

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra využití strojů



Bakalářská práce

Moderní způsoby kompostování

Lukáš Hnojský

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Hnojský

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Moderní způsoby kompostování

Název anglicky

Modern methods of composting

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je porovnání technologií pro kompostování biologických odpadů u různých metod kompostování.

Metodika

- 1 Úvod
- 2 Rešerše
- 3 Cíl práce a metodika
- 4 Vlastní práce – porovnání technologií kompostování
- 5 Výsledky
- 6 Diskuse a závěr
- 7 Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

biologické odpady, kompostování, analýza, porovnání

Doporučené zdroje informací

- 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.
- CIRCLE ECONOMY A KOL., 2018. 'Linear Risks': How Business As Usual Is A Threat To Companies And Investors – Insights – Circle Economy. Circle Economy
- MCKISNEY & COMPANY, 2015. Europe's circular-economy opportunity [online] [vid. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/europes-circular-economy-opportunity#>
- PLÍVA a kol.: (2016). Kompostování a kompostárny. Profi Press, s.r.o., 136 ISBN: 978-80-86726-74-8 1. vydání, 149 s.
- VOŠTOVÁ,V.,ALTMANN,V.,FRIES,J.,JEŘÁBEK,K.: (2009). Logistika odpadového hospodářství. ČVUT Praha, 5 – Technické vědy, ISBN 978-80-01-04426-1, 1. vydání, 349 s.

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Vlastimil Altmann, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra využití strojů

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2022

doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Moderní způsoby kompostování" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2022

Poděkování

Rád(a) bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Vlastimilu Altmannovi, Ph.D. za odborné vedení práce a konzultantovi Ing. Janu Šonskému za cenné rady poskytované při zpracovávání této práce.

Moderní způsoby kompostování

Abstrakt

Tato bakalářská práce „Moderní způsoby kompostování“ se zabývá kompostováním a různými technologiemi, které se v tomto oboru používají. Jejím cílem je obecné porovnání moderních technologií kompostování na základě rešerše a všech dostupných informací. Dále pak zhodnocení ekonomického pohledu na věc. V první části jsou vysvětleny základní pojmy a sledované hodnoty, které jsou klíčové pro správný proces kompostování. Dále také průběh a řízení procesu a výsledné stanovení zralosti, stability a kvality výsledného produktu. Druhá část se zabývá jednotlivými technologiemi kompostování, jejich rozdělením, srovnáním a vhodným použitím. Navazuje část, ve které je možné se dozvědět o základní technice, používané hlavně při řízených procesech v průmyslových kompostárnách. Tato část je rozdělena do tří skupin, a to na drtiče a štěpkovače, překopávače, a nakonec prosévací zařízení. Následuje ekonomické zhodnocení, rozděleno rovněž do tří částí. Zaměřuje se na dostupnost vstupních surovin, stanovení ceny produkce a následné uchování a prodej. Cílem práce je pak porovnání technologií kompostování a stanovení výsledků. Závěry z této práce pak budou podloženy doporučení technologie na základě získaných výsledků, a tudíž i podklad pro potenciální zájemce o zřízení kompostárny.

Klíčová slova: biologické odpady, kompostování, analýza, porovnání, kompostovací technologie

Modern methods of composting

Abstract

This bachelor thesis "Modern composting methods" deals with composting and the different technologies used in this field. It aims at a general comparison of modern composting technologies based on research and all available information. It then goes on to assess the economic perspective. The first part explains the basic concepts and the values to be observed, which are crucial for a proper composting process. The process flow and control and the resulting determination of maturity, stability and quality of the final product are also presented. The second part deals with the different composting technologies, their distribution, comparison and appropriate use. This is followed by a section in which it is possible to learn about the basic techniques used mainly in controlled processes in industrial composting plants. This section is divided into three groups, namely shredders and sorters, diggers, and finally sieving equipment. This is followed by an economic evaluation, also divided into three parts. It focuses on the availability of raw materials, the pricing of production and the subsequent storage and sale. The aim of the work is then to compare the composting technologies and determine the results. The conclusions of this work will then be the basis for technology recommendations based on the results obtained, and therefore the basis for potential candidates for setting up a composting plant.

Keywords: biological waste, composting, analysis, comparison, composting technology

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Rešerše.....	2
2.1 Biologicky rozložitelný odpad	2
2.2 Kompostování	2
2.3 Kompostovací proces	3
2.4 Poměr C : N.....	3
2.5 Průběh a řízení kompostovacího procesu.....	4
2.6 Kompostovatelné hmoty	5
2.7 Sledované hodnoty	6
2.7.1 Teplota	6
2.7.2 Zápach.....	7
2.7.3 Vlhkost.....	8
2.7.4 Hodnota pH.....	9
2.7.5 Kyslík.....	9
2.8 Stanovení zralosti a stability kompostu.....	10
2.9 Kvalita kompostu	11
2.10 Druhy kompostovacích technologií	12
2.10.1 Kompostování na volné ploše.....	12
2.10.2 Intenzivní kompostovací technologie	15
2.10.3 Vermikompostování.....	18
2.10.4 Kompostování uhynulých zvířat	19
2.11 Mechanizace kompostování	20
2.11.1 Drtiče a štěpkovače	20
2.11.2 Překopávače kompostu	22
2.11.3 Prosévací a separační zařízení	24
2.12 Ekonomické zhodnocení	26
3 Cíl práce a metodika	28
3.1 Cíl práce	28
3.2 Metodika	28
4 Vlastní práce – Porovnání technologií kompostování	29
5 Výsledky	35
6 Diskuse	36
7 Závěr.....	37
8 Seznam použitých zdrojů	38

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Lichoběžníkový profil hromady [7]	13
Obrázek 2 – Trojúhelníkový profil hromady [7]	13
Obrázek 3 – Vodohospodářsky zabezpečený kompostovací žlab [7].....	17
Obrázek 4 – Kompostovací boxy [7]	18
Obrázek 5 – Kompostovací vaky [7]	15

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Kompostovatelné materiály a jejich vlastnosti [17]	5
Tabulka 2 – Znaky jakosti kompostu [18]	12
Tabulka 3 - Klady a zápory porovnávaných technologií	29
Tabulka 4 - Investiční náklady (pásové hromady).....	30
Tabulka 5 - Investiční náklady (ve vacích).....	31
Tabulka 6 - Investiční náklady na vybavení (pásové hromady)	32
Tabulka 7 - investiční náklady na vybavení (kompostování ve vacích).....	33
Tabulka 8 - Požadavky na jakost kompostu	34

1 Úvod

Kompostování je nedílnou součástí zemědělství, která se stále vyvíjí. To má za následek to, že se objevují nové technologie a způsoby, jak tuto činnost provádět. Kromě toho problematika odpadů, v dnešní době velmi diskutované téma, je jedním z nejdůležitějších faktorů při řešení otázek životního prostředí a zhoršování jeho stavu. Není pochyb, že rostoucí produkce odpadů ničí naše prostředí a okolí, a co víc, přispívá k produkci skleníkových plynů, což se odráží na globálním oteplování, znečišťování ovzduší, půdy, vody a má nepříznivý dopad i na veškeré živočichy.

Jedním z řešení tohoto problému je právě efektivní zpracování biologicky rozložitelných odpadů kompostováním. Tato metoda nejen že tyto odpady likviduje, ale přetváří je na produkt, který je naopak pro naše životní prostředí velmi přínosný. Díky vysokým obsahům cenných živin může být kompost použit jako náhrada průmyslových hnojiv. K tomu ovšem moc zemědělců zatím nepřistupuje, a to hlavně díky tomu, že aplikace průmyslových hnojiv je pro ně mnohem snadnější díky formám, ve kterých se vyskytuje.

Nejrozšířenější metodou použití kompostu je v současné době při výrobě zahradnických substrátů, v krajinářství, při rekultivaci skládek, nebo třeba údržbě a úpravě trvalých lesních porostů.

Směrnice o skládkování odpadů, které se v minulosti dostalo v platnost, a která ukládá povinnost snižování množství biologicky rozložitelného odpadu na skládky, měla za následek rozvoj oblasti kompostů a kompostovacích technologií.

2 Rešerše

2.1 Biologicky rozložitelný odpad

Za biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) se pokládá jakýkoli odpad, který je schopen anaerobního nebo aerobního rozkladu mikroorganismy. Ve zjednodušené podobě se používá spíše pojem „komunální bioodpad“. BRKO je produkován jednak z domácností (např. zbytky potravin), dále z údržby městské zeleně nebo zahrádek (posečená tráva, listí, dřevní hmota), nebo jako odpad z tržišť (ovoce, zelenina apod.).

V minulých obdobích bylo převážně využíváno ukládání těchto odpadů na skládky. BRKO ukládaný na skládky musí být postupem času omezován v souladu s harmonogramem stanoveným v programu odpadového hospodářství ČR a krajů, tzn. snížit tento podíl do roku 2010 na 75 %, do roku 2013 na 50 % a do roku 2020 na 35 % celkového množství (hmotnosti) biologicky rozložitelného komunálního odpadu vzniklého v roce 1995. Jednou z variant úpravy těchto odpadů je biologická metoda zpracování cestou – kompostováním. [2]

2.2 Kompostování

Kompostování je řízený aerobní biologický rozklad organických látek na stabilní humusovitý produkt zvaný kompost. Jedná se v podstatě o stejný proces jako u přirozeného rozkladu s tím rozdílem, že je posílen a urychlen smícháním organického odpadu s dalšími složkami pro optimalizaci mikrobiálního růstu.

Potenciální výhody kompostování hnoje a jiných organických odpadů je snížení zápachu, redukce problému s mouchami a dalšími přenašeči a snížení počtu semen plevelů a patogenů.

Kompost aplikovaný na půdu zlepšuje úrodnost půdy, její kyprost a schopnost zadržovat vodu. Je také zbavený obtěžujícího zápachu a lze jej skladovat po delší dobu. Díky těmto vlastnostem je vhodný k použití na farmě nebo k prodeji.

Kompostování lze snadno přizpůsobit zemědělským provozům, protože zemědělské podniky obvykle produkují vhodné množství různých druhů odpadů pro kompostování, mají dostatečný prostor pro založení zakládky, budou mít prospěch z aplikace kompostu do půdy a mají již k dispozici potřebné vybavení. [3]

2.3 Kompostovací proces

Kompostovací proces z hlediska účasti specifických druhů dekompozičních mikroorganismů probíhá v podstatě ve dvou základních fázích biodegradace vložených biologických materiálů a to:

- Fáze primární

Probíhá v úvodní fázi mikrobiotechnologické přeměny zakládky ze směsi biologicky rozložitelných materiálů, sestavené ve smyslu optimalizace poměru C : N. Účastní se jí především dekompoziční mikroorganismy termofilního typu, produkující významné prohřátí směsi, podporující nejenom biodegradačním proces, ale rovněž i proces hygienizace zakládky. Tato fáze primárního rozkladu může být považována za ukončenou, jestliže vnitřní teplota uvnitř hromady již dlouhodoběji nevystoupí nad 40 °C.

