

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2016**

**LUCIE SVOBODOVÁ**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav aplikované a krajinné ekologie**

---



**Biologicky rozložitelné materiály a jejich vliv na odpadové  
hospodářství**

Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*

Mgr. Ing. M. D. Vaverková, Ph.D.

*Vypracovala:*

Lucie Svobodová

---

Brno 2016

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Biologicky rozložitelné materiály a jejich vliv na odpadové hospodářství vypracovala 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/a, 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:**

Chtěla bych tímto poděkovat paní Mgr. Ing. M. D. Vaverkové, Ph.D. za odborné vedení, pomoc, cenné rady a materiály, které mi pomohly při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Horákovi za technickou a manipulační pomoc při provádění pokusu na kompostárně v Boskovicích. Za formální úpravu patří díky paní Pokorné. A především děkuji mé rodině za podporu, trpělivost a lásku.

## **ABSTRAKT**

Tato závěrečná práce se zabývá biologicky rozložitelnými materiály. Popisuje intenzitu rozložitelnosti materiálů, charakterizuje a popisuje způsoby využití materiálů v různých odvětvích. V závěru teoretické části jsou popsány způsoby zpracování, využití a odstranění biologicky rozložitelného materiálu.

V praktické části byla ověřována informace z obalu houbových utěrek, která uváděla stoprocentní biologický rozklad. Výzkum biologického rozkladu byl proveden na komunitní kompostárně v Boskovicích. Bylo vybráno celkem osm vzorků od čtyř různých výrobců, které byly dle metodiky po dvanáct týdnů uloženy v kompostovací základce. Výsledkem byl stoprocentní rozklad u všech zkoumaných vzorků, kde jen jeden vzorek vykazoval stopy žlutého barviva, před ponorem do vody za účelem očištění od zbytků kompostu.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Biologicky rozložitelný, kompostování, testování biologické rozložitelnosti, aplikace biologicky rozložitelných materiálů.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with biodegradable materials. It describes intensity of material degradability, characterizes and describes use of materials in various sectors. Methods of processing, using and disposing of biodegradable waste are described at the end of the theoretical part.

The practical part deals with experiment, that was made on community composting in Boskovice. The aim of this experiment was to check information, guaranteeing one hundred percent biodegradability, which was printed on the label of fungus wipes. Eight samples were chosen from four producers. These samples were deposited in the compost heap for twelve weeks. The result was one hundred percent degradation for all examined samples, where just one sample showed traces of yellow dye before immersion into water with the purpose of cleaning from the compost residue.

**KEYWORDS:** Biodegradable, composting, biodegradability testing, application of biodegradable materials.

## **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>CÍL</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>OBECNÁ CHARAKTERISTIKA BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ</b>	<b>10</b>
3.1	Vývoj biologicky rozložitelného materiálu .....	10
3.2	Degradabilní polymery .....	10
3.3	Biologicky rozložitelné polymery .....	10
3.4	Kompostovatelné polymery .....	12
<b>4</b>	<b>MOŽNOST VYUŽITÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ</b>	<b>13</b>
4.1	Aplikace v lékařství .....	13
4.2	Aplikace v potravinářství .....	14
4.3	Aplikace v zemědělství .....	14
<b>5</b>	<b>DĚLENÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ</b>	<b>15</b>
5.1	Biologicky rozložitelné polymery z obnovitelných zdrojů .....	15
5.1.1	Polylaktid (PLA) .....	15
5.1.2	Polyhydroxyalkanoáty .....	16
5.1.3	Termoplastický škrob .....	16
5.1.4	Celulóza .....	17
5.1.5	Chitosan .....	17
5.1.6	Proteiny .....	17
5.2	Biologicky rozložitelné polymery z petrochemických zdrojů .....	18
5.2.1	Alifatické polyestery a kopolyestery .....	18
5.2.2	Aromatické polyestery a kopolyestery .....	18
5.2.3	Polyamidy a polyesteramidy .....	19
5.2.4	Polyvinylalkohol .....	19
5.3	Biologicky rozložitelné polymery ze smíšených zdrojů .....	19
<b>6</b>	<b>NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝM ODPADEM</b>	<b>20</b>

