních vod,
- zachování živin k jejichž likvidaci dochází při spalování či skládkování,
- omezení vznikání skleníkového plynu, nedochází tak na skládkách ke tvorbě a úniku methanu. [2]

Pojem biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) je ve své podstatě BRO vzniklý na území obce. Patří sem především odděleně sbíraný tuhý domovní odpad, bioodpad z tržišť, bioodpad z velkokuchyní, bioodpad z veřejné zeleně apod. [2]

V průměru se v každé tuně KO vyskytuje 410 kg biologicky rozložitelných látek, z nichž je 170 kg bioodpadu, 130 kg papíru a 110 kg odpadu ze zeleně. Z těchto získaných hodnot je vidět, že KO obsahuje nezanedbatelné množství biologicky rozložitelných látek, které se odstraňují společně s komunálním odpadem. BRKO mají různorodé vlastnosti a proto je jejich sběr, zpracování a odstraňování problematické. Mají negativní vliv na životní prostředí - jde zejména o tvorbu skleníkových plynů a kyselých výluhů při hydrologických procesech. Proto by mělo být snahou toto značné množství vyseparovat z KO, kde škodí a využít ho lépe v rámci zlepšení životního prostředí a splnění tak požadavku v rámci Směrnice rady 1999/31/ES o skládkách odpadů. V současné době jsou připravovány zákony, které budou sloužit jako nástroj k uskutečnění tohoto kroku. Některé druhy odpadů, vykazovaných jako BRKO, však mají jen určitý podíl biologicky rozložitelné složky (viz tab. 1). [2,10]

Tab. 1: Druhy odpadů tvořící BRKO

Katalogové číslo	Název druhu	Podíl biologicky rozložitelné složky (% hmotnostní)
20 01 01	Papír a/nebo lepenka	100
20 01 07	Dřevo	100
20 01 08	Organický kompostovatelný kuchyňský odpad	100
20 01 10	Oděv	75
20 01 11	Textilní materiál	75
20 02 01	Kompostovatelný odpad z údržby zeleně	100
20 03 01	Směsný komunální odpad	40
20 03 02	Odpad z tržišť	75

[TOMIKOVÁ, Miloslava: Plány odpadového hospodářství a Realizační programy ČR. *Biom.cz* [online]. 2004-05-24 [cit. 2011-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plany-odpadoveho-hospodarstvi-a-realizacni-programy-cr>>. ISSN: 1801-2655.]

3.3 Kompostování

Kompostování má své počátky již v dávné historii a patří tak pravděpodobně k nejstarším recyklačním technologiím na světě. Již dávno v historii, před dvěma tisíci lety, popsal římský učenec a spisovatel Columella v zemědělské příručce jak mají být odpady vzniklé ze zemědělství míchány, vrstveny do hromad, překopávány a nakonec využívány jako hnojivo. Římané tento proces nazývali „Composta“ (latinsky – compositum – skladba), z čehož vzniklo označení této technologie „kompostování“. [3]

Historie kompostování v České republice sahá do začátku 19. století, kdy se začaly rozvíjet první průmyslové komposty. Technologie kompostování byla u nás rozvíjena především zemědělskou činností. Rozvoj kompostování trval do 90. let, poté zájem upadl a začalo se preferovat skládkování a spalování BRO. Od roku 1998 opět nastal růst zájmu o kompostování a to především na základě zájmu zemědělců o hnojení průmyslovými komposty. Tento zájem o kvalitní hnojivo v podobě kompostu je čím dál intenzivnější v závislosti na zhoršující se kvalitě půd. [2]

Kompostování je aerobní proces, při kterém mikroorganismy zpracovávají organickou hmotu za dostatečného přístupu vzduchu a přeměňují ji v kompost. Tyto podmínky lze zajistit mnoha technologickými způsoby. Mezi jedny nejjednodušší patří kompostování na volné až uzavřené ploše. Výstupem kompostování je kompost neboli organické hnojivo, které se podle

kvality využívá v zahradnictví, zemědělství k biologické rekultivaci půdy, v obci k obnově nebo hnojení ploch veřejné zeleně, apod. Kompost, který je využíván na zemědělskou půdu, musí být registrován podle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech. Mezi hlavní parametry kvalitního kompostu patří obsah organických látek, vlhkost, poměr C:N, celkový dusík, pH a obsah těžkých kovů. [11]

Většina bioodpadů (potravin, dřevo, papír, exkrementy) pochází původně z rostlin, které vyrostly z půdy. Aby byl zachován přirozený koloběh živin, je nutno je do půdy zase vrátit. Z důvodů hygienických, ekologických i technologických není možné, aby byly do půdy vráceny přímo. Odpad se musí před navrácením do půdy upravit a stabilizovat. Nejpoužívanějším způsobem je kompostování. Během kompostování se z bioodpadu stane bezpečné a kvalitní hnojivo, které obsahuje zejména humus a jiné organické a minerální látky. Kompost může nahradit umělá hnojiva, při jejichž výrobě dochází k zatěžování životního prostředí. V současné době se na celém světě dlouhodobě zaznamenává vážný úbytek organické hmoty v půdě. Tento úbytek organických látek v půdách byl v minulých letech nahrazován především průmyslovými hnojivy. Ty sice zajišťují kvantifikovaný přísun živin do půdy, ale nezajišťují optimální využití těchto živin rostlinami oproti kompostu. Navrácení bioodpadu do půdy ve formě hnojiva - kompostu vede tedy k udržení kvality půdy. [2, 12, 13]

Kompost obsahuje humus, který je velmi důležitý pro vytváření struktury a kyprosti půdy. Udržuje živiny v půdě, zpřístupňuje je pro rostliny a zabraňuje jejich vyplavování do spodních vod, výsledkem je tak kvalitní vodní, vzdušný a tepelný režim. Humus je však využíván mikroorganismy v půdě jako substrát a je proto nutné jej stále doplňovat a to nejlépe organickým hnojením. [2, 3]

Přeměnu bioodpadů na humusní látky obsažené v kompostu způsobují převážně aerobní mikroorganismy, které potřebují ke svému životu dostatek kyslíku. Z tohoto důvodu je snaha zakládat komposty kypré a zrající kompost co nejvíce provzdušňovat. Při kompostování lze docílit lepších podmínek pro rozvoj mikroorganismů a dosáhnout tak až desetkrát většího počtu mikroorganismů ve srovnání s půdou. Tyto optimální podmínky lze docílit kvalitním provzdušňováním, vhodným výběrem bioodpadů, optimálním poměrem uhlíku a dusíku a požadovanou úpravou vlhkosti, zrnitosti a homogenity substrátu. [14]

Mezi hlavní výhody kompostování BRO patří: [2,14]

- redukce skleníkových plynů vzniklých na skládkách,
- hygienizace bioodpadů,
- šetření skladovacího prostoru na skládkách,
- zlepšení kvality půd vlivem kvalitního humusu, který kompost obsahuje,
- nahrazení přírodní rašeliny kompostem což může omezit těžbu rašeliny,
- získání čisté energie a digestátu v případě spojení technologie kompostování s anaerobní technologií. [2]

Kompostování je vzhledem k nákladům za zpracování bioodpadu mnohem příznivější než odstranění pomocí spaloven či skládek. V případě uložení bioodpadu na kompostárnu se cena pohybuje v rozmezí 670 - 795 Kč.t⁻¹ bez DPH (Úholičky, Malešice, Modletice), 490 Kč.t⁻¹ bez DPH (Malý Rohozec). Cena za uložení na skládku se pohybuje v rozmezí 1900 Kč.t⁻¹ bez DPH (Ďáblice). Nejdražší je uložení do spaloven, kde se cena za uložení pohybuje okolo 2190 Kč.t⁻¹ bez DPH (Malešice). Při porovnání jednotlivých cen je vidět, že uložení bioodpadu na kompostárnu je nejméně finančně nákladné a tudíž nejefektivnější. [2, 35, 36, 37]

Kompostování lze rozdělit podle množství bioodpadu a kapacity zařízení na tři způsoby kompostování (domácí, komunitní a průmyslové). Dále se kompostování provádí řadou technologií, které se od sebe liší především intenzitou probíhajících dějů. Jednotlivé způsoby a technologie kompostování jsou podrobně popsány v následujících kapitolách.

3.3.1 Způsoby kompostování podle množství a kapacity zařízení

Kompostování BRO se z organizačního hlediska, množství a kapacity zařízení provádí na následujících úrovních:

- a) domácí kompostování,
- b) komunitní kompostování,
- c) průmyslové (komunální, centrální) kompostování. [31]

3.3.1.1 Domácí kompostování

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější metodu zpracování bioodpadu. Patří sem kompostování v soukromých zahradách u rodinných domů, kde se zpracovává domovní bioodpad, který vyprodukuje majitel. Jde tedy o menší množství bioodpadu a výsledný kompost se většinou použije na soukromém pozemku producenta kompostu. [11]

Během kampaně v letech 2005 - 2006 bylo zjištěno, že kompostování je pro mnoho lidí u nás samozřejmostí. Při diskusích s veřejností se ale také ukázalo, že lidé nevyužívají obrovský potenciál, který tato technologie nabízí. Například lidé, kteří mají doma kompost, ale i přesto velkou část bioodpadu ze zahrad nebo z domácností vyhazují do popelnice. Nebo neumějí správně kompostovat, a tak nejsou spokojeni s výsledkem. [12, 13, 15]

Mnoha lidem se kompostování daří bez větších problémů, ale jsou i případy kdy se vyskytnou problémy. Kompost zapáchá, odpad se nerozkládá nebo se stane semeništěm plevelů a choroboplodných zárodků. Pak se vyplatí vědět, jak správnému procesu napomoci. Kompostování obstarávají zvláštní bakterie a mikroskopické houby. Ty mají základní potřeby jako jsou: vzduch, voda, tma a teplo. [12, 13, 15]

Kompostování je, jak bylo řečeno, aerobní proces, probíhá tedy za přítomnosti kyslíku. Jestliže kompost výrazně a nepříjemně zapáchá, budou v něm probíhat naopak anaerobní procesy (bez přítomnosti kyslíku – např. hnití nebo některý typ kvašení). Příčinou může být velká vlhkost (kompost „čvachtá“, mikroorganismy jsou „utopené“) nebo jen slehnutí materiálu. Z toho vyplývá, že kompost je dobré založit tak, aby k němu mohl vzduch i voda, ale aby nadbytečná voda mohla také odtékat pryč. Proti slehnutí pomůže, když má kompost co nejpestřejší skladbu a když jej občas přeházíme. [12, 13, 15]

Kompost by neměl vysychat, proto by měl být ve stínu, jinak se musí pravidelně kropit. Tma se obstará zakrytím jakýmkoliv prodyšným a vodopropustným materiálem (např. starou rákosovou rohoží, netkanou zahradní textilií, slámou, listím apod). [12, 13, 15]

Počáteční vyhovující teplota je v rozmezí 20 - 25 °C, při samotném tlení však stoupá až na 50 - 70 °C. Při těchto vyšších teplotách dochází k tzv. hygienizaci, která zlikviduje nežádoucí semena a choroboplodné zárodky. Pro dosažení správné teploty většinou není rozhodující teplota okolního vzduchu, ale množství materiálu. Proto by se měl kompostovat minimálně 1m³ organické hmoty najednou. Mnoho lidí tuto podmínku nedodrží a na kompost přihazují malé dávky odpadu například z kuchyně. To zabraňuje vzniku fáze tzv. hygienizace. I zbytky z kuchyně jsou pro domácí kompostování důležité. Mnoha lidem se může zdát, že hlavní roli v kompostu hrají velké hromady trávy či listí, opak je ale pravdou. Nejvyšší

kompost získáme, pokud ho skládáme z různorodých materiálů, včetně zbytků z kuchyně. V kompostu má být určitý optimální poměr uhlíku a dusíku. Jestliže se kompostuje převážně tráva a listí ze zahrádky, hrozí většinou nadbytek uhlíku. Nezbytný dusík je poté doplňován převážně odpadem z kuchyně. V méně častých případech se stává, že je v materiálu nadbytek dusíku, což poznáme podle charakteristického zápachu unikajícího čpavku. Poté postačí přidat trochu pilin, slámy, kůry nebo drceného kartonu a promíchat. Opomínající odpad z kuchyně často nevyužívají lidé pro kompostování z důvodů obavy kam kuchyňský bioodpad odkládat tak aby nepřekážel a neobtěžoval tak vizuálně v domácnosti. Kdo nechce odbíhat na kompost po každém vaření (i to je řešení), může si pořídit tzv. kompostovatelné sáčky, které jsou plně rozložitelné, takže se prostě vyhazují na kompost spolu s odpadem. [12, 13, 15]

3.3.1.2 Komunitní kompostování

Ti kdo nemají vlastní zahradu nemusí vyhazovat biologicky rozložitelný odpad do popelnic. Řešením pro obyvatele bytů, kteří jsou ochotni se spolu domluvit je možnost komunitního kompostování. Zde si skupina lidí pořídí společný uzamykatelný kompostér (viz obr. 4), o který se společně starají. Hnojivo si poté můžou rozdělit mezi sebou, nebo použijí k úpravě společně využívaných prostranství. Pilotní projekty komunitního kompostování jsou u nás realizovány například v Chrudimi a v Praze 6 Řepách. Dlouholeté zkušenosti existují ve Velké Británii, v Belgii, Švýcarsku, Německu a na Slovensku. Komunitní kompostování se může uplatnit nejen u bytových domů, ale i v zahrádkářských koloniích nebo ve školách. [12, 13, 15]



Obr. 4: Komunitní kompostér s náhledem na zčásti zkompostovaný bioodpad

[<http://www.odpadoveforum.cz/OF2009/CD2009/TextyOF/537.pdf>]

3.3.1.3 Průmyslové kompostování

Jedná se o zařízení, která musí splňovat řadu hygienických a vodohospodářských předpisů a požadavků z legislativy odpadů. [2, 11]

Kompostárny a zejména ty, které uvádí vyrobený kompost do oběhu jsou taktéž zatíženy řadou požadavků. Kompostování se zajišťuje buď na kompostovišti s roční produkcí v rozmezí od 50 do 500 tun, nebo na průmyslové kompostárně s minimální roční produkcí 500 tun. Tyto zařízení bývají označovány jako průmyslové kompostárny a řídí se normou ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“. Dále se musí dodržovat vyhlášku č. 6/1977 Sb., o ochraně jakosti povrchových a podzemních vod, což se projevuje zavedením vodohospodářsky zabezpečené plochy a odvodu srážkových vod a splachů z kompostu o dané kapacitě. [2]

3.3.2 Technologie kompostování

Výrobu kompostu lze provádět mnoha způsoby, který se téměř neliší v průběhu kompostovacího procesu. Jediné co se významně liší je intenzita probíhajících dějů, která je u různých technologií odlišná. [1]

