

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
**Hornicko-geologická fakulta**  
**INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

# **Biologické způsoby zpracování odpadů**

**Biological methods of waste treatment**

bakalářská práce

**Autor:**

**Petra Količová**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Barbora Lyčková, Ph.D.**

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petra Količová**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů  
Téma: **Biologické způsoby zpracování odpadů**  
**Biological methods of waste treatment**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Biologické metody zpracování odpadů
3. Kompostování
4. Anaerobní digesce
5. Biodegradace
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Hlavatá M.: Odpadové hospodářství, VŠB-TU Ostrava 2004  
Lyčková B. a kol.: Zpracování kalů, VŠB-TU Ostrava 2009  
[www.biom.cz](http://www.biom.cz)  
[www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Barbora Lyčková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010



prof. Ing. Vojtech Dimer, CSc.  
*vedoucí institutu*

prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracovala samostatně a uvedla všechny použité podklady a literaturu. Ve své programové aplikaci jsem použila pramenů uvedených v bibliografii.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 15.04.2010

.....  
Petra Količová

## **Poděkování**

Především bych chtěla poděkovat paní Ing. Barboře Lyčkové, Ph. D. za pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Vladimíru Čablíkovi, Ph. D. za praktické rady, které nám poskytoval během celého semestru.

## **Anotace**

Práce se zabývá možnostmi biologického zpracování odpadů. V jednotlivých kapitolách jsou popsány metody kompostování, anaerobní digesce (fermentace) a biodegradace. Každá z kapitol obsahuje princip metody, způsoby odstranění odpadů a použitou technologii, ale také materiály vhodné pro daný způsob biologického odstranění, produkty vzniklé při procesu, jejich využití a výhody a nevýhody jednotlivých metod. Práce by měla poukázat na nutnost separování bioodpadu a snížení jeho množství na skládkách. Je to v podstatě návod, jak bioodpad třídít, jak s ním dále nakládat a jak vybrat metodu biologického zpracování, která nejlépe vyhovuje odstranění určitého odpadu.

## **Klíčová slova**

Bioodpad, kompostování, kompost, fermentace, biodegradace, bioplyn.

## **Summary**

Bachelor work is concerned with possibilities of waste processing. In every single chapter is described ways of composting, anaerobic digestion (fermentation) and biodegradation. Each of this chapter include principle ways of elimination waste methods and applied technology, but also materials acceptable for given way of biological elimination, products develop in this process, their usage, advantages and disadvantages of each method. This work has to show the necessity of separating biowaste and reduction his quantity on dump. It is in principle manual how to sort biowaste, how to use it in future and how to choose a mehtod of biowaste processing, which more correspond to elimination of each waste.

## **Keywords**

Biological waste, composting, compost, fermentation, biodegradation, biogas.

## **Seznam použitých zkratk**

aj. – a jiné

atd. – a tak dále

atp. – a tak podobně

BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad

BRO – biologicky rozložitelný odpad

ČOV – čistírna odpadních vod

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie

tj. – to je

TKO – tuhý komunální odpad

## Obsah

1.	Úvod a cíl práce .....	1
1.1	Úvod.....	1
1.2	Cíl práce.....	1
2.	Biologické metody zpracování odpadů.....	2
2.1	Základní pojmy .....	2
2.2	Odpady vhodné pro biologické zpracování .....	3
2.3	Kompostování .....	7
2.4	Vermikompostování.....	7
2.5	Aerobní termofilní zpracování.....	8
2.6	Biologické sušení.....	8
2.7	Anaerobní zpracování (fermentace).....	9
2.8	Lihové kvašení.....	9
2.9	Mechanicko-biologické zpracování.....	9
3.	Kompostování.....	11
3.1	Historie kompostování.....	11
3.2	Proces kompostování .....	13
3.2.1	Vlhkost.....	13
3.2.2	Provzdušnění.....	15
3.2.3	Složení výchozího materiálu.....	15
3.2.4	Teplo, tma a pH .....	17
3.3	Fáze kompostování .....	17
3.4	Vhodné místo pro kompost a druhy kompostů.....	19
3.5	Způsoby kompostování.....	20
3.6	Domácí kompostování .....	22
3.7	Komunitní kompostování .....	23
3.8	Průmyslové (centrální) kompostování .....	24
3.9	Technické vybavení kompostáren .....	28
3.10	Legislativa.....	29
3.11	Výhody a nevýhody kompostování .....	29
4.	Anaerobní digesce.....	30
4.1	Proces fermentace .....	30
4.2	Materiál vhodný pro fermentaci .....	31
4.3	Druhy anaerobní fermentace.....	31
4.4	Produkty a jejich využití .....	34
5.	Biodegradace .....	36
5.1	Princip biodegradace.....	36
5.2	Metody biodegradace.....	37
5.2.1	Sanace zemin in situ .....	37
5.2.2	Sanace zemin ex situ.....	38
5.2.3	Sanace vod in situ .....	40
5.2.4	Sanace vod ex situ.....	40
5.3	Výhody a nevýhody .....	40
6.	Závěr .....	42
	Seznam použité literatury .....	43
	Seznam obrázků a grafů.....	46
	Seznam tabulek .....	47

# 1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

## 1.1 Úvod

Výběr témat pro bakalářskou práci pro mne nebyl složitý. Bydlím ve vesnici nedaleko Ostravy a příroda mi nikdy nebyla cizí. Odpad, který se dá nalézt v přírodě, ať se jedná už o obyčejný les, o národní park či chráněnou krajinnou oblast nebo rezervaci, mě vždy trápil. Tento problém mě přivedl při výběru oboru na vysoké škole právě k odpadovému hospodářství. Během studia jsem se začala zajímat, jak se dá odpad zpracovat a využít co nejšetrněji k životnímu prostředí. Tak jsem se dostala až k metodám biologického zpracování odpadů.

Na vesnici se bez biologického odstraňování odpadů neobejdeme. Všichni občané mají zahrady a záhony, produkují tedy bioodpad. A co s ním? Nejvhodnějším způsobem, jak se zbavit bioodpadu a zmenšit tak zároveň množství odpadu v popelnici, je kompostování – jedna z metod, kterou se v mé práci zabývám.

Má práce není ovšem jen o kompostování. Během sbírání informací a materiálů jsem se dozvěděla o mnoha způsobech, jak biologicky rozložitelný odpad zpracovat a znovu využít. Jsou to metody vhodné pro velký objem biologicky rozložitelného odpadu. Většinou se nedají použít v domácnostech. Jedná se o projekty podobné centrální kompostárně. V těchto zařízeních se bioodpad zpracovává různými metodami, které jsem se snažila srozumitelně popsat v kapitolách mé bakalářské práce. Výstupem procesů jsou produkty, které se dají znovu využít.

## 1.2 Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je vyhledat a logicky setřídit biologické způsoby odstraňování odpadů. Jednotlivé metody uspořádat do jednoho souboru a srozumitelně popsat vybrané z nich. Popis by měl obsahovat princip metody, postup při zpracování, technologii, materiály vhodné ke zpracování, typy nebo způsoby jednotlivých metod, jejich produkty, využití produktů a v neposlední řadě také výhody a nevýhody každé z metod.



## 2. BIOLOGICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ

Biologicky rozložitelné odpady (dále jen BRO) ve vysoké míře končí v kontejnerech na komunální odpad a následně na skládkách. Plán odpadového hospodářství České republiky stanovuje mimo jiné maximální množství BRO ve hmotě ukládané na skládky. Toto množství vychází ze Směrnice rady EU 99/31/EC o skládkování odpadu, která členským státům ukládá omezit množství BRO ukládaných na skládky na 75 % oproti roku 1995 za dobu 5 let od nabytí účinnosti této směrnice [38]. Pro BRO již vznikají sběrná místa nebo kontejnery a pro jejich znovu využití se používá mnoho metod zpracování.

### 2.1 Základní pojmy

Anaerobní digesce – mikrobiální přeměna organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu

Biodegradace – rozklad biologicky rozložitelného odpadu pomocí mikroorganismů

Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) – biologicky rozložitelný odpad obsažený v komunálním odpadu a v odpadu podobném komunálnímu

Bioodpad (BRO) – jakýkoli odpad, který je schopen anaerobního nebo aerobního rozkladu mikroorganismy

Bioplyn – směs methanu, oxidu uhličitého, dusíku, vodíku a dalších plynů, která vzniká anaerobním vyhníváním biologicky rozložitelných odpadů a je schopna hoření.

Digestát – je to produkt vyhnívání. Tuhá, nerozložená frakce, která je výsledkem anaerobního vyhnívání biologicky rozložitelných odpadů a před aplikací na půdu je upravována na kompost.

Domácí kompostování – kompostování biologicky rozložitelných odpadů a používání kompostu na zahradách u soukromých domů

Domovní odpad – odpad vznikající v domácnostech jako spotřební odpad jejich obyvatel. Je součástí komunálního odpadu.

Fermentace – jinak taky kvašení, proces, při kterém se organické látky postupně přeměňují za účasti mikrobiálních enzymů na jednodušší látky [3]

Kompost – stabilizovaná, nepáchnoucí, hnědá až černá homogenní hmota, drobtovitě až hrudkovitě struktury. Vzniká aerobním biologickým zráním rozložitelných odpadů. Je bohatý na humusové látky a rostlinné živiny.

Kompostování – aerobní biologicky rozkladný proces. Účelem je co nejrychleji a nejlépe převést organické látky na humusové, které jsou prospěšné rostlinám. [12]

Komunitní kompostování – kompostování biologicky rozložitelných odpadů určité komunity (zahrádkářské kolonie, školy, sídliště) a používání kompostu převážně komunitou

Odpad ze zeleně – komunální odpad rostlinného původu z údržby veřejných sadů a parků, sídlištní a uliční zeleně, travnatých hřišť, ze zahrad fyzických osob, hřbitovů. Zejména větve stromů, tráva, listí, piliny, odřezky.

## **2.2 Odpady vhodné pro biologické zpracování**

Jedná se především o tzv. bioodpad. Je to veškerý odpad, který je schopný aerobního nebo anaerobního rozkladu mikroorganismy. Velká část bioodpadu vzniká ve městech, ale také na vesnicích nebo například v zahrádkářských koloniích. Nejčastěji se jedná o posekanou trávu, odřezky ze stromů či spadané listí. Dalším zdrojem bioodpadu jsou veškeré zbytky z jídelen, menz, restaurací nebo z potravinářského průmyslu. Vysoká produkce tohoto odpadu je v zemědělství, v domácnostech, v čistírnách odpadních vod, v dřevařském a papírenském průmyslu, v myslivosti, rybářství, v kožedělném, kožešnickém a textilním průmyslu.

### **Bioodpady spadající pod různá odvětví**

Zemědělství – pěstování rostlin a plodin, chov zvířat

Lesnický, dřevařský průmysl – piliny, hobliny, kůra, odřezky, dřevotřískové desky a dýhy

Potravinářský průmysl – odpady z mlýnů, sladoven, pivovarů, cukrovarů, škrobáren, konzerváren, restaurací, jídelen, stravoven

ČOV – čistírenský kal

Domácnosti – zbytky ovoce, zeleniny, čajové sáčky, káva, zbytky pečiva, skořápky z vajíček a ořechů, zvadlé květiny, zemina z květináčů, zbytky vařených jídel

Zahradnický průmysl – odpad z údržby zeleně, tráva, listí, odřezky stromů, plevele [1], [2]

### Bioodpady a katalog odpadů

Bioodpady jsou definovány také v katalogu odpadů (viz. tabulka č.1). Kompostovatelné odpady musí svými vlastnostmi odpovídat požadavkům ČSN 46 5735 Průmyslové komposty [4].

Tabulka č.1 – Přehled kompostovatelných odpadů dle zařazení v katalogu odpadů [4]

Katalogové číslo	Druh odpadu
02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
02 01 01	Kaly z praní a z čištění
02 01 02	Odpad živočišných tkání
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv
02 01 06	Zvířecí trus, moč a hnůj (včetně nečištěné slámy), kapalně odpady, soustřeďované odděleně a zpracováváné mimo místo vzniku
02 01 07	Odpady z lesnictví
02 02	Odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
02 02 01	Kaly z praní a z čištění
02 02 02	Odpady živočišných tkání
02 02 03	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 02 04	Kaly z čistíren odpadních vod v místě jejich vzniku
02 03	Odpady z výroby a ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, kaka, kávy a tabáku, odpady z konzervářského a tabákového průmyslu z výroby droždí a kvasničného extraktu, z přípravy a kvašení melasy
02 03 01	Kaly z praní, čištění, loupání, odstraňování 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	Odpady z výroby cukru
02 04 01	Zemina z čištění a praní řepy
02 04 02	Uhličitán vápenatý nevyhovující jakosti
02 04 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 05	Odpady z mlékářského průmyslu
02 05 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 05 02	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
02 06	Odpady z pekáren a výroby cukrovinek
02 06 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 06 03	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku

PETRA KOLIČOVÁ: BIOLOGICKÉ ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ

02 07	Odpady v výroby alkoholických a nealkoholických nápojů (s výjimkou kávy, čaje a kakaá)
02 07 01	Odpad z praní, čištění a mechanického zpracování surovin
02 07 02	Odpad z destilace lihovin
02 07 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování
02 07 05	Kaly z čistíren odpadních vod v místě jejich vzniku
03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
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	Odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
03 03 01	Odpadní kůra a dřevo
03 03 02	Kaly zeleného louhu (ze zpracování černého louhu)
03 03 05	Kaly z odstraňování tiskařské černi při recyklaci papíru
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 03 03 10
04 01	Odpady z kožedělného a kožešnického průmyslu
04 01 01	Odpadní klišovka a štípenka
04 01 06	Kaly obsahující chrom, zejména kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
04 01 07	Kaly neobsahující chrom, zejména kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku
04 02	Odpady z textilního průmyslu
04 02 10	Organické hmoty z přírodních produktů (např. tuk, vosk)
04 02 20	Ostatní kaly z čištění odpadních v místě jejich vzniku neuvedené pod číslem 04 02 19
04 02 21	Odpady z nezpracovaných textilních vláken
04 02 22	Odpady ze zpracovaných textilních vláken
10 01	Odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení
10 01 03	Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva
10 13	Odpady z výroby cementu, vápna a sádry a předmětů a výrobků z nich vyráběných