6.1	Způsoby zpracování biologicky rozložitelného odpadu .....	20
6.1.1	Kompostování .....	21
6.1.2	Bioplynové stanice .....	25
6.2	Zařízení pro energetické využití a odstranění odpadu .....	27
6.2.1	Spalovna odpadu .....	27
6.2.2	Skládka odpadů .....	27
<b>7</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA</b>	<b>28</b>
7.1	Komunitní kompostárna Boskovice – lokalita pokusu .....	28
7.1.1	Technicko-technologické řešení kompostárny .....	29
7.2	Zkoumaný materiál .....	30
7.3	Příprava vzorků .....	30
7.4	Průběh pokusu .....	32
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>38</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	<b>43</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM CHEMICKÝCH SLOUČENIN</b>	<b>44</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>45</b>
<b>15</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>46</b>
<b>16</b>	<b>PŘÍLOHY</b>	<b>48</b>

# 1 ÚVOD

Dnes máme dobu, kdy si můžeme zakoupit polymerní materiál téměř jakéhokoliv množství a druhu. Poměrně nízká cena, široká dostupnost na trhu a technologický pokrok v oblasti vývoje a výroby polymerních materiálů zapříčinil nárůst plastového odpadu. Takový odpad nevhledně působí na naše okolí a zatěžuje životní prostředí (ŽP). V České republice (ČR) je zaveden poměrně funkční systém odpadového hospodářství, který má spolu s legislativou za hlavní úkol primárně předejít vzniku plastového odpadu. Mezi další způsoby, jak předejít plastovému odpadu je jeho recyklace či energetické využití. Perspektivní směr, který může snížit produkci plastového odpadu, je vývoj a použití biologicky rozložitelného materiálu (BRM). Je to materiál, který můžeme vyrábět synteticky z petrochemických surovin nejčastěji polykondenzační metodou. Lze jej získat i z přírodních surovin, jakými jsou dřevo a bavlna, ze kterých vyrábíme celulózu, nebo z kukuřice, pšenice a řepky, ze kterých vyrábíme plasty na bázi proteinu. Existují i takové BRM, které jsou mikrobiálního původu, jako jsou polyhydroxyalkonáty, které jsou vyráběny bakteriemi, jako zásobní forma energie. Všechny tyto BRM se za vhodných podmínek a působením mikrobiální aktivity rozloží na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a biomasu. Při porovnání konvenčního plastu (např. PET) s bioplastem (např. PLA), tak časový rozdíl, než nastane stoprocentní rozklad, je i větší než desítky let. Problémem je aplikace BRM, která je omezena jejich specifickými vlastnostmi. Nelze mít universální aplikaci BRM, která by vyřešila problém s plastovým odpadem. Mezi další aktuální problémy patří nedostatečná informovanost konečného uživatele o BRM a obchodní trh, kde jsou nabízené produkty, které nejsou BRM, ale jsou tak prezentovány a označovány. Tato bakalářská práce popisuje rozdíly ve stupni rozložitelnosti materiálů a jejich označením. Dále jsou přiblíženy BRM s jejich současnou aplikací a možnostmi využití či odstranění odpadu z BRM. Na trhu existují plastové nákupní tašky, nádoby, obaly a další produkty pro každodenní činnost, které jsou označeny jako ekologicky šetrné a stoprocentně biologicky rozložitelné. Otázkou zůstává, zdali jsou tyto informace uváděné na obalech pravdivé.



## 2 CÍL

Cílem této bakalářské práce je charakterizovat biologicky rozložitelné materiály, popsat jejich možnosti využití a způsob jejich odstranění se zaměřením na kompostování. Cílem praktické části byla analýza rozkladu daného materiálu v reálných podmínkách boskovické kompostárny a následné vyhodnocení výsledků z dvanáctitýdenního šetření.

### **3 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ**

#### **3.1 Vývoj biologicky rozložitelného materiálu**

Název biodegradabilní polymery neboli kompostovatelné polymery byly prvně obchodně použity v roce 1980. Tato první generace polymerů byla vyrobena z běžného polymeru nejčastěji polyolefinu (např. polyethylenu) smíchaného se škrobem nebo jiným organickým materiálem. V dnešní době existují normy, které podrobně definují záměr „biologicky rozložitelný a kompostovatelný“ (např. Mezinárodní organizace pro Normalizaci (ISO) a Americká společnost pro testování a materiály (ASTM)) [1].

