

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2016

Ing. Ondřej Bystřický

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



Zhodnocení provozu komunální kompostárny
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.

Vypracoval:
Ing. Ondřej Bystřický

Brno 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Zhodnocení provozu komunální kompostárny, vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Bc. Petru Jungovi, Ph.D. za vstřícné vedení, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu tvorby bakalářské práce poskytl a Ing. Jaromíru Punčochářovi za poskytnuté informace.

Velmi děkuji také své rodině, své partnerce a všem blízkým za pomoc a oporu při studiu a taktéž vypracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se tematicky věnuje problematice aerobního zpracování biologicky rozložitelných odpadů a metodami jakými se s nimi nakládá. Jejím cílem je poskytnout ucelený přehled o poznacích v oblasti technologií kompostování se zaměřením na vybranou technologii využívanou v praxi. Na vybraném zařízení, Centrální kompostárna Brno, je pak podrobněji popsán způsob nakládání s bioodpadem, od návozu vstupních surovin až po hotové produkty.

Klíčová slova: kompost, kompostování, biologicky rozložitelný odpad.

ABSTRACT

This bachelor thesis is thematically focused on issues of aerobic treatment of biologically degradable waste and the methods which are used to handle them. The goal is to provide comprehensive overview regarding the findings in the fields of technology of composting, with focus on selected theory used in practice. In the selected facility, the Central composting plant in Brno, their method of handling bio waste is described in detail from the input of initial material to the finished products.

Key words: compost, composting, biologically degradable waste.

OBSAH

1	Úvod	8
2	Cíl	9
3	Literální přehled	10
3.1	Definice základních pojmů	10
3.2	Rešerše	11
3.3	Historické milníky zpracování odpadů	12
3.4	Charakteristika BRO	13
3.5	Vhodné suroviny a odpady pro aerobní kompostování.....	14
3.6	Mikroorganismy a jejich aktivity při zpracování a využívání BRO	15
3.6.1	Výživa mikroorganismů	15
3.6.2	Metabolismus mikroorganismů	16
3.7	Základní biotechnologické postupy při zpracování BRO	16
4	Materiál a metodika.....	18
4.1	Proces kompostování	18
4.1.1	Průběh aerobního kompostování	18
4.1.2	Kritéria ovlivňující proces kompostování.....	20
4.2	Technologie kompostování	22
4.2.1	Kompostování na volné ploše.....	23
4.2.2	Intenzivní kompostování.....	24
4.2.3	Kompostování ve vacích.....	27
4.2.4	Vermikompostování.....	27
5	Výsledky.....	28
5.1	Centrální kompostárna Brno	28
5.2	Technologie a proces kompostování	29
5.3	Příjem odpadů	30
5.4	Příprava materiálu pro kompostování	31
5.4.1	Drcení a třídění	32
5.4.2	Homogenizace odpadu.....	33

5.5	Výstupní produkty.....	34
6	Diskuze.....	37
7	Závěr	39
8	Použitá literatura	40
9	Seznam obrázků.....	42
10	Seznam zkratk	43
11	Přílohy.....	44

1 ÚVOD

Téma bakalářské práce jsem volil nejen s ohledem ke studovanému oboru, ale také z důvodu možnosti ověřit si teoretické poznatky získané během studia v praxi. Myslím si, že zvolené téma je velmi aktuální, protože Česká republika se zavázala, že do roku 2020 razantně sníží skládkování biologicky rozložitelného odpadu (dále také „BRO“). Významným nástrojem k dosažení tohoto cíle by mohlo být právě kompostování. Kompostování je řízený proces, při kterém dochází vlivem působení mikroorganismů k přeměně organické hmoty na stabilní humusové látky.

Důvodů proč využívat právě tuto metodu ke zpracování BRO je hned několik. Zejména je to produkce kvalitního organického hnojiva (kompostu) s vysokým obsahem humusových látek zlepšujících fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Zpracováním kompostu do půdy dochází také k zabránění či zmírnění vodní eroze orné půdy, zlepšování její pórovitosti a vodostálosti. A v neposlední řadě kompostování přispívá ke zlepšení životního prostředí snížením množství skládkovaných a spalovaných surovin.

V praxi rozlišujeme tři typy kompostování. *Domovní*, které může probíhat buď na zahrádkách nebo balkónech, např. v zahradních kompostérech nebo vermikompostérech. *Komunitní*, realizováno například pro skupinu domů, jeden či dva panelové domy nebo zahrádkářskou osadu a podobně. *Komunální*, které bývá většinou plně mechanizované, realizuje se na hromadách či v bioreaktorech a je prováděno na vodohospodářsky zabezpečených plochách. A právě tento typ kompostování je blíže specifikován v následujícím textu. Obsah je rozdělen do čtyř na sebe logicky navazujících částí, které poskytují ucelený přehled o poznatcích v oblasti technologií komunálního kompostování.

2 CÍL

Cílem bakalářské práce je poskytnout ucelený přehled o poznatcích v oblasti technologií kompostování se zaměřením na technologii využívanou na Centrální kompostárně v Brně. Na tomto zařízení bude popsán praktický způsob zpracování biologicky rozložitelných odpadů. V diskuzi pak bude provedeno zhodnocení získaných poznatků, vyvozeny závěry a popřípadě uvedena doporučení pro změny a zlepšení.

3 LITERÁLNÍ PŘEHLED

3.1 Definice základních pojmů

Odpad

Odpadem se rozumí každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. [9]

Komunální odpad

Dle platného zákona o odpadech je komunální odpad definován jako veškerý odpad vznikající při činnosti fyzických osob na území obce. Dále se zákon odkazuje na Katalog odpadů, který vymezuje skupinu 20 mnohem širěji, a to jako komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek odděleného sběru. [9]

Kompost

Je směs organického materiálu, který vznikl řízeným biologickým aerobním rozkladem. Obohacuje půdu o organickou hmotu, humus a živiny a vykazuje příslušné kvalitativní znaky. V případě, že se jedná o registrovaný kompost splňující náležitě legislativní požadavky, lze kompost uvádět na trh jako hnojivo.

Substrát

Cíleně připravovaná směs z anorganických a organických materiálů (komponentů) s vhodnými biologickými a fyzikálními chemickými vlastnostmi pro růst a vývoj rostlin.

Hygienizace

Způsob úpravy bioodpadu s cílem snížit počet patogenních organismů, které mohou způsobit onemocnění člověka nebo zvířat pod stanovenou hodnotu. [5]

Vodohospodářsky zabezpečená plocha

Plocha umožňující kontrolované nakládání s vodami (vody odloučené ze suroviny a kompostu, srážkové vody spadlé do prostoru vodohospodářsky zabezpečené plochy). [4]

3.2 Rešerše

Při studiu řešené problematiky bakalářské práce jsem vycházel zejména z následujících literárních pramenů:

JUNGA P., VÍTEŽ T., VÍTEŽOVÁ M., GERŠL M., 2015: *Technika pro zpracování odpadů II*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 154s. ISBN 978-80-7509-208-3.

Jedná se o druhý díl studijního materiálu pro studenty předmětu Technika pro zpracování odpadů a částečně i pro studium některých příbuzných předmětů. Skripta jsou rozděleny do 8 hlavních kapitol, kde se svým obsahem věnují zejména základům biotechnologických principů využívaných v rámci zpracování odpadů, technice pro bioplynové transformace, technice kompostování odpadů, technice pro čištění odpadních vod, technice pro zpracování odpadů z mlýnů, sladoven, cukrovarů, pivovarů a technice sanací půd a vod kontaminovaných ropnými produkty. [1]

ZEMÁNEK P. a kol., 2010: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. Praha: VÚZT, 113s. ISBN 978-80-87091-06-7.

Publikace se věnuje problematice technického a organizačního zajištění přípravy zařízení na zpracování BRO kompostováním. Jednotlivé kapitoly se zaměřují na charakteristiku jednotlivých druhů BRO z hlediska jejich výskytu a kompostovatelnosti, na optimalizaci složení kompostových zakládek, na řešení vhodného umístění provozu kompostárny a na vymezení jejich hlavních parametrů. [2]

FILIP J. a kol., 2002: *Odpadové hospodářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 118s. ISBN 80-7157-608-5.

Učební text je určen zejména posluchačům oborů na agronomické fakultě. Publikace nabízí ucelený pohled na odpadové hospodářství. Zejména se zaměřuje, jak na popis vzniku odpadu v jednotlivých průmyslových odvětvích a při lidských činnostech, tak na jeho další využití. [3]

PLÍVA P. a kol., 2009: *Kompostování v hromadách a na volné ploše*. Praha: Profi Press, 136s. ISBN 978-80-86726-32-8.

Kniha předkládá souhrnné informace o kompostování v kompostárnách včetně nezbytné techniky a ekonomiky. Její obsah se věnuje základům kompostování, recepturám pro zakládky kompostů, průběhem a řízením kompostovacího procesu včetně hodnocení vyrobeného kompostu. V neposlední řadě je v publikaci uveden i přehled právních předpisů a norem potřebných pro podnikání v oblasti kompostování. [4]

TESAŘOVÁ M., FILIP Z., SZOSTKOVÁ M., MORSCHECK G., 2010: *Biologické zpracování odpadů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 128s. ISBN 978-80-7375-420-4

Publikace vznikla ve spolupráci mezi agronomickou fakultou Mendelovy univerzity v Brně, fakultou zemědělskou a životního prostředí Univerzity Rostock a Spolkovým úřadem pro životní prostředí Berlín, Německo. Text poskytuje informace o technice a technologii zpracování organických odpadů, podrobně se zabývá zejména mikroorganismy a jejich využitím při nakládání s odpady. [5]

3.3 Historické milníky zpracování odpadů

Produkce odpadů je od pradávna nerozlučnou součástí lidské činnosti. Již z doby před 8000 - 10 000 lety se dochovaly poznatky o neřízených skládkách prvních civilizací, kdy lidé přecházeli z kočovného způsobu života a usazovali se v oblastech vhodných pro zemědělství. Historicky nejstarší zprávy o zacházení s odpadem pocházejí z Blízkého východu a z oblasti Číny. Organické látky z domácností, zahrad, polí a chovů hospodářských zvířat, včetně exkrementů, byly shromažďovány a promíchávány se zemínou, slámou nebo bahnem v mělkých jámkách, až se tato hmota proměnila v substrát podobný zemině. [5], [6]

V Aténách a v Římě se již 320 let před n. l. odstraňovaly odpady z ulic každý den, zasazovali se o to zejména učenci a lékaři, kteří považovali odpady za zdroj nakažlivých chorob. Další zmínky o zpracování odpadů a jeho využití můžeme najít například v dochovaných spisech římského spisovatele, politika, vojáka a řečníka Marcuse Porciuse Cato (234 – 149 před n. l.) *De agri cultura*, mimo jiné, zde můžeme najít zřejmě první zmínku o využívání červů pro zpracování kompostu. [5], [6]

Ve středověku se odpady z městských oblastí odvážely jen výjimečně, což mělo za následek znečištění prostředí, rychlé šíření nakažlivých nemocí a smrt milionů lidí.