10 13 04	Odpady z kalcinace a hašení vápna
10 13 06	Úlet a prach (kromě odpadů uvedených pod čísla 10 13 12 a 10 13 13)
15 01	Obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu)
15 01 01	Papírové a lepenkové obaly
15 01 03	Dřevné obaly
17 02	Dřevo, sklo, plasty
17 02 01	Dřevo
19 05	Odpady z aerobního zpracování pevných odpadů
19 05 03	Kompost nevyhovující jakosti
19 06	Odpady z anaerobního zpracování odpadu
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	Odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené
19 08 05	Kaly z čistíren komunálních odpadních vod
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	Odpady z výroby vody pro spotřebu lidí nebo vody pro průmyslové účely
19 09 01	Pevné odpady z primárního čištění
19 09 02	Kaly z čiření vody
19 12	Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drcení, lisování, peletizace)
19 12 01	Papír a lepenka
19 12 07	Dřevo neuvedené pod číslem 19 12 06

V současné době se při zpracování organických odpadů využívá sedmi biotechnologií (kompostování, vermikompostování, aerobní termofilní zpracování, biologické sušení, mechanicko-biologické úpravy TKO, lihové kvašení, anaerobní zpracování – fermentace). Přehled výše zmíněných technologií najdeme v tabulce č. 2. Tyto biotechnologie jsou založeny na aktivitách různých skupin mikroorganismů, příp. interakcemi mezi mikroorganismy a bezobratlými živočichy a umožňují materiálové nebo energetické využití organických odpadů. Biologické zpracování současně vede ke zmenšení objemu a snížení hmotnosti organických odpadů, k jejich hygienizaci i k omezování úniku skleníkových plynů do atmosféry. [1]

Tabulka č.2 - Přehled biotechnologií zpracování bioodpadů [1]

<b>Biotechnologie</b>	<b>Typ odpadu</b>	<b>Produkt</b>
Kompostování	BRO a BRKO nekontaminované	Kompost
Vermikompostování	Zemědělské odpady a kaly z ČOV, nekontaminované	Biohumus, vermibílkovina k výrobě krmiv a léčiv
Aerobní termofilní zpracování	Zemědělské odpady a kaly z ČOV, nekontaminované	Organické hnojivo
Biologické sušení	BRO, kaly	Palivo (sypké, tvarované)
Anaerobní zpracování (fermentace)	BRO, mimo dřevo	Bioplyn, digestát
Lihové kvašení	Odpadní cukry	Bioethanol
Mechanicko- biologické zpracování	TKO	Stabilizovaný bioodpad, bioplyn

## 2.3 Kompostování

Kompostování je aerobní způsob odstraňování biologicky rozložitelných odpadů. Mluvíme zároveň o nejrozšířenějším způsobu, jak využít a odstranit bioodpad. Kompostováním se zmenšuje objem bioodpadu, také se snižuje množství skleníkových plynů, které vznikají na skládkách komunálního odpadu. Touto metodou získáváme kompost bohatý na huminové kyseliny, které jsou potřebné pro dobrý růst a vývoj rostlin.

Kompostováním uvádíme již spotřebované látky zpět do oběhu. Pomocí kyslíku se rozkládají látky složitější na látky jednodušší a lépe zpracovatelné a snižuje se toxicita odpadu. Při kompostování dochází k poklesu hmotnosti kompostu až o 50 % [14].

Celý proces kompostování je složitá chemická reakce. Aby tato reakce probíhala bez problémů a plynule, je zapotřebí dostatečného množství organického materiálu, kyslíku, vlhkosti a tepla. Při správném poměru těchto nezbytných složek kompostování se pomalu zvyšuje teplota kompostu, a tím se docílí rozkladu a zneškodnění původců chorob rostlin, semen plevelů a celý budoucí produkt prochází tzv. hygienizací. Tato metoda je více rozebrána v kapitole 3.

## 2.4 Vermikompostování

Jedná se o kompostování s použitím žížal. Osvědčil se druh kalifornský červený hybrid. Tento způsob kompostování je rychlejší, ale náročnější jak ekonomicky, tak na podmínky, ve kterých žížaly kompost vytvářejí.

Suroviny pro tvorbu vermikompostu nesmí být kontaminované, obsahovat velké množství například čpavku nebo pesticidů. Žížaly mají velice specifické nároky na život a produktivitu. Jsou aktivní jen v malém rozmezí teplot, vlhkosti a pH. Překročením těchto rozmezí žížaly nejdříve snižují svou produktivitu a následně hynou. „*Zabíjí je již malé množství pesticidů, nesnášejí slunce a vítr. Jejich přirození nepřátelé jsou ptáci, žáby, stonožky, mravenci, krtci a další hlodavci.*“ [5].

Výhody vermikompostování jsou ve složení a rychlosti tvorby kompostu. Přeměna odpadů na kompost je rychlejší, produkt obsahuje více humusových látek, které jsou tvořeny především huminovými kyselinami. Díky nim se může zvyšovat agronomická účinnost vermikompostu až o 70 %. Huminové kyseliny omezují vstup cizích látek do rostlin. Vodní výluhy z tohoto biohumusu aplikované na rostliny na ně působí jako stimulant růstu a potlačují plísňové choroby zejména na okurkách, rajčatech a paprikách [5].

## 2.5 Aerobní termofilní zpracování

Tento způsob zpracování se používá pro výrobu organických hnojiv z odpadů ze zemědělství či nekontaminovaných kalů z čistíren odpadních vod. Odpad je po krátkou dobu zahříván na teplotu asi 50 °C a provzdušňován nejčastěji ve sterilních betonových fermentorech. [1]

Metoda se používá k odstranění patogenů. Finální produkt není stabilizovaný, stále může obsahovat snadno rozložitelné organické látky [1]. Produktem je organické hnojivo.

## 2.6 Biologické sušení

Biologické sušení patří mezi mechanicko-biologické metody zpracování. Při použití TKO s vysokým obsahem organické hmoty jsou suroviny provzdušňovány v nádobách a stále promíchávány. Při této metodě se již odpad nezvlhčuje. Naopak se snažíme o co nejmenší vlhkost. „*Snadno dostupná část bioodpadu je mikroorganismy rychle rozložena.*“ [1]. Celý proces trvá okolo jednoho týdne a teploty při něm dosahují až k 70 °C [1].

Výsledkem je stabilizovaný vysušený produkt, který jde na třídící linku, kde se oddělují kovy, plasty, sklo. Zůstává jen suchý, stabilizovaný organický materiál. Ten je následně briketován nebo peletizován (podle požadavků odběratele). Brikety nebo pelety mají vysokou výhřevnost díky organické hmotě, která je v nich ve velké míře obsažena. Topivo se přidává do spalovacích procesů v uhelných elektrárnách [6].

Metoda biologického sušení využívá také čistírenské kaly, které nelze použít na zemědělskou půdu díky možné nebezpečné kontaminaci. Pro tuto metodu je jako příměs také vhodný domovní bioodpad a v malém množství i dřevo. Výsledným produktem je biopalivo, které je vyzkoušené zatím jen při spoluspalování [6].

Tohoto způsobu odstraňování odpadů se používá jak v zahraničí, tak v České republice. U nás se biologické sušení provádí i v domácnostech a to pomocí technologie Ekobioprogres, kterou dává do provozu Biorecycling Brno, s.r.o. Uvedená technologie a zařízení jsou chráněny českým patentem (PV 3074 – 98) [6]. Jedno takové zařízení je instalováno v Albrechticích (severní Morava) [6].

## **2.7 Anaerobní zpracování (fermentace)**

Jedná se o technologii, která zpracovává bioodpad bez přístupu vzduchu. V přírodě se dá pozorovat v rašeliništích, podmočených ložiscích atd. Při řízeném anaerobním zpracování vzniká chtěné hnití či kvašení a produkuje se plyn, který je jímán a dále zpracováván. Takzvaná fermentace se provádí pro získání bioplynu, bioethanolu, redukuje se jí organické složky výchozích látek a také objem těchto látek. Produkt fermentace je již stabilizovaný. Více se o této metodě rozepíše v kapitole 4.

## **2.8 Lihové kvašení**

Podobně jako u fermentace i tento proces probíhá bez přístupu vzduchu. Princip této metody je založen na rozkladu sacharidů na jednodušší cukry a výsledkem je oxid uhličitý a metabolit mikroorganismů, které se na kvašení podílejí. Tento způsob se využívá pro tvorbu bioethanolu (ten se používá jako palivo), využívá se v pivovarnictví, vinařství, při výrobě lihovin a destilátů, v potravinářském a chemickém průmyslu. [1], [10]

Vhodnými surovinami jsou brambory, cukrová řepa, obilniny, kukuřice, slad, med, melasa, biomasa ze zemědělství a lesnictví. Nejdůležitějšími mikroorganismy pro lihové kvašení jsou právě kvasinky. Používá se mnoho druhů kvasinek podle toho, jaký je požadován finální produkt. Lihové kvašení ovlivňují teplota, pH, koncentrace kvasinek, případná kontaminace. [1], [10]

## **2.9 Mechanicko-biologické zpracování**

Řadí se většinou na konec celého procesu (sběru, recyklace, kompostování). Má za úkol dotřídit produkt výše zmíněných technologií. Dá se však také použít jako prvotní roztrídovač. Ze směsného komunálního odpadu se nejdříve oddělí recyklovatelné části, které se následně podrobí recyklaci. Ze zbytku odpadu se magnetem odstraní kovy a magnetické části. Dalším krokem může být oddělení lehké frakce jako je papír či plast pomocí vzduchového proudu a odseparovat kompostovatelný odpad. Tím se zmenší jak



objem ukládaného odpadu na skládku, tak i procento tvorby skleníkových plynů a nežádoucího hnití a kvašení. Konečný produkt mechanicko – biologického zpracování je určen k uložení na skládku, popřípadě k rekultivaci krajiny nebo zasypání skládky. [11]

### 3. KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování je aerobní způsob odstraňování odpadů. Kompostování lidé znali již před staletími. Důvodem pro vznik kompostování a jeho postupné zdokonalování je snížení objemu odpadu, zabránění nežádoucího hnití a kvašení (omezení vzniku skleníkových plynů). Dalším důvodem byla tvorba humusu, který je potřebný pro správný růst rostlin a zdokonaluje jejich obranyschopnost. Procesem kompostování se likvidují semena plevelů, zárodky škůdců, nemocí, atd. Kompostováním se znovu navrácí organický materiál zpět do přírody, kde může být znovu využit. Je to stále se opakující děj.

Při procesu kompostování se využívají schopnosti mikroorganismů a bezobratlých organismů rozkládat látky, mineralizovat je a humifikovat. V přírodě je rozklad látek a tvorba humusu přirozeným jevem. Člověk se naučil vytvořit vhodné podmínky pro kompostování, zlepšit je a urychlit celý proces tvorby kompostu.

Během vývoje metod kompostování i vermikompostování se vytvořilo mnoho způsobů, jak bioodpad touto cestou využít. Kompostování se dá dělit na domácí, komunitní či centrální (průmyslové). Kompost se může zakládat na zakládkách, může se tvořit v boxech nebo kompostérech. O jednotlivých způsobech se více rozepteší v následujících kapitolách.

#### 3.1 Historie kompostování

*„Výraz kompost pochází z latinského compositus, tj. materiál složený z více komponent. Samotný název je pozměněnou variantou výrazu kumpost, takto se označovaly již od 11. století kysaná zelenina nebo nakládané olivy.“ [1].*

První náznaky biologického odstraňování odpadů jsou z dob, kdy lidé upouštěli od kočovného způsobu života a začali se usazovat v úrodných oblastech. Tak nastal rozvoj zemědělství a potřeba zbavit se odpadů z pěstování plodin a chovu zvířat. Postupně se snažili tento odpad nejen zlikvidovat, ale také znovu využít.

Je známo, že před branami Jeruzaléma v údolí Kidron se pravděpodobně nacházela jedna z prvních organizovaných skládek odpadů. Na toto místo občané nosili odpady, které byly ukládány na hromadu. Na ní se stále udržoval oheň. Tím bylo docíleno odstranění spalitelných odpadů. Vedle byla založena další hromada, která sloužila k ukládání organických zbytků (první snaha o kompostování). Další pokusy se objevily u Číňanů. Po tisíciletí sbírali zkušenosti s ukládáním organického odpadu z domácností, polí, zahrad nebo chovu dobytka. Naučili se odpady překopávat, promíchávat se zeminou, bahnem z rybníků a příkopů. Ovlhčovali je tak dlouho, dokud se z organických odpadů

nestala úrodná zemina. V Evropě se o odstraňování odpadů snažili hlavně vzdělaní lidé a lékaři. Domnívali se, že právě odpadky jsou zdrojem nákaz a chorob. Měli pravdu. Svědčí o tom rychlé šíření chorob od 6. do 14. století, kdy nálezům podleho více než 25 milionů lidí. Mezi 14. až 15. stoletím se situace mírně zlepšila. Odpady se začaly pomalu odstraňovat z ulic. Koncem 18. století a v 19. století se začaly sesbírané odpady zpracovávat.

Průkopníkem v odstraňování odpadů se stala Velká Británie. Na jejím území byla dána do provozu první spalovna odpadů a to v roce 1876 a v roce 1900 začali provozovat první řízenou skládku odpadů. V té samé době se v Nizozemsku zrodila první kompostárna.