Při volbě technologie kompostování většinou převažuje ekonomické hledisko. Nebývá problém vyřešit technicky jakoukoli kompostovací technologii, ale problémem je výše počátečních investic a provozních nákladů. Tyto prvky se poté promítají do ceny vyrobeného kompostu. [1]

Z technologického hlediska lze rozdělit způsoby výroby kompostu na: [1]

- a) Kompostování na volné ploše
 - Kompostování v pásových hromadách
 - Kompostování v plošných hromadách
- b) Kompostování v uzavřeném nebo polozavřeném zařízení
 - Kompostování v bioreaktorech
 - Kompostování v boxech nebo žlabech
- c) Kompostování ve vacích (AgBag kompostování)
- d) Vermikompostování (za pomoci Kalifornských žížal)

Největší předpoklady a nejvíce rozšířená technologie v podmínkách ČR je technologie kompostování na volné ploše, a to buď v plošných nebo pásových hromadách. Tato technologie se používá na zpevněných, vodohospodářsky zabezpečených plochách. [1]

3.3.2.1 Kompostování na volné ploše v plošných hromadách

Je jednou z nejstarších kompostovacích technologií. V minulosti měla tato metoda uplatnění především proto, že nebyla vhodná technika k zakládání pásových hromad. Plošné hromady se zakládaly nejčastěji přímo na poli. Kompost se zakládal vrstevně ze surovin jako je chlévská mrva, sláma a dalších bioodpadů do výšky 0,5 metru a případně byl zavlažován močůvkou. Takto vzniklá zakládka kompostu byla převrstvována pluhem, kde se využíval princip hluboké orby, tedy zapravování horní vrstvy dolů. Takto vzniklá plocha, byla využívána jako tzv. tučný hon k pěstování krmných plodin nebo teplomilných zelenin. Obdělávání těchto plodin v podstatě nahrazovalo funkci překopávání kompostu a po zrušení se zbývající kompost odvezl na zbylou část pozemku. [1]

V dnešní době se kompostování v plošných hromadách využívá především ve velkých kompostárnách u městských aglomerací. Kde se zpracovává velké množství BRO a to především BRKO. Plošné hromady se zakládají do výšky až 5 metrů a překopávány jsou speciálně upravenými překopávači kompostu s bočním pracovním ústrojím, který kompost překopává a rovnou vrství na vedlejší stanoviště. [1]

3.3.2.2 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách

Jedná se o jednu z nejvyužívanějších technologií u nás. Jedná se o technologii, kde se kompostované suroviny zakládají do pásových hromad a to buď trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu. Kompostuje se na zabezpečených plochách, který mají své specifické požadavky a délka hromad kompostu je daná velikostí zabezpečených ploch. [1]

Celková velikost a velikost profilu pásové hromady úzce souvisí s velikostí a použitím strojů a zařízení potřebných ke kompostování, především se jedná o šířku záběru překopávače kompostu. [1]

Podle kvality a důslednosti zabezpečení kompostovací plochy, které musí zabránit ohrožení povrchových a podzemních vod, a podle množství kompostovaných surovin lze provozovat kompostování na kompostovišti nebo na průmyslové kompostárně. [1]

Technologie kompostování na volné ploše v pásových hromadách je ideální technologií pro provozování řízeného kompostování, které vede především ke zkrácení doby

výroby kompostu a tím k zvýšení množství vyrobeného kompostu na omezených plochách a tedy k zefektivnění celého výrobního procesu kompostu. Urychlení celého procesu lze docílit optimalizací surovinové skladby, sledováním procesních podmínek (teplota, vlhkost, množství kyslíku apod.), optimální mechanizací klíčových operací v kompostovacím procesu a zakrýváním hromad kompostu kompostovací textilií. [1]

3.3.2.3 Zabezpečení ploch kompostáren

Zabezpečená plocha závisí vždy na konkrétních podmínkách a navrhuje se individuálně pomocí odpovědného projektanta. Tyto vodohospodářsky zabezpečené plochy mají především dvojnásobný význam a to umožnění volného přístupu pracovních strojů a zařízení k hromadám kompostu a zamezení kontaktu zpracovávaných surovin s podzemní vodou a okolní půdou. [1]

Plochy musí být udělány tak, aby odváděly srážkovou vodu a plachy z kompostů do podzemních jímek nebo nadzemních nádrží odpovídající kapacity. [1]

Vzhledem k tomu, že výstavba vodohospodářsky zabezpečené plochy je velmi investičně nákladná, lze využívat plochy již vzniklé, které mají obdobné vlastnosti. Využívají se silážní žlaby, hnojiště, areály uhelných skladů apod. Rekonstrukce těchto ploch s minimálními úpravami již probíhá za menších nákladů. [1, 2]

Velikost zabezpečené plochy potřebné ke kompostování závisí buďto na celkovém množství kompostovaných surovin nebo na volbě technologie kompostování (tvar a velikost hromad, rozmístění, četnost překopávání apod.). Dále se nesmí zapomínat v případě určení velikosti plochy na plochu určenou ke skladování surovin zakládáných do kompostu, kryté skladovací plochy, provozní cesty a další plochy pro případ neočekávaného přísunu surovin ke kompostování. [1]

3.3.3 Sběr a svoz BRO

Logistika systému sběru a dopravy biologicky rozložitelných odpadů z místa vzniku do místa zpracování je nezanedbatelnou položkou představující dopravní náklady. [1]

V současné době separovaný sběr BRKO probíhá pouze v pár lokalitách a jedná se spíše o pilotní projekty, které slouží jako ukázka zda by daný systém mohl fungovat v dané oblasti. Jinak bývá tento odpad odstraňován zejména jako směsný odpad a to buď skládkováním nebo spalováním. To se má však změnit v rámci Směrnice Evropské unie 99/31/EC o skládkování odpadů, která udává množství snižování sládkovaného BRKO.

Z tohoto důvodu by mělo být podporováno domovní a komunitní kompostování a zaveden separovaný sběr BRKO ve městech s více než 100 tisíci obyvatel a následně i ve městech s více než dvěma tisíci obyvatel. [1]

V rámci separovaného sběru bude zejména záležet na kvalitě (čistotě) vyseparovaného bioodpadu a na jeho množství. Tyto aspekty jsou všeobecně závislé na intenzitě osvěty a propagace s původci daného odpadu. Dále je potřeba analyzovat trh pro odbyt námi vyrobeného kompostu. [1]

Pro případ zavedení odděleného sběru je potřeba zajisti:

- potenciální produkci a místa vzniku bioodpadu,
- místní podmínky pro zavedení určitého systému sběru (sociální struktura obyvatelstva, typ zástavby),
- kvalitní osvětu a zapojit do ní co nejvíce obyvatel,
- provést zkušební zavedení odděleného sběru,
- pravidelně hodnotit kvalitu a účinnost sběru, systém optimalizovat a tím snižovat náklady,
- potenciální odbyt kompostu. [1]

Oddělený sběr bioodpadů je možné sbírat a zabezpečit:

- obyčejnými sběrnými nádobami (Nová Paka),
- sběrnými nádobami upravenými pro sběr bioodpadu (tzv.compostainery) o objemech nejčastěji 120 a 240 litrů (Uherské Hradiště, Dolní Chabry),
- kontejnery – objem kolem 1 m³, většinou 1100 litrů (Rýmařov, Pezinok),
- vanovými kontejnery – objem 5 – 10 m³ (Bystřice nad Pernštejnem),
- pytlovým systémem (Bílina). [16]

3.3.4 Stroje a zařízení na kompostování

Mezi hlavní stroje sloužící ke kompostování (průmyslové kompostování) patří energetický prostředek, drtiče a štěpkovače, které slouží k přípravě surovin do zakládek kompostu. Dále překopávače kompostu používané k provzdušňování a promíchávání kompostu. Prosévací zařízení k prosévání již hotového kompostu. Separátory sloužící k roztřídění nadsítného odpadu z prosévání a nakonec ostatní zařízení. Tyto prostředky se poté používají v různých sestavách kompostovacích linek. [1]

Kompostovací linky lze rozdělit na několik variant:

- linky s jedním energetickým prostředkem a s řadou připojitelných nástrojů,
- linky skládající se z jednoúčelových strojů s vlastním pohonem,
- linky sestavené kombinací obou předchozích variant. [1]

U kompostovací linky s jedním energetickým prostředkem se k danému energetickému prostředku připojuje řada dalších nástrojů jako, připojitelný štěpkovač či drtič, připojitelný překopávač, čelní lopata, drapák, adaptér na svinování a rozbalování plachty, zařízení pro aplikaci kapalin, přívěs apod. Výhodou této varianty je snížení nákladů na provoz a pořízení strojů, tím se zvýší efektivnost kompostovací linky. Nevýhodou je menší výkonnost než by měli jednoúčelové stroje určené pro konkrétní operace. [1, 19]

Druhou variantou je kompostovací linka složená z jednoúčelových strojů. Kdy jednotlivé operace jako dovoz surovin, dezintegrace, zakládání kompostu, překopávání, prosévání a nakládání jsou prováděny zvlášť jednoúčelovými stroji. Zde je výkonnost linky značně vyšší než u první varianty, ale i investiční náklady jsou zde vyšší. [1, 19]

Poslední variantou je kombinace předešlých dvou variant. Kdy některé technologické operace jsou prováděny jednoúčelovými stroji a některé pomocí univerzálního stroje, který zvládne i více druhů operací. Tato varianta vychází z výhod předešlých dvou, jedná se tedy o zvýšení výkonnosti a snížení investičních nákladů kompostovací linky. [1, 19]

3.3.4.1 Energetický prostředek

Nejčastěji bývá jako kolový traktor, čelní nakladač a nebo nosič nářadí. U kolového traktoru a nosiče nářadí je nutné, aby šlo připojit čelní lopatu pro potřebnou manipulaci s materiálem. Oba typy musí umět dosáhnout nízkých pracovních pojezdových rychlostí ($0,1 - 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) pomocí redukční převodovky, která umožňuje nízké pojezdové rychlosti. [1]

U čelního nakladače je naopak zapotřebí zvážit zda je k němu možné připojit další pracovní zařízení a zda má dostatečný výkon. Výhodou je, že nakladač je vybaven hydraulickým pohonem, který umožňuje nízké pojezdové rychlosti, které jsou především vhodné pro překopávač kompostu. [1]

V případě výběru a nákupu je třeba se zaměřit na kritéria jako jsou snadnost obsluhy, kompaktnost konstrukce, vývodový hřídel, univerzálnost, uzávěrka diferenciálu, výkonnost, hospodárnost, manévrovatelnost na malém prostoru a v neposlední řadě design. [1]

3.3.4.2 Drtiče a štěpkovače

Slouží k dezintegraci vstupních surovin, tedy k jejich rozmělnění a rozdrčení na malé částice a k umožnění tak kvalitní homogenizace zakládky a tudíž k rychlému nastartování optimálního kompostovacího procesu. Tyto stroje jsou tedy nezbytné pro úpravu vstupních surovin a jednoznačně patří na každou kompostovací linku. Platí, že čím menší jsou částice, tím je větší styčná a oxidační plocha a tudíž proces při kompostování probíhá účinněji. U surovin, které lépe degradují platí, že mohou mít větší částice v zakládce kompostu. Ekonomické náklady na rozmělnění rostou s požadavky na čím dál menší částice. [1]

Štěpkovače produkují štěpku s relativně malou aktivní plochou což má za následek delší dobu kompostování. Mezi další nevýhody patří vysoká pracnost, zdlouhavost, prašnost a vhodnost pouze pro dřevo bez příměsí. Naopak výhodou je schopnost produkovat rovnoměrnou velikost štěpky při beztřískovém dělení dřeva. Tato výhoda se využívá především pro energetické využití nebo pěstitelské či dekorativní účely. Zásadní vliv na rozmělnění vstupní suroviny má typ pracovního ústrojí, rychlost, otáčky a způsob podávání surovin. Pracovní ústrojí štěpkovačů je buď diskové, bubnové a nebo šnekové. [1, 3]

Drtiče v principu drtí a trhají vstupní suroviny na částice, které nemají stejné rozměry a mají větší povrch než je tomu u štěpkovačů. Tyto vlastnosti jsou pro kompostovací proces optimální jelikož není kladen požadavek na stejnou velikost částic. Dezintegrační účinky závisí na typu stroje, tvaru a počtu pracovních ústrojí, otáčkách a nastavení drtícího koše. Pracovní ústrojí drtičů je buď talířové (s 1, 2 nebo více noži), nožové, spirálové ostří, kladívkové a nebo kombinované [1, 3]

V případě výběru a nákupu je potřeba zaměřit se na kritéria jako, schopnost rozdrtit surovinu na částice o objemu 0,5 – 5 cm³, schopnost zpracovávat suroviny suché, polosuché a vlhké, snadnost výměny částí pracovních ústrojí, konstrukční zamezení ucpávání, odolnost pracovních ústrojí, bezpečnost konstrukce, snadnost obsluhy, výkonnost, hospodárnost a design. [1]

3.3.4.3 Překopávač kompostu

Slouží k homogenizaci a provzdušňování kompostu a tím tedy k dosažení optimálního průběhu mikrobiální činnosti. Překopávání kompostu patří k nejdůležitějším pracovním operacím u rychlokompostování a kompostování obecně. [1]

Mezi základní požadavky překopávačů kompostu patří kvalitní provzdušnění a promísení surovin v celém průřezu hromady kompostu, formování překopávaných surovin zpět do určitého profilu, možnost částečného rozmělnění surovin, nízká pojezdová rychlost a dobrá manévrovatelnost. [1]

Rozdělení překopávačů lze dělit podle energetického hlediska (připojitelné a samojízdné), způsobu agregace, výkonnosti a pracovního ústrojí (rotorové, šnekové, dopravníkové a rotorové boční). [1]

Samojízdný překopávač kompostu je složen z překopávacího a pojezdového ústrojí. Pohony těchto překopávačů mohou být různé a podle toho se i liší jejich výkony. Pojezdové ústrojí tvoří buď pásy nebo kola s pneumatikami. Překopávací ústrojí bývá bubnové nebo bubnové boční. Nevýhodou samojízdných překopávačů je jejich vysoká cena, z tohoto důvodu se na našem trhu moc neobjevují. [1]

Hlavním kritériem volby překopávače kompostu je velikost kompostovací plochy a technologie kompostování. Kdy každý překopávač má jiné požadavky na velikost manipulační plochy, která je ovlivňována plochou pro pojezd mezi jednotlivými hromadami, plochou otáčení na konci hromady, plochou pro technologické přejezdy a při podélném překopávání prostorem pro posun materiálu ve směru podélné osy. [1]

V případě výběru a nákupu překopávače kompostu by se měla hodnotit kritéria jako ovládání stroje (výhled, směr pohybu, pracovní ústrojí, údržba), výkon hnacího motoru (celkový, potřebný, výkon pro překopávání), výkonnost překopávače, spotřeba paliva a nízká pracovní rychlost s možností regulace. [1]