K pozvolnému zlepšování docházelo teprve ve 14. – 15. století, kdy se odpady z většiny měst začaly vyvážet a odstraňovat. Postupným vývojem pak docházelo od konce 18. století a v 19. století k systematickému zpracování odpadů a využívání v zemědělství. Například ve Velké Británii byla v roce 1876 zbudována první spalovna odpadů a v roce 1900 tam byla založena také první skládka odpadů. Ve stejném roce pak byla v Nizozemsku uvedena do provozu první kompostárna. [5]

U nás sahá tradice zpracování organických odpadů až do roku 1660. V této době nechali Jezuíté vybudovat v Praze první stoku, což umožňovalo odvádět městské splašky do Vltavy. V roce 1905 byla v Brně, jako první svého druhu ve střední Evropě, postavena spalovna. O rok později v Praze zahájila provoz čistírna odpadních vod a vzniklé čistírenské kaly se začaly využívat ke hnojení půdy. Počátkem 50. - 60. let 20. století se objevují čím dál častěji názory, které tvrdí, že současný stav věcí a vývoje lidské populace je do konce 21. století neudržitelný. Do popředí se dostávají otázky týkající se oblasti životního prostředí a jeho ochrany. Začíná se mluvit o tzv. „Trvale udržitelném rozvoji“. Objevují se nové metody a technologické postupy, důraz se klade na předcházení vzniku odpadů, jejich další zpracování a využívání. Zavádí se separace biologicky rozložitelných odpadů, jejich kompostování či anaerobní zpracování a také k vývoji dalších způsobů jejich biologického využití. [5]

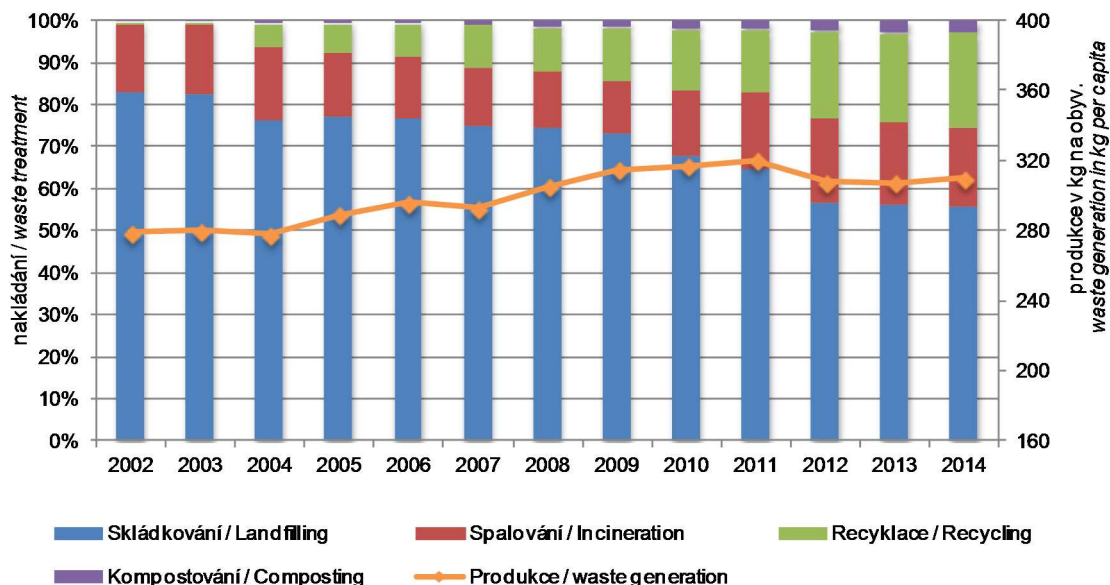
3.4 Charakteristika BRO

Biologicky rozložitelný odpad je definován v zákoně č. 185/2001 Sb. o odpadech v platném znění, jako odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Jedná se tedy o odpad, obsahující organické látky, které mohou být rozloženy, mineralizovány nebo humifikovány mikroorganismy či některými bezobratlými živočichy za přístupu nebo nepřístupu vzduchu. [9]

Výsledkem těchto biologických rozkladů materiálu je snížení množství skladovaného či spalovaného odpadu, snížení produkce skleníkových plynů (především metanu), zabránění nestability odpadu na skládce, produkce kompostu a v neposlední řadě energetické využití.

Z dat českého statistického úřadu (dále jen „ČSÚ“) vyplývá, že v roce 2014 bylo v ČR nakládáno s odpady o celkovém množství 31 milionů tun. Nezanedbatelná část je

tvorena bioodpady (cca 1,6 milionu tun), které jsou součástí komunálního odpadu nebo jsou odděleně sbírány. [10]



Obr. 1: Produkce a nakládání s komunálními odpady v ČR [10]

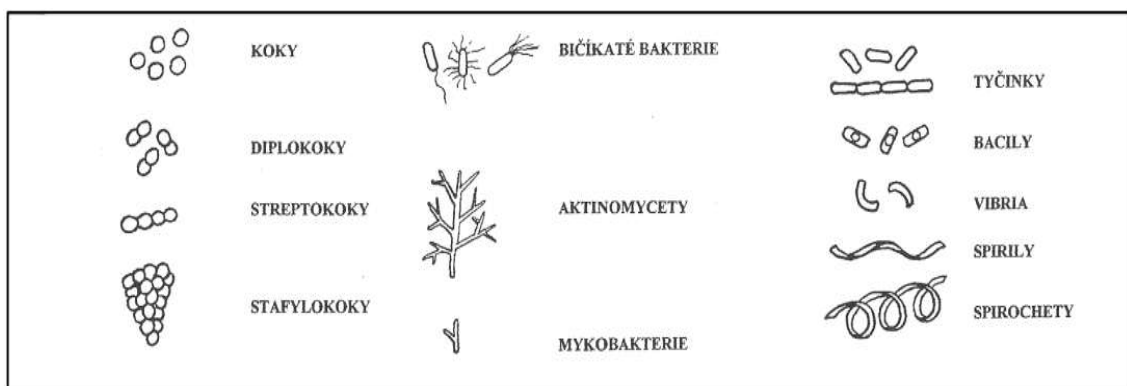
3.5 Vhodné suroviny a odpady pro aerobní kompostování

Nejvíce organických odpadů v ČR vzniká v zemědělství při pěstování rostlin a chovu hospodářských zvířat. Dalším nezanedbatelným zdrojem odpadů je zejména průmysl potravinářský a také průmyslové zpracování odpadních vod. Kompostováním lze zpracovat prakticky veškerý materiál, podléhající biologickému odpadu. Některé suroviny jsou však vhodnější a jiné méně. Jako příklady odpadů vhodných pro kompostování je možno uvést:

- seno, sláma,
- mrva a kejda, trus
- odpady ze sklizně zeleniny, ovoce, obilí, chmele,
- odpad z údržby zeleně, třísky, piliny,
- potravinářské odpady,
- kaly z čistíren odpadních vod,
- kožedělné odpady, vlna, srst,
- biologicky rozložitelné komunální odpady (dále jen „BRKO“).

3.6 Mikroorganismy a jejich aktivity při zpracování a využívání BRO

V současnosti se využívá v podstatě sedmi základních biotechnologických principů při zpracování organických odpadů. Tyto principy jsou založeny na metabolických aktivitách různorodých skupin mikroorganismů, další pak na interakcích mezi mikroorganismy a bezobratlými živočichy. Výsledkem těchto procedur je látková přeměna organických odpadů eventuálně jejich energetické využití. Současně pak dochází ke zmenšování objemu a snižování hmotnosti odpadů, jejich hygienizaci a také omezování úniku skleníkových plynů do atmosféry. [1], [5]



Obr. 2: Tvary bakterií [11]

Mikroorganismy jsou morfologicky, fyziologicky i geneticky rozdílné skupiny mikroskopických organismů, systematicky řazené do říší *Archaea*, *Bacteria* a *Eucarya*. Domény *Archaea* a *Bacteria* zahrnují prokaryotní mikroorganismy, tedy převážně jednobuněčné organismy (např. bakterie a sinice), které nemají pravé buněčné jádro. Mezi eukaryotní mikroorganismy s vlastním jádrem odděleným od cytoplazmy jadernou membránou se řadí mikroskopické houby (mikromycety, kvasinky) a dále řasy a prvoci. Samostatnou skupinu pak tvoří viry. [1], [5]

3.6.1 Výživa mikroorganismů

Ke svému růstu, látkové výměně a množení potřebují mikroorganismy zdroje energie a biogenních prvků. Výchozím prvkem pro biosyntézu aminokyselin, jednoduchých cukrů, nukleotidů a lipidů, je uhlík. Mikroorganismy dělíme v závislosti na tom, z jakého zdroje uhlík čerpají na autotrofy, ti získávají uhlík z CO_2 a heterotrofy,

pro které jsou zdrojem uhlíku organické látky. Většina mikroorganismů podílejících se na biologických přeměnách odpadů patří k heterotrofům.

Podle zdrojů a způsobu získávání energie rozdělujeme mikroorganismy na fototrofní, kteří využívají světelné energie a přeměňují ji na chemickou a chemotrofní, kteří získávají energii oxidací anorganických nebo organických sloučenin. [1], [5], [7]

3.6.2 Metabolismus mikroorganismů

Metabolismus (látková a energetická výměna) je soubor dějů, při nichž dochází k přeměně látek v buňkách, jejich vnitrobuněčným transformacím a vylučování produktů do prostředí. Mikrobiální metabolismus zahrnuje dvě skupiny protichůdných procesů:

Katabolické procesy

Složité organické látky jsou rozkládány (oxidace, degradace) na látky jednodušší (např. rozklad glukosy na vodu a oxid uhličitý) za současného uvolňování energie.

Anabolické procesy

Soubor reakcí (biosyntetických, asimilačních), při kterých z látek jednodušších vznikají látky složitější za současného spotřebování volné energie.

Katabolické a anabolické procesy se uplatňují při postupných biologických přeměnách rostlinných zbytků, jejichž produktem mohou být humusové látky. Tvorba humusových látek zahrnuje rozklad, biochemické změny a transformace stavebních látek rostlinné biomasy. Důležitou roli v růstu, množení a metabolismu mikroorganismů hraje prostředí, a to jak abiotické (teplota, dostupnost vody, pH, obsah kyslíku, záření, aj.), tak biotické (jiné mikroorganismy, rostliny, živočichové). [1], [5], [7]

3.7 Základní biotechnologické postupy při zpracování BRO

V současnosti se při zpracování organických odpadů využívá sedmi základních biotechnologických principů. Ty jsou založeny na metabolických aktivitách různorodých skupin mikroorganismů, některé pak na vzájemném působení mezi mikroorganismy a

bezobratlými živočichy. Výsledkem těchto dějů je látková přeměna organických odpadů, eventuálně jejich energetické využití. [3], [5]

Tab. 1: Postupy a výsledné produkty biotechnologického zpracování odpadů [1]

Biotechnologický postup	Typ odpadu	Produkt
Kompostování	BRO a BRKO nekontaminované	Kompost
Vermikompostování	Zemědělské odpady, kaly z ČOV (nekontaminované)	Biohumus, vermibílkovina k výrobě některých krmiv a léčiv
Aerobní termofilní zpracování	Zemědělské odpady, kaly z ČOV (nekontaminované)	Organické hnojivo
Biologické sušení	BRO, kaly	Palivo (sypké, tvarované)
Anaerobní zpracování (fermentace)	BRO (kromě dřeva)	Bioplyn, zbytková org. hmota
Lihové kvašení	Odpadní cukry	Bioetanol
Mechanicko-biologické zpracování	Komunální odpady	Stabilizovaný bioodpad, bioplyn

Nejčastěji využívanou technologií biodegradace organické odpadní hmoty je kompostování. V případě, že k přeměňování organických zbytků využíváme žížaly, hovoříme o vermikompostování. Aerobní termofilní zpracování slouží k rychlé hygienizaci zemědělských (zejména tekutých) bioodpadů a kalů z čistíren odpadních vod. Tzv. biologické sušení je založeno na intenzivním provzdušňování a promíchávání odpadu v uzavřených kontejnerech, tím dochází ke zvyšování teploty, částečnému rozkladu organických látek a progresivnímu vysušování odpadu. Mechanicko-biologická úprava komunálních odpadů, je založena na kombinaci fyzikálních a biologických (aerobních i anaerobních) procesech, kterými by měl projít KO před uložením na skládky. Významnou roli při zpracování organického materiálu hrají také anaerobní technologie, ty se zaměřují na jeho energetické využití tj. výrobu bioplynu a etanolu. [3], [5]

Následující část práce se bude podrobněji věnovat popisu technologie kompostování, která je využívána na Centrální kompostárně v Brně.