- Fáze sekundární

Sekundární fáze biodegradace v kompostové zakládce je popisována jako následná fáze kompostovacího procesu, která navazuje na primární fázi a dochází při ní ke stabilizaci a humifikaci vložených hmot a paralelně ke vzniku zralého a ke spotřebě připraveného plnohodnotného kompostu. Sekundární rozklad probíhá v čistě mezofilním teplotním rozpětí, tedy pod hladinou 40°C. V této etapě se již požadavky na kyslík a uvolňování energie po úplné přeměně snadno odbouratelných organických látek významně snižují. Potřebná délka sekundárního rozkladu bývá různá, je podle typu a složení vstupních materiálů, tj. obsahu a podílu strukturního materiálu a podle reálného poměru C : N. Dalšími limitujícími faktory jsou intenzita, s níž proces v této etapě probíhá, intenzita vlastního zpracovávání během sekundárního rozkladu a dosažení požadované kvality kompostu. Samovolný pokles teploty kompostované hmoty pod 30 °C. [3]

2.4 Poměr C : N

Mikroorganismy vyžadují určité živiny ve velkém množství. Příkladem některých potřebných makroživin jsou uhlík (C), dusík (N), fosfor (P) a draslík (K). Relativní množství přítomného uhlíku a dusíku má největší vliv na proces kompostování, a proto se používá jako hlavní ukazatel obsahu živin. Uhlík a dusík jsou také hlavními živinami, na které se zaměřuje pozornost, protože pokud jsou tyto živiny přítomny ve správném poměru, ostatní živiny bývají také přítomny v přijatelném množství. Uhlík se využívá jako zdroj energie i pro růst mikrobů. Při aerobním rozkladu se část uhlíku uvolňuje jako CO₂, zatímco zbytek se spojuje s dusíkem pro růst mikrobů. V důsledku toho se obsah uhlíku v kompostové hromadě neustále snižuje.

Dusík je využíván k syntéze buněčného materiálu, aminokyselin a bílkovin a je průběžně recyklován prostřednictvím buněčného materiálu mikroorganismů. Veškerý dusík, který je zabudován do buněk, je opět k dispozici, když mikroorganismus odumře. Protože se velká část uhlíku průběžně uvolňuje, zatímco většina dusíku je recyklována, poměr C : N se v průběhu kompostování snižuje. Pokud však v systému dochází k velkým ztrátám dusíku, může se poměr C : N zvýšit.

Pro rychlé kompostování se doporučuje počáteční poměr C : N 20:1 až 40:1. Poměr C : N však může být i 14:1 a je praktický pro kompostování úhynů zvířat. Pokud je přítomen uhlík v nadměrném množství ve srovnání s dusíkem, takže poměr C : N je nad optimálním rozmezím, kompostování proces kompostování se zpomalí. V tomto případě je dostupnost dusíku limitujícím faktorem. Při omezených zdrojích dusíku na mikroorganismům trvá déle, než využijí přebytek uhlíku. K tomu je zapotřebí několik životních cyklů organismů. snížit poměr C : N na vhodnější úroveň. [8]

2.5 Průběh a řízení kompostovacího procesu

Pro zajištění optimálního průběhu kompostovacího procesu, a tudíž i doby potřebné k přeměně na požadovaný produkt, je potřebné monitorovat a případně korigovat určené fyzikálně-chemické, chemické a mikrobiologické vlastnosti zpracovávaných surovin, respektive kompostu. Tato měření jsou nezbytná, aby bylo možné, na základě znalostí jejich současných hodnot, v případě, že dojde k jejich odchýlení od hodnot optimálních, provést vhodný zásah k jejich korekci. Znalost těchto hodnot je také důležitá pro stanovení vhodné doby k ukončení kompostovacího procesu.

Mezi zjišťované hodnoty patří:

- a) V průběhu kompostovacího procesu:
 - Měření teploty v zakládce,
 - Určování vlhkosti zakládky,
 - Měření obsahu kyslíku v zakládce;
- b) Po ukončení kompostovacího procesu:
 - Stanovení zralosti a stability kompostu,
 - Mikrobiologické hodnocení kompostu,
 - Chemické hodnocení kompostu; [8]

2.6 Kompostovatelné hmoty

Směs v kompostu musí být optimalizována, aby se docílilo efektivního a rychlého rozkladu hmot. V surovinovém složení kompostu je nejdůležitějším elementem organická hmota rozložitelná mikroorganismy, které svou činností přeměňují odpadní suroviny na dále využitelnou hmotu. Některé kompostovatelné materiály a jejich vlastnosti s ohledem na optimalizaci směsi pro založení kompostu:

Tabulka 1 - Kompostovatelné materiály a jejich vlastnosti [17]

HMOTA	VLHKOST [%]	ORG. LÁTKY [%suš.]	N [%suš.]
Chlévská mrva skot	75–82	78–85	1,8–2,4
Chlévská mrva koně	68–73	86–92	1,9–2,5
Chlévská mrva ovce	65–70	88–96	2,5–3,0
Močůvka	96–99	0–3*	0,1–0,9*
Kejda prasat	91–98	72–78	5,0–5,8
Kejda skotu	94–99	70–81	3,5–4,5
Kejda drůbeže	82–97	65–76	5,0–8,1
Sláma obilovin	13–20	92–96	0,4–0,6
Sláma řepky	15–18	95–97	0,5–0,7
Nať brambory	25–60	88–91	0,7–0,8
Listí	15–40	88–94	0,9–1,5
Odpad zeleniny	80–90	85–90	1,2–2,5
Stařina z luk	10–30	88–95	0,8–1,0
Výhozy z příkopů	10–40	15–20	0,3–0,6
Kuchyňský odpad	65–80	75–88	1,2–2,3
Výlisky z ovoce	65–87	78–92	0,1–0,6
Piliny	40–70	97–99	0,0–0,2
Stromová kůra	40–70	94–98	0,2–0,4
Zemina cukrovar. a škrobárenská	15–35	7–13	0,1–0,2

Šáma cukrovarnická	15–50	3–12	0,2–0,5
Kanalizační kal	55–96	27–45	2,0–4,5
Jímkový kal (a ze septiků)	91–98	30–48	2,2–4,0
Popel ze dřeva	5–40	4–10	0,0–0,1
Vytříděný bioodpad	37–64	69–82	1,2–1,9
Pazdeří	10–15	83–98	0,4–0,7
Rybniční bahno	25–80	8–25	0,3–0,6
Lihovarské výpalky	80–93	86–89	2,9–3,3
Kostní šrot	5–20	17–23	1,4–1,9
Kapucín, hnědouhelný prach	15–40	30–64	0,2–0,7
Odpad mlýnský, krmivářský	8–15	65–85	0,8–1,3
Rašelina	60–80	55–90	1,2–3,0
Jateční odpad	70–85	75–95	5,0–9,0

[17]

2.7 Sledované hodnoty

2.7.1 Teplota

Vhodným a smysluplným parametrem kompostu je teplota. Teplota je ukazatelem mikrobiální aktivity. Denním zaznamenáváním teploty lze stanovit normální průběh vývoje teploty. Odchylka od normálního vzorce nárůstu teploty naznačuje zpomalení nebo neočekávanou změnu mikrobiální aktivity. Teplota by se měla začít postupně zvyšovat, jakmile se mikrobiální populace začne rozvíjet. Pokud se nezačne zvyšovat během několika prvních dnů, je třeba provést úpravy ve směsi kompostu.

Nedostatečné zahřívání svědčí o tom, že aerobní rozklad není zaveden. To je způsobeno řadou faktorů, například nedostatečným provzdušňováním, nedostatečným zdrojem uhlíku nebo dusíku, nízkou vlhkostí nebo nízkým pH. Špatné provzdušňování je způsobeno nedostatečnou pórovitostí, která zase může být důsledkem vlastností materiálu nebo nadměrné vlhkosti. Materiál, který je hustý, nemá dobrou pórovitost. Ke zlepšení pórovitosti je třeba přidat kypřidlo. Směs materiálu, která je příliš vlhká, také nemá dobrou pórovitost, protože

vlhkost vyplňuje vzduchové prostory a ztěžuje pronikání kyslíku do pórů. Příklad suchého doplňku s dobrou nasákavostí pomáhá snížit obsah vlhkosti v hromadě a zlepšuje pórovitost.

Dalším možným důvodem, proč se hromada kompostu nezahřívá, je, že počáteční směs je sterilní nebo nemá velkou mikrobiální populaci. Pokud je počáteční mikrobiální populace malá, trvá déle, než se vyvine a rozroste. To obecně není problém u odpadního materiálu, jako je hnůj nebo kal, ale může to být problém u "čistého" materiálu, jako jsou noviny nebo bramborový odpad. Jako zdroj inokulantu lze použít přídavek některého aktivního kompostovacího materiálu, jako je hnůj nebo hotový kompost.

Hromada, která po dosažení termofilních teplot začne chladnout, se blíží ke konci kompostovacího procesu nebo není schopna udržet aerobní podmínky. V druhém případě je příčinou obvykle nedostatek vlhkosti nebo provzdušňování. Ke ztrátě provzdušnění může dojít během kompostování v důsledku ztráty struktury a pórovitosti, jak se materiál rozkládá a hromada se začíná rozpadat. Aerobní podmínky lze obnovit otáčením nebo mícháním hromady, aby se obnovila pórovitost. [12]

2.7.2 Zápach

Zápach je vedle teploty nejúčinnějším a nejjednodušším ukazatelem toho, zda jsou na hromadě aerobní podmínky, a do jisté míry také toho, zda dochází ke ztrátám živin odpařováním amoniaku. Řízení zápachu je důležitým aspektem kompostování, zejména pokud se provoz nachází v těsné blízkosti sousedů, či podniků, pro které by mohl být nežádoucí.

Zápach může být zjištěn ještě před zahájením kompostování. Tyto pachy jsou obvykle způsobeny samotnou surovinou. To platí zejména pro materiály, jako je odpad ze zpracování ryb a hnuj. Tyto zápachy však obvykle mizí. Po zpracování materiálu do kompostovací hromady jsou zápachy maskovány ostatním materiálem v hromadě nebo jsou eliminovány, protože mikrobi v kompostovací směsi využívají zapáchající sloučeniny jako substrát. Silné, hnilobné pachy, které někdy zapáchají po síře, ukazují na anaerobní činnost, zejména pokud jsou tyto pachy doprovázeny nízkými teplotami. Anaerobní podmínky obecně vznikají jako reakce na prostředí s vysokou vlhkostí a nízkou pórovitostí. Pokud není příčinou nadměrná vlhkost, pak může být hromada příliš velká, což vede ke ztuhnutí a nedostatečnému provzdušňování, nebo je pórovitost materiálu nedostatečná. Pokud hromada kompostu produkuje amoniakální zápach, může být nutné ji řídit z hlediska ochrany dusíku, zejména pokud jsou problémem ztráty živin. Mezi takové techniky řízení patří snížení frekvence obracení a přidávání materiálu bohatého na uhlík do směsi.

Detekce zápachu je subjektivní, a proto je obtížné ji kvantifikovat nebo měřit. Bez ohledu na to je nejlepší metodou detekce zápachu lidský nos. Jakmile se zápach vytvoří a je detekován, je obtížné jej odstranit. Nejúčinnějším přístupem je řídit podmínky na hromadě tak, aby se minimalizovala tvorba zápachu. Pokud se zápach objeví, je nejlepším řešením upravit podmínky v hromadě tak, aby nedocházelo k dalšímu vzniku zápachu. K dispozici jsou však chemické látky maskující zápach, jejich použití je omezeno většinou na úpravu ovzduší kompostování uvnitř budov. [13]

2.7.3 Vlhkost

Stejně jako lidé potřebují i kompostové organismy ke svému životu vodu. Některé mikroorganismy využívají vodní film k pohybu. Sklouzávají a přesouvají se do jiné části hromady. Biologická aktivita se zastaví, když hromada vyschne.