3.3.4.4 Prosévací a separační zařízení

Prosévací zařízení slouží k úpravě již hotového kompostu, který se může třídit na dvě i více frakcí určených k expedici či dalšímu zpracování v kompostovacím režimu. Prosévacími zařízeními mohou být vibrační třídíče s rovinným sítem, rotační třídíče s válcovým sítem, rotační rošty, třídící a drtící lopaty apod. [1,3]

Separátory se používají zejména u kompostování BRKO ve kterých jsou často příměsi plastů, kovů, kamenů a jiných negativních látek, které se musí oddělit po prosetí kompostu. Při procesu separace se využívá rozdílných mechanicko-fyzikálních vlastností daných látek obsažených v kompostu. Mezi separační zařízení patří odstředivé odlučovače, třídíče využívající geometrického tvaru, vzduchové třídíče apod. [1,3]

V případě výběru a nákupu prosévacích či separačních zařízení by se měli hodnotit kritéria jako specifikace surovin, které se budou prosévat, místo prosévání, prostorové nároky, pořizovací cena, technické parametry (velikost otvorů, počet kmitů, obvodová rychlost) a provozní charakteristika (provozní náklady, výkonnost, hlučnost, prašnost). [1]

3.3.4.5 Ostatní zařízení

Mezi ostatní zařízení patří mostní váha, která slouží k evidenci příjmu surovin a distribuci kompostu. Dále je pro chod kompostárny důležité mít elektrickou přípojku proudu pro chod určitých technologických zařízení. Pro vlhčení kompostu je nezbytností mít zařízení na postřik pomocí hadice a tudíž zařízení pro odvinování či navinování hadice. Pro odstraňování zápachu a stimulování kompostovacího procesu se používá řada biotechnologických přípravků. V neposlední řadě bývají kompostárny vybaveny překrývacími plachtami ke zlepšení a urychlení kompostovacího procesu a s nimi související zařízení k navíjení plachet, které bývá součástí překopávačů. [1]

3.3.5 Založení, průběh a řízení kompostu

Založení kompostu je podrobně popsáno již v metodice kapitola 2.1.7. Kdy při zakládání kompostu jsou nejdůležitějšími faktory poměr C:N, který by se měl pohybovat v rozmezí 30 - 35:1 a vlhkost kompostu. V průběhu zrání kompostu ubývá část uhlíku jako kysličník uhličitý a poměr C:N se tak zužuje, proto má výsledný kompost nižší poměr C:N než při jeho zakládání. V praxi tento poměr pracovníci často odhadují pomocí získaných hodnot určitých druhů surovin, avšak tato metoda není přesná. Pro přesnější určení slouží výpočty poměru C:N a nebo lze použít speciální programy zabývající se výpočtem surovinové skladby kompostu. Při nedostatku dusíku (široký poměr C:N nad 50:1) se průběh humifikace zpomaluje a naopak přebytek dusíku (úzký poměr C:N pod 20:1) způsobuje jeho únik ve formě zápachajícího amoniaku a v důsledku toho dochází ke zvýšení pH a následně se mohou zastavit veškeré biochemické reakce. Mezi suroviny s vysokým obsahem uhlíku patří sláma, piliny, listí, kůra, papír apod. Zatímco suroviny s vysokým obsahem dusíku jsou kejda, kaly, drůbeží trus, chlévská mrva, kuchyňský odpad apod. [1, 3, 33]

Dále je důležité pro optimální vývoj kompostovacího procesu, aby byly vstupní suroviny upraveny na vhodnou zrnitost a došlo tak k optimální homogenizaci základky kompostu. Pomocí dezintegrace dochází k zvětšení oxidační a styčné plochy pro mikroorganismy a následkem toho k urychlení biodegradabilního procesu. Zrnitost u vstupní

zakládky by neměla překročit 50 mm, současně však musí být struktura hromady kyprá, nepřevlhčená a porézní, čímž umožňuje výměnu plynů mezi zrajícím kompostem a okolím tak, aby byl v hromadě kompostu dostatek kyslíku. [1]

Doba rozkladu organických odpadů závisí především na vlhkosti, poměru C:N, teplotě, obsahu kyslíku a charakteru kompostované biomasy. Obvykle je možné dosáhnout rozkladu organických látek během několika týdnů v případě ideálních kompostovacích podmínek, ale pro zkvalitnění a jistotu úplné stabilizace se doporučuje prodloužit periodu na dobu delší než dva měsíce. Dále dobu kompostování významně ovlivňuje to, jakou zvolíme technologii kompostování. [1]

3.3.6 Zjišťování vlastností kompostu

Provádí se za účelem zajištění optimálního průběhu kompostovacího procesu. Monitorují se chemické, fyzikálně-chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostu. Tato měření se dělají v průběhu kompostování, aby bylo možné zjistit zda se hodnoty odchylují od hodnot optimálních a případně provést vhodný zásah do kompostovacího procesu. Měřeními zjišťovacích hodnot lze i zjistit dobu kdy můžeme ukončit kompostovací proces. [1]

Zjišťované hodnoty lze rozdělit na:

- měření teploty kompostu,
- měření vlhkosti kompost,
- měření obsahu kyslíku v kompostu,
- mikrobiologické hodnocení kompostu,
- stanovení stability a zralosti kompostu,
- chemické a fyzikální hodnocení kompostu.

V průběhu kompostovacího procesu se měří a zjišťuje teplota, vlhkost a obsah kyslíku. Zbýlá hodnocení a měření, která nám ukazují kvalitu výsledného kompostu se provádí až po ukončení kompostovacího procesu. [1]

3.3.6.1 Měření teploty kompostu

Monitorování teploty kompostu patří k nejsnáze zjistitelnému ukazateli zrání kompostu, který úzce souvisí s intenzitou činnosti mikroorganismů. Z tohoto důvodu je měření a evidence teplot základní podmínkou správného kompostování. [1]

V případě, že po založení zakládky kompostu a první překopávce teplota kompostu nestoupá nebo po vzestupu teploty nastává výrazný pokles, není kompostovací proces v pořádku a podmínky pro mikroorganismy jsou nepříznivé. Důvodem může být špatná surovinová skladba, vysoká či nízká vlhkost surovin, nízký obsah kyslíku v zakládce apod. [1]

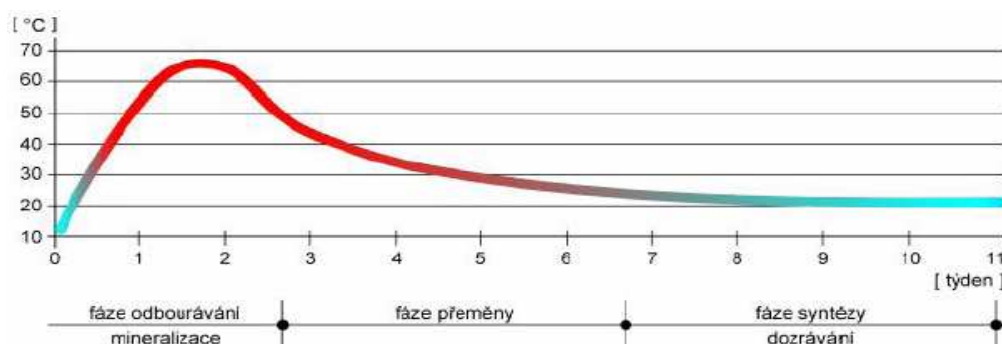
Poté, co jsou vytvořeny hromady kompostu o optimálním složení, dochází v zápětí ke zvýšení teploty uvnitř těchto hromad. Už zvýšení teploty ukazuje na vhodné podmínky pro život mikroorganismů, které nashutují procesy kompostování. Při kompostování nastávají tři hlavní fáze dějů (viz obr. 5). Jsou to fáze rozkladu, přeměny a zrání (syntézy). [2]

Fáze rozkladu trvá zhruba tři týdny a dochází při ní k intenzivnímu provzdušňování. Teploty dosahují maximálních hodnot, mohou se pohybovat až v rozmezí 50 - 70 °C. Mikroorganismy v této fázi rozkládají snadno rozložitelné sloučeniny (bílkoviny, cukry a škrob). [2]

Další fází je fáze přeměny, ta se projevuje mezi 4. až 8. týdnem. Dochází zde k poklesu teploty až na 25 °C. Původní materiál mění svou strukturu a barvu. Kompost začíná mít stejnoměrnou hnědou barvu, drobkovitou strukturu a lehce voní po lesní zemině. [2, 3]

Poslední fází je fáze zrání, kdy teplota uvnitř hromad klesne až na teplotu okolí. Kompost má zemitější strukturu, což má za následek pevnější vázání živin a následně postupné uvolňování živin do okolních půd. Humusové složky tak získávají na účinnosti a to vede ke zlepšení půdních vlastností. [2]

O délce trvání jednotlivých fází rozhoduje technologie, surovinová skladba a různé vnější podmínky (použití urychlovačů, překrývání plachtami, roční období apod.) [3]



Obr. 5.: Průběh teploty a fází dějů při kompostování

[Plíva a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2]

3.3.6.2 Měření vlhkosti

Stejně tak jako teplota tak i vlhkost patří mezi základní parametry, které mají významný vliv na zdárný průběh kompostovacího procesu. Mikroorganismy přítomné v kompostu potřebují určité množství vody stejně tak jako každý živý organismus. Optimální vlhkost by měla odpovídat 70 % pórovitosti kompostu zaplněného vodou. Když je kompost příliš vlhký dochází k nežádoucím hnilobným procesům, naopak při nízké vlhkosti dochází k zpomalení až zastavení činnosti mikroorganismů. Při zakládání kompostu, jestliže si nejsme jisti optimální vlhkostí, volíme raději nižší vlhkost, která se snadněji koriguje závlahou kompostu. Převlhčení kompostu se upravuje mnohem obtížněji. [1, 33]

3.3.6.3 Měření obsahu kyslíku v kompostu

Základní podmínkou kompostování je jeho provzdušňování a tedy vytváření aerobních podmínek. Mikroorganismy, které přeměňují organickou hmotu na kompost mají vysoké nároky na kyslík a při jejich činnosti produkují oxid uhličitý. Proto veškeré technologie kompostování musí umožnit výměnu plynů mezi okolím a zrajícím kompostem, tak aby byl v kompostu stále dostatek vzduchu s kyslíkem. Obsah kyslíku ve zrajícím kompostu by neměl být nižší než šest objemových procent. V případě zakrývání pásových hromad, z důvodu zabránění negativním vlivům počasí je potřeba použít speciální plachty prodyšné kompostárenské. Kompost s nedostatkem kyslíku se projevuje hnilobným až kyselým zápachem. K zápachu dochází vlivem plynných produktů mikroorganismů, které nemohou být plně oxidovány a do prostředí se tak uvolňují zapáchající plyny jako je amoniak (NH_3) a sirovodík (H_2S). [1]

3.3.6.4 Stanovení stability a zralosti kompostu

V průběhu kompostování biologicky rozložitelných surovin, které mají na začátku velmi nízkou stabilitu se stabilita (zralost) suroviny postupně zvyšuje. Trvalá stabilita je způsobena transformováním biologicky rozložitelných látek na humusové látky. [1]

Význam nestabilních organických odpadů:

- při nevhodném skladování samovolně zapáchají,
- vytvářejí jedovaté látky nevhodné pro rostliny,
- rychleji uvolňují živiny,

- podporují opětovný rozvoj patogenních mikroorganismů. [1]

Význam stabilních (zralých) kompostů:

- pozvolna uvolňují živiny,
- mají pozitivní vliv na kvalitu půdy a obsah organických látek,
- nezapáchají,
- optimalizují složení půdního roztoku. [1]

Nezralý kompost má vlastnosti čerstvé suroviny a je na něm vidět původní struktura, mírně zapáchá, na dotek může být teplý a horký, z takovéto hromady může unikat i vodní pára, na povrchu částic jsou povlaky hub a ve většině případech nejsou přítomni půdní živočichové. Naopak zralý či stabilní kompost lze poznat tak, že voní po lesní půdě, nezapáchá, jen obtížně lze identifikovat jeho původní strukturu, má teplotu svého okolí, nemá patrné povlaky hub a obsahuje půdní živočichy, pokud mají ke kompostu přístup. [1]

Mezi základní metody pro stanovení stability a zralosti kompostu patří fyzikální, chemické, rostlinné a mikrobiální metody. Patří sem metody jako samozáhřevný test, metoda dynamického respiračního indexu a test fototoxicity (řeřichový test). [1]

3.3.6.5 Mikrobiologické hodnocení kompostu

Na kompostovacím procesu se podílí tři hlavní skupiny mikroorganismů. Jsou to bakterie, aktinomycety a nižší houby (plísňe). Mikrobiologické vyšetření kompostu na indikátorové mikroorganismy se provádí z hlediska zjištění patogenních mikroorganismů. Zdrojem patogenních organismů jsou nejčastěji čistírenské kaly, zvířecí exkrementy, kejda, hnůj a různé druhy podestýlky. Přípustné množství indikátorových mikroorganismů nesmí překročit kritéria stanovená vyhláškou MŽP č. 341/2008. Dále je stanoveno nařízení Komise (ES) č. 208/2006, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002, hodnocení hygienické nezávadnosti kompostu při zpracování materiálu 3. kategorie a při zpracování hnoje. [1]

3.3.6.6 Chemické a fyzikální hodnocení kompostu

Při laboratorních rozbořech kompostu se postupuje podle ČSN 46 5735 Průmyslové komposty a stanovují se tyto znaky jakosti kompostu:

- celkový obsah spalitelných látek (C),

- celkový obsah dusíku,
- poměr C:N,
- vlhkost,
- pH,
- homogenizace kompostu,
- stanovení nerozložitelných příměsí. [1]

Dále se zjišťují další fyzikální veličiny, které nemusejí mít velký význam pro průběh kompostovacího procesu, ale jsou významné pro evidenci zpracovávaných surovin nebo vyrobeného kompostu. Patří sem fyzikální vlastnosti jako je hmotnost, objemová hmotnost, pórovitost a sypaný úhel. [1]

3.3.7 Přetřídění a expedice hotového kompostu

Při jednoduchém prosévání vzniknou dvě frakce - podsítná (finální produkt) a nadsítná, u níž je nutné rozhodnout o dalším využití. Hlavním kritériem pro rozhodnutí je množství cizích předmětů. Pokud nadsítné obsahuje vysoký podíl cizích předmětů mikrobiologicky nerozložitelných, musí neprosetý materiál podstoupit další třídění – separaci příměsí. Pokud toto separační zařízení není k dispozici, bývá nadsítná frakce odvezena nejčastěji na skládku. Naopak, pokud je podíl cizích předmětů nepatrný, je tento hrubý, poněkud zetlelý materiál opět vrácen do kompostovacího procesu a dochází k "naočkování" nově zakládaných surovin do kompostovacích hromad. [20]