*„Spotřeba biologicky rozložitelných plastů (BRP) stoupá každým rokem o 50 %. Nejznámějšími a nejvíce používanými BRP jsou v dnešní době biologicky rozložitelné obaly (tašky, igelitky, sáčky). I přes environmentální výhody, které tyto plasty nabízejí, se stále nemohou vyrovnat konkurenci nabízených syntetických plastů, a to především kvůli vysoké pořizovací ceně“ [2].*

#### **3.2 Degradabilní polymery**

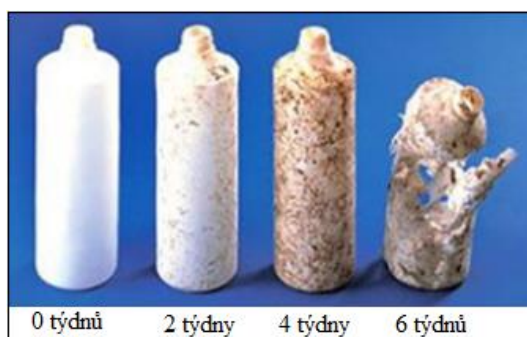
Degradabilní polymery rozlišujeme na biologicky rozložitelné, kompostovatelné a pouze rozložitelné [2]. Rozložitelné plasty se vlivem fyzikálních a chemických dějů pouze rozloží na malé fragmenty nebo dokonce okem neviditelný prášek. Předpokládá se, že i tyto produkty degradace se biologicky rozloží, ale ne v přiměřeně krátkém období. Což může mít i následky takové, že tyto kousky mohou v čase migrovat do vody a jiných částí ekosystému [3].

#### **3.3 Biologicky rozložitelné polymery**

Termín „biologicky rozložitelný“, ačkoli je velmi využíván a zneužíván, není přesný, protože nespecifikuje žádné prostředí, kde se koná biologický rozklad, jakou rychlostí bude tento rozklad probíhat, a zdali bude rozklad úplný na CO<sub>2</sub> nebo jen částečný. Tato definice pro biologicky rozložitelný polymer (BRP) byla posuzována v uplynulém desetiletí [1]. Základem různých mezinárodních norem pro měření biologické degradace je fakt, že mikroorganismy pomocí uhlíkových substrátů získávají chemickou energii, která řídí jejich životní procesy. Proto je hodnota poměru

a množství CO<sub>2</sub> uvolňovaného při procesu biodegradace přímým měřítkem množství a rychlosti mikrobiálního rozkladu z C-polymeru [3].

Příkladem hodnocení biologické rozložitelnosti můžeme uvést porovnání ASTM, ISO a CEN (Evropský výbor pro normalizaci), kde podle ASTM je rozložitelný polymer takový, u kterého výsledek degradace je z procesu přirozeně vyskytujících se mikroorganismů, jako jsou bakterie houby a řasy. Podle ISO a CEN je rozložitelný polymer takový, ve kterém jsou degradační výsledky s nižší molekulární hmotnosti fragmentu, produkovaného působením přirozeně se vyskytujících mikroorganismů, jako jsou houby řasy a bakterie. Většina definic je založená na stejném principu, a to působení organismů na daném materiálu a jeho přeměna na oxid uhličitý a vodu [1]. Hlavní rozdíl mezi mezinárodními normami je v uváděném procentu biologické rozložitelnosti (Tabulka 1), které je potřebné pro požadovaný souhlas, že je daný materiál biologicky rozložitelný. Požadavky na povolení pro klíčové normy jsou shrnuté v Tabulce 1. Na Obrázku 1 je znázorněn biologický rozklad nádoby v průběhu šesti týdnů a příklady certifikačních log, pro biologicky rozložitelné plasty v Evropě, jsou uvedeny v Příloze 1.



Obrázek 1 Biologický rozklad nádoby [4]

Tabulka 1 Požadavky na povolení pro různé normy [4], upraveno Svobodová 2016

Normy pro požadovaný souhlas		
Norma	Požadavky biologické rozložitelnosti	
DIN	60 %	6 měsíců
ASTM	60 %	6 měsíců
CEN	90 %	Neuvedeno
OECD (pro chemikálie)	60 %	28 dní

### **3.4 Kompostovatelné polymery**

Kompostovatelný polymer podléhá degradaci biologickými procesy během procesu kompostování za vzniku  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , anorganických sloučenin a biomasy. Výrobek, který považujeme za kompostovatelný, je zároveň i biologicky rozložitelný, ale opačné tvrzení není pravdivé [4].