Významným člověkem v oblasti kompostování a využití kompostu v zemědělství a zahrádkářství je Angličan sir Albert Howard. Část svého života žil v Indii, kde převedl čínské teorie a snahy o kompostování do praxe (mezi lety 1906 – 1931). V této době přesvědčil lidi, aby shromažďovali například hnůj hovězího dobytka či moč zvířat. Právě on dokázal přimět obyvatele této země (spíše destinace, ve které pobýval) k shromažďování domovních odpadů, odpadů ze zemědělství, stájí, zahrad, polí či ulic. Veškerý tento odpad byl házen na hromady, překopáván, ovlhčován, dokud z něj nevznikl chtěný produkt - kompost. Ten dále využívali pro hnojení a tedy i lepší úrodnost půdy a tím pádem větší výnosy v zemědělství. Stejný postup navrhl po svém návratu domů do Anglie.

V českých zemích se tradice kompostování datuje od roku 1660. Jezuité sídlící v Praze vytvořili stoku, která odváděla veškeré splašky do Vltavy. V roce 1826 vydal nejvyšší purkrabí Karel Chotek řád o čištění ulic v celé Praze. Na vybraných místech byly umístěny nádoby na popel a pouliční smetky. Chotek také upravil zacházení s odpadem ze stavebnictví. Tím prvenství českých zemí v oblasti nakládání s odpady nekončí. Roku 1905 byla vybudována v Brně první spalovna odpadů ve střední Evropě. A v roce 1906 byla v Praze spuštěna první čistička odpadních vod. Kaly z čistírny se začaly používat ke hnojení. *„V roce 1915 bylo podle projektu docentů německé techniky v Praze, pánů Ernesta a Kroulíka vybudováno u pražské kanalizační stanice zařízení na kompostování čistírenských kalů, popela, rašeliny a pouličních smetků. O úspěšnosti navržené technologie svědčí skutečnost, že se brzy začala používat v řadě dalších evropských měst.“* [1].

V 80. letech minulého století se začalo rozvíjet podvědomí o možnostech a využití bioodpadu. Zároveň nastala změna právních předpisů. Vedlo to k tomu, že se biologicky rozložitelný odpad sbírá zvlášť, dále se kompostuje nebo se zpracovává

v anaerobním procesu. Rozvinuly se nové technologie zpracování tohoto odpadu, nové metody, přípravky, stroje, zařízení a způsoby využití bioodpadu. [1]

### 3.2 Proces kompostování

Rozumí se tím aerobní rozklad pomocí mikroorganismů. Nejčastěji se jedná o bakterie a houby. Kompostování je analogií přeměny látek v přírodě. Správný proces kompostování musí zajistit optimální podmínky pro činnost mikroorganismů. Člověk dokáže tyto podmínky zlepšit, a tím dosáhnout větší aktivity mikroorganismů a získat tak více humusových látek rychleji, než v běžném procesu v půdě. Organickou hmotu přeměňují aerobní mikroorganismy, tudíž potřebují vysoký přísun kyslíku. Aby proces biodegradace byl co možná nejúspěšnější, musí mít substrát určitou vlhkost, materiálové složení, musí být homogenizován a promícháván a musí mít v určitých fázích specifickou teplotu. [1], [13]

Nejdůležitější podmínky pro rozvoj organismů:

- Vlhkost
- Provdzdušnění (promíchávání, překopávání)
- Složení výchozího materiálu (úprava poměru uhlíku a dusíku)
- Teplota
- Tma
- Úprava pH
- Přídavek půdy, úprava zrnitosti a homogenity
- Zabezpečení minimálního obsahu fosforu [14], [15]

#### 3.2.1 Vlhkost

Jednou z nejdůležitějších podmínek pro aerobní zpracování je vlhkost. Je-li málo vlhkosti, organismy přestávají být aktivní, dokud se podmínky pro jejich život nezlepší. Je-li kompost příliš vlhký, přenos kyslíku se zpomaluje a nastává proces hnití, který není žádoucí. Navíc je voda důležitým rozpouštědlem pro plyny, enzymy i živiny. Z toho plyne zásada, že raději zakládáme suchý kompost než příliš vlhký [15]. [1], [15]

Odpady se liší jak svým složením, tak obsahem vody (tabulka č. 3). „*Materiály s vyšším zastoupením organických látek obsahují zpravidla více vody (jsou nasákavé).*“ [15]. Nejideálnější je vlhkost kolem 50 – 65 %.

Tabulka č.3 – Obsah vody v bioodpadech (v % hmotnosti) [1]

Typ odpadu	Obsah vody (%)
Piliny, stromová kůra	40 - 70
Sláma, listí	13 - 20
Kuchyňský odpad	70 - 80
Odpad ze zeleniny	80 - 90
Chlévská mrva	70 - 80
Kejda	85 - 95
Kanalizační kal	55 - 96
Rybniční bahno	25 - 80
Lihovarnické výpalky	80 - 93
Rašelina	70 - 80

Správnou vlhkost kompostu můžeme snadno zjistit orientační zkouškou [15]. Postačí nám k ní jen vlastní ruce a vzorek kompostu. Materiál vezmeme do ruky a mačkáme, tak až se z něho vytvoří kulička nebo váleček. Poté pěst rozevřeme. Je – li vzorek rozdrobený v dlani, znamená to, že kompost je moc suchý. Pokud nám kousek kompostu zanechá tvar, co se vytvořil při mačkání v dlani, je vlhkost kompostu ideální. Objeví – li se v dlani při mačkání voda, kompost je příliš mokrý (viz. obrázky 1 – 3).



Obrázek č. 1 – Příliš suchý kompost



Obrázek č. 2 – Ideální kompost



Obrázek č. 3 – Příliš mokrý kompost

### 3.2.2 Provzdušnění

Další velice důležitý prvek pro správné zrání kompostu a pro docílení co nejlepší přeměny bioodpadu v humus je provzdušnění. Největší spotřeba kyslíku je v první fázi tlení kompostu. Proto je vhodné, aby zakládka obsahovala pomaleji se rozkládající komponenty (sláma, papírové kartony, kůra, dřevní štěpka), které zaručí kyprost kompostu a stálé proudění vzduchu dovnitř zakládky.

Při kompostování substrátu horní okraj příliš vysychá, naopak vespod může být příliš vlhký, neboť se zde nedostává potřebné množství vzduchu a substrát může začít hnit. Vrstva prostřední je na tom nejlépe, ale i tak se může stát, že vyschne v důsledku vysokých teplot, které vznikají v první fázi kompostování. Právě proto se musí kompost přehazovat, překopávat nebo promíchávat, aby byl zajištěn dostatečný přísun vzduchu do všech vrstev kompostu a veškeré komponenty mohly být rovnoměrně rozloženy.

Čím jsou intervaly překopávek kratší, tím dříve máme hotový kompost. Interval překopávek záleží na intenzitě rozkladu odpadu, ale neměl by být kratší než 21 dnů. Na druhou stranu ale postačí, když při zakládání kompostu budeme věnovat pozornost dostatečnému množství strukturního materiálu, který nám zajistí aeraci kompostu po dlouhou dobu. Potom postačí překopávka jednou za šest měsíců nebo nepřekopávat vůbec.

Správné provzdušnění se špatně stanovuje a kontroluje. Existují měřicí přístroje, ale jsou velice drahé. Postačí tedy jen kontrola vlhkosti. Je – li vlhkost kompostu ideální, je ideální i obsah vzduchu v kompostu. [13], [15]

### 3.2.3 Složení výchozího materiálu

Kompostovanému materiálu bychom měli věnovat velkou pozornost. Rozmanitost skladby kompostu je velice důležitá pro pozdější obsah živin. Čím větší je rozmanitost, tím kvalitnější bude výsledný produkt. Dobrému rozkladu surovin napomáhá nejen správná vlhkost, teplota, provzdušnění, ale také obsah živin, které do kompostu dodáme. Zajímá nás obsah dusíku, kyslíku, fosforu, jejich sloučenin a dalších stopových prvků. Také hodnota pH by se měla kontrolovat (záleží, jaký kompost chceme vytvořit – kyselý, zásaditý nebo neutrální).

Nově zakládaný kompost by neměl obsahovat materiál, který by proces kompostování zpomaloval, zastavil nebo mohl působit při rozkladu toxicky. Jedná se především o sklo, kovy, plasty aj. [1]

Než začneme materiál přihazovat do kompostu, měla by se sjednotit jeho velikost. Příliš velké kusy se rozkládají pomalu a malé kusy se mohou shlukovat a mohou tak nastartovat proces hnití. Nerovnoměrnému rozkládání materiálu částečně zabráníme sjednocením velikosti jednotlivých složek před kompostováním. Hlavně dřevního odpadu

a odpadu ze zeleně použitím štěpkovače, drtiče nebo nařezáním materiálu na menší kusy. Dalším krokem pro dobré založení kompostu je veškerý materiál dále homogenizovat promícháním dřevní štěpky s domovním bioodpadem, posekanou trávou popřípadě i s vyzrálou půdou. Použití půdy zabezpečí dostatek mikroorganismů a vhodné podmínky pro jejich život. Přídavek není nutný, ale již staří Číňané promíchávali kompost se zeminou nebo s blátem.

Při zakládání kompostu musíme dbát především na poměr uhlíku a dusíku. Během dlouhého vývoje technologie kompostování se ustálil poměr C : N na 20 – 30 : 1. Vyšší poměr uhlíku k dusíku prodlužuje zrání kompostu [13]. Při nadbytku dusíku i uhlíku odcházejí tyto prvky ve formě sloučenin (čpavek, oxid uhličitý) do ovzduší tak dlouho, dokud se jejich poměr v kompostu nedostane na požadovanou hranici [15]. Rozmezí těchto dvou důležitých prvků optimalizujeme při sestavování skladby kompostu. Vybrané odpady a jejich poměry uhlíku k dusíku jsou uvedeny v tabulce č. 4. U čerstvého kompostu by měl být poměr uhlíku a dusíku 30 - 35 : 1, protože v první fázi rozkladu se spotřebovává část uhlíku na oxid uhličitý a poměr se tak snižuje [13]. Existují nejméně dvě pravidla pro zajištění optimálního poměru uhlíku k dusíku: první – k materiálům se širším poměrem (sláma, dřevo, kůra, piliny) přidáme materiál s užším poměrem (posekaná tráva, kejda, chlévská mrva, čistírenské kaly) [13] a druhé pravidlo – „*čím je starší, tmavší a dřevnatější materiál, tím je v něm více uhlíku a čím je materiál čerstvější, šťavnatější a zelenější, tím obsahuje více dusíku.*“ [15].

Tabulka č. 4 – Poměr C : N bioodpadů ke kompostování [1], [5], [15]

<b>Odpad</b>	<b>C : N</b>
Kůra stromů	100 - 120 : 1
Piliny, hobliny	200 - 500 : 1
Papír, karoton	150 - 350 : 1
Kuchyňský odpad	15 - 30 : 1
Listí	40 - 60 : 1
Tráva	20 - 40 : 1
Sláma	60 - 120 : 1
Zelená štěpka	70 - 120 : 1
Chlévská mrva	13 - 18 : 1
Zvířecí fekálie	8 - 10 : 1
Kejda	7 - 10 : 1
Čistírenské kaly	5 - 8 : 1

Jak je možné vyčíst z tabulky, odpad z chovu hospodářských zvířat má nejmenší poměr uhlíku a dusíku, přidáváme ho tedy k materiálům jako jsou piliny, kůra, kuchyňský odpad. Hospodářské odpady mají nízký poměr C : N, ale jsou velmi bohaté na živiny (dusík, fosfor, draslík, hořčík), které jsou potřebné pro život mikroorganismů a následnou výživu rostlin. Odpady z lesnictví a dřevařského průmyslu jsou na živiny málo bohaté. Proto musíme tyto komponenty rozumně míchat a homogenizovat.

### 3.2.4 Teplo, tma a pH

Aby mohly mikroorganismy správně pracovat, potřebují určitou základní teplotu. Ta se pohybuje kolem 20 – 25 °C. Při této teplotě se nastartuje proces tlení a v následujících dnech teplota roste v důsledku větší činnosti mikroorganismů (bakterií a hub) [15]. Kompostujeme – li odpad s větším množstvím plevelů, měla by teplota kompostu dosáhnout minimálně 55 °C po dobu alespoň 21 dnů, aby se zničila jejich semena [13]. Pokud nemáme nadměrné množství plevelů stačí teplota kolem 45 °C po dobu 5 dnů [13]. Bakterie a houby žijí v naprosté tmě. Je tedy vhodné aspoň při začátku procesu kompostování přikrýt kompost propustným materiálem jako je například sláma, seno, rohože z rákosu nebo jutové pytle [15].

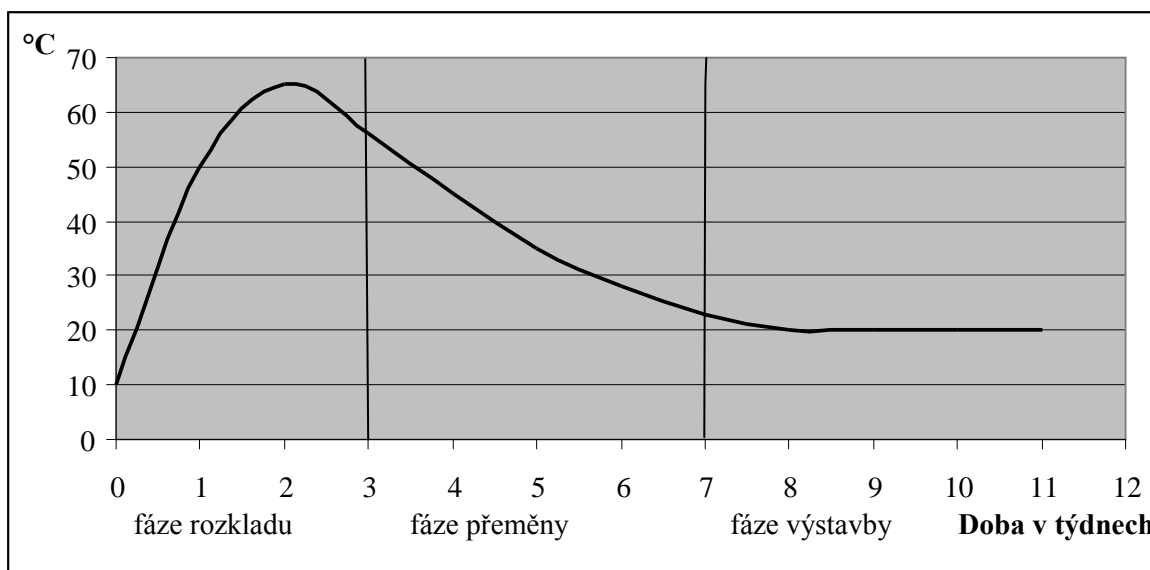
Protože bakterie a houby mají rády neutrální prostředí, měla by se hodnota kompostu pohybovat mezi pH 6 - 8. Pokud hodnota pH klesne pod tuto úroveň, můžeme si pomoci vápněním. Tak dosáhneme buď neutrálního pH nebo při větším vápnění dostaneme kompost zásaditý. Požadujeme – li kyselý kompost (třeba pro rododendrony), přidáme více rostlinných zbytků nebo zbytky z chovu zvířat. Ty mají hodnotu pH mírně kyselou [1].