Pokud je kompostovací materiál s vlhkostí mezi 30 a 100 % dostatečně provzdušňován, bude aerobní. Při praktickém aerobním kompostování je však třeba se vyvarovat vysoké vlhkosti, protože voda vytlačuje vzduch z mezer mezi částicemi a způsobuje anaerobní podmínky. Příliš nízký obsah vlhkosti však připravuje organismy o vodu potřebnou pro jejich metabolismus a brzdí jejich činnost.

Maximální vlhkost pro uspokojivé aerobní kompostování se liší podle použitých materiálů. Pokud se používá sláma a silné vláknité materiály, může být maximální obsah vlhkosti mnohem vyšší, aniž by došlo ke zničení strukturních vlastností nebo k rozmočení materiálu, jeho zhutnění a neschopnosti udržet dostatek vzduchu v meziprostorech. Pokud však obsahuje hodně papíru nebo posekané trávy, které mají za mokra malou strukturální pevnost, nebo pokud je zrnitý, jako je popel a zemina, je lepší méně vody.

V ideálním případě by domácí kompost měl obsahovat 40-60 % vlhkosti. Měl by být vlhký jako vyždímaná houba. Suché uhlíkaté vrstvy lze zalévat v průběhu budování hromady, při každém obracení pak podle potřeby přidávat další vodu.

Ve studiích Kalifornské univerzity se vláknité materiály obsahující velké množství slámy kompostovaly aerobně při vlhkosti 85 až 90 %, ale jiné komposty obsahující hodně papíru se staly anaerobními během jednoho dne, když byla vlhkost asi 70 %.

Při anaerobním kompostování není maximální obsah vlhkosti tak důležitý, protože udržování kyslíku není rozhodující. Horní hranice vlhkosti, která se může pohybovat od 80 % do více než 90 %, je množství, při jehož překročení dojde k nadměrnému odvodnění kompostu. Pokud má kompostovací postup zpočátku aerobní podmínky pro vytvoření vysokých teplot trvajících několik dní pro zničení patogenních organismů, po nichž následuje anaerobní

kompostování, může být maximální počáteční vlhkost až 65 % až 85 % v závislosti na charakteru kompostovaných materiálů.

2.7.4 **Hodnota pH**

Optimální hodnota pH je kolem neutrální hodnoty v rozmezí 6,5 až 8, přičemž jeho hodnota se mění v jednotlivých fázích kompostování. Pokud dojde k poklesu pH pod hodnotu 6, dojde k úhynu většiny mikroorganismů, převážně bakterií, čímž se zpomaluje proces kompostování, zpomalí se rozklad organických látek. Pokud hodnota pH převyšuje 8,5, dojde k přeměně dusíkatých sloučenin na amoniak, který uniká ve formě plynu z kompostu. Tímto se zvyšují ztráty dusíku. [7]

2.7.5 **Kyslík**

Všechny žádoucí rozkladné organismy dýchají kyslík neboli jsou aeroby. V hromadě musí být zajištěn dostatečný pohyb vzduchu, aby byla zajištěna jejich potřeba. Pokud je přívod vzduchu přerušen, aerobní mikroorganismy odumírají a jsou nahrazeny anaerobními organismy. Ty nepracují spalováním sacharidů, ale získávají energii z jiných druhů chemických reakcí, které nevyžadují kyslík. Anaerobní chemie je pomalá a nevytváří mnoho tepla, takže hromada, která náhle vychladne, dává jasný signál, že v jádře může chybět vzduch. Hlavními odpadními produkty aerobů jsou voda a plynný oxid uhličitý, neškodné látky. Když většina lidí myslí na hnilobu, představí si ve skutečnosti rozklad anaerobními bakteriemi. Při nedostatku kyslíku vznikají zapáchající látky. Místo humusu vznikají černé, dehtovité látky, které jsou v půdě mnohem méně užitečné. V podmínkách bez přístupu vzduchu se trvale ztrácí mnoho dusičnanů. K zapáchajícím odpadům anaerobů patří také sirovodík a další toxické látky s velmi nepříjemnými vlastnostmi.

Hromady vybudované ze značného množství hrubých, silných a nepravidelných materiálů mají tendenci zachovávat velké pórové prostory, podporují proudění vzduchu a zůstávají aerobní. Teplo vznikající v hromadě způsobuje, že horký vzduch ve středu hromady stoupá a konvekcí opouští hromadu. Tím se automaticky přivádí čerstvý, chladný vzduch. Hromady tvořené výhradně velkými částicemi však nejenže představují malou plochu pro mikroorganismy, ale umožňují tak velké proudění vzduchu, že se rychle ochlazují. To je jeden z důvodů, proč se vlhká hromada palivového dřeva nebo hromada vlhkých štěpků nezahřívá. Opačným extrémem jsou hromady z jemně rozemletých nebo měkkých, vlhkých materiálů, které mají tendenci se zhutňovat, čímž konvektivní výměna vzduchu končí a aerobní rozklad se zastavuje. Ve středu hromady bez vzduchu okamžitě převezmou vládu anaerobní organismy.

Kompostéry používají několik strategií k udržení proudění vzduchu. Nejzákladnější z nich je smíchání sortimentu složek tak, aby hrubé, tuhé materiály udržovaly sypkou strukturu, zatímco měkké, pružné materiály mají tendenci částečně vyplňovat mezery. Nicméně i když hromada začíná dostatečně nadýchaná, aby umožnila dostatečné proudění vzduchu, s rozkladem materiálu měknou a mají tendenci se sesouvat do hmoty bez vzduchu.

Pravidelné obracení hromady, její rozrývání vidlemi a opětovné skládání na hromadu obnoví volnější strukturu a dočasně doplní pórové prostory čerstvým vzduchem. Protože vnější povrchy kompostové hromady se nezahřívají, mají tendenci zcela vyschnout a nerozkládají se, otáčením hromady se také otáčí nerozložená slupka k jádru a následně se izoluje více rozloženým materiálem odebraným ze středu původní hromady. Hromadu, která vychladla, protože se stala anaerobní, lze rychle napravit otočením.

Hromady lze také budovat se základní vrstvou z jemných klacků, menších odřezků stromů a suchého kartáčového materiálu. Tento porézní podklad má tendenci zvyšovat přísun vzduchu zpod hromady. Jednou z účinných provzdušňovacích technik je postavit hromadu na nízkou plošinu z latí nebo silné železářské tkaniny.

Větší hromady mohou mít zabudované vzduchové kanály podobně jako světelné studny a dvorky prosvětlující vnitřní prostory vysokých budov. Při stavbě hromady se každé tři nebo čtyři metry rozmístí svislé těžké dřevěné plotové sloupky, sloupky 4 x 4 nebo plastové trubky velkého průměru s četnými čtvrtpalcovými otvory. Jakmile se hromada vytvoří a začne se zahřívat, dřevěné sloupky se rozkmitají a pak se zvednou, čímž se vytvoří mírně kuželovitý průduch shora dolů. V hromadě lze ponechat perforované plastové větrací trubky. Díky těmto průduchům není žádná část hromady vzdálena od kyslíku více než několik metrů. [11]

2.8 Stanovení zralosti a stability kompostu

Stabilita kompostu má vliv na jeho vytváření a používání. Stabilní a vyzrálý kompost je takový, který ukončil aktivní období kompostování a dostatečně vyzrál, takže došlo k dalšímu rozkladu organických kyselin a sloučenin odolných vůči rozkladu, tvorbě huminových sloučenin a tvorbě dusičnanového dusíku. Použití nezralého kompostu pro pěstování v květináčích nebo pro aplikaci na půdu může poškodit nebo zahubit rostliny kvůli nadměrnému poměru C : N, amonnému dusíku, těkavým organickým kyselinám nebo jiným fyto toxickým sloučeninám. Spolehlivý test zralosti kompostu je nutný, aby se předešlo škodám, které by mohly způsobit způsobené aplikací nezralého kompostu. Test zralosti kompostu také pomáhá určit, zda je kompost vhodný pro skladování. Používá se několik metod pro měření

stability kompostu, ale žádná z nich se neukázala jako zcela spolehlivá. Kromě toho jsou tyto metody často složité a nákladné.

Jednoduchým a levným testem pro stanovení zralosti kompostu je Dewarova zkouška samozahřívání. Při tomto testu se vzorek kompostu a zchladí se na pokojovou teplotu. Poté se vloží do Dewarovy baňky, což je dvoustěnná nádoba s podtlakem mezi stěnami, aby se snížil přenos tepla.

Nárůst teploty, k němuž dojde během pobytu vzorku v této baňce, ukazuje stabilitu kompostu. Vztah mezi nárůstem teploty a stabilitou kompostu je nepřímý úměrný, takže čím více se vzorek zahřívá, tím nižší je jeho stabilita. Pokud se vzorek kompostu nezahřeje na více než 20 °C nad teplotu okolí, lze kompost skladovat bez problémů způsobených vysokou úrovní pokračující mikrobiální aktivity (např. anaerobní rozklad, zápach, produkce fyto toxických sloučenin). V tabulce 2-1 je uvedeno hodnocení a popis stability pomocí Dewarovy metody pro stanovení zralosti kompostu.

Metoda vyvinutá společností Woods End využívá k měření stability kompostu oxidační a redukční (redoxní) potenciál kompostu. Při této zkoušce se změří redoxní potenciál navlhčeného vzorku a poté se umístí do nasycené inkubace na 24 hodin. Redoxní potenciál stabilního materiálu se během inkubace výrazně nemění. Čím větší je pokles redoxního potenciálu, tím nižší je úroveň stability. Měření redoxního potenciálu ovlivňuje textura, přítomné minerální druhy, vlhkost a přísun kyslíku. Mechanismy tohoto testu nejsou jednoznačně známy, ale nízký redoxní potenciál ukazuje na nízkou stabilitu, protože ke ztrátě plynného dusíku a pachových látek dochází pouze při nízkém redoxním potenciálu. [10]

2.9 Kvalita kompostu

Kvalita kompostu je složitá a souvisí s předpokládaným použitím konečného produktu. Mezi aspekty kvality patří jeho zralost, typ, obsah živin a obsah kontaminantů. Mezi užitečná opatření patří poměr C : N, celkový dusík, přístupný dusík včetně poměru dusičnanů k amoniu a index čerpání dusíku (NDI).

Mezi potenciální kontaminanty řadíme choroby, škůdce a plevele, inertní materiály, jako jsou plasty ve všech formách, kovy, sklo a těžké kovy.

Mnohé těžké kovy jsou ale důležitými živinami pro plodiny a kompost často obsahuje značné množství zejména zinku a mědi. To je pro mnohé půdy prospěšné, zejména pro ty, které mají obvykle nedostatek těchto prvků. Pokud však kompost s obsahem mědi a zinku překročí přípustné množství, může se stát pro mnohé plodiny nežádoucím, a proto je třeba pravidelně testovat obsah v půdě, aby se zajistilo, že se nestane potenciálně toxickým pro plodiny. [5]

Tabulka 2 – Znaky jakosti kompostu [18]

Znak jakosti	Jednotky	Hodnota
Vlhkost	% hm.	min. 40–60
Spalitelné látky v sušině vzorku	% hm.	min. 25
Celkový dusík jako N přepočtený na vzdušný vzorek	% hm.	min. 0,6
Hodnota pH		6 – 8,5
Poměr C : N		min. 20, max. 30
Nerozložitelné příměsi	%	max. 2

2.10 Druhy kompostovacích technologií

Technologie kompostování musí zabezpečovat vhodné podmínky pro činnost aerobních mikroorganismů a tím dosažení optimálního průběhu kompostovacího procesu.