Prosetý kompost je možné expedovat dvojím způsobem:

- volně ložený kompost - je nakládán na přepravní prostředek bezprostředně po prosetí prostřednictvím pásového dopravníku nebo z hromad kompostu čelním nakladačem,
- balený (pytlovaný) kompost. [20]

Pro velkoodběratele je prodej kompostu ve formě volně loženého nejvhodnější. U maloodběratelů, v případě, že je kompost prodáván jako volně ložený, je vhodné nabízet zapůjčení, popř. prodej pytlů pro naložení a odvoz kompostu svépomocí. V některých případech kompostárny v zahraničí dokonce půjčují pro odvoz přívěšné vozíky. [20]

Balení kompostu do pytlů je pro výrobce sice pracnější, avšak ekonomicky efektivnější. I pro prodej kompostu platí, že zákazník kupuje očima. Obal by měl být proto nápaditý, přehledný a jeho vzhled by měl být lehce zapamatovatelný. Výhodou balení kompostu do

pytlů je také to, že umožňuje vyznačit na obal všechny potřebné údaje o dodávaném zboží, snadno identifikovatelný a zřetelný obrázek, který specifikuje jeho použití, označení výrobce apod. [20]

Vliv způsobu expedování hotového kompostu z kompostárny a kvalita jeho prosetí (jemnost kompostu) se poté projevuje na celkové ceně kompostu, proto je třeba předem zvážit způsob expedování a jemnost kompostu. [20]

3.3.8 *Ekonomika kompostování*

Ekonomika je velmi důležitým faktorem, podle kterého se rozhoduje zda má vůbec cenu zpracovávat biologicky rozložitelný odpad danou technologií a financovat výstavbu kompostárny. Celá ekonomika je ovlivňována mnoha faktory, které se mohou v různých případech od sebe lišit. Závisí to především na způsobu financování investice, výši příjmů z poplatků za zpracování biologicky rozložitelných odpadů, cenách dalších nakupovaných surovin a způsobu jejich zajištění, počtu zaměstnanců a možnosti uplatnění kompostu. [1]

Před rozhodnutím o zavedení technologie kompostování je nutné zvážit ukazatele jako jsou investiční náklady, provozní náklady, doba životnosti kompostárny, způsob financování, množství zpracovávaného BRO a vyrobeného kompostu a jiné efekty (např. naplnění směrnice EU 1999/31 o skládkování). [1]

V případě vybudování a provozu kompostárny vznikají náklady spojené s přípravnou fází zřízení kompostárny, náklady spojené s řízením a výstavbou kompostárny a náklady spojené s provozem kompostárny. [1]

Velkým problémem kompostárny je zajistit zájem o vyrobený kompost a docílit tak jeho pravidelný odběr a současně zajistit trvalý přísun surovin v požadované kvalitě a čistotě k výrobě kompostu. [1]

Ke zjištění zda bude provoz kompostárny efektivní slouží ekonomické hodnocení, které spočívá v porovnání veškerých příjmů (poplatky za zpracování bioodpadu, dotace, příjmy z prodeje kompostu, apod.) s veškerými náklady týkajícími se provozu kompostárny. Aby byl provoz kompostárny efektivní, měly by být náklady nižší než příjmy. [1]

3.4 Papír

Papír je tenký, hladký materiál vyráběný zhotovením vlákn. Použitá vlákna jsou obvykle přírodní a založená na celulóze. Nejobvyklejší materiál je dřevovina z vláknitého dřeva (většinou jehličnaté dřeviny - stromy jako smrky), ale mohou být použity i jiné rostlinné vláknité materiály jako bavlna, plátno a konopí. [21]

Papír se dělí podle plošné hmotnosti na papír, kde je plošná hmotnost menší než 225 g.m^{-2} a lepenku kde je plošná hmotnost větší než 225 g.m^{-2} . [22]

Co se týče chemického složení papíru a to zejména poměru C:N jedná se o materiál s vysokým obsahem uhlíku a jeho poměr je 170:1. [2]

3.4.1 Výroba papíru

Papír se vyrábí ze dřeva, kdy se postupně provádí jednotlivé technologické operace na jejichž konci nám vznikne papír nebo lepenka. Podle výběru různých druhů dřeva můžeme získat různé vlastnosti papíru. [22]

Jednotlivé technologické operace výroby papíru se skládají z rozvlákňování (na dřevovinu nebo buničinu), bělení (peroxydy), mletí (v holandrech - přidávají navíc látky ke zlepšení vlastností papíru), zplstňování (nanášení papíroviny na papírenská síta), sušení a hlazení papíru (v kalandrech - soustava válců). [22]

3.4.2 Výroba lepenky

K výrobě lepenky se musí nejprve získat papír. Poté dochází ke spojování papíru, kde se používá buď spojování za vlhka (plná, těžká lepenka) a nebo za sucha (lehká vlnitá lepenka). [22]

3.4.3 Využití papírových odpadů

Vzhledem k omezené kapacitě využití sběrového papíru v České republice, kdy se v důsledku nedostačujících kapacit vyváží značné množství sběrového papíru ze země ke škodě české ekonomiky a životního prostředí se stává problematika využití odpadního papíru aktuálním tématem. [23]

V dnešní době jsou k dispozici dva hlavní způsoby využití odpadního papíru. Prvním způsobem je recyklace papíru, kdy se nejčastěji provádí opětovná výroba papíru v papírnách. Tato technologie však nelze dělat do nekonečna a nelze s ní zpracovávat veškeré druhy papíru. Další způsob je energetické využití papíru k výrobě tepla, kdy je nutné připravit papír

do různých forem podle typu kotle, ve kterém jej chceme spalovat. Jeho nejběžnější úpravou je drcení a briketování.

K těmto dvou hlavním způsobům zpracování odpadního papíru je vzhledem k již zmiňovaným nedostačujícím kapacitám snaha najít další způsoby využití. Jedním z těchto dalších způsobů je kompostování odpadního papíru.

Tento způsob využití odpadního papíru je zatím nejméně probádaný a provádí se především v rámci zkušebních projektů, kdy se zjišťuje jaké množství, složení a úprava papíru je nejvíce vhodná pro kompostování tak, aby nakonec vznikl kvalitní kompost.

4 VLASTNÍ PRÁCE

Spočívá v měření a řízení procesu kompostování, které je prováděno ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky, v.v.i. v Praze 6 – Ruzyni tak, aby byly dosaženy co nejlepší výsledky. Kompost je překopáván úměrně podle jednotlivých fází přeměny kompostu, překrývá kompostovací plachtou a v určitých intervalech je prováděno měření, odebírají se vzorky a v případě potřeby dochází k vlhčení kompostu. K měření a zjištění výsledných hodnot jsou založeny dvě zakládky kompostu, každá o jiném složení, aby bylo lépe vidět ovlivnění kompostovacího procesu různými látkami o různém množství.

První kompostovací zakládka se skládá z listí, papíru a trávy o různém množství. Zde se sleduje především vliv papíru na výsledné hodnoty kompostu a schopnost jeho rozkladu zkompostováním v daném množství a úpravě. Vzhledem k nedostačujícím finančním možnostem nebyl pořízen na kompostárnu drtič k drcení papíru, který by byl pro daný materiál zapotřebí. Proto je v rámci výzkumu použit ke kompostování papír nerozdrcený a zjišťuje se zda za těchto podmínek dojde k jeho rozložení pomocí kompostování. K určité dezintegraci papíru v kompostu dochází pomocí překopávače a vlhčení papíru při překopávání (viz obr. 13).

Druhá zakládka je složena z trávy a listí, kdy obě složky jsou zastoupeny v kompostu ve stejném množství (50 % tráva a 50 % listí). Zde se sleduje průběh kompostovacího procesu a zároveň slouží k porovnání hodnot s první zakládkou.

Dále je proveden zpětný propočet optimální surovinové skladby u obou kompostů tak, aby zakládky kompostů a poté i hotový komposty vyhovovaly limitním hodnotám.

4.1 Použitá technologie

Pro kompostování je použita technologie kompostování na volné ploše v pásových hromadách (viz obr. 6). Profil hromad je trojúhelníkový.

Hromady se překrývají kompostovacími plachtami za účelem urychlení procesu a udržení potřebných teplot s vlhkostí v kompostu.



*Obr. 6.:Kompostování v pásových hromadách - VÚZT,v.v.i
[foto autor]*

4.2 Použité přístroje

K měření a získávání výsledných hodnot byly použity přístroje – zapichovací teploměr GTH 1150, analyzátor spalin Testo 327 pro měření kyslíku, analyzátor vlhkosti ML - 50 a digitální váha na měření objemové hmotnosti. Jednotlivé přístroje jsou vidět na obrázcích 7, 8, 9 a 10 a jejich parametry jsou popsány níže v následujících kapitolách.

4.2.1 Zapichovací teploměr



Obr. 7: Zapichovací teploměr GTH 1150
[foto autor]

Parametry: [17]

Výrobce	Sandberger GmBh, Rakousko
Dodavatel pro ČR	Agrointeg, s.r.o., Brno
Označení teploměru	GTH 1150
Měřicí rozsah (°C)	-50 až +1150
Přesnost měření (°C)	±1
Rozměry přístroje (mm)	106 x 67 x 30
Délka sondy (mm)	800
Hmotnost (g)	150
Možnost elektro. výstupu	NE
Možnost záznamu dat	NE
Napájení	9V baterie typ IECGF
Doba provozu na akumulátor (h)	700
Cena bez DPH (Kč)	5 000

4.2.2 Analyzátor spalin



Obr. 8: Analyzátor spalin Testo 327

[foto autor]

Analyzátor spalin Testo 327 je základní měřicí přístroj pro analýzu spalin. Měří účinnost, °C, CO a komínový tah. V rámci práce byl použit pouze pro měření kyslíku.

Parametry: [24]

Skladovací teplota (°C)	-20 až +50
Provozní teplota (°C)	-5 až +45
Životnost baterie (h)	> 5
Hmotnost (g)	cca 500
Rozměry (mm)	216 x 68 x 47
Elektrochemické měření O₂	
Měřicí rozsah (%)	0 až 21
Přesnost (%)	±0,2
Rozlišení (%)	0,1

4.2.3 Analyzátor vlhkosti



Obr. 9: Analyzátor vlhkosti ML-50

[Plíva a kol.: Technika pro kompostování v pásových hromadách. VÚZT, v.v.i., Praha, 2005, 72 s. ISBN 80-86884-02-3]

Parametry: [17]

Výrobce	A&D Company,
Dodavatel pro ČR	MANEKO s.r.o
Typ	ML-50
Max. hmotnost vzorku (g)	51
Vážicí rozlišení (g)	0,005
Zobrazitelný obsah vlhkosti (%)	0,1 až 1,0
Přesnost obsahu vlhkosti (%)	nad 1 g - 0,5 nad 5 g - 0,1
Způsob ohřevu	halogénová lampa (max. 400 W, 5 000 h)
Hmotnost (g)	6 000
Rozměry přístroje (mm)	215 x 320 x 173
Měřicí režimy:	suchý základ, vlhký základ, obsah sušiny, procenta, hmotnost
Výstup	interface RS-232C, standardně
Možnost záznamu dat	30 záznamů
Napájení	220 V (1,5 A), 50/60 Hz, cca 400 W
Cena bez DPH (Kč)	56 700

4.2.4 Váha



*Obr. 10: Váha na měření objemové hmotnosti
[foto autor]*

K měření objemové hmotnosti jednotlivých surovin je použita standardní digitální váha k měření hmotnosti do 50 kg a nádoba o známém objemu.

4.3 Použitá technika pro kompostování

Při kompostování byla použita na kompostovací lince technika skládající se z univerzálního čelního nakladače, připojitelného překopávače, vibračního rovinného síta a pásového dopravníku. Dále byly použity plachty na přikrývání pásových hromad kompostu.

Univerzální čelní nakladač (viz obr. 11) slouží k nabírání vstupních surovin, manipulaci s materiálem, vrstvení a zakládání kompostu (viz obr. 18). Po připojení nakladače s připojitelným překopávačem (viz obr. 12) vzniká souprava pro překopávání (viz obr. 13), kde je překopávač nesen vepředu a pomocí něhož dochází k překopávání pásových hromad kompostu. Překopávání probíhá pomocí šneku překopávače formou přehazování z jedné strany na druhou podle nastavení úhlu natočení překopávače vůči hromadě.

K prosévání již hotového kompostu slouží vibrační rovinné síto (viz obr. 14) a k přepravě kompostu mobilní pásový dopravník (viz obr. 15). Univerzální čelní nakladač nabere již hotový kompost a poté ho pomalu přesypává na vibrační síto, které dělí danou frakci na jemný prosetý kompost, který propadává na pásový dopravník a je přepravován na hromadu a na větší hroudy, které sítem neprojdou a přepadávají ze síta dolu na zem, tyto hroudy se většinou přidávají do nových zakládek kompostu jako očkovací materiál.

Navážení surovin a expedice hotového kompostu může být prováděna přepravními prostředky VÚZT, v.v.i., konkrétně nákladním automobilem AVIA 31 či kolovým traktorem Zetor Z 5245 s vlečkou nebo prostředky externího spolupracovníka.

Použité stroje v lince a jejich pracovní operace jsou zobrazeny v tabulce 2. Jednotlivé stroje a zařízení jsou popsány níže a jsou zde uvedeny jejich parametry včetně popisu plachet na přikrývání pásových hromad kompostu.

Tab. 2: Stroje v lince

Stroj	Pracovní operace	Výkon (kW)	Výkonnost ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
Univerzální čelní nakladač	nabírání, manipulace, vrstvení a zakládání vstupních surovin a hotového kompostu	33,1	výrobce neudává
Připojitelný překopávač	překopávání kompostu	příkon > 60	600
Vibrační rovinné síto	prosévání kompostu	příkon 0,25	8 až 15
Pásový dopravník	přepravování hotového kompostu	příkon 1,5	21

4.3.1 Univerzální čelní nakladač



Obr. 11: Univerzální čelní nakladač UNC 060
[foto autor]

Parametry: [6]

Výrobce	pd DETVA, SR
Dodavatel pro ČR	ZTS Jindřichův Hradec s.r.o.
Typ	UNC 060
Rozměry stroje-šířka/délka/výška (mm)	1 700/3 220/1 990
Hmotnost (kg)	3 450
Motor typ	ZETOR 4901.74
Objem motoru (cm³)	2 696
Výkon motoru (kW)	33,1
Počet válců motoru	3
Objem základní lopaty (m³)	0,375
Cena (Kč)	610 000
Spotřeba paliva (g.kW⁻¹.h⁻¹)	250

4.3.2 Připojitelný překopávač kompostu



Obr. 12: Připojitelný překopávač kompostu 250 H
[foto autor]

Parametry: [6]

Výrobce	Ostratický s r.o., Týnec u Břeclavi, ČR
Dodavatel pro ČR	Ostratický s r.o., Týnec u Břeclavi, ČR
Typ	250 H
Pracovní prostor – šířka/výška (mm)	2 500/1 200
Rozměry stroje v přepravní poloze – šířka/délka/výška (mm)	1 800/1 500/800
Hmotnost (kg)	700
Výkonnost stroje (m³.h⁻¹)	600
Způsob připojení	Nesený zadní/přední
Požadovaný příkon (kW)	> 60
Cena (€)	7 619
Poznámka	Daný typ je pro pohon s hydromotorem a agregací s čelním nakladačem



*Obr. 13: Souprava - čelní nakladač UNC 060 s připojeným překopávačem 250 H
[foto autor]*

Na obrázku 13 je vidět zakládka č.1, která obsahuje papír, který nebyl nijak předem dezintegrován a proto je obsažen v kompostu ve velké kusovosti. Jeho zdrobňování na menší částice bylo částečně prováděno pomocí překopávače a vlhčení papíru vodou.