Kromě biologického rozkladu na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a anorganické sloučeniny musí kompostovatelné polymery splňovat další kritéria, kterými jsou například kompatibilita s kompostováním, zdali nemá negativní vliv na kvalitu kompostu a rychlost rozkladu, v porovnání s jinými kompostovatelnými materiály [1].

## **4 MOŽNOST VYUŽITÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ**

Využití těchto materiálů je omezeno jen na určité aplikace a to díky specifickým vlastnostem různých typů těchto biologicky rozložitelných materiálů. A proto nelze mít univerzální řešení pro problematiku plastového odpadu [5]. Zkrácená doba životnosti a zdravotní nezávadnost jsou určující vlastnosti BRP, díky kterým můžeme v dnešní době vyrábět řadu výrobků pro různé aplikace [6]. V dnešní době máme tři hlavní odvětví, kde můžeme využít BRP a to v lékařství, zemědělství a v potravinářství [7].

Přesto existují i jiné odvětví, kde se běžně využívá aplikace těchto materiálů. Například v automobilovém průmyslu využívají BRP za účelem snížení hmotnosti aut. Polymery na bázi škrobu můžeme využít jako přísadu na výrobu pneumatik. Společnosti Pioneer a Sanyo uvedli na trh kompaktní disky na základě poly-laktidu (PLA). Vlákna z PLA se používají na polstrování i na výrobu sportovního oblečení, protože jeho hořlavost je nižší než u syntetických vláken a tím nabízí větší bezpečnost, dále je antibakteriální a má antimykotické vlastnosti. Na bázi škrobu jsou vyráběny rybářské háčky a biologicky rozložitelné golfové odpaliště. V biotechnologii se využívá chitin jako absorbent těžkých kovů [8].

Další rozvoj BRP závisí na dalších rozhodujících faktorech, kterými jsou cena, výrobní technologie, legislativa, kapacity a poptávka zákazníků [7].

### **4.1 Aplikace v lékařství**

Rozvoj BRP se uplatňuje v posledních dvaceti letech. Vznikly nové biomedicínské technologie, jako jsou např. tkáňové inženýrství, genová terapie, regenerativní medicína, bionanotechnologie a řízené uvolňování léčiv. BRP jsou aplikovány jako kostní šrouby (např. alifatické polyestery), antikoncepční implantáty (např. PCL), kostní pláty (PCL, PHB, PLA) nano a mikro částice pro řízené uvolňování léčiv (např. PCL a alifatické kopolyestery), výroba ochranných membrán při regeneraci tkáně, mono a polyfilních švů nebo porézních struktur pro tkáňové inženýrství (např. PCL a alifatické kopolyestery) [7].

## **4.2 Aplikace v potravinářství**

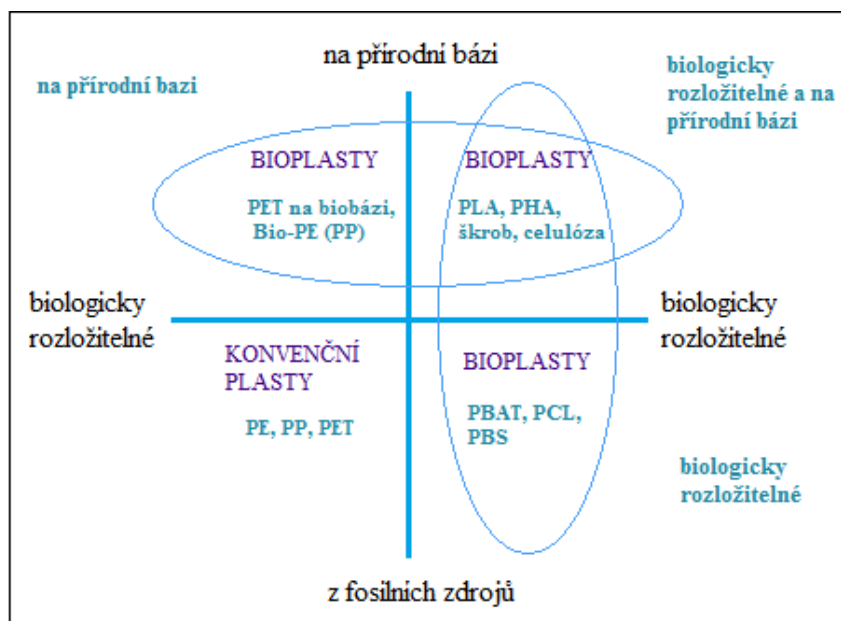
V potravinářství se aplikují BRP hlavně jako jednorázové výrobky a dlouhodobé výrobky s využitím polyhydroxybutyrátu (PHB), termoplastického škrobu, aromaticko-alifatické kopolyesterů a poly- $\epsilon$ -kaprolaktonu (PCL) [7].