### 3.3 Fáze kompostování

Aby mohly mikroorganismy zpracovat materiál na humus, potřebují mít dobré podmínky pro život. Dosáhne – li teplota okolí nejméně 20 °C, začínají být aktivní. Nastartuje se tak proces rozkladu. Bakterie a houby se začínají množit a důsledkem jejich počtu a způsobu života roste teplota kompostu. Za určitou dobu teplota klesá, protože je většina materiálu již přeměněna na humus. Existují 3 fáze při kompostování (graf č. 1). Fáze rozkladu (termofilní), fáze přeměny (mezofilní) a fáze výstavby (syntézy, ochlazování a zrání). Ve fázi rozkladu vzniká rychlokompost, ve fázi přeměny kompost a ve fázi výstavby zralý kompost.



Graf č. 1 – Průběh teploty a fáze tlení [15]



### Fáze rozkladu

Fáze rozkladu trvá zhruba 3 až 4 týdny. Mineralizují se jednoduché organické látky (cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny) [1]. Nastává vysoký růst teploty v důsledku aktivity mikroorganismů, které rozkládají materiál na přijatelnější skladbu surovin pro lepší vznik humusových látek. Vzrůst teploty je přímo úměrný aktivitě organismů a ta je závislá na surovinové skladbě kompostu [1]. Právě zde se projeví potřeba správného složení kompostu, který optimalizujeme poměrem uhlíku a dusíku, jak bylo popsáno výše. Teplota ve fázi rozkladu dosahuje 50 až 70 °C. Nastává hygienizace kompostu. Vlivem vysokých teplot jsou ničeny patogenní organismy, vajíčka škůdců a semena plevelů [1]. Materiál je rozložen až na „stavební kameny“ (dusičnany, oxid uhličitý, čpavek atd.) [15]. „Živiny, které jsou vázány v organické hmotě, se tak uvolňují a z části přecházejí až do původní minerální formy. Tento proces proto nazýváme také „mineralizace“.“ [15].

### Fáze přeměny

Do devátého týdne trvá fáze přeměny. Teplota kompostu pozvolna klesá. V této fázi se rozkládají hůře rozložitelné odpady jako je celulóza a dosud nezpracovaná dřevní štěpka. Živiny v mineralizované podobě jsou zapravovány do vznikajícího humusu. Celý substrát dostává drobtovitou strukturu, hnědne a má příjemnou vůni po lese. Vzniká živný humus. Ten má vysoký hnojařský účinek [15]. Neměl by se však používat z jara, neboť je slabě kyselý a bránil by tak vpučení semen. Je však vhodný pro rajčata či rododendrony (jako hnojivo během roku).

### **Fáze syntézy**

Teplota kompostu mírně klesá, až se dostane na stabilní hodnotu (teplota okolí). Čím déle necháme kompost zrát, tím více bude později účinný. Kompost získává stále zemitější strukturu. Z živného humusu se stává trvalý humus [15]. „ *Hnojařský účinek je slabší (živiny jsou stále pevněji vázány), účinnost humusu se však zvyšuje.* “ [15].

## **3.4 Vhodné místo pro kompost a druhy kompostů**

Podle místa vzniku bioodpadu a kompostovaného materiálu máme více druhů kompostů. Každý má své specifické rysy a k tomu odpovídající požadavky na vhodné místo založení.

### **Statkový (faremní) kompost**

Vzniká na farmách nebo při chovu hospodářských zvířat. Kompostují se převážně zbytky rostlin, znehodnoceného krmiva, posklizňové zbytky, chlévská mrva či kejda. Nejčastěji se používá polní kompostování. Kompost by měl být založen v blízkosti zdroje odpadů, nejlépe na polní zakládce blízko hospodářských budov. Zakládka má zpevněný a rovný povrch několikametrové délky, šířky nejčastěji 2 – 4 m ve tvaru lichoběžníku do výšky 1 až 1,5 m. Tento tvar je odolný proti přívalovým deštům a vysychání. Problémem je nedostatečný přísun vzduchu. Je tedy nutné kompost často mechanicky provzdušňovat. Celý proces trvá několik měsíců.

### **Průmyslový kompost**

Zpracovává komunální bioodpad a odpad z jídelen, restaurací a dalších stravoven nebo kaly z čistíren odpadních vod. Většinou se jedná o nezastřešené nebo zastřešené plochy nebo haly zabezpečené proti úniku tekutin do spodních vod vybetonováním úložné plochy kompostu. Takové stavby označujeme jako velkokapacitní kompostárny. Haly bývají vybaveny stroji pro provzdušňování, překopávání, zvlhčování a odvod vznikajících plynů. Proces trvá 10 – 12 týdnů. Kompost se využívá v zahradnictví a zemědělství. „ *Protože je vodohospodářské zabezpečení ploch finančně náročné, využívají se ke kompostování také nepotřebné silážní žlaby, zemědělská složiště nebo hnojiště.* “ [1]. Kompostárna by měla být v blízkosti zdroje odpadů. Neměla by být umístěna v záplavovém území a velikost musí odpovídat předpokládané kapacitě kompostárny. Více se o průmyslovém kompostování zmíním v kapitole 3.8.

### **Speciální kompost**

Tvoří ho jen určitý druh organického odpadu. Je určen hlavně pro zahradnictví. Existuje takzvaná listovka (listy z ovocných stromů a keřů), drnovka (drny z trávy),

kompost ze sena. Ke všem druhům speciálních kompostů můžeme přidat odpad z lesnictví a ze zpracování dřeva.

### Shrnutí

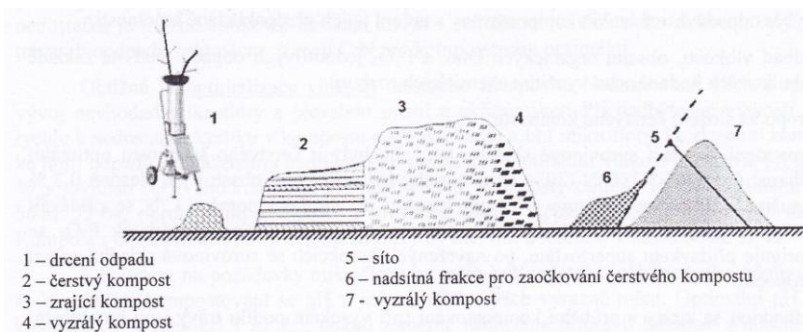
Kompostoviště musí odolat přívalovým dešťům. Zabráníme tomu mírným sklonem dna, které by mělo být 1,5 – 3 %. Při průmyslovém kompostování zabráníme vybetonováním dna případným průsakům do podzemních vod. Je nutné před vznikem kompostárny mít svolení pro stavbu od vodohospodářského úřadu, stavebního a obecního úřadu. Více o průmyslovém kompostování uvedu v kapitole 3.8. Při domácím kompostování dbáme, aby dno nebylo z nepropustného materiálu. Potřebujeme totiž, aby se nám do kompostu dostaly potřebné mikroorganismy a živočichové, kteří přemění organický odpad v úrodný humus. Proces kompostování urychlíme tím, že zabezpečíme kompost před větry a zajistíme stín (postačí stromy, keře). Výška kompostu by neměla přesahovat 1,5 m a šířka u země 2 m. Délka závisí na množství odpadu. S kompostem manipulujeme, když je suchý. Jinak hrozí shlukování. [1], [5], [13], [15]

### 3.5 Způsoby kompostování

Kompost se může založit více způsoby. Záleží na množství organického odpadu, délce kompostování a umístění kompostu.

#### Kompostování na zakládkách

Jedním z nejrozšířenějších způsobů zhodnocování organického odpadu je kompostování na zakládkách. Zakládka by měla být založena na stinném místě, chráněném před větrem a dobře dostupná. Výška zakládky se pohybuje v rozmezí 1 – 1,5 m, šířka u země by měla být kolem 2 m, délka není pevně stanovena. Kompostovaný materiál se vrství na sebe. Po dosažení výšky 1,5 m by se měla provést homogenizační překopávka [5]. Za 3 – 6 měsíců je vhodná další provzdušňovací překopávka. Proces kompostování je ukončen po 9 – 12 měsících, kdy většina odpadu je přeměněna a stabilizována. Před použitím se kompost prosévá a nadsítná část se použije do nově zakládaného kompostu jak ukazují obrázky č. 4 a 5.



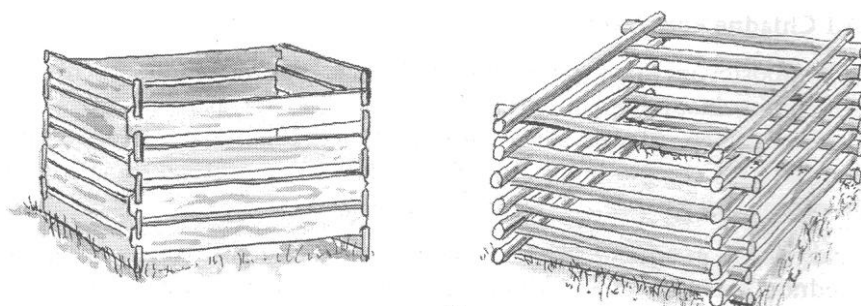
Obrázek č. 4 – Kompostování na zakládce [14]



Obrázek č. 5 – Kompostování na zakládkách [16]

### Kompostování v boxech

Kompostování v boxech je vhodné pro menší objemy odpadů a tam, kde je málo místa [15]. Použitým materiálem se mohou boxy esteticky přizpůsobit okolí, ve kterém jsou postaveny. Vyrábí se z prken, kulatin nebo kovového pletiva [5]. Použitím boxu při kompostování se ušetří práce s tvarováním kompostu. Zakládka by měla být vysoká 1 - 1,5 m [5]. Na další parametry není kladen důraz. Boxy jsou bez dna, aby byl zajištěn volný vstup organismů do kompostu. „ *Technologie kompostování v boxech je stejná jako u kompostování na zakládkách.* “ [5].



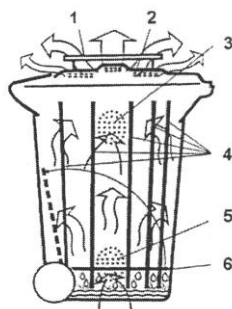
Obrázek č. 6 – Kompostování v boxech [14]



Obrázek č. 7 – Kompostování v boxech [17]

### Kompostování v kompostérech

Poslední dobou se dostávají na trh kompostéry. Jsou vyrobeny z recyklovaného polyetylenu. Jejich obsah se pohybuje od 220 l až do 400 l. Mají otevíratelné víko s otáčivým otvorem pro regulaci aerace, otvory po obvodu pro dobrý přísun kyslíku a boční otvory pro vybírání hotového kompostu [14]. Kompostéry nemají dno. Je tak zaručen přímý styk s půdou a organismy v ní žijící. Použitím kompostéru je možno snížit dobu tvorby kompostu až na polovinu.



- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1 – kryt                   | 4 – vnitřní žebrování      |
| 2 – odvětrávání            | 5 – boční ventilační otvor |
| 3 – boční ventilační otvor | 6 – ocelový rošt           |

Obrázek č. 8 – Schéma kompostéru [14]



Obrázek č. 9 – Kompostér [18]

### 3.6 Domácí kompostování

Domácí kompostování je nejjednodušší a nejučinnější způsob, jak minimalizovat organický odpad v odpadu komunálním. Jedná se především o kuchyňský odpad a odpad ze zahrady. Kolem domu je plno místa, kde by se dal kompost založit a tím pádem využít domovní bioodpad, který v domácnosti po pár dnech zapáchá, vodnatí a díky němu se v domě vyskytují různé druhy drobného hmyzu. Náklady na domácí kompostování jsou minimální. Navíc se zbavíme části domovního odpadu a vyrobíme si vlastní humus, přírodní hnojivo, které v obchodních řetězcích nestojí právě málo.

Pro třídění bioodpadu v domácnosti postačí např. jakákoli nádoba, do které se při separování odpadu vhodí kuchyňské odpady (ne maso) nebo existují speciální odpadkové koše tzv. sortéry, které mají více boxů pro separování odpadu (papír, plast, bioodpad a komunální odpad), jak znázorňují obrázky č. 10 a 11. Jsou to důmyslné odpadkové koše, které se umísťují v dolní části kuchyňských skříněk s pojízdným mechanismem a skládají se z několika oddělených nádob (jejich počet ovlivňuje rozměry koše).



Obrázek č. 10 – Sortér [19]



Obrázek č. 11 – Jiný typ sortéru [20]

Domácí kompostování se provádí nejčastěji v kompostových zakládkách, v boxech nebo v kompostérech. O jednotlivých způsobech kompostování jsem se zmínila v kapitole 3.5.

Problémem je však malá informovanost občanů a jejich neochota odpad třídit. Řešením je větší osvěta obyvatel a vidina finančního zvýhodnění, když budou organicky využitelné odpady třídit (menší poplatek za svoz popelnic). Informační letáky by měly informovat o možnostech třídění bioodpadu v domácnosti, možnostech svozu a jeho dalšího využití.