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Proces kompostování

Kompostování je účelně vyvolaný a řízený proces intenzivní biodegradace organických odpadů. Dochází při něm k postupnému rozkládání organických látek až do stavu vhodného pro přímou aplikaci do půdy jako zdroj hmoty a energie pro růst nových rostlin.

Celý biotechnologický postup je založený na schopnosti mikroorganismů a bezobratlých živočichů transformovat organické látky postupnou cestou rozmělnění, mineralizace a humifikace. Výsledkem tohoto aerobního procesu je zpravidla stabilizovaný kompost bohatý na živiny.

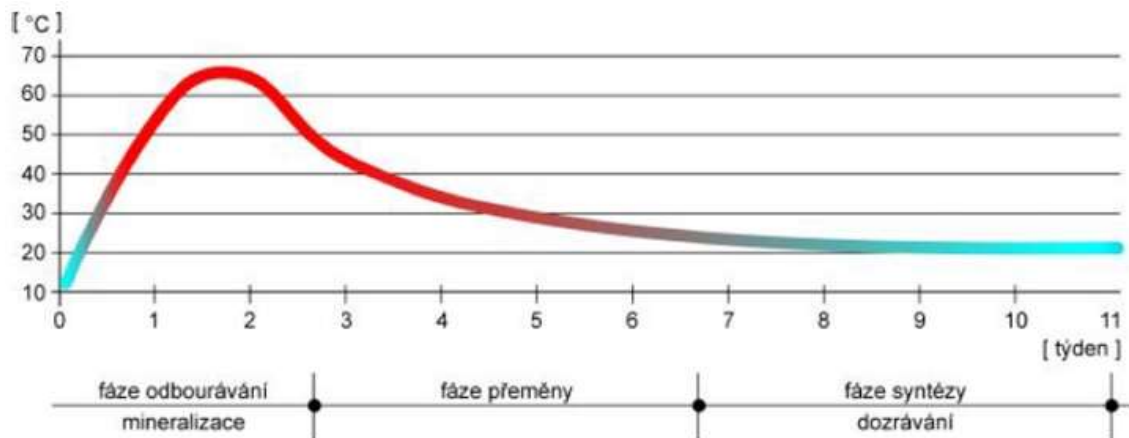
Pro zjednodušení lze celý proces popsat obecnou rovnicí:

Organické látky + O₂ + mikroorganismy ---> kompost + H₂O + CO₂ + teplo

4.1.1 Průběh aerobního kompostování

Můžeme říci, že průběh kompostování je, až na malé odchylky, stejný u všech způsobů aerobního kompostování. Odlišná je pouze rychlost probíhajících dějů. Nastartování biodegradace mikroorganismy probíhá samovolně. Ve výjimečných případech se do kompostu očkují (řízené kompostování).

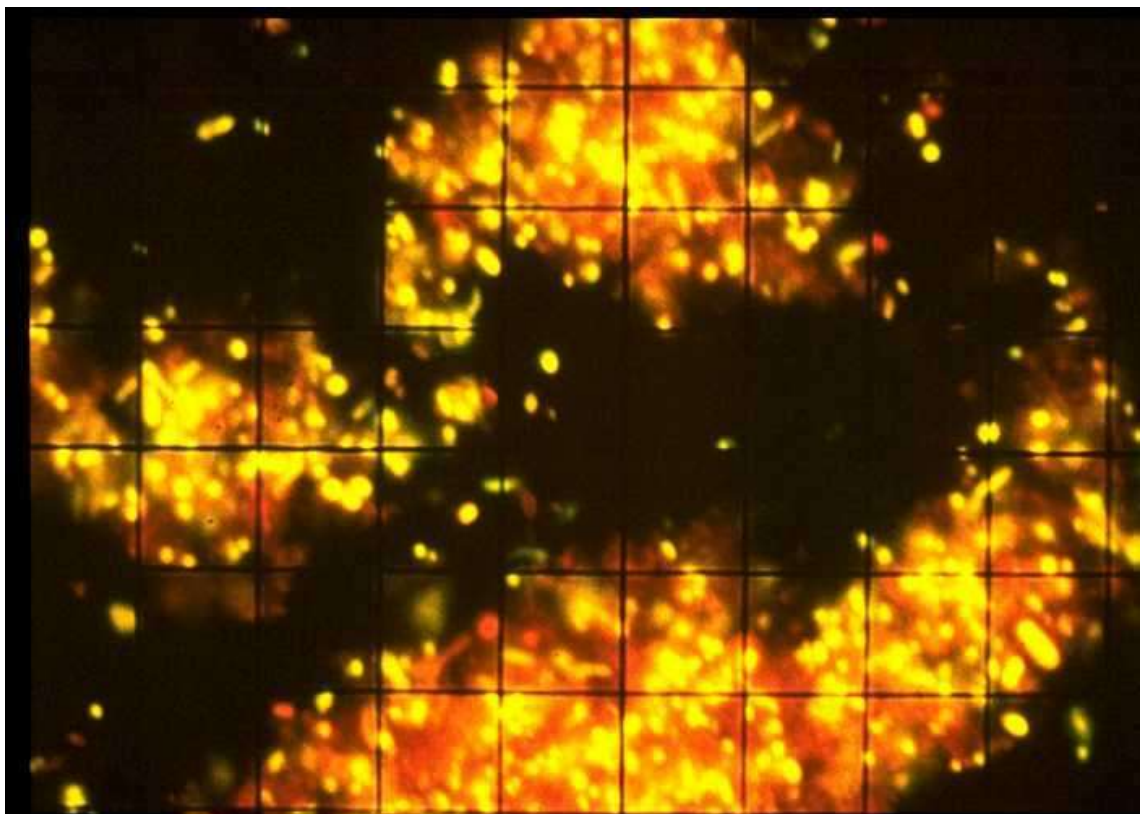
Kompostovací proces má tři základní fáze, které můžeme rozlišovat dle teploty, vzhledu, pachu a objemu substrátu. [1]



Obr. 3: Průběh teploty v jednotlivých fázích kompostování [12]

První fáze - rozkladná (mineralizace)

Dochází k rychlému nárůstu (60 - 70 °C) a následnému pozvolnému poklesu teploty. V této fázi se projevuje aktivita zejména termofilních mikroorganismů. [1]



Obr. 4: Aktivita mikroorganismů na vzorku humusu zachycená mikroskopem [16]

Ti rozkládají složité organické sloučeniny na jednodušší sloučeniny anorganického charakteru. V počátečním stádiu se odbourávají cukry, škroby a bílkoviny, v dalším

stupni také celulóza a další součásti dřevní hmoty. Konečnými produkty rozkladu kompostované hmoty jsou voda, CO₂ a nitratový iont NO₃⁻. Celkový pokles hmotnosti může být až 30 % původního množství. V této fázi dochází k hygienizaci kompostu, teplota ničí hnilobné a další patogenní bakterie a současně likviduje klíčivost semen plevelů. [1]

Druhá fáze - přeměnná

Dochází k plynulému poklesu teploty až na 25 °C. Termofilní bakterie jsou nahrazeny odlišnou skupinou mikroorganismů a plísní, může se vyskytovat i nenáročný hmyz. Prvotní vzhled, struktura a pach se ztrácí, jednotlivé částice se dále rozpadají. Výluhy kompostu nejsou hygienicky závadné, mizí fytoxicita (nepříznivé účinky chemických látek). [1]

Třetí fáze – dozrávání kompostu

Teplota stále klesá až na hodnotu teploty okolí. V kompostu se objevují drobní živočichové a hmyz, stonožky, roztoči, žížaly apod. Dochází ke tvorbě kvalitního a stabilního humusu a k vytváření vazeb mezi anorganickými a organickými látkami v kompostu. Konečná hmotnost zakládaného kompostu je zhruba poloviční. [1]

4.1.2 Kritéria ovlivňující proces kompostování

Obecně můžeme říct, že čím je směs pro kompostování rozmanitější, tím je výsledný kompost kvalitnější. Mimo jiné je při skladbě zakládky a pro efektivnost kompostování důležité dodržovat určité zásady.

Vhodné chemické složení

Primárně jde o vhodný poměr mezi organickými a anorganickými látkami. S tím souvisí obsah živin v kompostovaném materiálu, který ovlivňuje růst a aktivitu mikroorganismů. Při přebytku anorganické látky probíhá humifikace organického podílu pomalu. Důležitý je dostatečný podíl lehce odbouratelných látek, jako jsou cukry a bílkoviny. Ty mohou přispět k rychlému a účinnému rozběhnutí kompostování. [1], [5]

Vhodný poměr C:N

Uhlík a dusík patří mezi živiny, na kterých nejvíce závisí kvalita výsledného kompostu. Průběh humifikace se výrazně zpomaluje při nedostatku dusíku. Naopak při jeho přebytku dochází k přílišné mineralizaci a k úniku dusíku ve formě amoniaku. To má za následek zvyšování pH nad míru příznivou pro život mikroorganismů. Ideální poměr mezi obsahem uhlíku a dusíku tedy C:N nabývá hodnot (25 - 30):1. [8] Tohoto poměru je nutné dosáhnout programovým mísením složek. [1], [8]

Struktura a velikost částic

Tyto vlastnosti jsou dány výběrem surovin pro kompostování a dále pak mírou nadrcení nebo promíchání substrátu. Například mohou ovlivňovat proces kompostování tím, že určují množství vzduchu v základce. Drobnější částice pak mají větší povrchovou plochu v porovnání s jejich objemem a mohou být vystaveny výraznějšímu působení mikroorganismů apod. Ideální velikosti částic se doporučují v rozmezí 20 - 50 mm. [8]