Zakládka kompostu proto musí splňovat předpoklady umožnění výměny plynů mezi kompostovanými surovinami a okolím. Zakládka musí být porézní a kyprá, nesmí být ani suchá ani příliš přehydratovaná. Obzvláště důležitá je též homogenita a důkladné promíchání jednotlivých surovin. To zapříčiní, aby jejich styčný povrch byl co největší a mohly na sebe působit co nejrychleji.

Z technologického hlediska se rozlišují následující základní způsoby výroby kompostů:

- kompostování v pásových hromadách,
- kompostování v plošných hromadách,
- Intenzivní kompostovací technologie:
 - I. kompostování v biofermentorech (bioreaktorech),
 - II. kompostování v boxech nebo žlabech,
- kompostování ve vacích (Ag Bag kompostování),
- vermikompostování. [4]

Při rozhodování o vhodné kompostovací technologii převažují většinou ekonomická hlediska. Všeobecně lze konstatovat, že není problém technicky vyřešit jakoukoliv kompostovací technologii, otázkou je ale výše její počáteční investice a následujících nezbytných provozních nákladů, které se výsledně promítají v ceně vyrobeného produktu.

2.10.1 Kompostování na volné ploše

Kompostování na volné ploše dělíme na 2 základní skupiny, a to kompostování v plošných hromadách a kompostování v pásových hromadách.

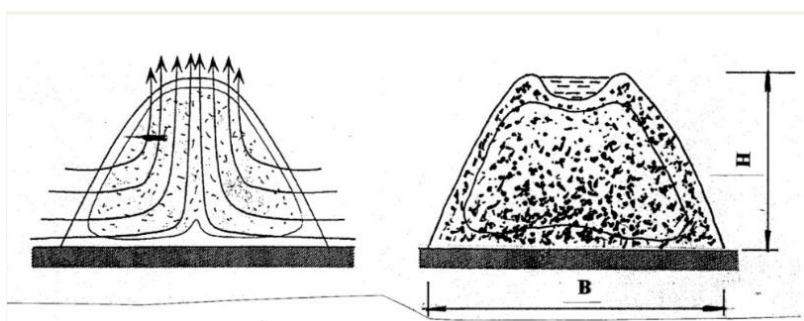
Kompostování v plošných hromadách

Kompostování na volné ploše v plošných hromadách je nejstarší kompostovací technologií. V minulosti se uplatňovala zejména proto, že nebyla vhodná mechanizace k zakládání pásových hromad. Plošné hromady se s výhodou zakládaly na souvratích. Kompost se zakládal vrstevně z chlévské mrvy, slámy a dalších odpadů do výšky 0,5 m a zpravidla byl zavlažován močůvkou. Tento kompost byl převrstvován pluhem, který horní vrstvu zapravoval dolů stejným způsobem, jako by se prováděla hluboká orba. Plocha, která takto vznikla, byla po 2–3 letech využívána jako tzv. tučný hon k pěstování krmných plodin nebo teplomilných zelenin. Obdělávání těchto plodil rovněž částečně nahrazovalo překopávání kompostu. Po zrušení „tučného honu“ se kompost rozvezl na zbývající část pozemku.

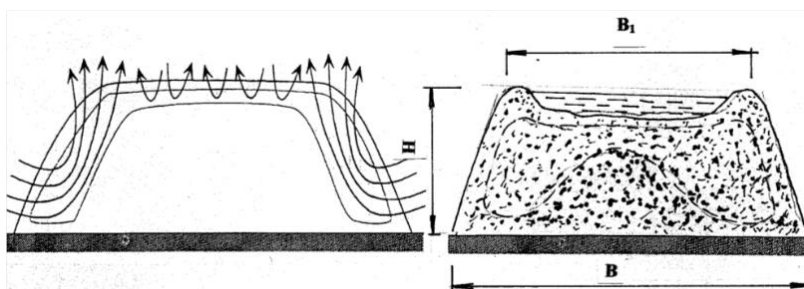
V novodobém kompostování jsou plošné hromady využívány zejména ve velkých kompostárnách, u městských aglomerací, kde je zpracováváno velké množství biologicky rozložitelných odpadů, a to zejména na BRKO. Plošné hromady jsou zakládány až do výšky 5 m, jsou překopávány speciálními překopávací kompostu s pracovním ústrojím, které pracuje z boku kompostovací hromady, a kompost je vrstven na nové, vedlejší stanoviště. [14]

Kompostování v pásových hromadách

Kompostování v pásových zakládkách je technologie, při které jsou zpracovávané suroviny zakládány do pásových hromad lichoběžníkového nebo pásového průřezu. Zakládka musí být založena na zabezpečených plochách se speciálními požadavky. Délka hromad je omezena velikostí těchto disponibilních ploch.



Obrázek 2 – Trojúhelníkový profil hromady [7]



Obrázek 1 – Lichoběžníkový profil hromady [7]

Celkový profil a velikost pásové hromady spolu úzce souvisí a ve velké míře na nich závisí i velikost použité mechanizace, zejména šířka záběru překopávače kompostu.

Kompostování v pásových zakládkách můžeme rozdělit na 2 základní skupiny, podle kvality zabezpečení kompostovací plochy, které musí zamezit případnému ohrožení a kontaminaci podzemních vod, a podle množství surovin, které kompostujeme, na kompostování „na kompostovišti“ nebo na průmyslové kompostárně. K provozování kompostoviště se počítá se zpevněnou plochou s roční produkcí 50 až 500 t. Na provoz průmyslové kompostárny je vyžadována vodohospodářsky zabezpečená plocha s roční produkcí kompostu minimálně 500 t.

Tato technologie kompostování na volné ploše v pásových zakládkách je ideální výchozí technologií pro provozování řízeného kompostování (nazývaného také kontrolované mikrobiální kompostování či rychlokompostování). Tato technologie umožňuje vysokou úroveň mechanizace a využití vysoce výkonné techniky.

Při běžném tradičním kompostování v pásových zakládkách je běžná doba zrání kompostu tři až šest, někdy i dvanáct měsíců. O délce jednotlivých fází kompostovacího procesu rozhoduje zejména skladba surovin, jejich homogenita v hromadě, kvalita a počet překopávek, ale například i roční období.

Urychlení celého procesu lze docílit hlavně:

- Optimalizací surovinové skladby,
- Sledováním procesních podmínek (teplota, vlhkost, stupeň provzdušnění),
- Mechanizací rozhodujících operací v technologickém procesu,
- Zakrýváním kompostovacích hromad kompostovací textilí.

Dodrží-li se tyto předpoklady, lze hovořit o řízeném kompostování, kdy každý zásah do kompostovacího procesu je přesně načasován, má své opodstatnění a provádí se jen a pouze na základě detailního monitorování jeho průběhu. Takto řízené kompostování značně urychlí celý proces, proto se právem nazývá rychlokompostování. Kompletní rozklad proběhne již za osm až dvanáct týdnů, což je od běžného kompostování značný posun. [14]

Stále vyšší produkce BRO a legislativní rámec EU (např. Směrnice Rady č.1999/31/EC, o skládkách odpadů) vyžaduje v ČR hledat nejvýhodnější způsoby zpracovávání biologicky rozložitelných odpadů (BRO), zejména odpadů z údržby městské a zahradní zeleně, odpadů z domácností, popř. i zemědělské zbytkové biomasy. K nejčastěji používaným způsobům zpracovávání BRO patří kompostování na volné ploše v pásových hromadách. [3]

Kompostování ve vácích

Při kompostování ve vaku jde v podstatě o kompostování v pásových hromadách na volné ploše, kdy hromady jsou uloženy v uzavřených PE-vacích známých z oblasti uskladňování statkových krmiv, avšak upravených pro kompostování.



Obrázek 3 – Kompostovací vaky [7]

Kompostovací vaky jsou plněny pomocí speciálního stroje zpracovávanými surovinami, které jsou před vložením do vaku dostatečně promíchány a zhomogenizovány. Naplněné kompostovací vaky lze umísťovat na plochu, která je pouze zpevněná.

Z důvodu zajištění potřebné aerace je při zakládání surovin do vaku souběžně vkládána PE-hadice zajišťující rovnoměrný přívod vzduchu do celého profilu vaku podle výsledků kontinuálního monitorování teploty. Potřeba překopávání hromad v průběhu kompostovacího procesu odpadá. Po ukončení kompostování je kompost z kompostovacího vaku vyjmut a podle potřeby dále zpracováván. [3]

Stále vyšší produkce BRO a legislativní rámec EU (např. Směrnice Rady č.1999/31/EC, o skládkách odpadů) vyžaduje v ČR hledat nejvýhodnější způsoby zpracování biologicky rozložitelných odpadů (BRO), zejména odpadů z údržby městské a zahradní zeleně, odpadů z domácností, popř. i zemědělské zbytkové biomasy. K nejčastěji používaným způsobům zpracování BRO patří kompostování na volné ploše v pásových hromadách. [3]

2.10.2 Intenzivní kompostovací technologie

Přestože se jednotlivé varianty intenzivních kompostovacích technologií liší v mnoha směrech, jednu vlastnost mají společnou. U všech technologií dochází k zintenzivnění první fáze kompostovacího procesu, ve které dochází k mineralizaci vstupních materiálů.

Princip spočívá v dosažení vyšších teplot a tím následnému zkrácení doby trvání první fáze kompostování a celého procesu, díky provzdušňování, které zintenzivní proces degradace. V této fázi se mění struktura a vzhled, vysoké teploty likvidují patogenní a hnilobné zárodky, kompost se zbaví zápachu a dojde k celkové hygienizaci. Po této fázi už je kompost volně ložen na hromady, kde dozrává. Intenzifikace je ale investičně náročná.

Název intenzivní kompostovací technologie ale necílí jen na pomoc doplňkové techniky, proces se zefektivňuje i za pomoci podpurných přísad. Cílem je kromě základní hygienizace kompostu a zabránění šíření nebezpečných látek do okolního prostředí i zabránění úniku emisí a pachových plynů. Díky tomu se pak intenzifikovaná zařízení stávají ještě ekologičtější variantou zpracování BRO za současného ukládání na skládky odpadu.

Kompostování v biofermentorech

Za jednu z nejnovějších technik, která se na českém trhu objevila, je považováno zpracování biologicky rozložitelného odpadu v biofermentorech, obecně spíše známých pod termínem bioreaktory. Ve většině případů se touto technikou zpracovává BRKO pocházející z potravinářských a zemědělských provozů, kalů z ČOV apod. Kompostovací technologie, která je používaná v těchto zařízeních, dokáže obstojně nahradit konvenční způsoby kompostování. Výsledný produkt mívá jakostní znaky srovnatelné s organickým hnojivem, kompostem, který lze využívat v aplikačním zemědělství, při údržbě městské zeleně nebo krajinných úpravách.

Jedná se o plně automatické kompostovací systémy, které probíhají v uzavřených nádobách, instalované v místě vzniku zpracovávaných surovin (odpadů). U některých zařízení je nutnou součástí pro jejich správný chod nasazení aerobních vysokoteplotních mikroorganismů, které bývají součástí průmyslové ochrany zařízení. Díky jejich působení dochází ke značné redukci doby úplného rozkladu biomasy, proces v zařízení bývá obvykle ukončen již v průběhu 24-48 hodin. Při procesu je produkován jen nepatrný zápach a jeho koncový produkt je bez choroboplodných zárodků a plevelů.