4.3.3 Vibrační rovinné síto



Obr. 14: Vibrační rovinné síto VSD 01 ve spojení s pásovým dopravníkem RM 9-019
[foto autor]

Parametry: [6]

Výrobce	NOVER s.r.o., Český Brod, ČR
Dodavatel pro ČR	NOVER s.r.o., Český Brod, ČR
Typ	VSD - 01
Rozměry stroje – šířka/délka/výška (mm)	1 264/2 667/1 836
Velikost ok síta (mm)	10 x 10, 16 x 16, (20 x 20)
Vstup	Na síto - (1 360 x 750) mm
Výstup	Proseté části – násypka dopravníku Neproseté – odváděny pomocí žlabu
Výkonnost stroje ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	8 - 15
Pohon	Elektromotor
Požadovaný příkon (kW)	0,25
Cena (Kč)	28 600 (dle vybavení)
Poznámka	Nastavitelný sklon síta, dva stupně vibrací, sklopná oj.

4.3.4 Pásový dopravník



Obr. 15 : Mobilní pásový dopravník RM 9-019
[foto autor]

Parametry: [Technická dokumentace firmy Nover, s.r.o.]

Výrobce	NOVER, s.r.o.
Typ	RM 9-019
Šíře pásu (mm)	300
Rozměry v přepravní poloze - šířka/délka/výška (mm)	1 590/5 100/1 500
Výkonnost stroje (m³.hod⁻¹)	21
Požadovaný příkon (kW)	1,5

4.3.5 Plachty na přikrývání pásových hromad



*Obr. 16: Plachty na přikrývání pásových hromad kompostu
[foto autor]*

Na obrázku 16 jsou vidět plachty používané na přikrývání hromad kompostů. Tyto plachty musí být prodyšné, aby byl zachován stálý přístup vzduchu do kompostu a naopak, aby z kompostu mohl proudit ven do okolí a nedocházelo tak k anaerobním podmínkám. Pomocí použití kompostovacích plachet dochází k urychlení kompostovacího procesu a k lepšímu udržení potřebných teplot.

4.4 Použité výpočty k získání výsledných parametrů

4.4.1 Výpočet fyzikálních vlastností zakládek kompostů

4.4.1.1 Výpočet objemu jednotlivých surovin

Ke zjištění objemu jednotlivých surovin se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.4.1.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (2): $V_s = x_L \cdot V_L \quad (\text{m}^3)$

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet objemu:

- trávy - $V_s = 20 \cdot 0,375 = 7,5\text{m}^3$
- listí - $V_s = 10 \cdot 0,375 = 3,75\text{m}^3$
- papíru - $V_s = 6 \cdot 0,375 = 2,25\text{m}^3$
- zakládky - $V_s = 7,5 + 3,75 + 2,25 = 13,5\text{m}^3$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet objemu:

- trávy - $V_s = 20 \cdot 0,375 = 7,5\text{m}^3$
- listí - $V_s = 20 \cdot 0,375 = 7,5\text{m}^3$
- zakládky - $V_s = 7,5 + 7,5 = 15\text{m}^3$

4.4.1.2 Výpočet objemové hmotnosti

Ke zjištění objemové hmotnosti jednotlivých surovin a hotového kompostu se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.4.2.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (4): $m_v = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{n \cdot V_n} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet objemové hmotnosti:

- trávy - $m_v = \frac{15,7 + 16,8 + 17,1}{3 \cdot 0,036} = 459,3\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- listí - $m_v = \frac{10,6 + 9,5 + 8,8}{3 \cdot 0,036} = 267,6\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$\text{- papíru - } m_v = \frac{3,5 + 4,5 + 3,6}{3 \cdot 0,036} = 107,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{- hotového kompostu - } m_v = \frac{29,4 + 32,2 + 31,6}{3 \cdot 0,036} = 863 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet objemové hmotnosti:

$$\text{- trávy - } m_v = \frac{14,4 + 15,5 + 15,1}{3 \cdot 0,036} = 416,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{- listí - } m_v = \frac{9,6 + 8,9 + 7,9}{3 \cdot 0,036} = 244,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{- trávy s listím - } m_v = \frac{18,9 + 13,8 + 19,3}{3 \cdot 0,036} = 481,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{- hotového kompostu - } m_v = \frac{29,2 + 28,3 + 28,8}{3 \cdot 0,036} = 799,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

4.4.1.3 Výpočet hmotnosti jednotlivých surovin

Ke zjištění hmotnosti jednotlivých surovin se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.4.1.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (3): $m_s = V_s \cdot m_v$ (kg)

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet hmotnosti:

$$\text{- trávy - } m_s = 7,5 \cdot 459,3 = 3444,8 \text{ kg}$$

$$\text{- listí - } m_s = 3,75 \cdot 267,6 = 1003,5 \text{ kg}$$

$$\text{- papíru - } m_s = 2,25 \cdot 107,4 = 241,7 \text{ kg}$$

$$\text{- zakládky - } m_s = 3444,8 + 1003,5 + 241,7 = 4690 \text{ kg}$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet hmotnosti:

$$\text{- trávy - } m_s = 7,5 \cdot 416,7 = 3125,3 \text{ kg}$$

$$\text{- listí - } m_s = 7,5 \cdot 244,4 = 1833 \text{ kg}$$

$$\text{- zakládky - } m_s = 3125,3 + 1833 = 4958,3 \text{ kg}$$

4.4.2 Výpočet optimální surovinové skladby

Při provedení výpočtu optimální surovinové skladby základek kompostů byly zpětně dodány základní hodnoty z laboratorních rozborů (tab. 12 a 13) a z vypočtených hodnot při zakládání kompostů (tab. 5 a 6).

Ke zjištění optimální surovinové skladby kompostů se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7. Do výpočtů nebyl zahrnut obsah fosforu vzhledem k tomu, že nebyly prováděny chemické rozborů kompostů.

4.4.2.1 Výpočet hmotnostních podílů látek

Ke zjištění hmotnostních podílů jednotlivých látek se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1.

Pro výpočet byly použity vzorce viz vzorec (6 a 7): $m_V = m_s \cdot \frac{x}{100}$ (kg)

$$m_{SI/N} = (m_s - m_V) \cdot \frac{x}{100} \quad (\text{kg})$$

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet hmotnostních podílů vody:

$$\text{- tráva - } m_V = 3444,8 \cdot \frac{85,2}{100} = 2935 \text{kg}$$

$$\text{- listí - } m_V = 1003,5 \cdot \frac{64,4}{100} = 646,3 \text{kg}$$

$$\text{- papír - } m_V = 241,7 \cdot \frac{20,2}{100} = 48,8 \text{kg}$$

Výpočet hmotnostních podílů spal. látek a dusíku:

$$\text{- tráva - } m_{SI} = (3444,8 - 2935) \cdot \frac{72,4}{100} = 369,1 \text{kg}$$

$$\text{- } m_N = (3444,8 - 2935) \cdot \frac{2,65}{100} = 13,5 \text{kg}$$

$$\text{- listí - } m_{SI} = (1003,5 - 646,3) \cdot \frac{73,6}{100} = 262,9 \text{kg}$$

$$\text{- } m_N = (1003,5 - 646,3) \cdot \frac{0,46}{100} = 1,6 \text{kg}$$

$$\text{- papír - } m_{SI} = (241,7 - 48,8) \cdot \frac{82,2}{100} = 158,5 \text{kg}$$

$$\text{- } m_N = (241,7 - 48,8) \cdot \frac{0,75}{100} = 1,4 \text{kg}$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet hmotnostních podílů vody:

$$\text{- tráva - } m_V = 3125,3 \cdot \frac{80,1}{100} = 2503,4 \text{ kg}$$

$$\text{- listí - } m_V = 1833 \cdot \frac{62,5}{100} = 1145,6 \text{ kg}$$

Výpočet hmotnostních podílů spal. látek a dusíku:

$$\text{- tráva - } m_{SI} = (3125,3 - 2503,4) \cdot \frac{71,6}{100} = 445,3 \text{ kg}$$

$$\text{- } m_N = (3125,3 - 2503,4) \cdot \frac{2,84}{100} = 17,7 \text{ kg}$$

$$\text{- listí - } m_{SI} = (1833 - 1145,6) \cdot \frac{73,4}{100} = 504,5 \text{ kg}$$

$$\text{- } m_N = (1833 - 1145,6) \cdot \frac{0,48}{100} = 3,3 \text{ kg}$$

4.4.2.2 Výpočet celkové hmotnosti všech surovin a hmotnostních podílů látek

Ke zjištění celkové hmotnosti všech surovin a hmotnostních podílů jednotlivých látek se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (8): $m_{CS/CV/CSI/CN} = \sum m_{S/V/SI/N}$ (kg)

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3444,8 + 1003,5 + 241,7 = 4690 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2935 + 646,3 + 48,8 = 3630 \text{ kg}$$

$$m_{CSI} = 369,1 + 262,9 + 158,5 = 790,6 \text{ kg}$$

$$m_{CN} = 13,5 + 1,6 + 1,4 = 16,6 \text{ kg}$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3125,3 + 1833 = 4958,3 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2503,4 + 1145,6 = 3649 \text{ kg}$$

$$m_{CSI} = 445,3 + 504,5 = 949,8 \text{ kg}$$

$$m_{CN} = 17,7 + 3,3 = 21 \text{ kg}$$

4.4.2.3 Výpočet procentického zastoupení jednotlivých parametrů

Ke zjištění procentického zastoupení jednotlivých parametrů se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1.

Pro výpočet byly použity vzorce viz vzorec (9, 10 a 11):
$$p_{vlhkost} = \frac{m_{CV}}{m_{CS}} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$m_{sušiny} = m_{CS} - m_{CV} \quad (\text{kg})$$

$$p_{spal.latek / dusíku} = \left(\frac{m_{CSI / CN}}{m_{sušiny}} \right) \cdot 100 \quad (\%)$$

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{3630}{4690} \cdot 100 = 77,4\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 4690 - 3630 = 1060 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$p_{spal.latek} = \left(\frac{790,6}{1060} \right) \cdot 100 = 74,6\%$$

$$p_{dusíku} = \left(\frac{16,6}{1060} \right) \cdot 100 = 1,6\%$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{3649}{4958,3} \cdot 100 = 73,6\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 4958,3 - 3649 = 1309,3 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$P_{\text{spal.latek}} = \left(\frac{949,8}{1309,3} \right) \cdot 100 = 72,5\%$$

$$P_{\text{dusíku}} = \left(\frac{21}{1309,3} \right) \cdot 100 = 1,6\%$$

4.4.2.4 Stanovení poměru C:N zakládek kompostů

Ke stanovení poměru C:N zakládek kompostů se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.5.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (5): $C : N = \frac{w_1}{w_2 \cdot 2} \quad (-)$

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{74,6}{1,6 \cdot 2} = 23,3$$

Vzhledem k nízkému poměru C:N zakládky kompostu je provedena korekce surovinové skladby tak, aby poměr zakládky byl v rozmezí 30 - 35:1. Zvýšení poměru je provedeno přidáním vhodné suroviny s vysokým obsahem uhlíku o určitém množství. Jako vhodná surovina je vybrána sláma a do zakládky je přidána v množství 700 kg. Veškeré vstupní hodnoty slámy jsou určeny z tabulky 14.

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{72,5}{1,6 \cdot 2} = 22,7$$

Vzhledem k opět nízkému poměru C:N zakládky č.2 je stejně jako u zakládky č.1 provedena korekce surovinové skladby. Jako vhodná surovina je vybrána dřevní štěpka a do zakládky je přidána v množství 600 kg. Veškeré vstupní hodnoty dřevní štěpky jsou určeny z tabulky 14.

4.4.2.5 Propočít opravené surovinové skladby

Ke stanovení propočtu opravených surovinových skladeb zakládek kompostů se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1

Nejdříve jsou dopočítány neznáme hodnoty přidaných surovin a poté je proveden výpočet zakládky po korekci.

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet hmotnostního podílů vody:

$$\text{- sláma - } m_v = 700 \cdot \frac{13}{100} = 91 \text{kg}$$

Výpočet hmotnostních podílů spal. látek a dusíku:

$$\text{- sláma - } m_{sl} = (700 - 91) \cdot \frac{96}{100} = 584,6 \text{kg}$$

$$\text{- } m_N = (700 - 91) \cdot \frac{0,6}{100} = 3,7 \text{kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3444,8 + 1003,5 + 241,7 + 700 = 5390 \text{kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2935 + 646,3 + 48,8 + 91 = 3721 \text{kg}$$

$$m_{CSI} = 369,1 + 262,9 + 158,5 + 584,6 = 1375,2 \text{kg}$$

$$m_{CN} = 13,5 + 1,6 + 1,4 + 3,7 = 20,3 \text{kg}$$

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{3721}{5390} \cdot 100 = 69\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 5390 - 3721 = 1669 \text{kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$p_{spal.latek} = \left(\frac{1375,2}{1669} \right) \cdot 100 = 82,4\%$$

$$p_{dusiku} = \left(\frac{20,3}{1669} \right) \cdot 100 = 1,2\%$$

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{82,4}{1,2 \cdot 2} = 34,3$$

Tento poměr zakládky je již vyhovující podle metodiky viz kapitola 2.1.7.