### 3.7 Komunitní kompostování

Jedná se o kompostování v určité komunitě nebo uzavřeném spolku občanů. Princip tohoto kompostování je ve společném kompostovišti, kam jednotliví členové odnášejí vytříděný organický odpad. Tento způsob je vhodný pro zahrádkářské kolonie, sídliště se zahrádkami nebo společnou zahradou, školy (v rámci ekologické výchovy) nebo pro více zahrádkářů [21]. Tímto způsobem kompostování se vyprodukuje mezi 10 až 20 t kompostu za rok. Nejvíce vhodné je kompostování na zakládkách nebo v otevřených boxech, které jsem popsala v kapitole 3.5.

Komunitní kompostování není jednoduchou záležitostí [5]. Musí se předem stanovit správce objektu, který dohlíží na chod kompostárny, kvalitu vytříděného bioodpadu, zavede provozní řád a zajistí co největší informovanost občanů o kompostovatelných odpadech a způsobu sběru. Hotový kompost se dělí mezi zúčastněné občany. Využívá se pro květiny v květináčích či truhlících nebo pro společné zelené plochy [5]. Kompostárna by měla být uzavřená, aby se nestala samoobslužným sběrným dvorem [5]. Je také výhodné udělat u kompostárny malý sběrný dvůr. Občané mohou donést vytříděný bioodpad a další odpady, které již nepotřebují na jedno místo a odnést si zpět plnohodnotný kompost.

Z tohoto způsobu kompostování se dá využít vznikající teplo. „ *Ve velkém kompostu vzniká při zrání během několika měsíců značné množství tepla, které lze využít ve formě teplé vody asi 40 °C prostřednictvím výměníku tepla ve sklenících nebo ke sprchování nebo mytí rukou.*“ [15].

Ke každé kompostárně patří mechanizační stroje a nářadí. Nejvhodnější jsou štěpkovače a překopávače kompostu. Nejsou – li prostředky pro nákup nebo půjčení těchto strojů, postačí zahradnické nůžky a vidle pro ruční překopávku.

### 3.8 Průmyslové (centrální) kompostování

Velkoobjemové kompostárny mají pod správou města, obce nebo soukromé podnikatelské subjekty [21]. Kompostárny musí splňovat legislativu týkající se nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a mnohé předpisy vodohospodářské a hygienické (více o legislativě v kapitole 4.10) [14]. „ *Další požadavky jsou kladeny na kompostárny, především v případě, kdy se vyrobený kompost uvádí do oběhu prodejem.*“ [5]. Problematikou kvality kompostu a způsobu kompostování pro uvádění kompostu do oběhu se zabývá kapitola 4.10 - legislativa.

Průmyslové kompostování se provádí dvěma způsoby. Prvním způsobem je kompostování na kompostovišti, to má roční produkci kompostu 50 – 500 t. Druhým způsobem je průmyslová kompostárna, která vyprodukuje za rok více než 500 t kompostu. Tato centrální zařízení bývají označována jako průmyslové kompostárny a způsob výroby je ošetřen platnou ČSN 46 5735 Průmyslové komposty [5].

V zařízeních se nejčastěji používá kompostování na zakládkách (kapitola 3.5) nebo v biofermentorech (kapitola 4). Místo kompostárny musí být zabezpečeno nepropustnou vrstvou, aby se nemohly závadné látky dostat do podzemních vod a do půdy. Kompostárna musí být také zajištěna před přívalovými dešti, nejlépe pomocí obrubníků s odvodem do kapacitně vyhovující jímky [21].

Opatření proti průsakům je finančně náročné. Využívají se proto vodohospodářsky zabezpečené silážní žlaby, hnojiště a zemědělská složeníště a ve městech areály bývalých uhelných skladů [14]. Taktéž je vhodné vybudovat malý sběrný dvůr u průmyslové kompostárny za stejným účelem jako u komunitního kompostování.

Vybavení kompostárny mechanickými stroji je finančně nákladné. Využívá se proto možnosti vypůjčení těchto strojů nebo mobilních technologických linek. Ty se přepravují z jedné kompostárny do další v určených termínech a provádí potřebné operace jako je štěpkování, drcení, homogenizaci, překopávání, provzdušnění či prosévání vyzrálého kompostu. [14]

Díky potřebě převážet mobilní linky je vhodné umístění průmyslové kompostárny blízko komunikace, na pozemku s vybudovanými inženýrskými sítěmi. Nevylučuje se možnost vzniku zápachu. Z těchto důvodů by neměla kompostárna stát v souvislé bytové zástavbě a v silně obydlené části města či obce. Průmyslové kompostárny se často budují v blízkosti čistíren odpadních vod, skládek odpadů a mechanizačních středisek pro údržbu zeleně. [5]

### Kompostárny v ČR

Ačkoliv povědomí o kompostárnách v našem okolí není velké, existuje více než 100 kompostáren v celé České republice. Některé jsou již v provozu několik let, jiné čekají na poslední úpravy, aby mohly být dány do provozu, jiné musely provoz přerušit a plno dalších kompostáren je ve stádiu projektu. Další se zaměřují na výrobu speciálních substrátů a hnojiv. Na území hlavního města Prahy je 17 kompostáren, v Ostravě 4 a v Brně 1 centrální kompostárna. Seznam krajů a počet kompostáren najdeme v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 – Počet kompostáren v jednotlivých krajích

Kraje	Počet kompostáren
Moravskoslezský	17
Olomoucký	6
Zlínský	8
Jihomoravský	11
Vysočina	14
Jihočeský	9
Plzeňský	?
Karlovarský	8
Ústecký	10
Liberecký	5
Středočeský	11
Praha	17
Královehradecký	5
Pardubický	5
$\Sigma$	126



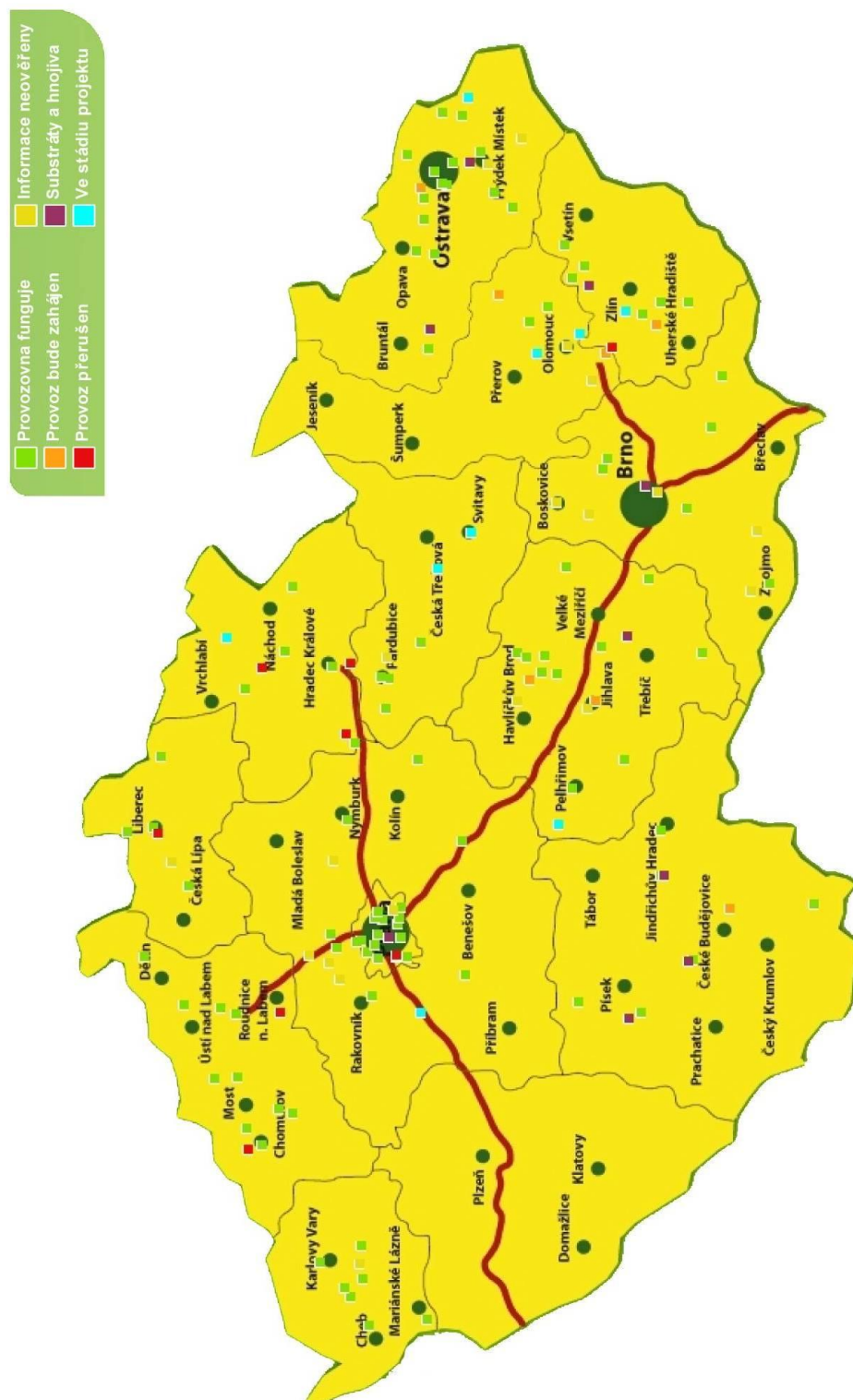
V Moravskoslezském kraji je nejvíce kompostáren z celé České republiky. Prvenství by měla mít ale Praha, protože na jejím území se nachází stejný počet kompostáren, jako na celém území Moravskoslezského kraje.

Pro lepší názornost a rozmístění kompostáren uvádím obrázky č. 12 a 13.

Většina kompostáren je evidována v databázi kompostáren firmou ZERA. Na jejich internetových stránkách se dají získat informace o kompostárně (kapacita, technologie, zařízení a stroje, zpracovaná hmota za rok, surovinová skladba kompostu, množství vyprodukovaného kompostu za rok nebo registrace kompostu dle zákona č. 156/1998 Sb. O hnojivech). [22]



Obrázek č. 12 – Kompostárny v Moravskoslezském kraji [22]



Obrázek č. 13 – Rozmístění kompostáren v ČR [22]

### 3.9 Technické vybavení kompostáren

V komunitních kompostárnách nebo kompostovištích se nejčastěji používá jednoduché nářadí jako lopata (nejlépe zašpičatělá), vidle, prosévačka, konev, kolečko a zřídka i štěpkovač nebo drtič [5], [15].

V průmyslových kompostárnách toto malé nářadí nestačí. Objevují se štěpkovače, drtiče a překopávače. Některé stroje si kompostárny mezi sebou půjčují za úplatek, protože pořízení všech těchto strojů by bylo pro kompostárnu finančně nevýhodné.

#### Drtiče a štěpkovače

Velice důležitými stroji jsou drtiče a štěpkovače. Umožňují snadněji zmenšit velikost dřevního odpadu ze zeleně, který je potřebný pro dobré tlení posekané trávy. Pohon zajišťuje buď elektrický nebo spalovací motor nebo se stroje dají připevnit k traktoru nebo k malotraktoru.

Zajímavým zařízením pro kompostování odpadu ze zeleně je mobilní drtič a zároveň i promíchávač Seko Samurai Green. Tento stroj dokáže odpad mechanicky upravit a zároveň zhomogenizovat v předem stanoveném poměru. „*Drcení a homogenizaci provádí protiběžnými šneky vybavenými břity.*“ [5]. Vyrábí se jako závěsné nebo samojízdné zařízení, jak dokládají obrázky 14 a 15. [5]



Obrázek č. 14 – Seko – samojízdný [23]



Obrázek č. 15 – Seko – závěsný [23]

#### Překopávače

Jako překopávače ve většině kompostáren slouží čelní nakladače, zejména s drapákem a čelní lžící. Používá se i frézový překopávač za účelem provzdušnit kompost.

Překopávače se dají připojit k traktoru jako stroje tažené, tlačené nebo bočně nesené nebo stroje samojízdné. Obrázky č. 16 a 17 zobrazují překopávače firmy SEKO. [5]



Obrázek č. 16 – Překopávač [24]



Obrázek č. 17 – Čelní překopávač [24]

### 3.10 Legislativa

Zajišťování kompostování, provoz kompostárny a uvádění kompostu do oběhu podléhá řadě vyhlášek, zákonů a nařízení.

**Zákon č. 185/2001 Sb.**, o odpadech a o změně některých dalších zákonů

**Zákon č. 156/1998 Sb.**, o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění zákona č. 308/2000 Sb.

**Vyhláška č. 341/2008 Sb.**, o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 303/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

**Vyhláška č. 381/2001 Sb.**, Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely dovozu, vývozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů

**Vyhláška č. 474/2000 Sb.**, o stanovení požadavků na hnojiva

**ČSN 46 5735** „Průmyslové komposty“

### 3.11 Výhody a nevýhody kompostování

Kompostování je pro své četné výhody velice rozšířený způsob biologického odstraňování odpadů. K výhodám patří zejména vázání organického dusíku v půdě, který je velice důležitý pro vývoj rostlin, tvorba humusových látek, ty zvyšují druhotnou pestrost bakterií a hub. Při procesu kompostování dochází vlivem vysokých teplot k zničení semen plevelů, jedovatých látek a k zabránění hnití. Pomocí kompostování se rozkládají těžko rozpustné živiny, stopové prvky a vytváří se tak přírodní antibiotika, která zvyšují odolnost rostlin proti škůdcům.

Každá metoda má bohužel i své nevýhody. Mezi ně bychom mohli začlenit vysokou pracnost při tvorbě kompostu a možnou kontaminaci podzemních vod. [15]

## 4. ANAEROBNÍ DIGESCE

Anaerobní digesce má několik synonym. Stejný význam mají slovní spojení jako anaerobní fermentace a anaerobní vyhnívání. Vždy se jedná o způsob zhodnocování organických odpadů za nepřístupu vzduchu (řízeným vyhníváním). Produktem fermentace je bioplyn, který se využívá k energetickým účelům a digestát. „*Jedná se o bioenergetickou transformaci organických látek, při které nedochází ke snížení hnojivé hodnoty.*“ [14]. O tomto způsobu využívání odpadů jsem se již zmínila v kapitole 3.6.