Vlhkost

Optimální vlhkost usnadňuje životní procesy mikroorganismů v kompostu. Voda slouží jako médium pro chemické reakce, je důležitá pro transport živin a pohyb mikroorganismů. Za optimální vlhkost kompostu se považuje hodnota v rozmezí 50 – 60 %. V případě nižší vlhkosti (pod 40 %) dochází ke zpomalování mikrobiální aktivity. Naopak pokud je vlhkost vyšší než 60 %, může docházet k ucpávání pórů vodou a tím se vytváří anaerobní prostředí, které také není žádoucí. [1], [8]

Teplota

Teplota hraje významnou roli v procesu kompostování. Její průběh můžeme rozdělit do dvou hlavních částí. První - mezofilní fáze probíhá při teplotách v rozsahu +10 - +40 °C a druhá fáze - termofilní je charakterizována vyššími teplotami nad 40 °C. Teplota je funkcí procesu kompostování a její výše je dána zejména aktivitou přítomných mikroorganismů. Optimální teplota je také důležitá pro rozklad organické hmoty a především pro likvidaci nežádoucích patogenních mikroorganismů. Její hodnota se pohybuje v rozmezí teplot od +43 - +65 °C. [8]

Hodnota pH

Za optimální lze považovat pH blízké neutrální rovině, tedy v rozmezí 6,5 - 8. V kyseljším prostředí (pod hodnotu pH 6) dochází k hynutí většiny mikroorganismů, zejména bakterií, což má za následek zpomalení procesu rozkladu organických látek. V zásaditějším prostředí (nad hodnotu pH 8,5) dochází k přeměně dusíkatých sloučenin na amoniak, který uniká z kompostu v plynném skupenství a tím se zvyšují ztráty dusíku. [8]

Optimální přívod vzduchu

Dostatečné množství kyslíku je základem pro vytvoření aerobního prostředí kompostu, které následně umožňuje mikrobiální aktivitu. Dále můžeme provzdušňováním kompostu ovlivňovat vlhkost a regulovat jeho teplotu. Naopak nedostatek vzduchu vede k tvorbě anaerobního prostředí, ve kterém vznikají nežádoucí látky (metan, organické kyseliny, atd.) a způsobuje problémy se silným zápachem a hygienou kompostu. [8]

4.2 Technologie kompostování

Technologie pro kompostování můžeme rozdělit z technologického hlediska do těchto kritérií:

I) kompostování na volné ploše

- kompostování v pásových hromadách,
- kompostování v plošných hromadách,

II) intenzivní kompostování

- polouzavřené systémy, kompostování v boxech nebo žlabech,
- uzavřené systémy, kompostování v bioreaktorech,

III) kompostování ve vacích (Ag Bag kompostování)

IV) vermikompostování.

4.2.1 Kompostování na volné ploše

Kompostování v plošných hromadách

Kompostování na volné ploše v plošných hromadách patří mezi nejstarší kompostovací technologie. V minulosti se uplatňovala zvláště proto, že nebyla vhodná mechanizace k zakládání pásových hromad. Jejich výhodou bylo, že se hromady zakládaly na okrajích polí. Hmota ke kompostování se zakládala do výšky 0,5 m, tvořila ji zejména chlévská mrva, sláma a další odpady, které byly pravidelně zavlažovány močůvkou. Kompost se překopával hlubokou orbou a plocha zakládky se v dalších letech využívala k pěstování krmných plodin. V dnešní době se využívá spíše technologie kompostování na volné ploše v pásových hromadách, viz níže. [13]

Kompostování v pásových hromadách – mechanicky provzdušňované

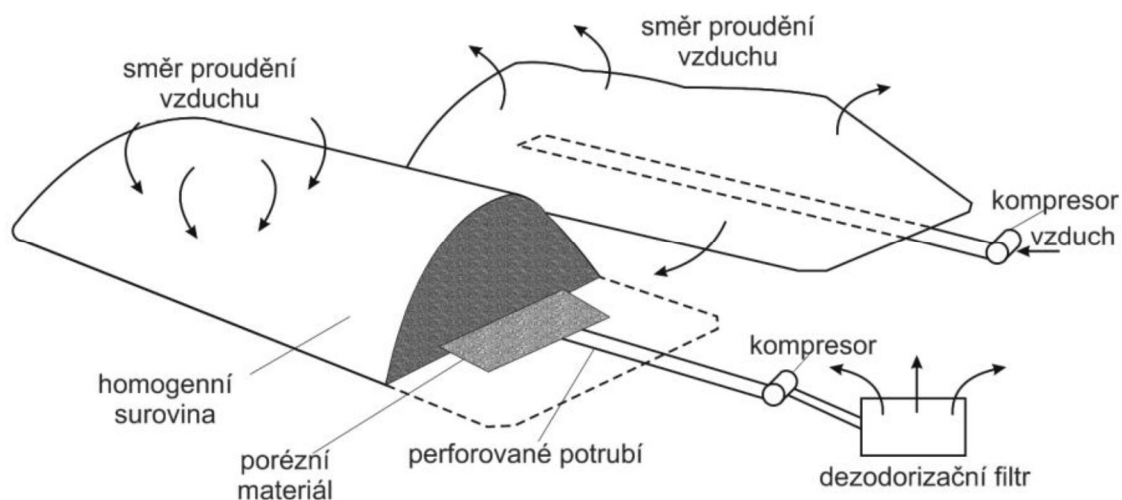
Nejjednodušší a často využívaná technologie pro zpracování organických odpadů. Kompostovaný materiál se při tomto způsobu vrství do lichoběžníkových nebo trojúhelníkových hromad, kde šířka zakládky bývá nejčastěji v rozmezí 2 - 6 m a výška 1,5 - 3 m. K provzdušňování zakládek se v pravidelných intervalech používají překopávače kompostu. Tím se zajišťuje homogenizace materiálu a mechanická destrukce částic, což usnadňuje biochemické pochody. Tento způsob provzdušňování není tak účinný a v důsledku toho kompostování trvá dlouho. Také je nutné zmínit, že nedostatečně degradované sloučeniny představují nebezpečí pro podpovrchové vody a z tohoto důvodu se plochy pro kompostování budují jako tzv. vodohospodářsky zabezpečené plochy, které zabraňují průsaku těchto látek do spodních vod. [1]

Kompostování v pásových hromadách – s pasivním provzdušňováním

U tohoto typu kompostování je vzduch do pásových zakládek přiváděn perforovaným potrubím umístěným zespodu každé hromady. Není tedy potřeba kompost překopávat. Díky komínovému efektu, který vzniká rozdílem teplot vzduchu v zakládce a okolního vzduchu, dochází k provzdušňování hromady. Doporučená výška zakládky se pohybuje v rozmezí 0,9 - 1,2 m. Před návozem kompostované suroviny se zpravidla kolem perforovaného potrubí nebo nad ústí otvorů ukládá porézní materiál (štěpka, sláma). Vzhledem k tomu, že neprobíhá překopávání hromady, je nutné suroviny homogenizovat ještě před jejich uložením do zakládky. [1]

Kompostování v pásových hromadách – s aktivním provzdušňováním

U této metody je do lichoběžníkové nebo trojúhelníkové hromady vzduch nuceně přiváděn perforovaným potrubím, které se nachází v každé zakládce nebo v kanálech umístěných pod úrovní terénu. Kompostovaná hmota musí před uložením do zakládky projít procesem homogenizace a zpravidla se ukládá na předem uložený porézní materiál (štěpka, sláma). Dle použité technologie je vzduch do zakládky, buď vháněn, nebo nasáván. Výška zakládky se zpravidla pohybuje v rozmezí 1,5 - 2,5 m, šířka pak v rozmezí 3 - 4,9 m. [1]



Obr. 5: Schéma funkce pásových zakládek s aktivním provzdušňováním [1]

4.2.2 Intenzivní kompostování

Využitím kompostovacích zařízení je možné odstranit některé nevýhody kompostování v pásových zakládkách či na hromadách a zejména pak urychlit celý kompostovací proces. Biodegradace v těchto zařízeních probíhá v polo uzavřených nebo uzavřených prostorech, tím je podloží chráněné před průsaky kontaminované vody. Proces provzdušňování se zpravidla realizuje mechanickým přehazováním nebo přívodem stlačeného vzduchu do kompostované hmoty. Protože zařízení jsou investičně nákladná, dochází k zintenzivnění procesu kompostování zpravidla v první fázi mineralizace. Následné dozrávání pak probíhá volným ložením na hromadách. [1]

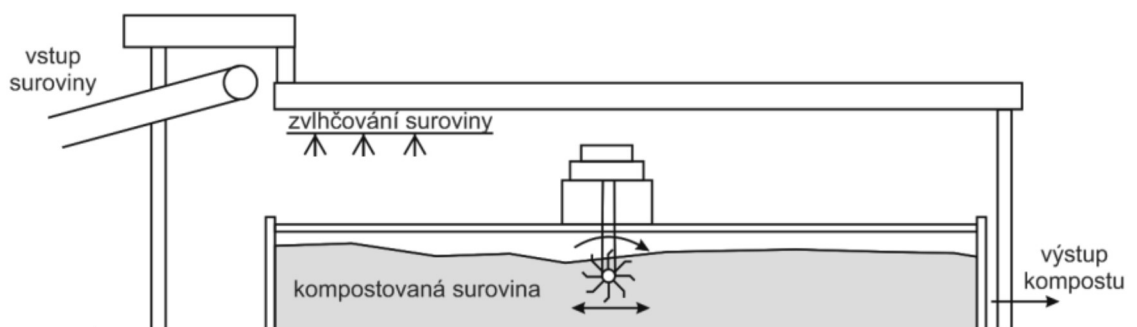
Kompostovací systém s vrtnou věží

Jde o polouzavřené diskontinuální zařízení, které je zastřešené a vybavené pojezdovou jeřábovou dráhou, na které je instalována tzv. vrtná věž. Suroviny jsou do

kompostovacích komor přepravovány pomocí dopravníku umístěného rovněž na jeřábové dráze. Provzdušňování je zajištěno mechanicky, pomocí míchacího zařízení a vzduchem, jenž je do kompostovaného materiálu vháněn drážkami umístěnými v dlážce každé komory. Optimální vlhkost zabezpečuje zavlažovací zařízení. Kompostovaný materiál je uložen v komoře po dobu 3 - 4 měsíců a následně se mechanickým nakladačem vyprázdní. [1]

Kompostovací žlaby

Tato polouzavřená kontinuální zařízení tvoří kompostovací prostory ve tvaru podlouhlých žlabů, která se plní zpracovávanou surovinou. Nad žlaby je umístěno pojízdné překopávací zařízení, které se pohybuje na kolejnicích osazených na stěnách žlabu. Tento mechanismus zajišťuje mechanické provzdušnění materiálu, homogenizaci a jeho posun. Systém na zvlhčování směsi je zpravidla umístěn nad žlabem. Kompostovací proces v tomto zařízení trvá přibližně 4 týdny a dochází při něm k biochemické degradaci podporované mechanickou destrukcí materiálu. [1]