K základním benefitům uzavřených kompostovacích zařízení patří:

- Možnost zpracování nejen běžných organických odpadů, ale i gastroodpadů,
- Možnost zpracování bioodpadů v místě jejich produkce,
- Vyloučením přepravy odpadů dochází ke snížení zátěže pro životní prostředí,
- Možnost kontinuálního zpracování bioodpadů (čímž odpadá skladování a třídění),
- Možnost zpracování suroviny s vysokou vlhkostí.

Mezi nevýhody pak řadíme:

- Poměr mezi pořizovací cenou a výkonností zařízení,
- Výsledný produkt nevykazuje ve sto procentech případů jakostní znaky kvalitního kompostu,
- Menší kapacita zařízení,
- Zvýšené požadavky na odbornost a zaškolení obsluhy zařízení. [6]

Kompostování ve žlabech

Prostory pro kompostování mají tvar podlouhlého žlabu, který je zaplněný kompostem. Výroba kompostu probíhá metodou kontrolovaného aerobního rozkladu s možností podpory procesu přístupem vzdušného kyslíku do tělesa výrobní zakládky pomocí ventilačních jednotek.



Obrázek 4 – Vodohospodářsky zabezpečený kompostovací žlab [7]

Biodpady jsou homogenizovány v poměrech podle zadané receptury a navezeny do zakládky příslušného kompostovacího žlabu. Po ukončení návozu a uzavření zakládky je výrobní zakládka podle potřeby provzdušňována samostatnou ventilací výrobního boxu, popřípadě je výrobní zakládka vlhčena.

Během kompostování dochází ke ztrátě objemu i hmotnosti materiálu a tam během výroby může být zakládka sloučena s předchozí nebo následující zakládkou do jednoho žlabu, příp. přeházena pro rychlejší dozrávání. Dále může být během manipulace se zakládkou do kompostu ve výrobě přimísena další surovina pro úpravu matrice, vlhkosti nebo kvality kompostu.

Kompostování v boxech

Jedná se o polouzavřené zařízení. Boxy z monolitických desek jsou 10-12 m dlouhé, 3-4 m široké a 2,50 - 3,0 m vysoké a jsou umístěny z důvodu ochrany před převlhčením pod střechou. Boční stěna je otevíratelná, zařízení je vybaveno jeřábovou drahou na stěnách boxů, po které pojíždí jeřábový most s kočkou.

Celý systém je vybaven zavlažovacím zařízením, ventilátory vhánějící vzduch přes rošty uložených na dně boxů a zabezpečují tak provzdušnění kompostu. Překopávací zařízení je neseno na jeřábové kočce a pracovním orgánem je spirála opatřena výstupky, které zabezpečují průběžnou mechanickou destrukci částic materiálu. Vynášením materiálu z dolních vrstev základky až na povrch dochází k intenzivnímu provzdušňování.



Obrázek 5 – Kompostovací boxy [7]

Doba kompostování v boxu trvá 2 až 4 měsíce, celý proces je plně automatizovaný a zařízení je vybaveno centrálním řídicím a kontrolním systémem. [7]

2.10.3 Vermikompostování

Vermikompostování pochází z latinského slova vermis, což znamená červ. Při vermikompostování je využívána interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů. Žížaly v tomto procesu zabezpečují překopávání, fragmentaci a aeraci. Oproti klasickému kompostování není potřeba zpracovávané suroviny překopávat. Tím se vermikompostování řadí mezi nízkonákladové technologie zpracování bioodpadu navíc plně přátelské k životnímu prostředí. (8)

Vermikompostování lze popsat jako dekompoziční proces, při kterém dochází k oxidaci a stabilizaci organických materiálů spolupůsobením žížal a mikroorganismů. Žížaly pozrou kompostovaný materiál a ten projde jejich trávicím traktem, kde jsou přeměněny organické látky v exkrementy. Kompost získaný pomocí žížal dosahuje vyššího stupně přeměny organické hmoty než běžný kompost. Vermikompost taktéž biohumus má po vysušení vzhled jemné lesní půdy. Vermikompost obsahuje vysoký podíl přírodních enzymů, huminových kyselin a růstových regulátorů např. auxinů, gibberelinů, cytokininů a dalších. Před samotným začátkem s vermikompostováním je nutné vybrat vhodné stanoviště. Zvolenou plochu je vhodné zpevnit a vyspádovat kvůli odvodu průsakové vody, která se používá při zavlažování (kropení) materiálu v období kultivace. Zpevnění terénu pod kultivační hromadou zabraňuje vniknutí predátorů, především krtků a usnadňuje pohyb mechanizace. Pro zpracování 1 Mg suroviny je zapotřebí 1-2 m² plochy (při vrstvení do výše 60 cm). [19]

2.10.4 Kompostování uhynulých zvířat

Kompostování uhynulých zvířat je vynikající alternativou k tradičním metodám jejich likvidace, zejména ke spalování a zakopávání. Jedná se o ekologicky bezpečnou a relativně levnou metodu přeměny uhynulých těl na užitečný a často prodejný produkt. Systém kompostování pro tento účel je snadno proveditelný a vyžaduje minimální pracovní, časové a kapitálové investice. Bohužel, česká legislativa tento způsob neumožňuje a je zatím běžná jen na území Mexika.

Kompostování uhynulých zvířat je většinou zaměřeno na úhyn brojlerů, ale úspěšně se používá i pro nakládání s úhynem prasat, krůt, a dokonce i skotu. Pro zajištění úplného rozkladu větších zvířat je nutná delší doba kompostování. Způsobem, jak zkrátit potřebnou dobu, je provést řezy ve větších svalech a otevřít střeva, aby se zvětšila plocha vystavená biologické aktivitě.

Nejpoužívanější metodou kompostování uhynulých zvířat je metoda kompostování v zásobnících. Může se jednat o jednostupňovou nebo dvoustupňovou metodu, která využívá primární a sekundární zásobníky. Jednostupňová metoda se doporučuje pro menší provozy, které nemají k dispozici potřebné vybavení, například čelní nakladače. Dvoustupňová metoda se doporučuje pro provozy, které mají vysokou úmrtnost a potřebné vybavení pro kompostovací operace. Třetí stupeň může být nutný pro větší zvířata, jako jsou krůty a dospělá prasata.

Materiál se do primárního zásobníku nakládá ve vrstvách. Teplota se během 2 až 4 dnů zvýší na 57 až 65 stupňů Celsia a zůstane zvýšená po několik dní. Jakmile se teplota začne

ochlazovat, obvykle během 7 až 10 dnů, je materiál vyložen z primárních zásobníků. Materiál z primárních zásobníků se poté buď naloží do sekundárních zásobníků, nebo se v případě jednostupňových operací uloží do vytvrzovacích hromad. Materiál v sekundárních zásobnících se po 7 až 10 dnech znovu zahřeje a ochladí. Vytvrzování se obvykle provádí v uzavřeném skladovacím prostoru nebo venku pod ochrannou plachtou. To umožňuje nakládání nového materiálu do sekundárních zásobníků. Hotový kompost lze prodat nebo použít na půdu.

Receptura pro kompostování uhynulých zvířat by měla být sestavena tak, aby bylo dosaženo poměru C : N mezi 13:1 a 15:1 a vlhkosti 40 až 60 %. Těla uhynulých zvířat mají nízký poměr C : N. Drůbeží trus, který se často používá v receptuře pro kompostování uhynulých zvířat, má také nízký poměr C : N, pokud neobsahuje značné množství podestýlky. Pro dosažení receptury s doporučeným poměrem C : N je třeba do směsi přidat uhlíkatý doplněk. Obvykle se používá sláma nebo piliny. [15]

2.11 Mechanizace kompostování

2.11.1 Drtiče a štěpkovače

Je-li nutné zpracovat dřevní hmoty nebo vstupní suroviny s větší hrubostí, kompostárna musí být vybavena vhodným štěpkovačem, nebo drtičem pro úpravu velikostí vstupních surovin.

Uvnitř těchto strojů se značně redukuje objem surovin (nutné rozdrtit organické zbytky na malé částice o objemu 5 až 50 mm³) a vytváří se zhomogenizovaná hmota, která může být použita jako vstupní surovina do zakládky kompostu.

Rozdělení drtičů (strojů, které zpracovávají drobné větve do průměrů 30 až 40 mm, trávy, zbytky zeleniny, květiny, listí apod.) a štěpkovačů (strojů, které zpracovávají dřevní zbytky o větších rozměrech, vytvářející štěpky požadované velikosti) je prováděno podle:

- způsobu pohonu,
- druhu řezného ústrojí,
- druhu podávacího ústrojí
- výkonnosti, velikosti a množství zpracovávaných organických zbytků,
- způsobu přepravy.

Podle způsobu pohonu rozdělujeme stroje pro drcení a štěpkování na stroje:

- s elektromotorem,
- spalovacím motorem,
- připojitelné k energetickému prostředku.

Menší drtiče a štěpkovače disponují elektromotory o výkonu 0,8 až 2,2 kW. Elektromotory o výkonu 3 kW jsou pak používány na drcení komunálního odpadu.

Spalovacími motory jsou vybaveny drtiče a štěpkovače, s nárokem na větší výkon, pro oblasti bez elektrického proudu. Jsou osazeny spalovacími motory o výkonu 2,2 až 3,7 kW. Tyto stroje dokáží zpracovat větve až do průměru 50 mm.

Drtiče a štěpkovače se schopností připojení k vývodovému hřídeli malotraktoru jsou schopné zpracovávat větve do průměru 150 mm a jsou určeny pro těžší práce.

Dále můžeme dělit drtiče a štěpkovače dle řezného ústrojí na:

- s řezným ústrojím diskovým,
- s řezným ústrojím bubnovým.

Diskové řezné ústrojí je charakteristické tím, že sekací nože jsou uloženy na setrvačnicku v rovině kolmé k ose otáčení. Nože jsou uloženy radiálně a jejich počet je v rozmezí od 2 do 7 ks. Průměr setrvačnicku je od 720 mm do 2 000 mm.

Bubnové řezné ústrojí se vyznačuje tím, že nože jsou uloženy na povrchu pláště bubnu rovnoběžně s osou otáčení. Způsob uložení nožů umožňuje menší rozměry setrvačnicku při relativně větších rozměrech vstupního prostoru.

Podle druhu podávacího ústrojí rozdělujeme štěpkovače:

- s nuceným podáváním materiálu,
- se samopodávacím efektem,
- s gravitačním podáváním materiálu.

Podávání materiálu nucené je řešeno zpravidla soustavou podávacích válců s nuceným pohonem závislým ale i nezávislým na otáčkách nožového setrvačnicku; je nejčastějším vybavením pojízdných štěpkovačů.

Efekt samopodávání je založen na principu vtahování materiálu působením pohybu nožů při ručním podáváním.

Podávání gravitační je charakteristické pro průmyslové stacionární stroje.

Podle výkonnosti a velikosti lze drtiče a štěpkovače rozdělit na:

- Zahradní (drtiče) - jsou vhodné převážně pro zpracování odpadu ze zahrad (větve, kořeny, listy). Jsou mobilní, resp. lze je přemísťovat naklopením na dvě kola a tažením převézt na určené místo. Pracují se speciálně tvrzenými noži, které se otáčejí proti pevným dorazům. Dále disponují násypkou s ochranou proti zpětnému výletu materiálu. Pro pohon slouží motor (malý spalovací motor, elektromotor) do výkonu 3 až 6 kW.