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet hmotnostního podílu vody:

$$\text{- dřevní štěpka - } m_V = 600 \cdot \frac{30}{100} = 180 \text{ kg}$$

Výpočet hmotnostních podílů spal. látek a dusíku:

$$\text{- dřevní štěpka - } m_{SI} = (600 - 180) \cdot \frac{97}{100} = 407,4 \text{ kg}$$

$$\text{- } m_N = (600 - 180) \cdot \frac{0,1}{100} = 0,4 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3125,3 + 1833 + 600 = 5558,3 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2503,4 + 1145,6 + 180 = 3829 \text{ kg}$$

$$m_{CSI} = 445,3 + 504,5 + 407,4 = 1357,2 \text{ kg}$$

$$m_{CN} = 17,7 + 3,3 + 0,4 = 21,4 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{3829}{5558,3} \cdot 100 = 68,9\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 5558,3 - 3829 = 1729,3 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$p_{spal.latek} = \left(\frac{1357,2}{1729,3} \right) \cdot 100 = 78,5\%$$

$$p_{dusiku} = \left(\frac{21,4}{1729,3} \right) \cdot 100 = 1,2\%$$

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{78,5}{1,2 \cdot 2} = 32,7$$

Tento poměr zakládky je již vyhovující podle metodiky viz kapitola 2.1.7.

4.4.2.6 Výpočet ztrát hmotnosti v průběhu zrání kompostu

Když už jsou zakládky kompostů upraveny a propočítány tak, aby vyhovovaly následuje výpočet ztrát jejich hmotnosti v průběhu zrání kompostu na hotový kompost.

Ke stanovení ztrát hmotnosti kompostu se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1. Procentuální vyjádření ztráty hmotnosti během zrání bylo zvoleno 45 % vzhledem k použitým surovinám v kompostech.

Pro výpočet byl použit vzorec viz vzorec (12): $m_z = m_{cs} \cdot \frac{z}{100}$ (kg)

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet ztrát hmotnosti zakládky:

$$m_z = 5390 \cdot \frac{45}{100} = 2425,5 \text{ kg}$$

$$\text{Z toho ztráta vody} = \frac{3}{4} \cdot 2425,5 = 1819,1 \text{ kg}$$

$$\text{Z toho ztráta spal. látek} = \frac{1}{4} \cdot 2425,5 = 606,4 \text{ kg}$$

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet ztrát hmotnosti zakládky:

$$m_z = 5558,3 \cdot \frac{45}{100} = 2501,2 \text{ kg}$$

$$\text{Z toho ztráta vody} = \frac{3}{4} \cdot 2501,2 = 1875,9 \text{ kg}$$

$$\text{Z toho ztráta spal. látek} = \frac{1}{4} \cdot 2501,2 = 625,3 \text{ kg}$$

4.4.2.7 Výpočet předpokládaného množství a kvality hotového kompostu

Po odečtení vypočtených hmotnostních ztrát v kompostu od celkových hmotností zakládek následuje nový propočet složení hotového kompostu a poměru C:N, stejným způsobem jako u propočtu zakládky.

Ke zjištění propočtu složení hotového kompostu a poměru C:N se postupovalo podle metodiky viz kapitola 2.1.7.1.

Zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3444,8 + 1003,5 + 241,7 + 700 - 2425,5 = 2964,5 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2935 + 646,3 + 48,8 + 91 - 1819,1 = 1901,9 \text{ kg}$$

$$m_{CSI} = 369,1 + 262,9 + 158,5 + 584,6 - 606,4 = 768,9 \text{ kg}$$

$$m_{CN} = 13,5 + 1,6 + 1,4 + 3,7 = 20,3 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{1901,9}{2964,5} \cdot 100 = 64,2\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 2964,5 - 1901,9 = 1062,6 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$p_{spal.latek} = \left(\frac{768,9}{1062,6} \right) \cdot 100 = 72,4\%$$

$$p_{dusiku} = \left(\frac{20,3}{1062,6} \right) \cdot 100 = 1,9\%$$

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{72,4}{1,9 \cdot 2} = 19,1$$

Veškerý přehled vypočtených hodnot je vidět v tabulce 3. Z tabulky je vidět, že byla provedena úprava surovinové skladby přidáním slámy do zakládky za účelem zvýšení poměru C:N zakládky tak, aby byl optimální. Dále jsou z tabulky vidět výsledné hodnoty hotového kompostu, které vyhovují ve všech kritériích limitním hodnotám podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“.

Zakládka č.2 (tráva a listí)

Výpočet celkové hmotnosti všech surovin:

$$m_{CS} = 3125,3 + 1833 + 600 - 2501,2 = 3057,1 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti hmotnostních podílů vody, spal. látek a dusíku:

$$m_{CV} = 2503,4 + 1145,6 + 180 - 1875,9 = 1953,1 \text{ kg}$$

$$m_{CSI} = 445,3 + 504,5 + 407,4 - 625,3 = 731,9 \text{ kg}$$

$$m_{CN} = 17,7 + 3,3 + 0,4 = 21,4 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení vlhkosti v zakládce:

$$p_{vlhkost} = \frac{1953,1}{3057,1} \cdot 100 = 63,9\%$$

Hmotnost sušiny v zakládce:

$$m_{sušiny} = 3057,1 - 1953,1 = 1104 \text{ kg}$$

Procentické zastoupení spal. látek a dusíku v zakládce:

$$p_{spal.latek} = \left(\frac{731,9}{1104} \right) \cdot 100 = 66,3\%$$

$$p_{dusiku} = \left(\frac{21,4}{1104} \right) \cdot 100 = 1,9\%$$

Výpočet poměru C:N zakládky:

$$C : N = \frac{66,3}{1,9 \cdot 2} = 17,4$$

Veškerý přehled vypočtených hodnot je vidět v tabulce 4. Z tabulky je vidět, že byla provedena úprava surovinové skladby přidáním dřevní štěpky do zakládky za účelem zvýšení poměru C:N zakládky tak, aby byl optimální. Dále jsou z tabulky vidět výsledné hodnoty hotového kompostu, které vyhovují ve všech kritériích limitním hodnotám podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“.

Tab. 3: Optimalizace surovinové skladby zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

1	2	3	4	5	6	7	8
Surovina	Hmotnost (kg)	Vlhkost (%)	Spal. látky (%)	Dusík (%)	Voda (kg)	Spal. látky (kg)	Dusík (kg)
Tráva	3444,8	85,2	72,4	2,65	2935,0	369,1	13,5
Listí	1003,5	64,4	73,6	0,46	646,3	262,9	1,6
Papír	241,7	20,2	82,2	0,75	48,8	158,5	1,4
Zakládka	4690,0	77,4	74,6	1,6	3630,0	790,6	16,6
C:N	23,3						
Korekce							
Sláma	700,0	13,0	96,0	0,6	91,0	584,6	3,7
Zakládka po korekci	5390,0	69,0	82,4	1,2	3721,0	1375,2	20,3
C:N	34,3						
Ztráty (45 %)	2425,5	–	–	–	1819,1	606,4	–
Hotový kompost	2964,5	64,2	72,4	1,9	1901,9	768,9	20,3
C:N	19,1						

[Zemánek, P. a kol.: Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vydání. Praha: VÚZT, v.v.i., 2010. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.]

Tab. 4: Optimalizace surovinové skladby zakládky č.2 (tráva a listí)

1	2	3	4	5	6	7	8
Surovina	Hmotnost (kg)	Vlhkost (%)	Spal. látky (%)	Dusík (%)	Voda (kg)	Spal. látky (kg)	Dusík (kg)
Tráva	3125,3	80,1	71,6	2,84	2503,4	445,3	17,7
Listí	1833	62,5	73,4	0,48	1145,6	504,5	3,3
Zakládka	4958,3	73,6	72,5	1,6	3649,0	949,8	21,0
C:N	22,7						
Korekce							
Dřevní štěpka	600,0	30,0	97,0	0,1	180,0	407,4	0,4
Zakládka po korekci	5558,3	68,9	78,5	1,2	3829,0	1357,2	21,4
C:N	32,7						
Ztráty (45 %)	2501,2	–	–	–	1875,9	625,3	–
Hotový kompost	3057,1	63,9	66,3	1,9	1953,1	731,9	21,4
C:N	17,4						

[Zemánek, P. a kol.: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vydání. Praha: VÚZT, v.v.i., 2010. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.]

Z tabulek 3 a 4 je vidět, že vypočtená vlhkost obou zakládek po korekci je mírně vyšší než předepsané rozmezí (50 - 65 %). Vzhledem k tomu že skutečná vlhkost hotových kompostů zjištěná z laboratorních rozborů byla u kompostu – zakládka č.1 nižší než limitní hodnota a u kompostu – zakládka č.2 byla v rozmezí limitních hodnot, nebere se vážnost přebytku vlhkosti u teoretických výpočtů v potaz. Výpočet optimální surovinové skladby se soustředí především na množství uhlíku v kompostu, které je u obou zakládek nedostačující.

4.5 Založení kompostů

První kompost - zakládka č.1 byla založena 22.6.2010 a obsahovala v různém objemovém množství trávu, papír a listí. Veškeré suroviny byly naváženy a formovány do tvaru pásové hromady s trojúhelníkovým profilem pomocí univerzálního čelního nakladače UNC 060. Hodnoty získané při založení dané zakládky jsou vidět v tabulce 5.

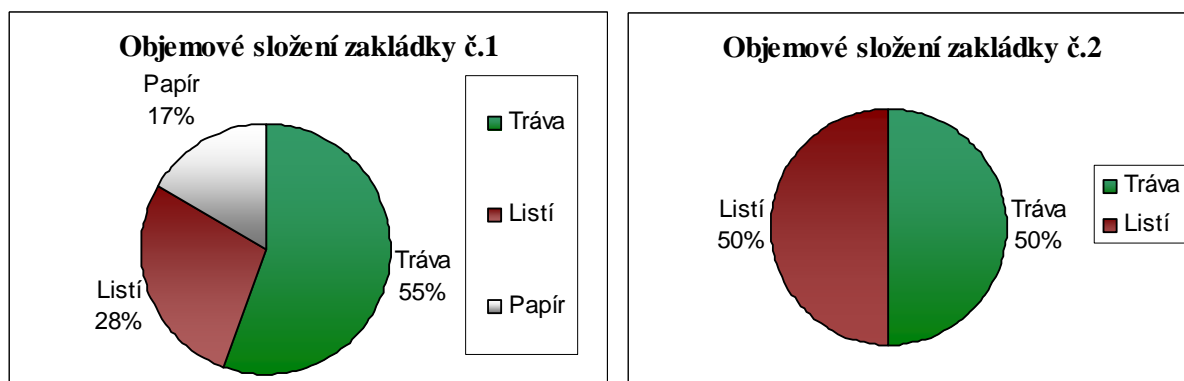
Druhý kompost - zakládka č.2 byla založena 14.7.2010 a skládá se z trávy a listí, kdy obě složky jsou zastoupeny v kompostu ve stejném objemovém množství (50 % tráva a 50 % listí). Získané hodnoty při založení dané zakládky jsou vidět v tabulce 6.

Tab. 5: Založení kompostu – zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Surovinová skladba kompostu	Datum založení kompostu	Objem jednotlivých surovin přepočten z počtu lžic nakladače o známém objemu $V_L = 0,375\text{m}^3$ (m^3)	Celkový objem zakládky (m^3)	Hmotnosti jednotlivých surovin (kg)	Celková hmotnost zakládky (kg)
Tráva	22.6.2010	7,5	13,5	3444,8	4690
Listí		3,75		1003,5	
Papír		2,25		241,7	

Tab. 6: Založení kompostu – zakládka č.2 (tráva a listí)

Surovinová skladba kompostu	Datum založení kompostu	Objem jednotlivých surovin přepočten z počtu lžic nakladače o známém objemu $V_L = 0,375\text{m}^3$ (m^3)	Celkový objem zakládky (m^3)	Hmotnosti jednotlivých surovin (kg)	Celková hmotnost zakládky (kg)
Tráva	14.7.2010	7,5	15	3125,3	4958,3
Listí		7,5		1833	



Obr. 17: Objemové složení zakládky č.1 a č.2

Objem jednotlivých surovin kompostu byl zpětně vypočten z počtu lžic nakladače jednotlivých surovin a z objemu lopaty nakladače, který byl znám (viz parametry – kapitola 4.3.1). Ze součtu jednotlivých objemů surovin byl určen celkový objem zakládky.

Hmotnosti jednotlivých surovin se určily z objemové hmotnosti jednotlivých surovin a z jejich objemu. Celková hmotnost zakládky byla určena ze součtu jednotlivých hmotností.

Na obrázku 17 je vidět procentuální zastoupení surovin v jednotlivých zakládkách kompostů. Tvar, velikost a složení zakládek je vidět na obrázku 19.



*Obr. 18: Zakládání kompostu – zakládka č.2
[foto autor]*



*Obr. 19: Zakládky kompostu č.1 a č.2
[foto autor]*

4.6 Naměřené hodnoty

V rámci práce se měřila teplota, kyslík, objemová hmotnost jednotlivých surovin a hotového kompostu, zaznamenávala se doba překopávání a odebíraly se vzorky k laboratorním rozborům, kde byla zjištěna vlhkost, pH a obsah uhlíku a dusíku v kompostu.

Chemické a mikrobiologické testy se vzhledem k vysokým nákladům neprováděly.

4.6.1 Objemová hmotnost

Metodika měření objemové hmotnosti je popsána v kapitole (viz 2.1.4). Před založením obou zakládek byly odebrány vzorky jednotlivých surovin k určení hmotnosti a objemové hmotnosti. Vzorky se odebíraly do nádoby s předem změřeným objemem a vážily pomocí digitální váhy (viz obr. 10), aby byla vypočtena objemová hmotnost a hmotnost jednotlivých surovin. Dále se také odebíraly vzorky hotových kompostů. Ke zjištění průměrné hmotnosti dané suroviny se odebíraly vždy tři vzorky. Veškerý přehled naměřených hodnot kompostu č.1 a č.2 je vidět v tabulkách 7 a 8.

Tab. 7: Objemová hmotnost zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

Surovina	Hmotnost odebraných vzorků v nádobě o známém objemu $V_n = 0,036\text{m}^3$ (kg)			Průměrná hmotnost (kg)	Objemová hmotnost ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Datum měření
	m_1	m_2	m_3			
Tráva	15,7	16,8	17,1	16,5	459,3	22.6.2010
Listí	10,6	9,5	8,8	9,6	267,6	22.6.2010
Papír	3,5	4,5	3,6	3,9	107,4	22.6.2010
Hotový kompost	29,4	32,2	31,6	31,1	863	15.12.2010

Tab. 8: Objemová hmotnost zakládky č.2 (tráva a listí)

Surovina	Hmotnost odebraných vzorků v nádobě o známém objemu $V_n = 0,036\text{m}^3$ (kg)			Průměrná hmotnost (kg)	Objemová hmotnost ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Datum měření
	m_1	m_2	m_3			
Tráva	14,4	15,5	15,1	15	416,7	14.7.2010
Listí	9,6	8,9	7,9	8,8	244,4	14.7.2010
Tráva s listím	18,9	13,8	19,3	17,3	481,5	15.7.2010
Hotový kompost	29,2	28,3	28,8	28,8	799,1	14.10.2010

Z tabulek je vidět, že největší hmotnost a tudíž objemovou hmotnost má u obou zakládek tráva, následuje listí a nejméně má papír. Z toho vyplývá, že tráva nejvíce ovlivňuje hmotnost celkové zakládky.