## **4.3 Aplikace v zemědělství**

V zemědělství se používají BRP na mulčovací folie, kořenáče, fóliovníky a kompostovací pytle. Mezi speciální aplikaci se dají biodegradabilní polymery využít na povlékání semen a řízené uvolňování živin a pesticidů [7].

## 5 DĚLENÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ

Podle definice Evropské asociace výrobců bioplastových produktů (European Bioplastics) jsou BRP z přírodních zdrojů rozděleny na biologicky rozložitelné, kompostovatelné nebo oboje (Obrázek 2).



Obrázek 2 Rozdělení BRP [4], upravila Svobodová 2016

BRP můžeme dále rozdělit podle zdrojů a to na BRP z přírodních zdrojů a BRP z obnovitelných zdrojů [4].

### 5.1 Biologicky rozložitelné polymery z obnovitelných zdrojů

Polymery pocházející z obnovitelných zdrojů jsou ty, k jejichž výrobě jsou používány obnovitelné zdroje, což jsou takové, ze kterých lze dlouhodobě čerpat, neboť mají tu vlastnost, že se obnovují. V tomto případě jde o produkty mikroorganismů, přírodních kyselin, zásobních látek a jiných, které jsou člověkem upraveny tak, aby mohly být využity pro produkci obalových materiálů [1].

#### 5.1.1 Polylaktid (PLA)

*„PLA je alifatický polyester vyrobený z obnovitelných zdrojů. Kyselina mléčná může být vyrobena anaerobní fermentací, buď čistá (např. z glukózy, laktózy) nebo znečištěná*

(např. ze škrobu, sirupu z melasy) za pomoci mikroorganismů, jako jsou bakterie či houby“ [9].

Polymerní biomateriály odvozené od kyseliny mléčné mají široké využití v medicíně, obzvláště použití na bioodbouratelné stehy. Jsou hojně používány pro stavbu srdeční tkáně, pro odbouratelné fixační zařízení při léčbě malých zlomenin aj. Tyto ortopedické implantáty se přirozeně přizpůsobí tělu a jsou jím postupně metabolizovány. Hmota polymeru je po částech transportována do zlomené kosti, kde pomáhá hojícímu procesu [10]. Na Obrázku 3 je nádobí vyrobeno z PLA a na Obrázku 4 jsou bioabsorbční šrouby vyrobeny z Poly L-Lactic Acidu od firmy GoEco.



Obrázek 4 Výrobky z PLA [6]



Obrázek 3 Bioabsorbční šrouby [11]

### 5.1.2 Polyhydroxyalkanoáty

Polyhydroxyalkanonáty (PHA) jsou vyráběny bakteriemi, jako zásobní forma energie. Na výrobu PHA je možné použít odpadní produkty z potravinářských nebo zemědělských výrob. Využití těchto levných odpadů představuje atraktivní způsob, jak snížit cenu takto produkovaných bioplastů, která je asi pět až desetkrát krát dražší než například konkurenční polypropylen nebo polyetylen. Vlastnosti těchto polyesterů jsou velmi podobné syntetickým polymerům, jako je například polypropylen. Rozklad za příznivých podmínek je otázkou několika týdnů, nanejvýš měsíců [12, 13].

Využívají se zejména na výrobu obalových materiálů. V zemědělství se aplikují ve formě mulčovacích fólií i s postupným uvolňováním hnojiv či pesticidů do půdy, dále pak v medicíně a farmacii [13, 14].