### 4.1 Proces fermentace

Proces fermentace se také nazývá metanizace. Pomocí mikroorganismů a bez přístupu vzduchu se organický materiál přeměňuje na plyny (metan, oxid uhličitý, vodík, dusík a sirovodík) a na nerozložený zbytek, takzvaný digestát. Digestát je na konci procesu plně stabilizovaný. Celý proces probíhá v bioplynových stanicích, takzvaných fermentorech. [14]

Anaerobní digesce je proces složený z více na sebe navazujících fází. Všechny fáze musí dobře fungovat. Objeví – li se jen malá chyba v jakékoli z nich, má to za následek špatné fungování fází ostatních. V každé fázi jsou specifické mikroorganismy, které využívají materiál vytvořený bakteriemi předešlé fáze. Fermentace se rozděluje do 4 fází – hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze, metanogeneze. [25]

Fermentaci ovlivňuje řada faktorů. Důraz se klade na množství sušiny, tedy na materiálové složení výchozích látek. Podle obsahu vody nebo naopak sušiny se rozlišuje fermentace mokrá nebo suchá (více informací je obsaženo v kapitole 5.3). Dalším faktorem je pH. Neutrální hodnotu pH vyžadují bakterie ve fázích hydrolýzy a metanogeneze. Hodnota pH v ostatních fázích odpovídá názvu fáze. Teplota je také nezanedbatelným faktorem. Při změně teploty se mění rychlost pochodů v procesu fermentace. Z toho vyplývá, že v bioplynových stanicích se musí udržovat stálá teplota. Nejproduktivnější teplota je mezi 30 až 40 °C. Při této teplotě je většina bakterií aktivních a potřebná energie k udržení teploty není tak velká. [1]

#### Hydrolýza

První fází fermentace je hydrolýza. V této fázi rozkládají bakterie makromolekulární látky (rozpuštěné i nerozpuštěné) jako jsou polysacharidy, proteiny a lipidy na látky nízkomolekulární rozpustné ve vodě (cukry, aminokyseliny aj.). Hydrolýza obsahuje extracelulární hydrolitické enzymy, které jsou produkovány fermentačními bakteriemi. Rychlost hydrolýzy ovlivňuje rychlost následných procesů (rychlost produkce bioplynu). [1], [25]

### **Acidogeneze**

Druhá fáze fermentace. Zde jsou produkty hydrolýzy dále rozkládány na jednodušší látky (těkavé organické kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík). Bakterie zajišťující acidogenezi se rychle množí a rostou. Nemají vyvinutou citlivost na změny vnějších podmínek. [1], [25]

### **Acetogeneze**

Fáze třetí při anaerobní digesci. V acetogenezi bakterie oxidují látky z acidogeneze na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. [1], [25]

### **Metanogeneze**

Fáze čtvrtá, poslední. Bakterie přeměňují kyselinu octovou na metan, oxid uhličitý, dusík, vodík a sirovodík.

V bioplynových stanicích, kde proces probíhá v uzavřeném prostředí mohou jednotlivé fáze probíhat současně. [1], [25]

## **4.2 Materiál vhodný pro fermentaci**

Pro anaerobní zpracování jsou vhodné odpady: bioodpad z domácností, zahradnický odpad, zbytky ovoce a zeleniny (z obchodů), odpady ze stravoven a restaurací, z cukrovarnického, pivovarského a pekárenského průmyslu, zbytky z jatek, ze zpracování ryb a masa a kaly z čistíren odpadních vod [1].

Zemědělství je velkým producentem odpadů vhodných k fermentaci. Významná je produkce kejdy, hnoje, močůvky, rostlinných zbytků, znehodnocených krmiv a další.

## **4.3 Druhy anaerobní fermentace**

Existují dva druhy anaerobní fermentace – suchá a mokrá. Liší se od sebe surovinovou skladbou a mírnými odchylkami při výrobě.

### **Suchá fermentace**

Suchá fermentace má výhody při zpracování odpadů s vysokým podílem sušiny. Má menší spotřebu elektrické energie (biomasa se nemusí před vstupem do fermentoru rozmělnit nebo jinak upravovat, odpadá nutnost promíchávání a čerpání biomasy do fermentoru) [7].

Při suché fermentaci se nepoužívají odpady s vysokým procentem vlhkosti (např. kaly). Ideální skladba odpadů pro tuto reakci je: siláž, hnůj, zemědělské plodiny, BRKO, zbytky z tržnic a supermarketů, znehodnocené ovoce a zelenina, tráva, zeď ze zahrad a parků, listí, rozštěpkované větve, zemědělské a průmyslové bioodpady [7].

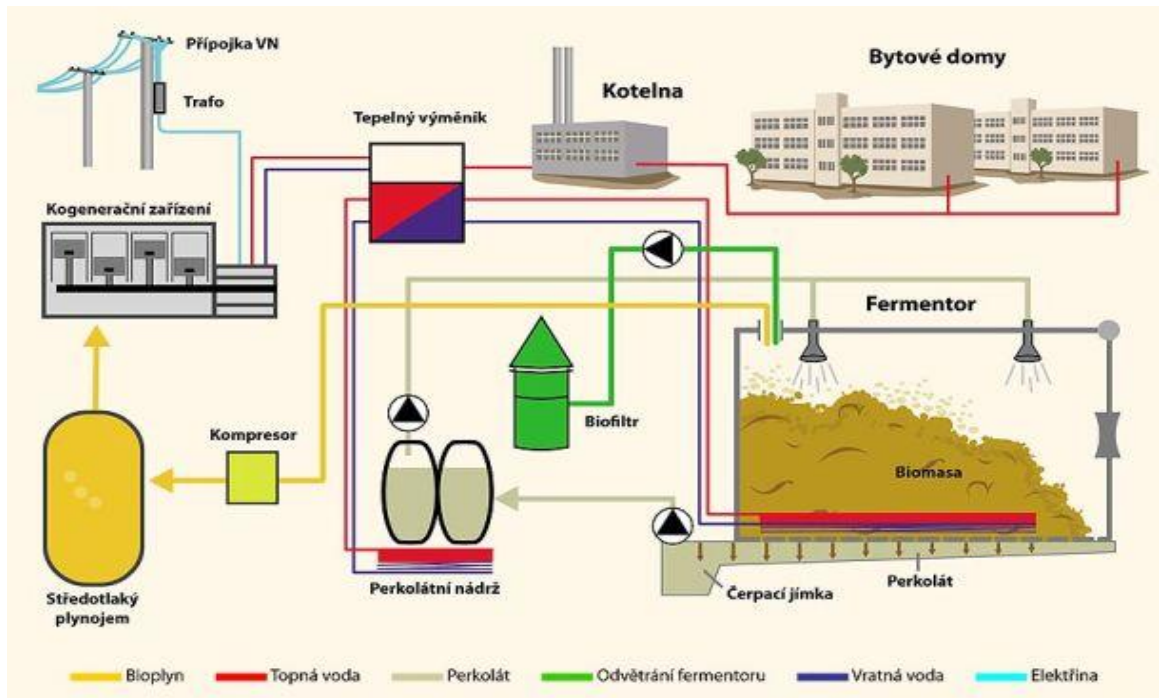
Odpad určený k suché fermentaci se naskladní do fermentorů. Po naplnění fermentorů se uzavřou plynotěsné dveře a odpad se skrání perkolátem (tekutina obsahující vhodné kultury mikroorganismů pro anaerobní digesci) a přidává se část fermentačního zbytku z předešlé reakce. Celá místnost je vytápěna podlahami a stěnami z kogenerační jednotky. Tímto způsobem se nastartuje proces fermentace. Během 3 dnů se vyčerpá kyslík a ustálí se podmínky v reaktoru. Vznikající bioplyn se jímá do vaků a je odváděn do kogenerační jednotky. Na konci procesu vzniká elektrická energie z vytvořeného bioplynu a také teplo, pevný a tekutý fermentační zbytek. Proces trvá cca 28 dní. Obrázek č. 18 demonstruje suchou fermentaci v bioplynové stanici. [7], [9]

### **Mokrá fermentace**

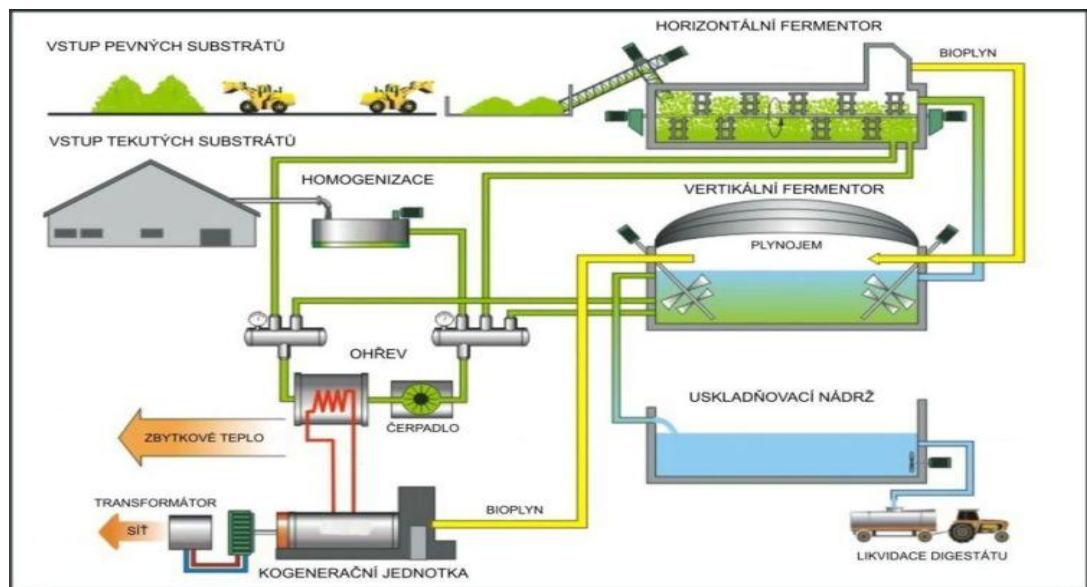
Mokrá fermentace je energeticky i ekonomicky méně výhodná, než fermentace suchá. Má ovšem větší uplatnění a je více rozšířena. Důvodem je delší doba používání této metody a tudíž i propracovanost a srovnatelnost výsledků a postupů.

Suroviny pro mokrou fermentaci obsahují podstatně méně sušiny, než suroviny pro fermentaci suchou. Především se využívají tyto vstupní materiály: odpadní biomasa, jateční odpady, odpady ze stravoven, kejda, hnůj atp [8]. Fermentory jsou vybaveny míchadly, čerpadly, separátory, drtiči a posuvným zařízením (zařízení finančně náročná).

Dávkování suroviny je prováděno sily s posuvnými podlahami nebo dávkovači s řezacími šneky pro lepší zpracování biomasy. Reaktor je jinak koncipován než u suché fermentace, je vybaven velkokapacitními pádlovými míchadly. Reaktor je opět vyhříván a biomasa se neustále promíchává. Jímá se vznikající bioplyn. Produktem je opět pevný a tekutý fermentační stabilizovaný zbytek. Proces fermentace trvá 50 - 70 dní (podstatně delší doba než u prvního způsobu). Bioplynovou stanici znázorňuje obrázek č. 19. [8], [9]



Obrázek č. 18 – Bioplynová stanice – suchá fermentace [7]



Obrázek č. 19 – Bioplynová stanice – mokrá fermentace [37]



#### 4.4 Produkty a jejich využití

Produktem anaerobní digesce je bioplyn a biologicky stabilizovaný substrát (digestát).

##### **Bioplyn**

Bioplyn je bezbarvý plyn složený hlavně z metanu, oxidu uhličitého a dalších méně zastoupených plynů (dusík, vodní pára, sirovodík, atd). Obsah metanu v bioplynu významně ovlivňuje jeho výhřevnost. Množství metanu je závislé na materiálové skladbě vsázky a technologii, kterou využívá bioplynová stanice. Problémem může být vysoký obsah sirovodíku. Z něj vzniká kyselina sírová, která podporuje korozi. Při vyšších teplotách procesu se musí sirovodík odstraňovat. Nejčastěji se používají sírné bakterie, které v aerobním prostředí rozloží sirovodík na síru a sírany (záleží na teplotě a hodnotě pH). [9], [14]

Bioplyn se dá využít několika způsoby:

- Výroba elektrické energie a ohřev teplonosného média (kogenerace)
- Výroba elektrické energie, tepla a chladu (trigenerace)
- Palivo pro pohon mobilních energetických prostředků [14]

Nejvíce rozšířenou technologií je kogenerace. Bioplyn je vháněn ze zásobníků do kogeneračního motoru, který je schopen využít bioplyn a přeměnit ho na elektrickou energii a teplo. Elektrická energie se využívá buď pro vlastní potřebu biostatice nebo při velkém množství elektrické energie se dodává do tepláren nebo elektráren. Teplo se využívá pro ohřev vody nebo pro další proces v bioreaktoru. Tímto způsobem lze získat z 1 t bioodpadu 198 kWh elektrické energie a 348 kWh tepla. Zařízení spotřebuje část tepla a elektrické energie. Pro využití nebo pro prodej zůstane 159 kWh elektrické energie a 300 kWh tepla. [14]

##### **Digestát**

Vlastnosti digestátu záleží na materiálovém složení zpracovávaných produktů. Technologický postup zde není příliš podstatný.