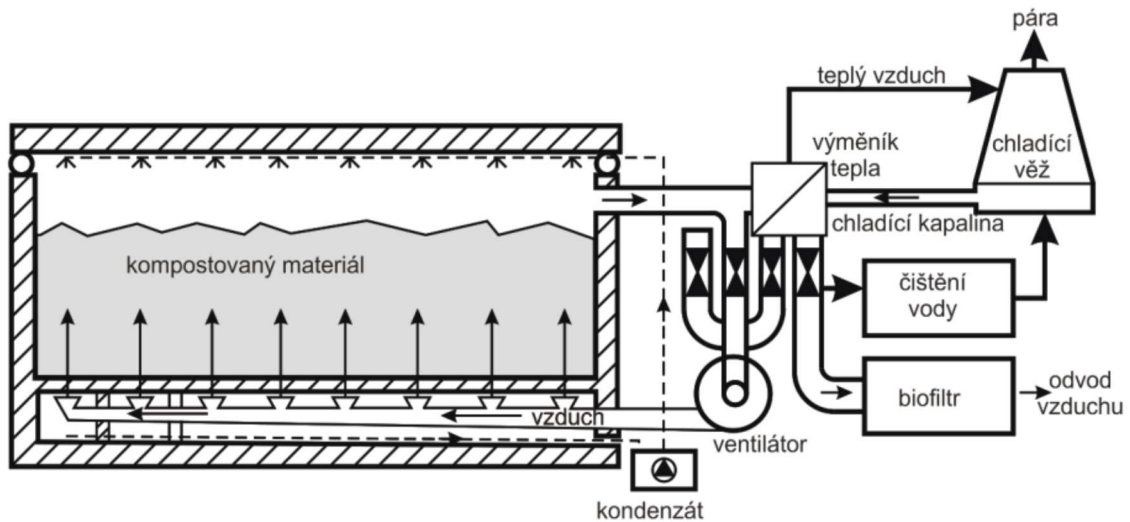
Obr. 6: Kompostovací žlaby s překopávacím zařízením [1]

Rotační bioreaktory

Jedná se o uzavřené kontinuálně pracující zařízení, které využívá pomalu se otáčející bubnu k promíchání, zmenšení, prosévání a provzdušnění kompostovaného materiálu. Doba zdržení kompostovaného materiálu určuje rychlost otáčení bioreaktoru a sklon osy rotace. Vzduch je přiváděn do bioreaktoru opačným směrem než kompostovaný materiál a na výstupu z bioreaktoru se využívá na předehřev materiálu vstupujícího. V první fázi je proces mineralizace nastartován velmi rychle a dobře odbouratelné organické látky jsou rozloženy v řádech dnů. Další rozklad biomasy probíhá v navazujících technologiích kompostování. [1]

Kompostovací boxy

Proces kompostování probíhá v uzavřených, diskontinuálně pracujících kovových nebo plastových boxech obdélníkového tvaru. Zpravidla jsou tyto boxy uzpůsobené pro přemísťování manipulační technikou. Po naplnění kompostovanou surovinou se box připojí na zdroj stlačeného vzduchu. Následně, po proběhnutí teplotního maxima, se box odpojí a surovina se přeloží na dozrávající plochu. Délka těchto kompostovacích bioreaktorů může být až 50 m. Tento systém vyžaduje dostatečný prostor pro manipulaci s boxy a pohyb speciální mechanizace. Nevýhodou této technologie kompostování je, že materiál uvnitř boxu nekoná žádný pohyb. Navíc vzduch přiváděný dnem boxů může vytvořit „kanálky“, kterými po celou dobu neefektivně proudí část vzduchu. [1]



Obr. 7: Kompostovací boxy [1]

Tunelové bioreaktory

Jedná se o uzavřený bioreaktor tvořený obdélníkovou komorou provozovaný v kontinuálním režimu. Dno reaktoru je opatřeno systémem kanálů pro rozvod vzduchu a o posun materiálu se stará pohyblivé dno nebo čelní pohyblivý štít, oboje poháněné hydraulikou. Malé kovové reaktory mají zpravidla objem 10 - 50 m³ a větší betonové do 500 m³. Výhodou těchto reaktorů je, že provzdušňování materiálu probíhá rovnoměrněji a minimalizuje se nebezpečí vzniku „kanálek“, kterými by přednostně bez využití proudil vzduch. To je způsobeno pravidelným posunem hmoty, který umožňuje, aby se nad kanály každý den dostal jiný obsah spodní vrstvy kompostu. [1]

4.2.3 Kompostování ve vacích

Princip této technologie spočívá v tom, že se pomocí speciálního stroje kompostovaná hmota naplní a uzavře v PE-vacích. Před vložením je tato hmota již dostatečně zhomogenizovaná a promíchaná. Provzdušnění uloženého materiálu ve vaku je zajištěno pomocí PE-hadice napojené na zdroj stlačeného vzduchu, který na základě výsledků kontinuálního monitorování teploty zajišťuje rovnoměrný přívod vzduchu. Kompostovací proces v uzavřených vacích probíhá po dobu asi 6 - 8 týdnů a výhodou je, že vaky lze ukládat pouze na plochu zpevněnou, vodohospodářsky nezabezpečenou. Po uplynutí této doby je kompostovací vak podélně rozříznut a hotový kompost je z vaku vyjmut. Kompost je následně expedován buď jako hrubý k přímému použití nebo se dále zpracovává. [14]

4.2.4 Vermikompostování

Kompostování s využitím žížal a mikroorganismů (vermikompostování) je bio-oxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který nezahrnuje termofilní fázi rozkladu. Překopávání, rozmělnění a provzdušnění zabezpečují z větší míry svou činností žížaly. Výsledný kompost má ve srovnání s klasickým kompostem výrazně lepší vlastnosti, je bohatý na živiny, ale také obsahuje vysoce kvalitní humus, enzymy a látky, které jsou schopné chránit rostliny před škůdci a chorobami. Vermikompostování lze využívat přímo v domácnosti zpracováním kuchyňských zbytků za použití vermikompostérů různého typu a konstrukce. Velkoprodukční vermikompostování je pak zpravidla prováděno pomocí jednoduchých technologických systémů (např. boxové vermikompostování) nebo pomocí složitějších systémů tzv. vermireaktorů. Při použití jakéhokoliv z uvedených systémů je nezbytné zajistit optimální prostředí pro hlavní součást vermikompostování – pro žížaly. [15]

5 VÝSLEDKY

Tato část práce se bude věnovat technologii kompostování využívané v praxi a to na Centrální kompostárně v Brně. Volně navazuje na předešlou kapitolu a nabízí tak ucelený přehled o základních procesech a technologických postupech vedoucích k výrobě kompostu z BRO.

5.1 Centrální kompostárna Brno

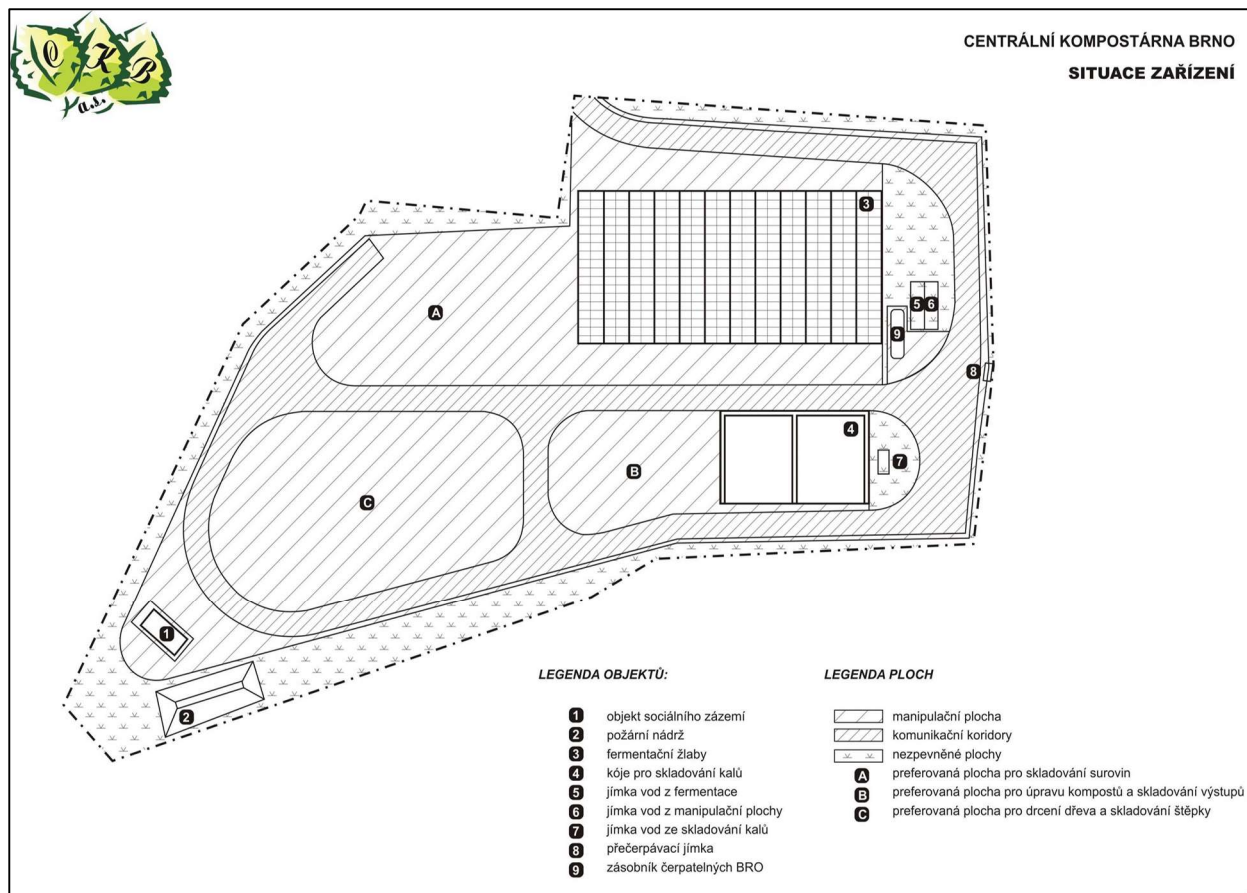
Zařízení Centrální kompostárna Brno, a.s. (dále jen „CKB“) je situováno v prostoru bývalé skládky Brno-Černovice, mimo obytnou zástavbu, která je ve vzdálenosti cca 1 km (jižně) až 1,5 km (severozápadně) od areálu. V bezprostřední blízkosti kompostárny se nachází provoz recyklace stavebních materiálů (severně) a plánovaný provoz ÚVP Brno - zařízení anaerobní digesce organických odpadů (jižně). Roční kapacita kompostárny je 70 000 t odpadu a areál se rozprostírá na ploše 2,2 ha.

Plochy vyhrazené pro nakládání s odpady jsou vodohospodářsky zabezpečeny kombinovaným těsněním, které je složeno z minerálního těsnění provedeného dle ČSN 8380 čl. 7.2.1 a izolační folii PeHD tloušťky 1,5 mm, což odpovídá skupině skládek S-OO. Manipulační plocha je dále opatřena asfaltobetonovým povrchem a je vyspádována směrem k ose plochy. Srážková voda zachycená na manipulační ploše je svedena do jímky srážkových vod. [17], [18]

Areál je oplocen a skládá se z následujících provozních objektů a souborů:

- manipulační plocha,
- fermentační žlaby,
- kóje ke skladování kalů ČOV,
- zásobník čerpatelných biologicko-rozložitelných odpadů (ocelová akumulární nádrž)
- objekty vodního hospodářství,
- provozní zázemí a zabezpečení provozu,
- technologické zařízení provozu.