### 5.1.3 Termoplastický škrob

Termoplastický škrob (TPS) je zásobní polysacharid rostlin, který je konečným produktem fotosyntézy. Mezi tyto rostliny patří např. obiloviny, luštěniny a hlízy, pro které je charakteristická velikost a tvar škrobových zrn [1]. Výrobky na bázi škrobu jsou citlivé účinkům vody, křehké a se špatnými mechanickými vlastnostmi. Lepší



vlastnosti jsou dány chemickou modifikací – acetylací škrobu směsí pyridinu a kyseliny octové. Termoplastický škrob má velké užití v oblasti lékařství, především jako biokompozitní materiál, jehož hlavní vlastností je plná odbouratelnost v lidském těle [8]. Dále má užití v potravinářském průmyslu (biologicky rozložitelné termoplastové balení pro tržní jablka, vyráběno ze škrobu pocházejícího z kukuřice a obnovitelných surovin.) [15], v papírenském průmyslu (využití kukuřičného škrobu, kukuřičných palic a slupek ve funkci základní suroviny pro výrobu papíru.) [16], v gumárenském průmyslu (aplikace TPS na bázi kukuřice jako jednoho z komponentů na výrobu pneumatiky pro zemědělské stroje, pneumatiky mají být lehčí, trvanlivější a mají dokonce i snižovat spotřebu paliva) [17].

#### **5.1.4 Celulóza**

Celulóza je velmi rozšířený a snadno dostupný přírodní polymer na Zemi. Je vyráběna z bavlny a dřeva. Za suchého stavu obsahuje bavlna 90 % a dřevo 50 % celulózy. Jelikož je celulóza nerozpustná, netavitelná a není termoplastická, je přetvářena na deriváty, které teprve můžeme plasticky zpracovávat. Z diacetátu celulózy se vyrábí fólie (celofán), vlákna a nátěrové hmoty. Etery celulózy jsou rozpustné ve vodě, které využíváme ve farmacii a kosmetice jako ochranné koloidy, vodou rozpustná lepidla apod. [18].

#### **5.1.5 Chitosan**

Chitosan je nejvýznamnější derivát chitinu, připravený N – deacetylací, který má vhodnější a standardnější vlastnosti pro praktické využití. Materiál na bázi chitosanu má dobré bariérové vlastnosti pro kyslík a je méně nákladnou alternativou konvenčních obalů. Z chitosanu jsou vyráběny obvazy, obinadla, umývací houby, syntetickou kůži na popáleniny, kontaktní čočky, chirurgické nitě, aj. [19].

#### **5.1.6 Proteiny**

*„Jsou to velké biologické molekuly, které se sestávají z jednoho nebo z více řetězců aminokyselin. Proteiny neboli bílkoviny jsou podstatou všech živých organismů a například u člověka jsou základní stavební jednotkou svalové hmoty“* [20]. Plasty na bázi proteinu pochází hlavně z kukuřice, pšenice, řepky a sóji. BRP na bázi proteinů mají nevýhodu ve vysoké absorpci vody ze vzduchu, zejména sójový protein. Avšak chemickou modifikací můžeme zvýšit voděodolnost [20].

Polymery na bázi proteinu jsou užívány ve formě jedlých filmů a povlaků na ochranu léčiv a zlepšení trvanlivosti potravin. Protein získaný ze sóji můžeme využít jako izolační pěnu, překližkové lepidla a jiné pojiva dřev. Protein získaný z pšenice používáme na výrobu přírodních lepidel a na ochranné obaly na potraviny, které slouží jako bariéra pro přenos kyslíku, vodních par, vlhkosti a pachů. Protein získaný z řepky je využíván na výrobu bioplastů [1].

## **5.2 Biologicky rozložitelné polymery z petrochemických zdrojů**

Tyto polymery mají původ v petrochemickém průmyslu. Je to skupina biologicky rozložitelných synteticky vyráběných polymerů, které získáváme polykondenzační metodou z petrochemických surovin [20].

### **5.2.1 Alifatické polyestery a kopolyestery**

Mezi alifatické polyestery patří například poly- $\epsilon$ -kaprolakton (PCL), polyvinylalkohol (PVA), polyester amidy (PEA) a polyoxyethylen (POE) [20].

PCL má využití jako syntetická kůže, tkaniny, lepidla, pryskyřice pro povrchové nátěry, výztuhy do bot, ortopedické dlahy, tašky aplikace na řízené uvolňování léčiv, pesticidů a hnojiva a syntetický obvazy na rány [9].

Biologicky rozložitelné alifatické kopolyestery jsou získávány kombinací diolů (1,2-etandiol, 1,2-propandiol, 1,4-butandiol) a dikarboxylových kyselin (kyselina adipová, sebaková, sukcinová). Společnost Showa Highpolymer (Japonsko) vyvinula kopolyestery nesoucí komerční název Bionelle. Biologickou rozložitelnost ovlivňuje chemická struktura. Přídavek kyseliny adipové snižuje krystalinitu a napomáhá tak kompostovatelnosti materiálu [21].