- Malé jsou charakterizovány tím, že nemají vlastní podvozek, jsou nesené na traktoru s výkonem motoru 15 až 40 kW.
- Střední štěpkovače jsou konstruovány jako jednonápravové přívěsy tažené zpravidla traktorem nebo poháněny motory s výkonem 30–100 kW.

Podle způsobu přepravy se drtiče a štěpkovače rozdělují na:

- přenosné,
- převozná – jednoosá a dvouosá,
- samojízdná.

Přenosné štěpkovače a drtiče mají většinou elektromotor o výkonu do 1,6 kW. Jejich hmotnost je 25 až 30 kg. Hodí se pro menší nárazové práce.

Jednoosým podvozkem bývají osazeny větší drtiče a štěpkovače pro snazší přepravu k hromadě zbytkové biomasy. Vhodnější jsou podvozky s většími koly.

Na dvouosých podvozcích jsou většinou drtiče a štěpkovače zapojitelné k malotraktoru nebo nosiči náradí. [16]

2.11.2 Překopávače kompostu

Za nejdůležitější operaci v celém technologickém postupu rychlokompostování je považováno překopávání. Jeho účelem je kompost provzdušnit, a tím dosáhnout řízené mikrobiální činnosti. Z pohledu dosahované výkonnosti, celkového využití pracovního času, kvality práce, ale i prostorových nároků na kompostovací stanoviště, jsou nejvýhodnější překopávače pracující kontinuálně. Stroje s přerušovanými pracovním cyklem (nakladače) nachází užití pouze jako nouzové řešení a nelze je pro překopávání malých hromad v žádném případě doporučit.

Požadavky na překopávače kompostu

Požadavky na konstrukční řešení překopávačů vyplývají zejména z charakteru zpracovávaných surovin a z objemu produkce kompostu, mezi nejdůležitější patří:

- kvalitní promísení a provzdušnění surovin v celé výšce překopávaného profilu,
- nízká pracovní rychlost a možnost její regulace v rozsahu 0–1000 m.h⁻¹,
- případně částečné rozmělnění navezených surovin,
- formování překopávaných surovin do hromady rozměrově určeného profilu,
- dobrá manévrovatelnost a pojezdové vlastnosti pro pohyb po pracovní ploše.

Rozdělení překopávačů kompostu podle energetického zdroje:

- připojitelné
- k traktoru
- nesené
- návěsné
- přívěsné
- k víceúčelovému nosiči
- nesené
- návěsné
- samojízdné
- se spalovacím motorem
- s elektromotorem

podle výkonnosti:

- malé do 200 t.h⁻¹ (do 300 m³.h⁻¹)
- střední 200–400 t.h⁻¹ (300–600 m³.h⁻¹)
- velké nad 400 t.h⁻¹ (nad 600 m³.h⁻¹)

podle pracovního ústrojí:

- rotorové
- s přesunem hmoty dozadu
- s přesunem hmoty do strany
- dopravníkové

Překopávač kompostu nesený

Nesený překopávač zpracovává hmotu rotorem tak, že ji mísí a přesouvá do strany, kde následně vytváří novou hromadu. Tím pádem umožňuje zpracovávat materiál z více řad či z jedné široké řady do jedné řady bez požadavku na místo pro průjezd soupravy.

Překopávač kompostu nesený je možné pro jeho málo stabilní pracovní polohu využívat jen pro lehké materiály a vyžaduje energetický prostředek s plazivou rychlostí do 1 km.h⁻¹.

Překopávače nesené vzadu a vyžadující jízdu energetického prostředku při překopávání pozpátku, se někdy označují jako tlačené.

Pokud je k nosnému rámu připevněno podpěrné kolo, jsou potom takoveto stroje zařazovány do skupiny překopávačů návěsných.

Překopávač kompostu přívěsný

Prívěsný překopávač bývá zpravidla tažen za energetickým prostředkem a pracovní ústrojí (rotor) překopává kompost na hromadě, podle které energetický prostředek jede plazivou rychlostí do 1 km.h-1. Prívěsný překopávač má dobrou stabilitu při překopávání. Je vhodný pro středně těžké překopávané suroviny a vyžaduje energetický prostředek s plazivou rychlostí do 1 km.h-1. Většina prívěsných překopávačů je vybavena nádrží, umístěnou na podvozku, která slouží jednak jako zátěž pro zlepšení pojzdových vlastností, jako protizávaží při sklápění mostu a jako zásobník pro zvlhčovací tekutinu či startovací roztok.

Překopávač kompostu samojízdný

Jedná se o energetický prostředek mobilní, u kterého lze využívat různé druhy pohonu, a tím i dosahovat různých výkonů. Překopávač kompostu samojízdný je složen z pojzdového ústrojí a překopávacího ústrojí. Pro pohon těchto ústrojí slouží buď jeden agregát, nebo je pro každé ústrojí agregát samostatný.

Pro pojzd překopávač využívá kola s pneumatikami anebo pásy, a to jak gumovými, tak i ocelovými. Překopávací ústrojí je složeno z tunelu, v jehož spodní části je umístěn pracovní rotor s pravolevou šnekovicí vybavenou pracovními orgány. Rotor bývá výškově nastavitelný. Mnohá zařízení jsou vybavena i různými příhrnovacími štíty.

Všechny samojízdné překopávače spadající do kategorie malé mechanizace, bývají velmi a mají velmi snadnou a pohodlnou obsluhu.

Jejich využití bývá spíše pro lehké a středně těžké suroviny a tomu odpovídá i pojzdová rychlost, která se pohybuje v rozmezí 0 až 3 km.h-1. [16]

2.11.3 Prosévací a separační zařízení

Prosévací zařízení slouží k úpravě kompostu, osahuje-li vyšší podíl nerozložených nebo nerozložitelných částí. Kompostárnu je vhodné vybavit těmito prosévacími zařízeními s odpovídajícím výkonem, která umožní třídění kompostu na dvě (i více) frakcí určených k expedici nebo dalšímu zpracování v kompostovacím procesu. Různé typy prosévacích zařízení se volí podle požadavku na finální produkt.

Separátory se používají v případech kompostování bioodpadu z odděleného sběru BRKO. Důvodem je častý výskyt plastových či jiných příměsí, které je nutné oddělit po prosetí kompostu prosévacím zařízením. To znamená, že nadsítný materiál je dotříděn na lehké příměsí (plasty apod.), kovový odpad, kameny a čistý nadsítný BRO.

Rozdělení prosévacích zařízení

Vibrační třídiče s rovinným sítem – Principem činnosti je přerušovaný posun surovin ve směru spádnice po šikmo uloženém rovinném sítu. Výhodou je konstrukční jednoduchost, vysoká životnost a malá energetická náročnost. Energetické nároky na pohon vibračních sítí jsou asi 0,8 až 1kW.m⁻² plochy síta.

Rotační třídiče s válcovým sítem – Principem činnosti je plynulý posun materiálu vnitřním povrchem rotujícího válcového síta, který má mírně šikmou horizontální osu otáčení a je uloženo na otočných rolnách. U vodorovně uložených sít je pro pohyb materiálu uvnitř vložena šroubovice. Hlavní výhodou válcových sít je jejich vysoká výkonnost, která je dána dobrou průchodností surovin přes samočisticí elementy. Z konstrukčního hlediska můžeme rotační třídiče s válcovým sítem rozdělit na:

- mobilní – s elektromotorem 5 až 15 kW,
- mobilní – se spalovacím motorem 20 až 60 kW,
- stacionární – elektromotor s převodovkou.

Rotační rošty – Prosévací zařízení s rotačními rošty (někdy nazývané taky aktivními rošty) jsou tvořena soustavu hřídelů, na kterých jsou v pravidelných roztečích umístěny ocelové nebo pryžové elementy kotoučového, hvězdicového či jiného tvaru. Při otáčení hřídelů vždy stejným směrem dochází k pohybu surovin po pracovních plochách elementů a jeho třídění nastává propadem mezi elementy řazenými za sebou, podle roztečí od nejmenšího po největší. Hlavní výhodou rotačních roštů je jejich vysoká výkonnost, která je dána dobrou průchodností materiálu přes samočisticí elementy.

Třídící a drtící lopaty – Speciálním typem prosévacího zařízení jsou třídící a drtící lopaty, které si prozatím v našich podmínkách hledají uplatnění. Lze jimi vybavit čelní nakladač, případně je možno s jejich pomocí současně promíchávat a drtit zpracovávané suroviny. Po ukončení kompostovacího procesu lze třídit i hotový kompost.

Rozdělení separačních zařízení

Odstředivé odlučovače – Odstředivé odlučovače pracují na principu různých balistických drah nestejně hmotných částic, na principu odlišné intenzity odrazu pružných a nepružných částic či na principu rozdílných valivých a třetích vlastností částic.

Třídiče využívající geometrického tvaru – Tato zařízení využívají pro třídění rozdílný geometrický tvar separovaných částic, kdy na tzv. překulovačích dochází k propadání částic s kulovitým tvarem a ostatní částice, které se nepřekulují, jsou vynášeny dopravníkem dále.

Vzduchové třídiče – U těchto zařízení dochází k oddělení lehkých surovin (fólie, papír) proudem vzduchu, zbylá těžká frakce odchází do třídiče. [14]

2.12 Ekonomické zhodnocení

Dostupnost a cena materiálů ke kompostování

Hlavní surovinou pro většinu zemědělských kompostérů je hnůj nebo uhynulá zvířata. Jako příměsi lze použít i jiný materiál z farmy, například zbytky plodin a zkaženou slámu. V úvahu by měl připadat prakticky jakýkoli odpad produkovaný na farmě, jehož likvidace by byla spojena s vysokými náklady nebo s nímž je obtížné manipulovat. Kompostování tohoto materiálu snižuje náklady a zlepšuje jeho manipulační vlastnosti. Výhodou získávání většiny nebo všech surovin z farmy je, že náklady na materiál jsou obecně minimální.

Mezi potenciálními zdroji surovin mimo farmu patří jiné farmy, obce, dostihové dráhy nebo stáje a zpracovatelé potravin, ryb nebo dřeva. Přednostně je materiál mimo farmu k dispozici buď zdarma, nebo za poplatek za překopání a je kompatibilní s kompostováním. Obce často platí provozovateli kompostu poplatek za přehazování odpadu ze zahrad, jako je tráva a listí, a za karton a papír. Výše poplatků za skládkování se liší v závislosti na nákladech na jiné způsoby likvidace, které mají obce k dispozici.

Při hodnocení je třeba zohlednit náklady na dopravu surovin. Materiál, který je zdarma k odběru, nemusí být nákladově efektivní, pokud jsou náklady na odvoz nadměrné a musí je hradit kompostárna.

Stanovení ceny produkce

Po stanovení základních nákladů je třeba mít na paměti materiál, úkoly a vybavení, které se budou při kompostování používat. Na základě těchto znalostí lze odhadnout výrobní náklady a určit ekonomickou proveditelnost provozu. Pokud analýza odhalí, že není ekonomicky proveditelná, lze provést úpravy dříve, než se do provozu investuje značné množství času a peněz.

Výrobní náklady se v jednotlivých provozech a měsících značně liší. Závisí nejen na materiálu, provozu a trhu, ale také na dalších neovlivnitelných faktorech, jako jsou náklady na pracovní sílu, palivo, půdu a nákup a údržbu zařízení. Obtížně stanovitelnou položkou je zisk z prodeje kompostu. Provoz kompostárny může ztroskotat, pokud se při hodnocení marketingu a prodeje použijí příliš optimistické odhady.