Kromě kompostování a výroby hnojiv se na CKB materiálově využívá odpad charakteru dřevní hmoty k výrobě dřevní štěrky a dřevního paliva. Současné zařízení slouží k úpravě kalů z ČOV před následným využitím [17], [18]



Obr. 8: Situace CKB [18]

5.2 Technologie a proces kompostování

Zařízení CKB využívá ke zpracování biologicky rozložitelného odpadu metodu řízené intenzivní aerobní fermentace s nucenou ventilací. V praxi to znamená, že kompostovací proces probíhá ve 12 fermentačních žlabech (betonových prefabrikátech), které jsou umístěny vedle sebe a odděleny přepážkou o výšce cca 1,5 m. Dno je zhotoveno jako perforovaná deska na podstavcích, tím je vytvořen prostor pro přívod vzduchu pomocí samostatné ventilační jednotky. Plocha jednoho žlabu činí 216 m² při rozměrech 6 x 36 m. Kraje přepážek mezi jednotlivými žlaby je možné osadit rozvodem vody k postřiku kompostovacích zakládek a měřicím systémem pro sledování základních

fyzikálních a chemických parametrů v prostředí zakládek. Kompostová zakládka je do žlabů zakládána ve tvaru lichoběžníků tak, aby bylo dle určení výroby zajištěno dodržení následujících parametrů:

- optimální struktura matrice,
- optimální skladba s ohledem na průběh fermentace (vlhkost, poměr C:N),
- kvalita směsi dle požadavků na výsledný produkt kompostování. [17], [18]

Po ukončení návozu a uzavření je zakládka dle potřeby provzdušňována (zejména v první fázi pro nastartování a urychlení rozkladu) a vlhčena. V rámci výroby může být zakládka přeházena či sloučena s předchozí nebo následující zakládkou do jednoho žlabu (během fermentace dochází ke ztrátě objemu i hmotnosti surovin). V průběhu zrání je v zakládce sledována teplota manuálně nebo měřicím systémem s automatickým záznamem teploty. Za hotový kompost určený k expedici nebo dalšímu zpracování může být považován pouze kompost, u kterého došlo k dodržení stanovených teplot (viz. Tab. 2.). [17], [18]

Tab. 2. : Teplotní režimy při hygienizaci kompostováním [19]

Technologie	Vstupy	Teplota, doba
Malé zařízení	Odpady ze zahrad a zeleně	$\geq 45^{\circ}\text{C}$, 5 dní
Kompostování	Odpady ze zahrad a zeleně, zbytková biomasa ze zemědělství	$\geq 45^{\circ}\text{C}$, 10 dní
Kompostování	Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1 seznam A)	$\geq 55^{\circ}\text{C}$, 21 dní $\geq 65^{\circ}\text{C}$, 5 dní
Kompostování v uzavřených prostorách	Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1, seznam A)	$\geq 65^{\circ}\text{C}$, 5 dní

5.3 Příjem odpadů

Na kompostárnu jsou odpady naváženy převážně z Brna a blízkého okolí prostřednictvím svozových nebo dopravních prostředků. Dodavatelé mohou být smluvně zavázáni, potom dokládají při převážce odpadu tzv. předávací list, kde jsou uvedeny informace o odpadu (původce, dopravce, druh, vznik, vlastnosti odpadu, atd.). Nebo

v případě, že smlouvu s CKB nemají, dodávají informace o odpadu pouze ústně a následně obdrží písemné potvrzení o jeho přijetí. [17], [18]

Před uložením je odpad zvážen na mostové váze a je provedena vizuální kontrola. Jestliže odpad neodpovídá deklarovanému odpadu nebo nevyhovuje podmínkám příjmu, není do zařízení přijat. Seznam přijímaných odpadů je uveden v příloze č. 1. Před zpracováním odpadu do zakládky se provádí jeho případná předúprava, na základě charakteru odpadu, jeho kvality a určení. [17], [18]

Tab. 3: Přehled vstupních surovin používaných na CKB

vstupní surovina [t]	rok			celkem
	2012	2013	2014	
BRO (tráva, listí)	7235,85	187,14	1826,27	9249,26
BRO separovaný sběr	0	0	9807,74	9807,74
jiná biomasa	815,63	9666,19	695,68	11177,5
dřevo	6124,44	6133,816	5668,58	17926,836
kal ČOV	284,77	355,14	7294,23	7934,14
jiný kal	1281,99	1092,43	414,91	2789,33
minerální odpad	367,88	73,89	10277,85	10719,62
štěpka surovina	888,69	1563,21	722,33	3174,23
dřevo surovina	205,44	155,74	0	361,18
surovina celkem	17204,69	19227,556	36707,59	73139,836
využitá kapacita [%]	34	38	73	

5.4 Příprava materiálu pro kompostování

Do výrobní zakládky ve fermentačním žlabu mohou být zavedeny odpady:

- bez předchozí úpravy,
- předkompostované odpady z ambulantních zakládek,
- odpady po úpravě drcením nebo štěpkováním (např. dřevo, listí, seno, apod.),
- odpady po úpravě tříděním na rotačním síti. [17], [18]

5.4.1 Drcení a třídění

Většina odpadu před uložením do kompostovaných zakládek vyžaduje pro snadnou a kvalitní homogenizaci rozmělnění či rozdrčení. Navíc čím menší jsou částice surovin, tím je větší oxidační a styčná plocha a biodegradabilní proces probíhá účinněji. Pro jemnou dezintegraci se na CKB používá rychloběžný drtič Doppstadt AK 430 Profi (obr. 6). Ten je vybaven hydraulickým pojezdem a magnetickým separátorem. Drtič zpracuje 12 – 20 tun za hodinu dle druhu a vlhkosti zpracovávaného materiálu a umožňuje rozmělnění výstupní frakce na velikost 50 mm nebo 100 mm. [17], [18]



Obr. 9: Rychloběžný drtič Doppstadt AK 430 Profi [Bystřický, 2015]

K prosévání a separaci nežádoucích materiálů (např. sklo, kameny, plast apod.) se na CKB využívá mobilní bubnový třídíč Doppstadt SM 518 profi (obr. 7). Ten zajišťuje plynulý posun materiálu vnitřním povrchem rotujícího válcového roštu, kde dochází k prosévání a částečné homogenizaci. Třídíč je schopen zpracovat cca 60-120 m³ materiálu za hodinu. [17], [18]



Obr. 10: Bubnový třídač Doppstadt SM 518 profi [Bystřický, 2015]

5.4.2 Homogenizace odpadu

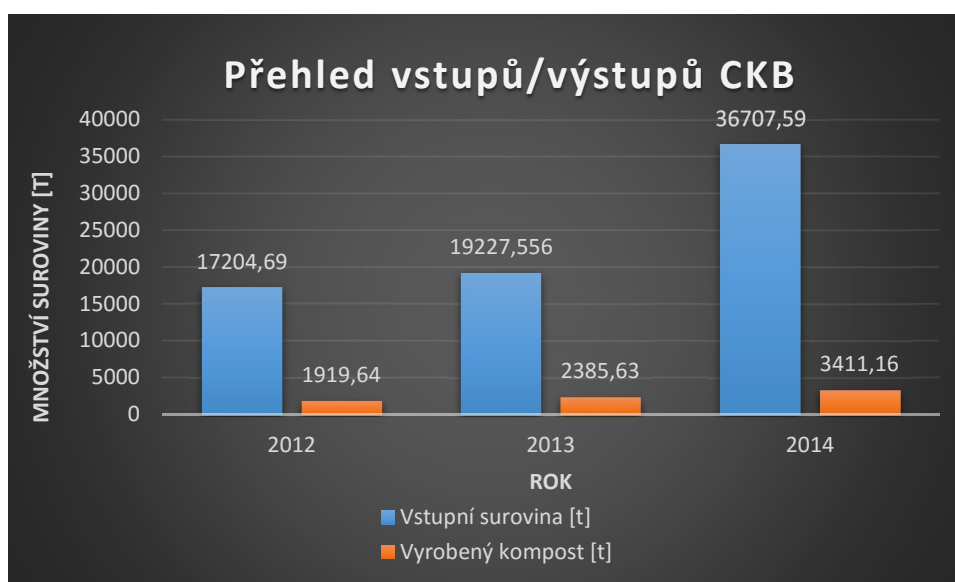
Jedním z nejvýznamnějších požadavků na kompostované suroviny před založením do zakládky je dosažení jejich optimální zrnitosti a homogenity. K homogenizaci materiálů je na CKB využíván homogenizér SEKO SAMURAI 5, včetně pohonné jednotky traktoru John Deer 6430. Zpracovávaný materiál je vkládán do vany, jenž plní funkci zásobníku, kde se pomocí protiběžných šneků drtí a mísí. Výhodou tohoto zařízení je jeho mobilita, nižší hlučnost a bezprašný provoz. [17], [18]



Obr. 11: SEKO SAMURAI 5, včetně pohonné jednotky traktoru John Deere 6430 [Bystřický, 2015]

5.5 Výstupní produkty

Průběh aerobního kompostování a kritéria ovlivňující jeho průběh jsou popsána podrobněji výše (například kapitola 4. Materiál a metodika), z tohoto důvodu se můžeme přímo zaměřit na konečné výrobky kompostovacího procesu.



Obr. 12: Přehled vstupů/výstupů kompostovacího procesu na CKB

Po úpravě jsou BRO v poměrech dle zadané receptury naváženy k zakládce do příslušného fermentačního žlabu pomocí pásového dopravníku a kolových nakladačů. Volbu receptury zakládky provádí správce CKB podle cíle fermentace s přihlédnutím k aktuální nebo sezónní skladbě přijatých BRO. Technologie aerobního termofilního rozkladu organické hmoty je založena na přívodu vzduchu, resp. kyslíku do kompostu po dobu zrání tak, aby bylo podpořeno zásobování mikroorganismů vzdušným kyslíkem. S rostoucí teplotou zakládky dochází k tzv. komínovému efektu aerace zakládky. Hygienizace, budoucí zdravotní nezávadnost a dekontaminace patogenních organismů výrobku se pak zajišťuje za pomoci vyšších teplot při exotermním procesu tlení.

Měření teploty v zakládkách se provádí dvakrát týdně na 4 - 6 různých místech pomocí tyčových teploměrů. Jakmile je dosaženo teploty nad 55 °C po dobu minimálně 25 dní, provádí se smísení dvou původních krechtů do jednoho. Tím dochází zároveň k provzdušnění a promísení směsi. Opět se sleduje teplota v zakládce a musí být dosaženo teploty nad 55 °C po dobu min. 21 dní. Po této fázi následuje překopání směsi. Ideální teplota zakládky je 60 °C a kritická dosahuje hodnot 70 °C a více. Provzdušňování krechtů se provádí každý den zpravidla ráno a večer.