4.6.2 Měření teploty a kyslíku

Při měření teploty kompostu byl současně měřen i obsah kyslíku v kompostu. Pro měření teploty kompostu byl zvolen způsob měření pomocí zapichovacího teploměru GTH 1150 (viz obr. 7). Teploměr se zapichoval na třech místech rovnoměrně vzdálených po celé délce hromady a do středu hromady o trojúhelníkovém profilu. Z těchto tří hodnot byla vypočtena průměrná teplota v kompostu. Průměrná teplota je zaznamenána spolu s teplotou okolí v tabulkách. Teplota okolí byla zpětně zjištěna z meteorologické stanice v Ruzyni. [32]

K měření obsahu kyslíku v kompostu byl použit Analyzátor spalin Testo 327 (viz obr. 8), tento analyzátor se zapichoval na stejných místech jako zapichovací teploměr.

Měření se provádělo jak pro zakládku č.1 (tráva, listí a papír) tak pro zakládku č.2 (tráva a listí). Naměřené hodnoty a doba překopávání jsou u obou zakládek zobrazeny v tabulkách 9 a 10.

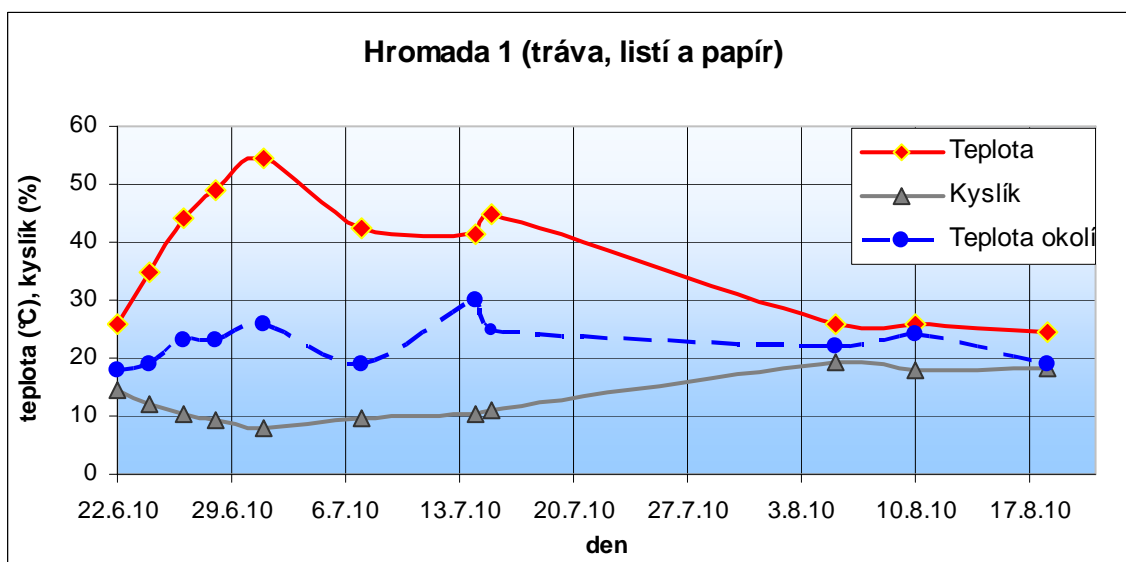
Tab. 9: Naměřené teploty a obsah kyslíku v zakládce č.1 (tráva, listí a papír)

Den	Teplota kompostu (°C)	Teplota okolí (°C)	Kyslík (%)	Překopávané
22.6.10	26	18	14,6	23.6.10
24.6.10	35	19	12,2	25.6.10
26.6.10	44	23	10,4	29.6.10
28.6.10	49	23	9,3	1.7.10
1.7.10	54,33	26	7,8	12.7.10
7.7.10	42,33	19	9,5	15.7.10
14.7.10	41,33	30	10,2	13.8.10
15.7.10	44,67	25	11,07	25.8.10
5.8.10	26	22	19,2	13.9.10
10.8.10	26	24	17,9	
18.8.10	24,33	19	18,37	

Tab. 10: Naměřené teploty a obsah kyslíku v zakládce č.2 (tráva a listí)

Den	Teplota kompostu (°C)	Teplota okolí (°C)	Kyslík (%)	Překopávané
14.7.10	30	30	15,2	14.7.10
15.7.10	39,67	25	13,43	15.7.10
17.7.10	40,2	25	11,3	19.7.10
19.7.10	37,6	22	12,6	23.7.10
21.7.10	36,4	28	12,5	28.7.10
23.7.10	31,2	21	14,8	5.8.10
29.7.10	26,2	20	16,6	13.8.10
5.8.10	22,3	22	19,4	25.8.10
10.8.10	26,33	24	18,2	13.9.10
18.8.10	22,67	19	18,9	

Hodnoty z tabulek 9 a 10 byly vloženy do grafů, aby byl vidět přehled průběhu teplot a obsahu kyslíku během kompostování zakládky č.1 a zakládky č.2. Dále je z hodnot v tabulkách vidět kdy bylo prováděno překopávání daných hromad. Je vidět, že při zakládání a rozběhu kompostu bylo prováděno překopávání častěji a postupem času se prodleva prodlužovala.

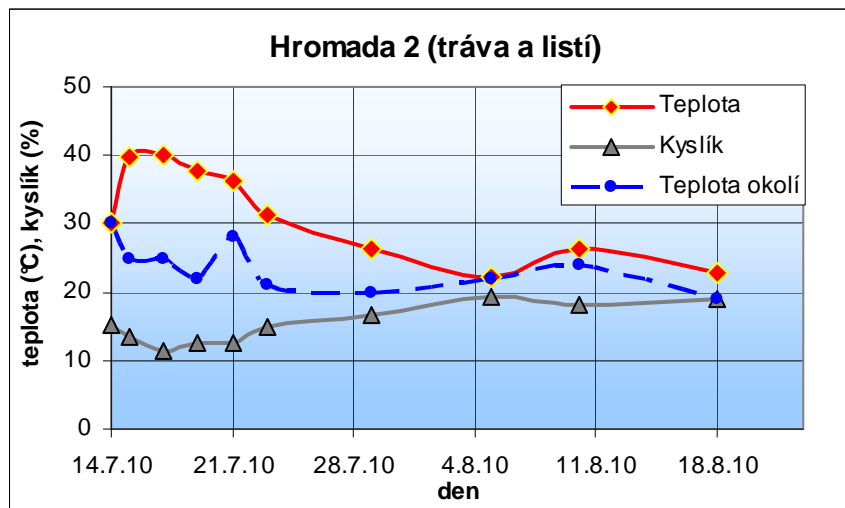


Obr. 20: Graf průběhu teplot a obsahu kyslíku během kompostování zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

Z obrázku 20 je vidět, že při založení kompostu - zakládka č.1 od 22.6.2010 do 1.7.2010 došlo k postupnému nárůstu teploty až na 54 °C, poté docházelo k postupnému poklesu teploty až na teplotu svého okolí, kromě mírného vychýlení teploty (15.7.2010) kdy došlo k mírnému navýšení což může být následkem venkovní teploty či překopávání, které proběhlo tři dny předtím. Dále je z obrázku vidět mírná závislost okolní teploty s teplotou v kompostu, kdy je mezi oběma teplotami poměrně stálý rozdíl a v průběhu dozrávání kompostu se teplota kompostu přibližuje teplotě okolí.

Nakonec je z obrázku vidět obsah kyslíku v kompostu, kdy po založení kompostu klesá obsah kyslíku až pod hodnotu 8 % a poté pozvolna stoupá až k hranici objemového množství kyslíku ve vzduchu tedy 21 %.

Doba kompostování zakládky č.1 trvala necelé 2 měsíce a i když se teplota kompostu rovnala teplotě okolí a tráva a listí byly již rozloženy kompostovacím procesem na kompost, stále bylo v kompostu obsaženo značné množství nerozloženého papíru. Z tohoto důvodu kompostování dané zakládky stále pokračovalo až do zimy, kdy vzhledem k zimní přestávce a počasí byl odebrán vzorek kompostu jako již hotového k laboratorním rozborům.



Obr. 21: Graf průběhu teplot a obsahu kyslíku během kompostování zakládky č.2 (tráva a listí)

Ze získaných hodnot je vidět, že při založení kompostu zakládka č.2 došlo k postupnému nárůstu teploty až na 40 °C, poté docházelo k postupnému poklesu teploty až na teplotu svého okolí.

U získaných hodnot obsahu kyslíku je z obrázku 21 vidět, že při založení došlo k mírnému poklesu až na hodnotu 11,3 % a poté se obsah kyslíku v kompostu pomalu navyšoval až se přiblížil k hranici objemového množství kyslíku ve vzduchu tedy 21 %.

Z porovnání obou obrázků zakládek je vidět, že u zakládky č.2 bylo dosaženo nižších teplot a celý proces kompostování trval mnohem kratší dobu. Jedním z důvodů je, že tráva a listí byli vloženy do zakládky č.2 později a mezitím už docházelo k jejich částečnému rozkládání při jejich uložení na kompostárně, proto byly již tráva a listí z části zkompostovatelné při zakládání zakládky č.2. Dalším důvodem delší doby kompostovacího procesu u zakládky č.1 oproti zakládce č.2 je pestřejší skladba surovin. V zakládce č.1 je navíc vložen do zakládky nenadrcený papír, který značně protahuje dobu kompostování, zatímco pouze tráva a listí se rozkládají rychleji.

4.6.3 Laboratorní rozbor (vlhkost, pH a obsah C a N)

Pro získání hodnot jako je vlhkost, pH, obsah C a N a poměr C:N byli odebrány vzorky z kompostů kvartací a poté odevzdány do laboratoře kde se zjistily dané hodnoty.

Vzhledem k výsledkům laboratorních rozborů hotových kompostů z obou zakládek je zapotřebí v případě, že chceme vyprodukovaný hotový kompost dále využívat, aby výsledné hodnoty souhlasily s limitními hodnotami (viz tab. 11) podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“.

Tab. 11: Limitní hodnoty podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“

Znak jakosti	Hodnota
vlhkost (%)	40 - 65
spal. látky ve vysušeném vzorku (%)	min. 25
celkový N jako N přepočtený na vysušený vzorek (%)	min. 0,6
poměr C:N	max. 30:1
hodnota pH	6,0 - 8,5
nerozložitelné příměsi	max. 2,0

[VÁŇA, Jaroslav: Kompostování bioodpadu. Biom.cz [online]. 2001-11-21 [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.]

Výsledky laboratorních rozborů ze vzorků odebraných ze zakládek č.1 a č.2 a porovnání hodnot hotového kompostu s limitními hodnotami je zobrazeno v tabulkách 12 a 13.

Tab. 12: Laboratorní rozbor – zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Surovina	Vlhkost (%)	Sušina (%)	pH	spal.C (%)	celk.N (%)	C:N
Tráva	85,2	14,8	7,8	36,18	2,65	13,7:1
Listí	64,4	35,6	7,9	36,79	0,46	79,9:1
Papír	20,2	79,8		41,1	0,75	54,8:1
Zakládka	34,4	65,6	8,53	37,2	1,71	21,7:1
Hotový kompost	23,3	76,7	7,7	8,83	0,82	10,8:1
Limitní hodnoty	40-65	60-35	6-8,5	min. 12,5	min. 0,6	max. 30:1

Tab. 13: Laboratorní rozbor – zakládka č.2 (tráva a listí)

Surovina	Vlhkost (%)	Sušina (%)	pH	spal.C (%)	celk.N (%)	C:N
Tráva	80,13	19,87	8,29	35,81	2,84	12,6:1
Listí	62,51	37,49	8,38	36,71	0,48	76,5:1
Zakládka	58	42	7,48	22,37	0,36	62,1:1
Hotový kompost	48,6	51,4	8,25	9	0,88	10,2:1
Limitní hodnoty	40-65	60-35	6-8,5	min. 12,5	min. 0,6	max. 30:1

Z tabulek 12 a 13 je patrné, že v určitých faktorech hodnoty hotových kompostů nevyhovují kritériím ČSN 465735 „Průmyslové komposty“.

U tabulky 12 není zobrazeno pH papíru, které se u papíru neměří.

4.7 Vyhodnocení výsledků

Z výsledků laboratorních rozborů je patrné, že oba komposty jak ze zakládky č.1 tak č.2 nevyhovují v určitých hodnotách limitním hodnotám podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“. Z tohoto důvodu jsou hotové komposty nevhodné k jejich dalšímu nakládání a využití v přírodě.

Kompost ze zakládky č.1 nevyhovuje limitním hodnotám vlhkosti, kdy je dosažená vlhkost nižší o necelých sedmnáct procent než je spodní limitní hodnota vlhkosti, to může být následkem obsaženého papíru v kompostu, který vstřebává větší vlhkost a tudíž celkově odebírá vlhkost kompostu. Nedostatek vlhkosti v kompostu však není vážnou překážkou a dá se snadno upravit pomocí postřiku kompostu vodou, kdy dojde k jeho navlhčení a zvýšení tak celkové vlhkosti kompostu. Dále kompost nevyhovuje v hodnotě množství spalitelného uhlíku, kdy je množství spalitelného uhlíku v kompostu nižší o necelá čtyři procenta než je minimální limitní hodnota. Příčinou nízkého množství spalitelného uhlíku v kompostu je především špatný výběr vstupních surovin, kdy i když se zdá obsah uhlíku u jednotlivých surovin vysoký tak postupem času při průběhu kompostování dochází k jeho snižování a unikání ve formě CO₂. Proto by bylo zapotřebí přidat do zakládky surovinu s vyšším obsahem uhlíku.

Hotový kompost ze zakládky č.2 nevyhovuje limitním hodnotám pouze v rámci množství spalitelného uhlíku, kdy je jeho množství nižší o necelá čtyři procenta než je stanovená minimální limitní hodnota. V tomto případě se jedná o stejný nedostatek jako u kompostu č.1 a k vyřešení daného problému by se měly přidat do zakládky surovinu s vyšším obsahem uhlíku.

Z výsledků rozborů a zpětně provedeného propočtu optimální surovinové skladby je patrné, že původní složení kompostů není optimální a výsledný kompost tak nevyhovuje normám průmyslových kompostů. Proto je zapotřebí změnit vstupní suroviny do zakládky kompostu, a to buď použitím jiného poměru množství daných surovin, nebo přidáním jiných surovin, především tak, aby výsledný kompost měl více spalitelného uhlíku a měl větší vlhkost, což byly největší nedostatky výsledných kompostů. Z tohoto důvodu bylo zpětně vypočteno jaké by mělo být optimální složení obou zakládek kompostů.