Následný prodej

Pokud má být kompost prodáván, může vyžadovat další zpracování, například prosévání a pytlování. Prosévání je nutné zejména tehdy, má-li být kompost prodáván v pytlích. Pytlování lze provádět ručně nebo strojově. Oba způsoby pytlování vyžadují investici do pracovní síly a v závislosti na strojním zařízení použitém k pytlování minimální až značné kapitálové investice. Může být také zapotřebí další prostor a zastřešená plocha pro dlouhodobější zrání a vyšší kvalitu. Pokud je kompost prodáván pro účely mimo farmu, mohou být podle předpisů vyžadována povolení, licence a další testy a hlášení.

Hlavní alternativou prodeje hotového kompostu je jeho použití na půdě. To lze rovněž považovat za provozní náklady na provoz kompostárny.

3 Cíl práce a metodika

3.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je porovnání technologií pro kompostování biologických odpadů u různých metod kompostování.

3.2 Metodika

Prvním krokem bylo prostudování zadaného tématu z odborné literatury a článků uvedených v bibliografii. Na základě získaných informací a poznatků byl vypracován literární rozbor na téma „Moderní způsoby kompostování“. V dalším kroku došlo ke srovnání jednotlivých kompostovacích metod a vybrání těch nejefektivnějších. Na závěr bylo stanoveno ekonomické zhodnocení. V první části rešerše je vysvětleno, proč se vlastně kompostuje. Dále se tato část zabývá biologicky rozložitelným odpadem a kompostováním jako takovým, s podrobnějším rozebráním kompostovacího procesu a sledovaných hodnot, které jsou nezbytné ke správnému posouzení jednotlivých metod. Poté je cíleno konkrétně na jednotlivé technologie. Navazuje část, která nahlíží na mechanizaci používanou při kompostování. V poslední části této kapitoly je možné zjistit něco o ekonomickém pohledu na danou tematiku. Jako další kapitolu můžeme nalézt finální číselné porovnání nejefektivnějších metod vybraných na základě rešerše. Následují výsledky, diskuse a konečný závěr.

4 Vlastní práce – Porovnání technologií kompostování

V předchozí kapitole bylo zjištěno, že nejefektivnější technologií zpracování biologicky rozložitelného odpadu metodou kompostování, je kompostování v pásových hromadách a její alternativa, kompostování ve vácích. Jde o dokonalý poměr mezi rychlostí procesu a množstvím zpracovaných surovin, a proto je tato část věnována právě jim.

Jako první lze vidět tabulku kladů a záporů zmíněných technologií.

Tabulka 3 - Klady a zápory porovnávaných technologií

	Kompostování v pásových hromadách	Kompostování ve vaku
+	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Možnost snadné aerace ✓ Investičně nejméně náročný způsob (možno využít pouze malé mechanizace) ✓ Bezodpadová technologie (ekologicky šetrná) ✓ Jednoduchá technologie bez nutnosti velkého množství zakoupených strojů 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Není nutné překopávat, aerace zařízena provzdušňovací PE – hadicí ✓ Není nutná vodohospodářsky zabezpečená plocha ✓ Eliminace zápachu ✓ Mobilní systém, lze přemístit ✓ Klimatické změny zde nemají na proces vliv
-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Značný zápach oproti druhé zkoumané technologii ✓ Klimatické změny zde mají velký vliv na proces ✓ Možné jen na vodohospodářsky zabezpečené ploše 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Omezenost při zásahu do probíhajícího procesu ✓ Vzniká neekologický odpad, vaky jsou pouze na jedno použití ✓ Značné nároky na úpravu surovin před začátkem procesu ✓ Mohou se vyskytnout problémy s ucpáváním hadic a následně aearací

Další zajímavý ukazatel, který může být klíčový při výběru technologie, ke které se přiklonit, je bez pochyb pořizovací cena. Sestavené tedy byly tabulky investičních nákladů pro modelové kompostárny (tabulka 3 – technologie v pásových hromadách, tabulka 4 – kompostování ve vaku) o celkové ploše cca 5 000 m². Průměrné ceny jednotlivých operací byly stanoveny po analýze různých dostupných zdrojů, poté zprůměrovány a zaokrouhleny na stovky, pro lehčí orientaci v datech.

Můžeme vidět, že náklady na pořízení a zhotovení plochy připravené na kompostování, jsou u kompostování ve vacích značně nižší. Je to proto, že se zde nemusí budovat vodohospodářsky zabezpečená plocha, díky vlastní izolaci PE-vaků. Je zřetelné, že jednotkové náklady na zhotovení manipulační plochy, která musí být vodohospodářsky zabezpečena i u technologie kompostování ve vacích, jsou značně vyšší. Je to z důvodu množstevní slevy za m² vybudované vodohospodářsky zabezpečené plochy.

V tabulce je možné vidět investiční náklady na zřízení plochy pro technologii kompostování v pásových hromadách.

Tabulka 4 - Investiční náklady (pásové hromady)

Investiční náklady na výstavbu kompostovací plochy (pásové hromady)				
	Nutné investice	Velikost/objem	Jednotková cena	Náklady
1.	Celková plocha	5000 m ²	1300,- Kč/m	6 500 000 Kč
2.	Plocha pro realizaci kompostárny	4500 m ²	1300,- Kč/m	5 850 000 Kč
3.	Plocha pro bezpečný výjezd	550 m ²	750,- Kč/m	412 500 Kč
4.	Zpevněná plocha kompostoviště	3500 m ²	120,- Kč/m	420 000 Kč
5.	Manipulační plocha – vodohospodářsky zabezpečená	750 m ²	1300,- Kč/m	975 000 Kč
6.	Jímka	55 m ²	5 700,- Kč/m	313 500 Kč
Celkem				14 471 000 Kč

V následující tabulce je možné vidět investiční náklady na zřízení plochy pro technologii kompostování ve vacích.

Tabulka 5 - Investiční náklady (ve vacích)

Investiční náklady na výstavbu kompostovací plochy (Kompostování ve vacích)				
	Nutné investice	Velikost/objem	Jednotková cena	Náklady
1.	Celková plocha	5000 m ²	-	-
2.	Plocha pro realizaci kompostárny	4500 m ²	-	-
3.	Plocha pro bezpečný výjezd	550 m ²	750,- Kč/m	412 500 Kč
4.	Zpevněná plocha kompostoviště	3500 m ²	120,- Kč/m	420 000 Kč
5.	Manipulační plocha – vodohospodářsky zabezpečená	750 m ²	1600,- Kč/m	1 200 000 Kč
6.	Jímka	55 m ²	5 700,- Kč/m	313 500 Kč
Celkem				2 346 000 Kč

Další nezbytnou počáteční investicí jsou náklady spojené s technickým vybavením nezbytným pro provoz kompostárny s danou zavedenou technologií. Zde je to naopak než při investicích do připravené plochy. U technologie kompostování v pásových hromadách zde vynaložíme menší náklady, z důvodu absence strojního plniče, kompostovacích vaků a techniky na přívod vzduchu přes PE-hadice, které jsou u kompostování ve vacích, nezbytné.

Níže je možné vidět tabulku s investičními náklady na vybavení kompostárny s technologií v pásových hromadách.

Tabulka 6 - Investiční náklady na vybavení (pásové hromady)

Investiční náklady na vybavení kompostárny s technologií v pásových hromadách		
Stroj/zařízení	doplňující informace	Náklady
Hala – lehká konstrukce	délka 30 m, šířka 20 m, výška 4 m	1 200 000 Kč
El. Nápravová váha		300 000 Kč
Elektrocentrála	230 V	50 000 Kč
Kancelářský kontejner	6 x 2,4 x 2,8 m	120 000 Kč
Sanitární kontejner	6 x 2,4 x 2,8 m	180 000 Kč
centrální počítač	musí zvládnout nepřetržitý provoz kvůli sledování dat	50 000 Kč
Traktor	73,5 kW	1 600 000 Kč
Nakladač	50 kW	1 400 000 Kč
Strojní plnič	plnění vaků	
Štěpkovač	pohon vývodovým hřídelem	310 000 Kč
Teploměry	zapichovací, bezdrátové 20x	190 000 Kč
Kompostovací vaky (na 1 rok)		
větrací hadice + ventily		
Rotační bubnové síto		1 000 000 Kč
Celkem		6 400 000 Kč

Níže je možné vidět tabulku s investičními náklady na vybavení kompostárny s technologií kompostování ve vacích.

Tabulka 7 - investiční náklady na vybavení (kompostování ve vacích)

Investiční náklady na vybavení kompostárny s technologií ve vacích		
Stroj/zařízení	doplňující informace	Náklady
Hala – lehká konstrukce	délka 30 m, šířka 20 m, výška 4 m	1 200 000 Kč
El. Nápravová váha		300 000 Kč
Elektrocentrála	230 V	50 000 Kč
Kancelářský kontejner	6 x 2,4 x 2,8 m	120 000 Kč
Sanitární kontejner	6 x 2,4 x 2,8 m	180 000 Kč
centrální počítač	musí zvládnout nepřetržitý provoz kvůli sledování dat	50 000 Kč
Traktor	73,5 kW	1 600 000 Kč
Nakladač	50 kW	1 400 000 Kč
Strojní plnič	plnění vaků	1 100 000 Kč
Štěpkovač	pohon vývodovým hřídelem	310 000 Kč
Teploměry	zapichovací, bezdrátové 20x	190 000 Kč
Kompostovací vaky (na 1 rok)	100 ks	450 000 Kč
větrací hadice + ventily		130 000 Kč
Rotační bubnové síto		1 000 000 Kč
Celkem		8 080 000 Kč

Po počátečním investičním zhodnocení je patrné, že vyšší počáteční náklady budou stále na technologii v pásových hromadách.

14 471 000 Kč + 6 400 000 Kč = 20 871 000 Kč (technologie v pásových hromadách)

2 346 000 Kč + 8 080 000 Kč = 10 426 000 Kč (technologie ve vacích)

Musíme zde brát ale v úvahu fakt, že technologií ve vacích bude produkce kompostu menší než u technologie v pásových hromadách, díky omezenému objemu kompostovacích vaků. Další věc, která je nutná zohlednit je, že vaky jsou jednorázové a budou tak vznikat každoroční náklady minimálně 450 000 na pořízení nových pytlů. Zde se musí vzít v úvahu i likvidace použitých pytlů a možná nutnost výměny větracích hadic a ventilů, což dostane každoroční náklady na částku 500 000. To nám ukazuje, že za 20 let se náklady srovnají a následující roky už náklady na provoz kompostárny (technologie ve vacích) jen

porostou, kdežto u kompostárny (v pásových hromadách) tyto náklady můžeme vypustit. **Běžné každoroční náklady na provoz jsou si velmi podobné u obou druhů kompostáren a pohybují se o kole 4 000 000 Kč, proto nebyly při srovnání zohledněny.**

Další věc, která je třeba zhodnotit, je výsledný produkt a jeho jakost. Zde můžeme vidět kromě dvou srovnávaných technologií navíc jakost vermikompostu, který se dá považovat za nejekologičtější způsob a produkt, ovšem za cenu efektivnosti.

Zde je možné vidět porovnání výsledných produktů různých metod s jakostními znaky kompostu.