Po ukončení fermentace je směs tříděna na bubnovém třídíči na podsítnou frakci (hotový kompost) a nadsítnou frakci (nežádoucí odpad, dřevo, velké kusy ve směsi). Kompost je následně dopraven na hromadu ve vyhrazené části manipulační plochy, kde je skladován do doby dalšího zpracování nebo expedice. Výsledné produkty jsou registrované Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským. Vyrobene šarže jsou následně podrobeny rozboru příslušnou kontrolní laboratoří a nesmí být starší než jeden rok. Produkty vyráběné kompostováním na CKB jsou následující:

Zelený drak – jedná se o organické hnojivo, které je nejkvalitnějším ze všech tří produktů. Je vyráběno pouze ze zeleného rostlinného odpadu a štěpky. Je určeno k použití jako hnojivo na zemědělské nebo lesní půdě, k obnově narušených ploch, k rekultivacím, sadovým úpravám nebo k jiným obdobným účelům. [17], [18]

Černý drak – v tomto druhu kompostu je přípustné malé procento kalů z ČOV, z tohoto důvodu je méně kvalitní než předcházející produkt a má tmavší barvu. Nachází využití především k hnojení zahrad a k rekultivacím. [17], [18]

Šedý drak – jedná se o rekultivační substrát, vzniká smísením kompostu a zeminy. Proto je méně kvalitní a je určen k rekultivaci lokalit zatížených průmyslovou činností, a dále k parkovým, sadovým a terénním úpravám. Nesmí se požívat pro pěstování plodin určených pro přímou spotřebu a pro zakládání dětských a sportovních hřišť. [17], [18]

Tab. 4: Výstupní produkty kompostování a příjmy na CKB

výstupní produkty [t]	rok			celkem
	2012	2013	2014	
zelený drak	46,26	1,33	0	47,59
černý drak	450,76	597,35	1323,27	2371,38
šedý drak	1422,62	1786,95	2087,89	5297,46
celkem	1919,64	2385,63	3411,16	7716,43

příjmy [%]	rok		
	2012	2013	2014
prodej kompostu	4,5	3,5	5,5
uložení odpadu	35	32,5	55,3
prodej paliva	26,3	33,8	23,4
celkem	65,8	69,8	84,2

6 DISKUZE

Centrální kompostárna Brno patří mezi regionálně významná zařízení k využívání bioodpadů na jižní Moravě. V současné době jsou největšími dodavateli bioodpadu obce z regionu Brněnska, Prostějovska, Vyškovska a Znojemska (až 90 % z celkového množství). Zbytek tvoří soukromé firmy a ve velmi malé míře fyzické osoby.

Zařízení je situováno na bývalé městské skládce v průmyslové zóně Černovických teras. Území tvoří rovinný a otevřený terén, bez lesních porostů a jiných přírodních překážek. Nejbližší obytná zástavba se nachází asi 1 km od objektu kompostárny a její provoz nepředstavuje pro obyvatele v jejím okolí významné zdravotní riziko. Ani z hlediska znečištění ovzduší nedochází k výraznějším změnám stávající imisní zátěže v blízkém a v širším okolí. Emise pachových látek a tuhých znečišťujících látek jsou maximálně omezeny technologickým procesem aerobního rozkladu. Manipulace s materiálem v průběhu zrání je minimální díky tomu, že pro aeraci není použito překopávání kompostu, ale nucené provzdušňování.

Kladně pak lze hodnotit umístění kompostárny z hlediska ekonomicky efektivního svozu. Příjezdová komunikace navazuje na ulice Vínohradská a Kaštanová/Tuřanská, které jsou městskými komunikacemi funkční třídy B2, s přímou obsluhou území. Ulice Černovická je pak rychlostní městskou komunikací funkční třídy A2 a tvoří jihovýchodní část velkého městského okruhu. Současně v těsné blízkosti dotčeného území prochází dálnice D1. Lze tedy říci, že stavební a prostorové uspořádání uvedených komunikací umožňuje dobrý přístup pro svozové prostředky.

Technické řešení provozu zabezpečuje ekologické kompostování a efektivní zpracování organických odpadů. Užitá moderní technologie a technické prostředky odpovídají současným trendům a požadavkům pro produkci certifikovaných kompostů a substrátů. Všechny plochy určené pro nakládání s odpady jsou vodohospodářsky zabezpečeny. A systém nakládání s odpadními vodami zajišťuje oddělené nakládání s vodami z technologických ploch a se srážkovými vodami z ostatních ploch. Možnou nevýhodu u použité technologie spatřuji ve způsobu překopávání pomocí nakladačů. Tento způsob je při tak značném množství zpracovávaného materiálu velmi časově náročný, nehledě na spotřebované množství provozních kapalin. Také promísení směsi není tak efektivní jako při užití překopávačů. Na druhou stranu není potřeba zakládku pravidelně překopávat díky systému provzdušňování.

Hodnota projektované roční kapacity zařízení pro výrobu kompostu je 50 000 tun. Z tabulky č. 3. vyplývá, že v roce 2012 byla tato kapacita využita z 34 %, v roce 2013 z 38 % a v roce 2014 ze 73 %. Nárůst v roce 2014 je způsoben zájmem nových dodavatelů bioodpadu. Lze předpokládat, že tento zájem bude pokračovat i v následujících letech. Na podzim roku 2014 byla totiž přijata novela zákona o odpadech, která obcím stanovila povinnost zajistit sběr bioodpadu v obci.

Na základě poznatků získaných v provozu kompostárny je možno konstatovat, že případné zvýšené množství odpadu bude zařízení schopno zpracovat. Problém však pro kompostárnu bude představovat vyrobený kompost, po kterém není poptávka na trhu. Jeho skladování pak zabírá výrobní kapacitu zařízení. Uvedené skutečnosti mají negativní vliv na ekonomiku provozu kompostárny. Z dat, která jsem měl k dispozici k nahlédnutí, vyplynulo, že například v roce 2012 zisk z prodeje kompostu na CKB tvořil podíl 4,5 % z celkového ročního příjmu, zisk z příjmu odpadu tvořil podíl 35 % a prodej paliva tvořil podíl 26,3 % z celkového zisku (viz Tab. 4: Výstupní produkty kompostování a příjmy na CKB).

Z výše uvedených hodnot plyne, že zásadním problémem CKB je odbyt vyrobených produktů. Paradoxně největším odběratelem by měli být zemědělci. Ale ti, i dle slov vedoucího zaměstnance kompostárny, o kompost zájem nemají. Důvodů může být několik: špatná dostupnost, různorodá kvalita kompostu, velké svozové vzdálenosti, náklady na zapravení do půdy, ekonomické aspekty, nedostatečná propagace apod.

Řešení by mohlo poskytnout zavedení motivačních nástrojů podpory odbytu a s tím související změna legislativy. Například, v době kdy dotace na zemědělskou půdu dosahují mnohdy až 40 % příjmů zemědělců, je možno získávání těchto dotací podmínit užitím kompostu.

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce poskytuje ucelené informace o způsobech zpracování organického materiálu, používaných technologiích a významu kompostování. Při jejím zpracování jsem měl možnost seznámit se (v období 2014 - 2015) s praktickým provozem kompostárny a prohlubovat tak poznatky získané při studiu.

Teoretická část je věnována základním biologickým principům, které se využívají při zpracování organických odpadů, založených na metabolických aktivitách různorodých skupin mikroorganismů. Současně je popsán proces kompostování, jeho tři základní fáze a kritéria, která ho ovlivňují. Následující část pak na tyto poznatky navazuje a prezentuje jejich implementaci v praktickém provozu Centrální kompostárny Brno. Při charakteristice tohoto zařízení jsem se zaměřil především na technické prostředky a technologické posloupnosti operací, od návozu vstupních surovin až po hotové produkty.

V části Diskuze jsem hodnotil získané poznatky z provozu a řešil otázku, co s nezájmem o vyrobený kompost. Je paradoxem, že v situaci, kdy se hovoří o nedostatku kvalitního, organického materiálu v půdě a současně je snaha snižovat množství biologicky rozložitelných odpadů na skládkách, hledajíce způsoby jeho využití, nejsme schopni nalézt společné efektivní řešení. Zdá se, že krátkodobý ekonomický prospěch má převahu nad dlouhodobým hospodařením a péčí o půdu. Tato problematika přesahuje rámec této práce, ale její řešení je hodno pozornosti.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JUNGA P., VÍTEŽ T., VÍTEŽOVÁ M., GERŠL M., 2015: *Technika pro zpracování odpadů II*. Brno: Mendelova univerzita, 154 s. ISBN 978-80-7509-208-3.
- [2] ZEMÁNEK P. a kol., 2010: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. Praha: VÚZT, 113 s. ISBN 978-80-87091-06-7.
- [3] FILIP J. a kol., 2002: *Odpadové hospodářství*. BRNO: Mendelova univerzita v Brně, 118 s. ISBN 80-7157-608-5.
- [4] PLÍVA P. a kol., 2009: *Kompostování v hromadách a na volné ploše*. Praha: Profi Press, 136 s. ISBN 978-80-86726-32-8.
- [5] TESAŘOVÁ M., FILIP Z., SZOSTKOVÁ M., MORSCHECK G., 2010: *Biologické zpracování odpadů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 128 s. ISBN 978-80-7375-420-4.
- [6] The History of Composting. In: carryoncomposting [online]. [cit. 18. 02. 2016]. Dostupné z: <http://www.carryoncomposting.com/142941469>
- [7] AMBROŽ Z., 1991: *Mikrobiologie*, 3. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 100 s.
- [8] PLÍVA P. a kol., 2006: *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 48 s. ISBN 80-86884-11-2.
- [9] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 15. 05. 2001. ISSN 1801-8688.
- [10] Český statistický úřad: *Produkce, využití a odstranění odpadů – 2014*. [online]. Aktualizováno 30. 10. 2015. [cit. 06. 03. 2016]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2014>
- [11] VOŠ a SPŠ elektrotechnická Olomouc: *Biologie*. [online]. [cit. 06. 03. 2016]. Dostupné z: <http://hroch.spseol.cz/~kaspar/obecna.pdf>
- [12] Mendelova univerzita v Brně: *Monitoring procesu kompostování*. [online]. [cit. 06. 03. 2016]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3927&typ=html
- [13] ALTMANN V., 2010: *Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.