Digestát se nejčastěji používá k přímému aplikování na půdu. Má vysoký hnojivý účinek a více výhod než přímé aplikování například prasečí kejdy. Digestát je stabilizovaný, homogenizovaný, zbaven patogenů, semen plevelů a zápach je minimální oproti kejdě. Další možností je vyseparovat tuhý organický zbytek od zbytku tekutého. Nejčastěji se využívá lisování, odstředění či sedimentace. Tuhý fermentační zbytek se používá jako hnojivo. Přidává se do kompostování, čímž se zvýší kvalita kompostu nebo se

může dále sušit a lisovat (s přídavkem dřevní štěpky či slámy) na brikety nebo pelety a využít jako biopalivo. Tekutý fermentační zbytek se používá jen jako hnojivo a to přímou aplikací na půdu. Není – li pro něj odbyt, dá se aerobně dočistit jako odpadní voda a vypustit do kanalizace. [7], [14]

## 5. BIODEGRADACE

„ *Biodegradace je založena na schopnosti určitých bakteriálních kmenů využívat uhlovodíky přítomné v odpadech jako zdroj uhlíku a energie ke svému růstu.*“ [26]. Mikroorganismy rozkládají složité organické látky na látky jednodušší. Biodegradace se využívá pro rozklad nebezpečných odpadů. „*Biodegradace je ekonomicky výhodná a vysoce účinná metoda.*“ [12]

### 5.1 Princip biodegradace

Biodegradace se týká nejen přírodních látek, ale také látek vpravených do přírody lidskou činností (mají antropogenní původ) [27]. Látky antropogenního původu nazýváme polutanty.

Mikroorganismy využívají odpady jako zdroj uhlíku, jak bylo zmíněno výše. Takto mohou bakterie rozložit kontaminanty na látky jednodušší a to až na oxid uhličitý a vodu. Tuto úplnou biodegradaci nazýváme mineralizací. Proces degradace může probíhat za aerobních i anaerobních podmínek [28].

Vpravením vhodných mikrobů do znečištěného prostředí a vytvořením vhodných podmínek pro jejich život se degradační proces urychlí. „ *Bakteriální kmeny používané k biodegradaci jsou netoxické, nepatogenní a geneticky neupravované.*“ [26].

Při biodegradaci se může skladba mikroorganismů měnit. Na tom závisí i chemické složení kontaminovaného prostředí. Přejídné zvýšení toxicity je doprovodný jev biodegradace. Vzniká v důsledku částečné oxidace polutantu a vzniku nových toxických látek. Nově vzniklé toxické látky budou detoxifikovány v dalších degradačních krocích. [28]

Změna skladby mikroorganismů při degradaci slouží jako kontrola degradace a používá se při hodnocení úspěšnosti tohoto procesu. Polutanty jsou zdrojem uhlíku a energie pro mikroorganismy. Čím více bakterie využívají znečištění, tím více se množí a zvyšují svůj počet v kontaminovaném prostředí. Indikátorem úspěšného procesu degradace je vzrůstající počet přirozených predátorů objevujících se mikroorganismů. [28]

V posledních letech se biodegradace zaměřuje na vývoj mikroorganismů specifických pro degradaci nebezpečných odpadů (například chlorované uhlovodíky). Další směr vývoje je zaměřen na zvyšování aktivity mikroorganismů v přírodě. Čím více bude aktivních mikroorganismů, tím lépe bude probíhat degradace vlastními prostředky přírody při minimálním zásahu člověka. Houba *Phanerochaete chrysosporium* má vysoký degradační potenciál. Vyskytuje se ve ztrouchnivělém dřevě téměř všude na severní

polokouli. Rozkládá lignin, který je s celulózou hlavní složkou dřeva, a tím způsobuje rozpad dřeva. V souvislosti s tímto objevem se studuje možnost využití této houby pro zpracování odpadů z průmyslových procesů, hlavně z průmyslu výroby papíru a celulózy a pro degradaci některých čistých chemických látek. [12]

Průběh biodegradace ovlivňuje mnoho faktorů. Záleží na množství organické hmoty, která slouží jako zdroj uhlíku. Povrchová vrstva půdy obsahuje velké množství organických látek, právě zde se nachází nejvíce mikroorganismů a degradace je zde nejrychlejší. V podpovrchových oblastech je obsah organických látek menší. Tím se množství mikroorganismů zmenšuje a schopnost degradace je také snížena. Z toho je zřejmé, že povrchová kontaminace je méně náročná na degradaci než kontaminace, která se dostala do spodních vrstev půdy. Další faktory ovlivňující aktivitu mikroorganismů a tím průběh degradace je přítomnost kyslíku, dusíku, dostupnost živin, teplota, hodnota pH, obsah vody a biodostupnost polutantů.

## **5.2 Metody biodegradace**

Biodegradace se využívá pro dekontaminaci zemin i vod.

### **5.2.1 Sanace zemin in situ**

Metoda se používá přímo na kontaminované lokalitě. Je relativně levná, ale průběh reakce je špatně kontrolovatelný a nemusí proběhnout rovnoměrně v celé kontaminované oblasti.

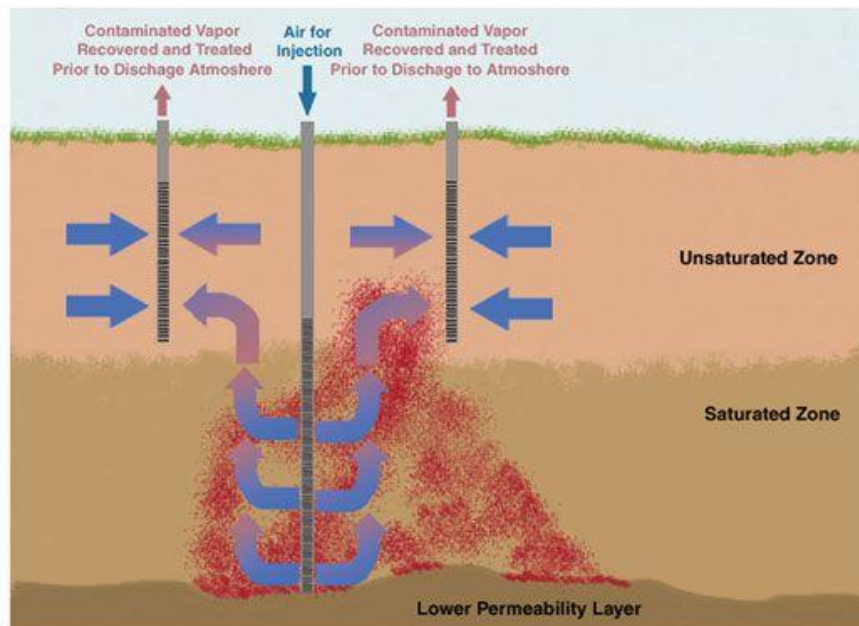
#### **Biodegradace in situ**

Degradace znečištění probíhá přímo v lokalitě kontaminace. Využívá se přirozené skladby mikroorganismů v lokalitě. Při nedostačujících podmínkách se upraví skladba mikroorganismů, množství kyslíku a dalších živin potřebných pro život organismů, jako je dusík, fosfor a potřebné pH. Používá se tam, kde by odtěžení zeminy bylo ekonomicky náročné [26]. Metoda je vhodná pro dekontaminaci lokalit znečištěných především ropnými, aromatickými a polyaromatickými uhlovodíky [29].

Vnášení mikroorganismů se provádí pomocí tlačných a sacích vrtů. Těmito vrty se mikroorganismy dostávají do pórů zeminy. Metoda in situ vyžaduje propustnou zeminu a dostatek kyslíku, který se dodává pomocí tlačných vrtů. Dalším způsobem je odčerpávání znečištěné podzemní vody, její čištění, okysličení, obohacení o potřebné živiny a vrácení zpět do kontaminované půdy. [30], [31]

## Bioventing

Bioventing je metoda založena na dodávání nebo odsávání kyslíku v různých vrstvách znečištěné zeminy. Kyslík se dodává vtlačáním, odsáváním půdního vzduchu s následným čištěním a znovuvrácením do půdy nebo kombinací těchto dvou způsobů. Používají se vrty vertikální i horizontální. Obrázek č. 20 demonstruje tuto metodu biodegradace. [34]



Obrázek č. 20 – Bioventing [32]

### 5.2.2 Sanace zemín ex situ

Kontaminovaný materiál je odstraněn z původní lokality. K degradaci dochází buď v lokalitě odstranění (jen na jiném místě) – biodegradace on site nebo v jiné lokalitě (speciálně vytvořené pro biodegradaci) – off site. Odtěžení a přemísťování kontaminované zeminy značně zvyšuje náklady. Výhodou této metody je dobře kontrolovatelný průběh degradace.

Jednou z firem zabývajících se biodegradací v Moravskoslezském kraji je firma Biodegradace Ostrava s.r.o. Od roku 1995 vyčistila touto metodou několik desítek až stovek tisíc tun zeminy. Například pro firmu AUTOPAL s.r.o. Rychvald vyčistili metodou on situ 1800 t zeminy kontaminované dehtofenoly a ropnými látkami (v letech 2002 - 2003). Při dekontaminaci zeminy ze sanace areálu podniku Pilana Hulín bylo metodou ex situ vyčištěno 18 500 t zeminy kontaminované opět dehtofenoly a ropnými látkami. Celý proces dekontaminace se odehrál od roku 1997 až do roku 2001. Další firmou působící na Ostravsku je SITA CZ. Ta se specializuje na sanace starých zátěží.

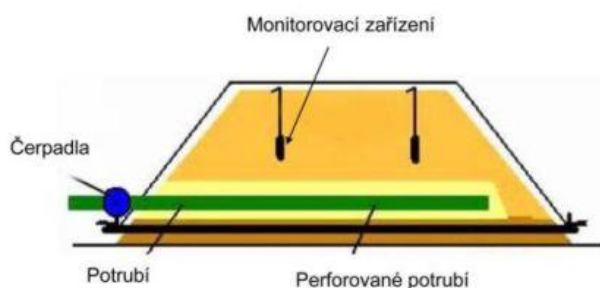
Mezi nejvýznamnější projekty firmy patří sanace Spolana Neratovice (mezi lety 2003 - 2008) nebo Koksovna Karolina v Ostravě v letech 1998 – 2003. [26], [36]

### Land farming

Odtěžená kontaminovaná zemina je odvezena na speciální místo, které je zabezpečeno proti průsakům a odtoku znečištěné vody. Toto místo se nazývá biopole. Na biopoli je zemina homogenizována. Další proces je navrstvení zeminy cca do 1 m výšky. Je – li absence potřebných živin, dodají se tyto živiny do půdy rozstříkáním bakteriální suspenze. Dostatek kyslíku potřebný pro degradaci je zajišťován obracením, orbou, kultivací nebo kypřením. V průběhu degradačního procesu se udržuje potřebná vlhkost, provzdušnění, množství a složení mikroorganismů. [31], [34]

### Biopiling

Další metodou je biopiling. Využívá větší koncentrace kyslíku, dusíku, fosforu a vody. Před navezením zeminy je instalováno provzdušňovací zařízení do spodní části hromady, která má v konečném stádiu maximálně 6 m. Provzdušňovací zařízení zásobuje navážku kyslíkem pomocí děrovaných trubek. Odtěžená zemina je homogenizována, smíchána s potřebnými mikroorganismy a umístěna na biopole, které je pokryto nepropustnou geotextilií. Celá navážka je zakryta polyethylenovou fólií a ta zabezpečena proti odstranění. Vlhkost v navážce se pohybuje mezi 25 – 85 %, teplota je od 15 do 45 °C a pH se pohybuje v rozmezí 5,5 – 8.5. Příklad biopilingu znázorňují obrázky č. 21, 22 a 23. [33], [35]



Obrázek č. 21 – Schéma biopilingu [33]



Obrázek č. 22 – Biopiling [33]



Obrázek č. 23 – Aerace při biopilingu [33]

### 5.2.3 Sanace vod in situ

Metody jsou založeny na čerpání a zpětném zasakování podzemní vody. Voda je odčerpána z podzemí, prochází přes aerační nádrž s potřebnými mikroorganismy, dále proudí do zasakovacích vrtů. Odtud se dostává do kontaminované zeminy a zpět do čerpacích vrtů. Využívá se biodegradace s kyslíkem nebo peroxidem. [34]

### 5.2.4 Sanace vod ex situ

Sanace vod ex situ spočívá ve vyčerpání a dalším čištění vody mimo lokalitu znečištění. Voda je čištěna pomocí mechanických, fyzikálních, chemických a biologických metod. Nejdříve jsou z vody odstraněny mechanické nečistoty pomocí sedimentace a filtrů. Dále jsou v pořadí odstředivky a různé sorpční filtry s vhodnou náplní sorbetů (aktivní uhlí, fibroil a metalsorbenty). Odstranění těkavých látek se provádí ve stripovacích věžích a horizontálních provzdušňovačích. Dále voda putuje do bioreaktorů, kde se zbaví biologického znečištění. [26]

## 5.3 Výhody a nevýhody

Neexistuje obecné využití biodegradace. Nejčastěji se však uplatňuje při dekontaminaci půd organickými látkami, jak bylo popsáno výše. Biodegradace se také využívá při čištění vod odpadních, podzemních tak pro jejich dočišťování. Každá metoda biodegradace má své výhody i nevýhody.

K výhodám in situ patří dekontaminace přímo na místě, čímž se snižují finanční nároky. Další z výhod je nenarušení kontaminované lokality a nepřetržité odstraňování znečištění. Metody biodegradace lze použít s jinými metodami zároveň jako například konečný čistící krok. Biodegradace umožňuje odstranit i stopové nečistoty, které jiné metody odstranit nedokáží. Použití chemikálií a stojů je minimální. Další výhodou je využití vyčištěné zeminy především při rekultivaci krajiny nebo při zavážení skládek.

Každá metoda má i své nevýhody. Bohužel ještě neexistují bakterie pro všechny druhy znečištění. Klesne – li teplota pod 19 °C, aktivita mikroorganismů se sníží a tím se zpomalí i proces biodegradace. Rychlost degradace závisí na množství mikroorganismů, koncentraci polutantů a množství živin, jako je dusík, fosfor a kyslík. Nejsou – li přítomny v požadovaném množství, musí se dodat. Při biodegradaci ex situ se zvyšují celkové náklady procesu. Může za to přemísťování kontaminovaného materiálu, monitoring před zahájením degračních prací, který zahrnuje monitoring lokality, laboratorní testy biodegradability a následný výběr metody a realizace.