Tabulka 8 - Požadavky na jakost kompostu

Požadavky na jakost kompostu				
Znak jakosti	Hodnota splňující jakost	Kompostování v pásových zakládkách	Kompostování ve vaku	Vermikompostování
Vlhkost v %	min. 40,0 a max. 65,0	27,8	48,3	52,2
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku	min. 25	29,1	32,3	31,2
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min. 0,60	1,4	0,96	1,8
Poměr C : N	max. 30:1	10,2	16,8	12,1
Hodnota pH	od 6 do 8,5	8,9	8,2	7,2
Nerозložitelné příměsi v %	max. 2,0	1,9	1,2	1,3

Zde je patrné, že jakost kompostu vyrobeného v pásových zakládkách je ze tří posuzovaných metod nejmenší. Mnohdy nedosahuje požadované vlhkosti a přesahuje požadované pH. Naproti tomu kompostování ve vaku podmínky splňuje, ale lze vidět, že hodnota dusíku je zde značně nižší. Vermikompost splňuje všechny jakostní znaky dokonale, ale je to za vysokou cenu nízké efektivnosti při výrobě tohoto produktu.

5 Výsledky

Na základě rešerše bylo zjištěno, že nejefektivnější metodou zpracování biologicky rozložitelných odpadů kompostováním, jsou kompostování na volné ploše v pásových hromadách a v kompostovacím vaku. Pro tyto dvě metody byl zpracován návrh na modelovou kompostárnu o ploše 5 000 m². Náklady byly stanoveny na základě analýzy různých pořizovacích cen, které byly zapsány do tabulky, zprůměrovány a zaokrouhleny na stovky, a poté použity jako podklad pro náš model.

Z výsledků bylo zjištěno, že modelová kompostárna s technologií v pásových hromadách, vynaloží skoro dvojnásobné počáteční náklady, a to z důvodu nutnosti vybudovat vodohospodářsky zabezpečenou plochu, kterou u metody kompostování ve vacích můžeme zanedbat. Tam potřebnou izolaci zastávají samotné vaky.

Bylo vypočteno, že počáteční investice kompostárny **v pásových hromadách je 20 871 000 Kč**. U kompostárny s technologií kompostování **ve vacích to bylo pouze 10 426 000 Kč**. Běžné provozní náklady se pak budou pohybovat okolo 4 000 000 Kč za rok. Může se zdát, že je to velký rozdíl, nesmí se zde ale zapomenout na fakt, že u druhé kompostárny, budou každoroční náklady vyšší o **500 000 Kč z důvodů nákupu nových PE-vaků** a tím pádem se v průběhu let náklady vyrovnají a vydrží-li provoz kompostáren přes 20 let, začnou je i převyšovat. Značný rozdíl cen se tedy dá, z pohledu kompostárny s technologií v pásových hromadách, brát jako investice do budoucna.

Dál je patrné, že jakost vyráběného produktu, vykazuje lepší znaky u vermikompostování. Ovšem tuto metodu nelze doporučit pro kompostárnu, která má být efektivní v poměru rychlosti a množství zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Vzhledem k tomu, že v dnešním světě má větší váhu kontinuální zpracování velkého množství tohoto odpadu, z důvodů zamezení skládkování, které přináší mnoho nevýhod pro naše životní prostředí, je zde mnohem důležitější zpracovávat co největší množství za co nejkratší čas a lepší jakost zde proto hraje méně důležitou roli. Lepší znaky jakosti ze zbylých dvou technologií pak vykazuje kompostování ve vacích.

Z výsledků je tedy patrné, že největším přínosem pro naše prostředí a nejlepší investicí z pohledu cena/výkon, jsou kompostárny s technologiemi v pásových hromadách a ve vacích.

6 Diskuse

Kompostování je velmi efektivní způsob zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Jeho přínos tkví nejen v široké škále odpadu, který dokáže šetrně zpracovat a přetvořit na užitečný produkt, ale i v pozitivním přístupu k ochraně životního prostředí, což je v dnešní době stále více diskutované téma.

V současné době stále více narůstá poptávka po kvalitním kompostu pro použití na zemědělské půdě, při rekultivacích a údržbě zeleně, a hlavně jako zásadní surovina při výrobě biopotravin. Kompost má na půdu vysoce pozitivní vliv v mnoha ohledech. Jeho přínos spočívá například v redukci hnilých biologických odpadů v prostředí nebo skládkách. Za největší přínos ale považujeme navrácení úrodnosti, díky vysokým koncentracím živin, které výsledné produkty kompostování obsahují. Humus zlepšuje strukturu půdy, optimalizuje její fyzikální i chemické vlastnosti a kladně ovlivňuje osídlení mikroorganismů.

Stále se zvyšující poptávka po těchto produktech by mohla být v budoucnu tím, co přiměje ještě více lidí a firem ke kompostování a vývoji nových technologií, takže můžeme říct, že v této otázce směřujeme správným směrem.

Pro úspěšný a spolehlivý proces kompostování je nezbytné, aby byla použita vhodná, spolehlivá a za daných podmínek finančně dostupná kompostovací technologie a technika k ní potřebná. Při počátečním rozhodování, kterou cestu zvolit, je vždy nutné vzít v úvahu jak stránku ekonomickou, tak stránku kvality výsledného produktu.

7 Závěr

Skládkování biologicky rozložitelného odpadu je nejhorším možným způsobem s jeho nakládáním, při kterém vznikají skleníkové plyny a výluh průsakových vod. Proto je velmi důležité omezit tuto metodu na minimum. Aby bylo ale možné skládkování biologicky rozložitelného odpadu omezit, je nutné poskytnout jiné způsoby na jeho zpracování a likvidaci.

Jedna z nejvhodnější, ekologickou a ekonomicky nejpríjemnější metodou pro to učenou je kompostování. Na rozdíl od skládkování, vzniklý produkt kompostování má na půdu a naše prostředí úplně opačný efekt a výrazným způsobem obohacuje půdu o živiny a zvyšuje její úrodnost. Není proto divu, že se vyvíjejí a testují stále nové metody a technologie.

Kompostování na volné ploše v pásových zakládkách a ve vacích jsou z hlediska ekonomického zřejmě nejvhodnější technologie zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Kompostování v pásových hromadách je z počátku tedy nákladnější, kvůli prvotním investicím, ale z dlouhodobého hlediska je to bez pochyby nejefektivnější způsob na zpracování a jako typ průmyslové kompostárny je tímto nejvhodnější. Velmi vhodná je ale i druhá zmiňovaná technologie, kompostování ve vacích, která se jako jediná dokáže vyrovnat kompostování v pásových hromadách. Počáteční investice je takřka poloviční, v průběhu let pak ale narůstají náklady na pořizování nových pytlů.

Z hlediska ekologického, se kterým se v dnešní době ztotožňuje stále více lidí, se hodí nejvíce způsob vermikompostování, kdy nám techniku potřebnou na překopávání kompostu nahrazují žížaly, což z něj dělá asi nejpřirozenější způsob kompostování. Nevýhodou ale je, že zde už nemůže probíhat řízený proces, a tudíž rychlokompostování, takže se pro typ průmyslové kompostárny, kde jsou požadavky zpracovat co největší množství za co nejkratší dobu, spíše nehodí.

Dále musíme brát v úvahu kompostování uhynulých zvířat, což je způsob, který se dokonale hodí například pro drůbežářské závody, kde je častý úhyn brojlerů. Zařazení této metody do programu, by mohlo přinést dvě velké výhody. První je rychlá, spolehlivá a ekologicky nejvhodnější metoda likvidace těchto uhynulých jedinců. Druhá je pak výroba produktu, který by si rozhodně našel cílovou skupinu odběratelů, kteří by ocenili produkt, který je vyráběn touto ekologickou cestou. Nicméně tato metoda není na našem území povolena legislativou.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ALTMANN, Vlastimil, MIMRA, Miroslav, ANDRT, Miroslav: Stanovení objemového množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) pro řešení logistiky svozu. Biom.cz [online]. 2005-09-21 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz-PoradyTechnologie/odborne-clanky/stanoveni-objemoveho-mnozstvi-biologicky-rozlozitelneho-komunalniho-odpadu-brko-pro-reseni-logistiky-svozu>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] HEJÁTKOVÁ, K. a kolektiv, Kompostování přebytečné travní biomasy, 1. vydání, ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s., Náměšť nad Oslavou, 2007, 76 s., ISBN 80-903548-6-6
- [3] PLÍVA, Petr. Kompostování ve vaku – I. Komunální technika [online]. Profi Press, 2011, 5(11) [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://komunalweb.cz/kompostovani-ve-vaku-i/>
- [4] PLÍVA, Petr, JELÍNEK, Antonín, KOLLÁROVÁ, Mária: Využití technických prostředků pro technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách. Biom.cz [online]. 2005-04-18 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/index.shtml?x=231679>>. ISSN: 1801-2655.
- [5] Paulin, B, and O'Malley, P. (2008), Compost production and use in horticulture. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin 4746.
- [6] Kompostování v biofermentorech. Kompostování a kompostárny. Praha: Profi Press, 2016, s. 97-98. ISBN 978-80-86726-74-8.
- [7] ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ, Lucie KUČEROVÁ, Markéta BOUCHALOVÁ a Taťána BARABÁŠOVÁ. Biologické metody zpracování odpadu. Ostrava, 2002. Multimediální učební texty. VŠB -TU Ostrava.
Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html
- [8] PLÍVA, Petr, Vlastimil ALTMANN, Aleš HANČ, Květuše HEJÁTKOVÁ, Amitava ROY, Jiří SOUČEK a Lucie VALENTOVÁ. Kompostování a kompostárny. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 978-80-86726-74-8.
- [9] BRINTON, William, Mary EVANS a Richard DROFFNER. A standardized Dewar test for evaluation of compost self-heating. BioCycle. 1995, (36), 16.
- [10] BREWER, Linda J. a Dan M. SULLIVAN. Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Trimmings. Compost Science & Utilization. 2003, 11(2), 96-112. ISSN 1065-657X. Dostupné z: doi:10.1080/1065657X.2003.10702117

- [11] HABART, Jan: Optimalizace aerace kompostu a návštěva kompostárny firmy Costech. Biom.cz [online]. 2003-08-11 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/czt-pestovani-biomasy-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/optimalizace-aerace-kompostu-a-navsteva-kompostarny-firmy-costech>>. ISSN: 1801-2655.
- [12] TRAUTMANN, Nancy. Compost Physics. Ithaca, NY 14853, 1996. Publication. Cornell University.
- [13] COKER, Craig. Controlling composting odors. BioCycle [online]. EMMAUS, PA 18049 USA: BIOCYCLE CONNECT, 2x016 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.biocycle.net/controlling-composting-odors/>
- [14] PLÍVA, Petr, Vlastimil ALTMANN, Jan HABART, et al. Kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Praha: Profi Press, 2009. ISBN 978-80-86726-32-8.
- [15] LOOPER, Michael. Whole animal composting of dairy cattle. New Mexico, 2002. Publication. New Mexico State University Library.
- [16] PLÍVA, Petr: Malá mechanizace pro kompostování. Biom.cz [online]. 2002-11-04 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/czp/odborne-clanky/mala-mechanizace-pro-kompostovani>>. ISSN: 1801-2655.
- [17] VÁŇA, Jaroslav. Výroba a využití kompostů v zemědělství. Vyd. 2. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997. Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80-710-5144-6.
- [18] DRÁBKOVÁ, Petra. Analýza moderních technologií ekologického kompostování. Brno, 2010. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [19] GRODA, B., Technika zpracování odpadů II, 1. vydání, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Brno, 1997, 168 s., ISBN 80-715-7264-0.