- [14] PLÍVA P., 2011: *Agroweb - Kompostování ve vaku – I.* In: Vydavatelství Profi Press s.r.o. [online]. [cit. 09. 03. 2016]. Dostupné z: <http://komunalweb.cz/kompostovani-ve-vaku-i/>
- [15] HANČ A., PLÍVA P., 2013: *Vermikompostování bioodpadů.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. [online]. [cit. 09. 03. 2016]. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/novinky/metodika2013pliva.pdf>
- [16] DIVER S., 2004: *Controlled Microbial Composting and Humus Management: Luebke Compost.* Fayetteville, Arkansas. [online]. [cit. 09. 03. 2016]. Dostupné z: <http://www.ibiblio.org/steved/Luebke/Luebke-compost2.html>
- [17] PUNČOCHÁŘ J., Centrální kompostárna Brno, a.s. [Ústní sdělení]. Brno 11. 10. 2015
- [18] SITA CZ a.s. [online]. [cit. 12. 03. 2016]. Dostupné z: <http://www.sita.cz/>
- [19] Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. In: *Sbírka zákonů.* 26. 08. 2008. ISSN 1211-1244.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Produkce a nakládání s komunálními odpady v ČR.....	14
Obr. 2: Tvary bakterií	15
Obr. 3: Průběh teploty v jednotlivých fázích kompostování	19
Obr. 4: Aktivita mikroorganismů na vzorku humusu zachycená mikroskopem	19
Obr. 5: Schéma funkce pásových zakládek s aktivním provzdušňováním.....	24
Obr. 6: Kompostovací žlaby s překopávacím zařízením	25
Obr. 7: Kompostovací boxy.....	26
Obr. 8: Situace CKB	29
Obr. 9: Rychloběžný drtič Doppstadt AK 430 Profi	32
Obr. 10: Bubnový třídič Doppstadt SM 518 profi.....	33
Obr. 11: SEKO SAMURAI 5, včetně pohonné jednotky traktoru John Deer 6430.....	34
Obr. 12: Přehled vstupů/výstupů kompostovacího procesu na CKB.....	34
Obr. 13: Situace provozu CKB	48
Obr. 14: Manipulace s materiálem pomocí nakladače.....	49
Obr. 15: Zakládka v jednotlivých krechtech s provzdušňovacím zařízením.....	49
Obr. 16: Vážicí zařízení	50
Obr. 17: Hotový produkt - Šedý drak	50

10 SEZNAM ZKRATEK

BRO	biologicky rozložitelný odpad
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad
ČR	Česká republika
ČOV	čistírna odpadních vod
KO	komunální odpad
ČSU	Český statistický úřad
PE	polyetylen
CKB	Centrální kompostárna Brno
ÚVP Brno	Ústav využití plynu Brno
před n. l.	před našim letopočtem
tzv.	takzvaný
S-OO	sklárky pro kategorii ostatní odpad
PeHD	vysokohustotní polyetylén

11 PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - Přijímané odpady dle Katalogu odpadů	44
Příloha č. 2 – Situace zařízení CKB	48
Příloha č. 3 - Fotografie z CKB	49

Příloha č. 1 - Přijímané odpady dle Katalogu odpadů – výroba kompostů a substrátů:

02 01 01	Kaly z praní a z čištění
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
02 01 07	Odpady z lesnictví
02 03 01	Kaly z praní, čištění, loupání, odstředování a separace
02 03 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 03 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 04 01	Zemina z čištění a praní řepy
02 04 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 05 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 05 02	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 06 01	Surovina nevhodná ke spotřebě nebo zpracování
02 06 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 07 01	Odpady z praní, čištění a mechanického zpracování surovin
02 07 02	Odpady z destilace lihovin
02 07 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 07 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
03 01 01	Odpadní kůra a korek
03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo
03 03 01	Odpadní kůra a dřevo
03 03 07	Mechanicky oddělený výmět z rozvlákňování odpadního papíru a lepenky
03 03 08	Odpady ze třídění papíru a lepenky určené k recyklaci
03 03 09	Odpadní kaustifikační kal
03 03 10	Výmětová vlákna, kaly z mechanického oddělování obsahující vlákna, výplně a povrchové vrstvy z mechanického třídění
03 03 11	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku neuvedené pod číslem
03 03 10	
04 01 01	Odpadní klihovka a štípenka
04 01 07	Kaly neobsahující chrom, zejména kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
04 02 10	Organická látka přírodního původu
04 02 21	Odpady z nezpracovaných textilních vláken

- 04 02 22 Odpady ze zpracovaných textilních vláken
 - 15 01 01 Papírové a lepenkové obaly
 - 15 01 03 Dřevěný obal
 - 17 02 01 Dřevo
 - 19 05 03 Kompost nevyhovující jakosti
 - 19 06 04 Produkty vyhnívání z anaerobního zpracování komunálního odpadu
 - 19 06 05 Extrakty z anaerobního zpracování odpadů živočišného a rostlinného původu
 - 19 06 06 Produkty vyhnívání z anaerobního zpracování živočišného a rostlinného původu
 - 19 08 05 Kaly z čištění komunálních odpadních vod
 - 19 08 09 Směs tuků a olejů z odlučovače tuků obsahující pouze jedlé oleje a jedlé tuky
 - 19 08 12 Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 11
 - 19 08 14 Kaly z jiných způsobů čištění průmyslových odpadních vod neuvedené pod číslem 19 08 13
 - 19 09 01 Pevné odpady z primárního čištění
 - 19 09 02 Kaly z čiření vody
 - 19 12 01 Papír a lepenka
 - 19 12 07 Dřevo neuvedené pod číslem 19 12 06
 - 20 01 01 Papír a lepenka
 - 20 01 08 Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
 - 20 01 38 Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37*
 - 20 02 01 Biologicky rozložitelný odpad
 - 20 03 02 Odpad z tržišť

 - 01 04 09 Odpadní písek a jíly
 - 01 04 12 Hlušina a další odpady z praní a čištění nerostů, neuvedené pod čísly 01 04 07 a 01 04 11
 - 01 04 13 Odpady z řezání a broušení kamene neuvedené pod číslem 01 04 07
 - 02 04 02 Odpad uhličitanu vápenatého
- jako doplňující vstup pro výrobu kompostů a pro výrobu rekultivačních substrátů mohou být v zařízení využívány dále následující odpady:

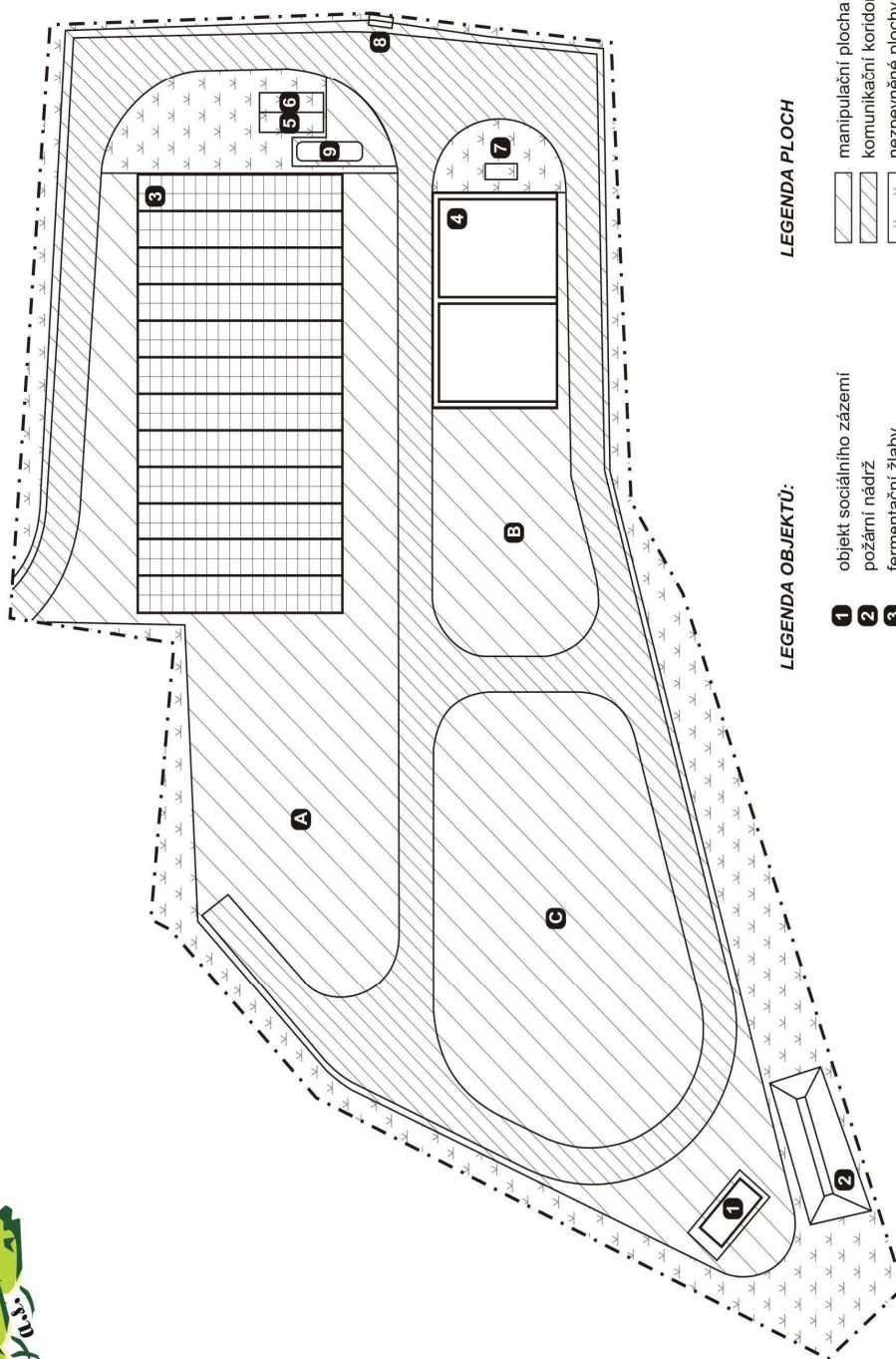
10 01 03	Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva
10 09 08	Licí formy a jádra použitá k odlévání, neuvedená pod číslem 10 09 07
10 10 08	Licí formy a jádra použitá k odlévání, neuvedená pod číslem 10 10 07
10 13 01	Odpad surovin před tepelným zpracováním
17 05 04	Zemina a kamení neuvedené pod číslem 17 05 03
17 05 06	Vytěžená hlušina neuvedená pod číslem 17 05 05
19 08 02	Odpady z lapáků písku
19 12 09	Nerosty (např. písek a kameny)
20 02 02	Zemina a kameny

- přehled druhů odpadů – výroba dřevní štěpky, dřevního paliva a suroviny pro dřevařský průmysl:

02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
02 01 07	Odpady z lesnictví
03 01 01	Odpadní kůra a korek
03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dřevotřískové desky a dýhy neuvedené pod číslem 03 01 04
03 03 01	Odpadní kůra a dřevo
15 01 03	Dřevěné obaly
17 02 01	Dřevo
19 12 07	Dřevo neuvedené pod číslem 19 12 06
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
20 03 07	Objemný odpad [17],[18]

Příloha č. 2 - Situace zařízení CKB

CENTRÁLNÍ KOMPOSTÁRNA BRNO SITUACE ZAŘÍZENÍ



LEGENDA OBJEKTŮ:

- 1 objekt sociálního zázemí
- 2 požární nádrž
- 3 fermentační žlaby
- 4 koje pro skladování kalů
- 5 jímka vod z fermentace
- 6 jímka vod z manipulační plochy
- 7 jímka vod ze skladování kalů
- 8 přečerpávací jímka
- 9 zásobník čerpatelných BRO

LEGENDA PLOCH:

- manipulační plocha
- komunikační koridory
- nezpevněné plochy
- A preferovaná plocha pro skladování surovin
- B preferovaná plocha pro úpravu kompostů a skladování výstupů
- C preferovaná plocha pro drčení dřeva a skladování štěpky



Obr. 13: Situace provozu CKB [17]

Příloha č. 3 - Fotografie z CKB



Obr. 14: Manipulace s materiálem pomocí nakladače [BYSTŘICKÝ, 2015]



Obr. 15: Zakládka v jednotlivých kretech s provzdušňovacím zařízením [BYSTŘICKÝ, 2015]



Obr. 16: Vážící zařízení [BYSTRICKÝ, 2015]



Obr. 17: Hotový produkt - Šedý drak [BYSTRICKÝ, 2015]