### **5.2.2 Aromatické polyestery a kopolyestery**

Oproti alifatickým kopolyesterům, aromatické kopolyestery často obsahují kyselinu tereftalovou. Patří sem např. kopolyester pod obchodním názvem Ecoflex a Biomax. Vysoký podíl kyseliny tereftalové v materiálu ovlivňuje některé vlastnosti jako např. teplotu tání (200 °C). Velký obsah kyseliny tereftalové ovšem podle některých studií vede k poklesu rychlosti degradace [21]. Aplikace Ecoflexu: kompostovací pytle pro organický odpad, filmy pro zemědělství, domácí filmy, laminátový povlak a na nádobí ze stravovacího občerstvení [22].

### 5.2.3 Polyamidy a polyesteramidy

Silné interakce řetězců molekul a vysoká krystalinita polyamidů jsou příčinou slabší biodegradace oproti polypeptidům. Biodegradace může být urychlena zavedením postranních skupin (např. benzylové, hydroxylové, metylové). Mnohem lepší náchylnost k degradaci byla zjištěna u alifatických polyesteramidů, kde rychlost degradace roste s obsahem esteru [21].

### 5.2.4 Polyvinylalkohol

Polyvinylalkoholy (PVA) jsou rozpustné ve vodě, transparentní, lesklé, chemicky odolné a houževnaté, plní úlohu plynové bariéry a jejich povrch lze snadno potisknout. Finální vlastnosti závisí na mateřském polyvinylacetátu, kterými jsou polymerační podmínky a stupeň hydrolyzy. Plastové předměty založené na PVA filmu jsou především získány pomocí lící techniky.

PVA se používá se hlavně ve formě vláken a filmu. Aplikuje se v papírenském průmyslu, k výrobě překližky, jako laminovací lepidlo, klíždlo, ve vodě rozpustné fólie pro postupné uvolňování látek, jako pojiva pro stavební výrobky (např. keramika) a jako pojiva pro pigmentované povlaky papíru, keramických materiálů a netkaných textilií [1].

## 5.3 Biologicky rozložitelné polymery ze smíšených zdrojů

Jsou to polymery vyráběné smícháním dvou či více biologicky rozložitelných materiálů, tak aby bylo dosaženo lepších mechanických, zpracovatelských vlastností a lepší biologickou rozložitelností v porovnání s náklady na výrobu. Příkladem mohou být PCL s příměsí škrobu, kde se zvýší zpracovatelské vlastnosti v porovnání s čistým PCL a smícháním TPS s PHB dosáhneme lepších mechanických vlastností na rozdíl od TPS bez příměsí. Většina směsí je na bázi škrobu, protože je jeden z nejlevnějších a nejdostupnějších kompostovatelných polymerů. Existují i směsi pod komerčním názvem jako je Mater-Bi nebo BIOPLAST [1].

Hlavní aplikace materiálů je na bázi škrobu. Vyrábějí se balicí fólie, nákupní tašky, provazy, brčka, mulčovací fólie, plniva v pneumatikách, rozpustné vatové tyčinky, šálky a přístroje. Ze směsi Mater-Bi lze dle různé technologie (vyfukování, vstřikování a plnění) vyrábět sáčky, sítě, laminační papíry, motouzy, krabice, květináče, golfové odpaliště, nápojové poháry, volná plnidla a balicí pěnu, která nahrazuje polystyren [1].

## 6 NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝM ODPADEM

**Biologicky rozložitelné odpady (BRO)** - jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu [23]. Jsou to odpady, které obsahují organické látky, které využívají ve svůj prospěch mikroorganismy a někteří bezobratlí živočichové, a tím je dokáží přeměňovat (rozkládat, humifikovat, mineralizovat). Biologicky rozložitelné odpady pochází ze zemědělství a lesnictví, zahradnictví, údržby krajiny, ale i z komunálního odpadu (biologicky rozložitelný komunální odpad-BRKO) [24].

**Realizační program** pro BRO ve své SWOT analýze uvádí mezi silné stránky pestré možnosti využití BRO, tradici ve využívání těchto odpadů, dostatek kvalifikovaných lidí a ochotu občanů zapojit se do systému využívání těchto odpadů. Naopak hlavní ohrožení ve využívání BRO jsou v oblasti odbytu výstupy z recyklace BRO. Související zejména s nestabilizovaným trhem zejména u kompostů [25].