## 6. ZÁVĚR

Smyslem mé bakalářské práce bylo vyhledat a logicky setřídit biologické způsoby odstraňování odpadů. Zmínila jsem se o vermikompostování, aerobním termofilním zpracování, biologickém sušení, anaerobním zpracování, lihovém kvašení i mechanicko-biologickém zpracování. Větší pozornost jsem věnovala kompostování, anaerobní digesci a biodegradaci.

Zásadním předpokladem pro všechny výše zmíněné metody je nezbytné vytřídění bioodpadu z odpadu komunálního. Procento biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládky je v České republice příliš vysoké. ČR se vstupem do Evropské unie zavázala plnit Směrnici rady EU 99/31/EC o skládkování odpadu, která členskými státy ukládá omezit množství BRO ukládaných na skládky na 75 % oproti roku 1995 za dobu 5 let od nabytí účinnosti této směrnice. V jiných evropských zemích je separování bioodpadu zažitou praxí. V ČR je podvědomí o možnostech vytřídění organického odpadu malé. Právě proto je procento BRKO ukládaných na skládky tak vysoké. Prvním náznakem ke zlepšování stavu je to, že v některých lokalitách se již objevují hnědé kontejnery na bioodpad, jinde se teprve uvažuje o jejich zavedení.

Domnívám se, že by se toto procento BRKO ukládaných na skládky mělo radikálně snížit a to především osvětou lidí o možnostech vytřídění a následného zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Informovanost obyvatel by měly, podle mého názoru, zajišťovat příslušné orgány místní správy, které mají svou působnost blíže k lidem, než - li vyšší, respektive centrální orgány státní správy. A to například finančním zvýhodněním svozu komunálního odpadu (po dohodě s firmou zajišťující odvoz). Další méně efektivní způsoby mohou být třeba informativní schůzky, prezentace či letáčky, kde se občané dozví, co vše se dá separovat, co se dál s odpadem děje a jaké je další využití vytříděného odpadu. Myslím si, že pokud by lidé věděli, jak se dají odpady využít, výrazně by vzrostlo procento vytříděného bioodpadu.

Zásadní výhodou všech uváděných metod biologického zpracování odpadů je opětovné využití veškerých produktů, které při těchto metodách vznikají. Ať jde o kompost, bioplyn, digestát, různé peletky nebo brikety. Využití tyto produkty nachází v energetice, zemědělství, zahrádkářství nebo lesnictví (většinou jako zdroje energie nebo jako hnojivo).

Při psaní mé bakalářské práce mě velice zaujaly biologické způsoby odstraňování odpadů, proto bych toto téma chtěla dále zpracovat v navazující diplomové práci.

## Seznam použité literatury

1. MORSCHECK, G., et al. *Biologické zpracování odpadů*. 1. Brno : MZLU, 2008. 130 s.
2. KADLÍKOVÁ, Lenka. *Příroda.cz* [online]. 16.5.2005 [cit. 2010-03-04]. Jak správně třídit odpad - bioodpad. Dostupné z WWW: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=361>>.
3. *Bezpečnost potravin* [online]. 2009 [cit. 2010-03-04]. A-Z slovník pro spotřebitele. Dostupné z WWW: <<http://www.agronavigator.cz/az/vis.aspx?id=92242>>.
4. *Ministerstvo životního prostředí České republiky* [online]. 2008 [cit. 2010-03-04]. Biologicky rozložitelné odpady. Dostupné z WWW: <[http://iris.env.cz/AIS/webpub2.nsf//cz/biologicky\\_rozlozitelne\\_odpady](http://iris.env.cz/AIS/webpub2.nsf//cz/biologicky_rozlozitelne_odpady)>.
5. KOTOULOVÁ, Zdenka; VÁŇA, Jaroslav. *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*. 1. Praha : Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem, 2001. 70 s. ISBN 80-7212-201-0.
6. *Biom.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-03-04]. Biologické sušení, 11. Dostupné z WWW: <[http://biom.cz/cz/vyhledavani?cx=005186089540776850161%3An\\_jfjqnhe3u&cof=FORID%3A9&ie=windows-1250&q=biologick%ED+su%9Aen%ED&x=0&y=0&cx=005186089540776850161%3An\\_jfjqnhe3u](http://biom.cz/cz/vyhledavani?cx=005186089540776850161%3An_jfjqnhe3u&cof=FORID%3A9&ie=windows-1250&q=biologick%ED+su%9Aen%ED&x=0&y=0&cx=005186089540776850161%3An_jfjqnhe3u)>.
7. *Fortex bioplyn* [online]. 2008 [cit. 2010-03-11]. Bioplynové stanice\"suchá\" anaerobní fermentace. Dostupné z WWW: <<http://www.fortexbioplyn.cz/cz/bioplyno-ve-stanice-sucha-fermentace/>>.
8. *Bioplyn CS* [online]. 2008 [cit. 2010-03-12]. Technologie mokré anaerobní fermentace. Dostupné z WWW: <<http://bioplyncs.cz/node/7>>.
9. *Bioprofit* [online]. 2007 [cit. 2010-03-12]. Anaerobní technologie. Dostupné z WWW: <[http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)>.
10. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 2008 [cit. 2010-03-12]. Obecné technologické schéma, suroviny a média pro fermentační výroby. Dostupné z WWW: <[www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylaby/tradtech.pdf](http://www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylaby/tradtech.pdf)>.
11. ZÁKLASNÍK, Vladan. *Mechanicko biologická úprava odpadů*. Brno : Hnutí Duha, 2004. 8 s.
12. KURAŠ, Mečislav, et al. *Technologie zpracování odpadů*. 2. Praha : VŠCHT Praha, 1993. 279 s. ISBN 80-7080-195-6.
13. VÁŇA, Jaroslav. *Využití kompostů v zemědělství*. Nové město nad Cidlinou : Agrodat, 1994. 40 s. ISBN 80-7105-075-x.

14. HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství*. Ostrava : VŠB - TUO, 2004. 174 s. ISBN 80-248-0737-8.
15. KALINA, Miroslav. *Kompostování a péče o půdu*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2004. 116 s. ISBN 80-247-0907-4.
16. VÁŇA, Jaroslav. *Ekodomov* [online]. 2009 [cit. 2010-03-21]. Kompostování odpadu je technologií trvale udržitelného života. Dostupné z WWW: <[http://www.ekodomov.cz/fileadmin/user\\_upload/zdroje\\_pro\\_zpravy/Ruzne/Bio\\_Vana3\\_orig.gif](http://www.ekodomov.cz/fileadmin/user_upload/zdroje_pro_zpravy/Ruzne/Bio_Vana3_orig.gif)>.
17. *Biosanace* [online]. 2009 [cit. 2010-03-21]. Aktivita projektu. Dostupné z WWW: <[http://www.biosance.cz/fileadmin/obrazky\\_ruzne/aktivita\\_projektu\\_obr2\\_misskomp\\_ost.jpg](http://www.biosance.cz/fileadmin/obrazky_ruzne/aktivita_projektu_obr2_misskomp_ost.jpg)>.
18. *Nazeleno* [online]. 2008 [cit. 2010-03-21]. Bydlení - odpady. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/Files/FckGallery/zakon-odpady.zip/02.jpg>>.
19. TRUKSOVÁ, Dana. *Kuchyně.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-03-22]. Odpadky v kuchyni: Využijte je!. Dostupné z WWW: <[http://www.kuchyne.cz/userdata/images/20054azk\\_uchyne-jaknaodpadfoto-2.jpg](http://www.kuchyne.cz/userdata/images/20054azk_uchyne-jaknaodpadfoto-2.jpg)>.
20. *Svět bydlení* [online]. 2008 [cit. 2010-03-22]. Jak nakládat s kuchyňským odpadem. Dostupné z WWW: <<http://www.svet-bydleni.cz/Files/Backup/trideniodpadu%20Blanco.jpg>>.
21. LYČKOVÁ, Barbora; FEČKO, Peter; KUČEROVÁ, Radmila. *Zpracování kalů*. Ostrava : VŠB - TUO, 2009. 87 s. ISBN 978-80-248-1921-1.
22. *ZERA* [online]. 2010 [cit. 2010-03-23]. Databáze kompostáren. Dostupné z WWW: <<http://www.zeraagency.eu/kompostarny/public/>>.
23. *Seko, Rite way* [online]. 2009 [cit. 2010-03-23]. Seko Unifeed Self Propelled Diet Feeder. Dostupné z WWW: <<http://ritewayplantandmachinery.com/Seko.html>>.
24. *Agrostrom* [online]. 2010 [cit. 2010-03-23]. Stroje pro kompostování SEKO Ecoline. Dostupné z WWW: <[http://agrostrom.cz/prodej\\_seko\\_eco.htm](http://agrostrom.cz/prodej_seko_eco.htm)>.
25. DOHÁNYOS, Michal. *CZBA* [online]. 2009 [cit. 2010-03-23]. Teoretické základy anaerobní fermentace. Dostupné z WWW: <<http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.
26. *Biodegradace Ostrava s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-03-26]. Biodegradace. Dostupné z WWW: <<http://www.biodegradace.cz/pages/degradace.htm>>.
27. *Openpdf* [online]. 2009 [cit. 2010-03-26]. Biodegradace. Dostupné z WWW: <<http://openpdf.com/ebook/biodegradace-pdf.html>>.
28. NOVOTNÝ, Čeněk. *Biodegradace a biotechnologie*. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, 2005. 96 s. ISBN 80-7368-096-3.

29. *PROTE* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Biodegradace. Dostupné z WWW: <<http://www.prote.cz/cs/sanace-biodegradace-odpady/biodegradace/>>.
30. *Biogeoeko* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Biologická degradace nebezpečných látek v zeminách a odpadech. Dostupné z WWW: <[www.biogeoeko.cz/userfiles/biodegradace-1.pdf](http://www.biogeoeko.cz/userfiles/biodegradace-1.pdf)>.
31. *Dekonta* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Sanace zemin. Dostupné z WWW: <<http://www.dekonta.cz/sanace-kontaminovanych-lokalit/sanace-zemin.html>>.
32. *Environmental Health Perspectives* [online]. 2005 [cit. 2010-03-31]. Coupling Aggressive Mass Removal with Microbial Reductive Dechlorination for Remediation of DNAPL Source Zones: A Review and Assessment. Dostupné z WWW: <<http://ehp.niehs.nih.gov/members/2004/6932/fig2.jpg>>.
33. *ČVUT v Praze - fakulta stavební - katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Rizikové látky v půdě. Dostupné z WWW: <[http://geohydraulika.fsv.cvut.cz/on\\_line/rlvp/RLVP10.pdf](http://geohydraulika.fsv.cvut.cz/on_line/rlvp/RLVP10.pdf)>.
34. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Biodegradace a biodeteriorace. Dostupné z WWW: <[www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylyby/biodegbiodet.pdf](http://www.vscht.cz/kch/kestazeni/sylyby/biodegbiodet.pdf)>.
35. *Remedios* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Biopiling. Dostupné z WWW: <<http://www.remedios.uk.com/page-20051031-114538.html>>.
36. *SITA CZ* [online]. 2009 [cit. 2010-03-31]. Sanace starých ekologických zátěží. Dostupné z WWW: <<http://www.sita.cz/page/1832.projekty-sita-cz-rekultivace-starych-ekologickych-zatezi/>>.
37. *Motorgas* [online]. 2009 [cit. 2010-04-07]. Kogenerace. Dostupné z WWW: <[http://www.motorgas.cz/upl/kogenerace/104o\\_Schema\\_bioplyn\\_stanice\\_CZ\\_300dpi.jpg](http://www.motorgas.cz/upl/kogenerace/104o_Schema_bioplyn_stanice_CZ_300dpi.jpg)>.
38. *Sysnet* [online]. 2002 [cit. 2010-04-14]. Implementační plán směrnice Rady 99/31/EC o skládkách odpadů. Dostupné z WWW: <<http://www-1.sysnet.cz/projects/env.web/zamest.nsf/defc72941c223d62c12564b30064fdcc/c4ce1dbefffff470c12569650041640c?OpenDocument>>.

## Seznam obrázků a grafů

Obrázek č. 1 – Příliš suchý kompost	14
Obrázek č. 2 – Ideální kompost	14
Obrázek č. 3 – Příliš mokrý kompost	15
Obrázek č. 4 – Kompostování na zakládce	21
Obrázek č. 5 – Kompostování na zakládkách	21
Obrázek č. 6 – Kompostování v boxech	22
Obrázek č. 7 – Kompostování v boxech	22
Obrázek č. 8 – Schéma kompostéru	22
Obrázek č. 9 – Kompostér	22
Obrázek č. 10 – Sortér	23
Obrázek č. 11 – Jiný typ sortéru	23
Obrázek č. 12 – Kompostárny v Moravskoslezském kraji	26
Obrázek č. 13 – Rozmístění kompostáren v ČR	27
Obrázek č. 14 – Seko – samopojízdný	28
Obrázek č. 15 – Seko – závěsný	28
Obrázek č. 16 – Překopávač	29
Obrázek č. 17 – Čelní překopávač	29
Obrázek č. 18 – Bioplynová stanice – suchá fermentace	34
Obrázek č. 19 – Bioplynová stanice – mokrá fermentace	34
Obrázek č. 20 – Bioventing	39
Obrázek č. 21 – Schéma biopilingu	40
Obrázek č. 22 – Biopiling	40
Obrázek č. 23 – Aerace při biopilingu	41
Graf č. 1 - Průběh teploty a fáze tlení	18

## **Seznam tabulek**

Tabulka č. 1 – Přehled kompostovatelných odpadů dle zařazení v katalogu odpadů	4
Tabulka č. 2 – Přehled biotechnologií zpracování bioodpadů	7
Tabulka č. 3 – Obsah vody v bioodpadech (v % hmotnosti)	14
Tabulka č. 4 – Poměr C : N bioodpadů ke kompostování	17
Tabulka č. 5 – Počet kompostáren v jednotlivých krajích	26