5 Diskuze

Vzhledem k nevyhovujícím hodnotám spalitelného uhlíku u obou kompostů podle limitních hodnot ČSN 465735 „Průmyslové komposty“ by bylo dobré použít jinou skladbu vstupních surovin kompostu tak, aby měl výsledný kompost více spalitelného uhlíku.

Z těchto důvodů byl zpětně proveden výpočet optimální surovinové skladby, pomocí kterého byl zjištěn u obou zakládek nevyhovující poměr C:N, který byl nižší než předepsané rozmezí 30-35:1. Aby se docílilo vyhovujícího poměru C:N zakládky byla provedena úprava zakládky přidáním vhodné suroviny s vysokým obsahem uhlíku. U zakládky č.1 (tráva, listí a papír) byla zvolena jako vhodná surovina sláma, díky svým vlastnostem uvedených v tabulce 14, kdy se jedná o surovinu s vysokým obsahem uhlíku. V rámci výpočtu bylo zjištěno optimální množství slámy v zakládce, které činí 700 kg. U zakládky č.2 (tráva a listí) byla zvolena jako vhodná surovina z tabulky 14 dřevní štěpka, která stejně jako sláma obsahuje vysoké množství uhlíku. Optimální množství dřevní štěpky v zakládce bylo stanoveno na 600 kg. Po přidání zvolených surovin do jednotlivých zakládek kompostů byl poměr zakládek C:N vyhovující a jejich hodnota byla v rozmezí 30 - 35:1.

Takto upravené zakládky byly poté znovu propočteny a vypočteny hodnoty výsledného kompostu, který poté vyhovoval ve všech hodnotách limitním hodnotám podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“. Z vypočtených výsledků je tedy patrné, že při vhodné úpravě zakládky kompostu lze docílit kvalitního a vyhovujícího kompostu.

Určení a výpočty optimální surovinové zakládky jsou zobrazeny v kapitole 4.4.2.

Tab. 14: Vlastnosti vybraných druhů bioodpadů

Druh BRO	Vlhkost (%)	Spal. látky (% sušiny)	N (% sušiny)	C:N
Odpad potravin	30-90	75-95	0,5-1,7	22-80
Drůbeží trus	80-92	65-76	5,0-7,5	4-6
Prasečí kejda	91-97	72-78	4,0-8,5	4-6
Hovězí kejda	85-97	65-82	3,5-4,5	7-9
Hnůj	76-82	72-85	1,6-2,3	13-17
Sláma	13-16	94-96	0,4-0,6	60-110
Travní hmota z údržby trávníků	50-70	88-92	0,8-1,2	35-50
Listí	15-40	90-95	0,9-1,5	32-48
Kůra	40-70	94-98	0,1-0,4	95-115
Odřezky, třísky	40-70	98-99	0,0-0,4	100-120
Piliny	40-70	98-99	0,0-0,2	100-120
Dřevní štěpky	30-35	96-98	0,0-0,2	100-120

[Zemánek, P. a kol.: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vydání. Praha: VÚZT, v.v.i., 2010. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.]

6 Závěr

Z výsledků práce a diskuze je patrné, že kompostování papíru je jednou z možných cest jeho využití. Je jen zapotřebí vhodná úprava dezintegrací, aby byl proces zkompostování rychlejší. Dále je třeba přidat vhodné vstupní suroviny a kompost více vlhčit vzhledem k vlastnostem papíru, který vstřebává značnou vlhkost.

Podle laboratorních rozborů nevyhovoval hotový kompost zakládky č.1 obsahem vlhkosti, jehož příčinou je zejména papír obsažený v kompostu. Nedostatek vlhkosti lze snadno napravit navlhčením kompostu. Druhým nevyhovujícím parametrem byl obsah spalitelných látek. V rámci zpětného propočtu optimalizace surovinové skladby byla do zakládky zvolena jako vhodný přídatný materiál sláma. Po přepočítání měla zakládka vyhovující parametry a i výsledný hotový kompost splňoval veškeré limitní hodnoty.

Zakládka č.2 nevyhovovala podle výsledků laboratorních rozborů pouze limitním hodnotám v obsahu spalitelných látek. Proto byla opět v rámci zpětného propočtu optimalizace surovinové skladby přidána jako vhodný materiál do zakládky dřevní štěpka. Po přepočítání byly hodnoty zakládky i výsledného kompostu vyhovující.

Podle zahraničních zkušeností je v domovním odpadu 2 - 6 % papíru, který díky svému znečištění není vhodný k recyklaci klasickým způsobem. Na kvalitu kompostu však znečištění papíru nemá zásadní vliv. Naopak přítomnost papíru do 10 % hmotnosti vstupních surovin působí při kompostování pozitivně. [7]

Kompostování bioodpadů lze považovat za jednu z technologií přispívajících k trvale udržitelnému životu na této planetě. Tato technologie minimalizuje vznik skleníkových plynů vznikajících při skládování bioodpadů a vyrobený kompost zabezpečuje trvale úrodnost půdy. Je předpoklad, že v budoucnosti bude kompostování aplikováno nejen při využívání, ale i při zneškodňování nevyužitelných biologických odpadů. [40]

7 Seznam literatury

- [1] Plíva a kol.:2009. Kompostování v pásových hromadách na volné ploše, Profi Press, s.r.o, ISBN: 978-80-86726-32-8, 1. vydání,136 s.
- [2] Malat'ák, J. – Vaculík, P. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství-zpracování biologicky rozložitelných odpadů. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. 168 s. ISBN 978-80-213-1747-5
- [3] ZEMÁNEK, P. *Speciální mechanizace : mechanizační prostředky pro kompostování*. 1. vydání. Brno : MZLU, 2001. 114 s. ISBN 80-7157-561-5.
- [4] Plíva a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2
- [5] PLÍVA, P., JELÍNEK, A., HEJÁTKOVÁ, K.: Obecná podoba podnikové normy pro faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem. *Biom.cz* [online]. 2002-04-12 [cit. 2010-10-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obecna-podoba-podnikove-normy-pro-faremni-kompost-vyrobeny-kontrolovanym-mikrobiálním-procesem>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] Plíva a kol.: Technika pro kompostování v pásových hromadách. VÚZT, v.v.i., Praha, 2005, 72 s. ISBN 80-86884-02-3
- [7] KOTOULOVÁ, Z., VÁŇA, J. Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. MŽP, Praha, 2001, 68 s.
- [8] SLEJŠKA, A.: O legislativě biologicky rozložitelných odpadů. *Biom.cz* [online]. 2003-08-19 [cit. 2010-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/o-legislative-biologicky-rozlozitelnych-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [9] CZ Biom, , BAČÍK, O., SLEJŠKA, A.: Poslanci dali zelenou kompostování bioodpadu. *Biom.cz* [online]. 2006-05-25 [cit. 2010-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/poslanci-dali-zelenou-kompostovani-bioodpadu>>.
- [10] ALTMANN, V.: Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. *Biom.cz* [online]. 2010-08-18 [cit. 2010-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnyimi-odpady>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] Pilotní projekt: Řešení bioodpadu v regionu. Náměšť nad Oslavou, 2008, 60 s.
- [12] Himmelhuber P.: Komposty, pařeniště, truhlíky – stavba a konstrukce. Grada, 2004.

- [13] Kalina M.: Kompostování a péče o půdu. Grada, 2004.
- [14] VÁŇA, J.: Kompostování bioodpadu je technologií trvale udržitelného života. *Biom.cz* [online]. 2009-08-05 [cit. 2010-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-bioodpadu-je-technologie-trvale-udrzitelneho-zivota>>.
- [15] RÁZGOVÁ, E. Vraťme přírodě, co jí patří. *Ekodomov.cz* [online]. 2008-06-30 [cit. 2010-11-09]. Dostupné z WWW: <[http://ekodomov.cz/index.php?id=155&tx_ttnews\[year\]=2008&tx_ttnews\[month\]=06&tx_ttnews\[tt_news\]=330&tx_ttnews\[backPid\]=154&cHash=b76563da81](http://ekodomov.cz/index.php?id=155&tx_ttnews[year]=2008&tx_ttnews[month]=06&tx_ttnews[tt_news]=330&tx_ttnews[backPid]=154&cHash=b76563da81)>.
- [16] SLEJŠKA, A.: Bioodpad – sběr a využití. *Stary.biom.cz* [online]. [cit. 2010-11-09]. Dostupné z WWW: <<http://stary.biom.cz/mag/29.html>>.
- [17] Plíva a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. VÚZT, v.v.i., Praha, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2
- [18] PASTOREK, Z.: Legislativa bioodpadů - kompostování v praxi. *Biom.cz* [online]. 2004-04-19 [cit. 2010-10-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/legislativa-bioodpadu-kompostovani-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] <http://www.vuzt.cz/doc/rocenka2007/kompostovani.pdf>
- [20] PLÍVA, P., JELÍNEK, A.: Vliv kvality prosetí a formy expedice kompostu na zlepšení jeho prodejnosti. *Vuzt.cz* [online]. [cit. 2011-01-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.vuzt.cz/doc/clanky/zivotniprostredi/VUZT03kompost.pdf?menuid=73>>.
- [21] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pap%C3%ADr>
- [22] Smejtková, A.: Obaly a obalová technika – přednášky, 2009.
- [23] *Biom.cz* [online]. 2010-01-27 [cit. 2011-01-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/acppcesku-chybi-kapacity-na-vyuziti-sberoveho-papiru>>.
- [24] ROY, A., PLÍVA, P.: Teplota kompostu – nejjednodušeji identifikovatelný ukazatel jeho zrání. In *TECHNOFÓRUM 2010 - Advances in research of agricultural and environmental engineering*. Nitra 2010. SPU Nitra: Scientific Pedagogical Publishing, 2010 s. 205-211. ISBN 978-80-552-0380-5.
- [25] Roy, A., Laurik, S., Plíva, P.: Metodika pro praxi - Výroba kompostů s různou objemovou hmotností. VÚZT, v.v.i., Praha, 2010, 20 s.

- [26] Plíva, P., Laurik, S.: Metody měření teploty kompostu využitelné pro řízení kompostovacího procesu a archivaci dat. VÚZT, v.v.i., Praha, 2010, 28 s.
- [27] Jelínek, A., Plíva, P., Kollárová, M.: Kompostování zbytkové biomasy z trvalých travních porostů. VÚZT, v.v.i., Praha.
- [28] Sborník z II. mezinárodní konference biologicky rozložitelné odpady. Náměšť nad Oslavou, 2006, 129 s.
- [29] Sborník ze symposia Bioodpad 99. Praha, 1999, 75 s.
- [30] ALTMANN, V.: Technika a technologie odpadového hospodářství – přednášky.
- [31] VÁŇA, J.: Kompostování odpadů. *Biom.cz* [online]. 2002-01-14 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [32] <http://pocasi.divoch.cz/historie.php?icao=LKPR&fd=2010-06-22>
- [33] Váňa, J.: Výroba a využití kompostů v zemědělství. 1. vydání. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství, 1994. 40 s. ISBN 80-7105-075-x.
- [34] Zemánek, P. a kol.: Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vydání. Praha: VÚZT, v.v.i., 2010. 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.
- [35] JENA: Ceníky [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.jena.cz/cenik-materialu.html>>.
- [36] .A.S.A.: Ceníky [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW:<http://www.asa-group.com/files/documents/cs/cenik_dablice/dablice_skladka.pdf>.
- [37] Pražské služby: Ceník energetického využití odpadu [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/cenik-odpadu/>>.
- [38] Ministerstvo životního prostředí: Legislativa a metodické pokyny [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <http://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_odpady>.
- [39] Ministerstvo zemědělství: Legislativa [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/legislativa/>>.
- [40] VÁŇA, Jaroslav: Kompostování biodegradabilních odpadů v České republice. *Biom.cz* [online]. 2002-02-13 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-biodegradabilnich-odpadu-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.

8 Seznam zkratek

BRO - biologicky rozložitelný odpad

BRKO - biologicky rozložitelný komunální odpad

ČR - Česká republika

VOK - velkoobjemový kontejner

CH₄ - metan

CO₂ - oxid uhličitý

TKO - tuhý komunální odpad

KO - komunální odpad

VÚZT, v.v.i. - Výzkumný ústav zemědělské techniky, veřejná výzkumná instituce

9 Seznam tabulek

Tab. 1: Druhy odpadů tvořící BRKO

Tab. 2: Stroje v lince

Tab. 3: Optimalizace surovinové skladby zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

Tab. 4: Optimalizace surovinové skladby zakládky č.2 (tráva a listí)

Tab. 5: Založení kompostu – zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Tab. 6: Založení kompostu – zakládka č.2 (tráva a listí)

Tab. 7: Objemová hmotnost zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

Tab. 8 : Objemová hmotnost zakládky č.2 (tráva a listí)

Tab. 9: Naměřené teploty a obsah kyslíku v zakládce č.1 (tráva, listí a papír)

Tab. 10: Naměřené teploty a obsah kyslíku v zakládce č.2 (tráva a listí)

Tab. 11: Limitní hodnoty podle ČSN 465735 „Průmyslové komposty“

Tab. 12: Laboratorní rozbory – zakládka č.1 (tráva, listí a papír)

Tab. 13: Laboratorní rozbory – zakládka č.2 (tráva a listí)

Tab. 14: Vlastnosti vybraných druhů bioodpadů

10 Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma měřících míst

Obr. 2: Postup odběru vzorku kompostu podle vyhlášky č.273/1998 Sb. ve znění vyhlášky 475/2000 Sb.

Obr. 3: Orientační (pěstní) zkouška vlhkosti

Obr. 4: Komunitní kompostér s náhledem na zčásti zkompostovaný bioodpad

Obr. 5.: Průběh teploty a fází dějů při kompostování

Obr. 6.:Kompostování v pásových hromadách - VÚZT,v.v.i

Obr. 7: Zapichovací teploměr GTH 1150

Obr. 8: Analyzátor spalin Testo 327

Obr. 9: Analyzátor vlhkosti ML-50

Obr. 10: Váha na měření objemové hmotnosti

Obr. 11: Univerzální čelní nakladač UNC 060

Obr. 12: Připojitelný překopávač kompostu 250 H

Obr. 13: Souprava - čelní nakladač UNC 060 s připojeným překopávačem 250 H

Obr. 14: Vibrační rovinné síto VSD 01 ve spojení s pásovým dopravníkem RM 9-019

Obr. 15 : Mobilní pásový dopravník RM 9-019

Obr. 16: Plachty na překrývání pásových hromad kompostu

Obr. 17: Objemové složení zakládky č.1 a č.2

Obr. 18: Zakládání kompostu – zakládka č.2

Obr. 19: Zakládky kompostu č.1 a č.2

Obr. 20: Graf průběhu teplot a obsahu kyslíku během kompostování zakládky č.1 (tráva, listí a papír)

Obr. 21: Graf průběhu teplot a obsahu kyslíku během kompostování zakládky č.2 (tráva a listí)