Zákon o odpadech č. 185/2001 sb., ve znění pozdějších předpisů, dává přednost využívání odpadů před jejich odstraňováním a upřednostňuje materiálové využití (využití BRO k rekultivaci dolů, lomů a pískoven za splnění legislativních podmínek) před využitím energetickým [23]. Odpad v pojetí Ministerstva životního prostředí (MŽP) se stává energetickou surovinou, kterou je možné efektivně a ekologicky využívat [26]. V Evropě je v provozu více než 300 zařízení na energetické využívání komunálního odpadu. V České republice (ČR) jsou zatím v provozu pouze 3 zařízení [27].

### 6.1 Způsoby zpracování biologicky rozložitelného odpadu

BRO zpracováváme v zařízeních k tomu určených, které se dělí podle používané technologie na kompostárny a další zařízení s aerobním procesem zpracování bioodpadů a na bioplynové stanice a další zařízení s anaerobním procesem zpracování bioodpadů [28]. Na Obrázku 5 jsou uvedené druhy biologicky zpracovatelného odpadu dle katalogu odpadů.

Katalogové číslo	Druh odpadu
02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybařství
02 02	Odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
02 03	Odpady z výroby a 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 04	Odpady z výroby cukru
02 05	Odpady z mlékářského průmyslu
02 06	Odpady z pekáren a výroby cukrovinek
02 07	Odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů (s výjimkou kávy, čaje a kaka)
03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
03 03	Odpad z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
04 01	Odpady z kožedělného a kožešnického průmyslu
04 02	Odpady z textilního průmyslu
15 01	Obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu)
17 02	Dřevo, plasty
19 05	Odpady z aerobního zpracování pevných odpadů
19 06	Odpady z anaerobního zpracování odpadu
19 08	Odpady z čistění odpadních vod
19 09	Odpady z výroby vody pro spotřebu lidí nebo vody pro průmyslové účely
19 12	Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedené (např. třídění, drcení, lisování, peletizace)
20	Odpady komunální a jim podobné odpady ze živnosti, z úřadů včetně odděleně sbíraných složek

Obrázek 5 Druhy biologicky zpracovatelného odpadu [28], upravila Svobodová 2016

### 6.1.1 Kompostování

Kompostování je zrychlená degradace heterogenní organické hmoty smíšenou mikrobiální populací ve vlhkém a teplém, aerobním prostředí za kontrolovaných podmínek. Biodegradace těchto přírodních materiálů produkuje cenný kompost jako hlavní produkt spolu s vodou a CO<sub>2</sub>. Vyprodukované CO<sub>2</sub> nepřispívá ke zvýšení emisí skleníkových plynů, protože je již součástí biologického uhlíkového cyklu [3].

Správně řízený proces kompostování se skládá z výběru vstupních surovin, ve kterém se separují kompostovatelné suroviny od nekompostovatelných. Dalšími kroky jsou příprava vstupních surovin, kompostování, stabilizace, zrání, konečná úprava a skladování. Pro jednotlivé pracovní operace se vybírají příslušné pracovní stroje, které je výhodné používat v sestavě strojních linek [30].

**Proces kompostování můžeme zjednodušeně zapsat rovnicí:**

organické látky + O<sub>2</sub> + mikroorganismy -> kompost +CO<sub>2</sub> +H<sub>2</sub>O + teplo

Mikroorganismy působením enzymatických systémů rozkládají vyšší organické sloučeniny na jednodušší sloučeniny. Rozsah reakce určuje hloubku rozkladu organických surovin (stupeň stabilizace). Pro optimální průběh rozkladných reakcí je nutné zvolit správnou technologii. Mezi další faktory, které nám mohou negativně ovlivnit výslednou kvalitu kompostu, řadíme také fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostovatelných surovin, recepturu zakládky, přípravu surovin před založením kompostu a jejich skladování, dobu kompostování, monitoring, konečnou zralost a stabilitu kompostu. Průběh kompostování je až na malé odchylky podobný u všech technologií. Významně se liší pouze intenzita probíhajících dějů [29]. Doba zrání pro registrovaný kompost, po ukončení homogenizace, je legislativně daná a trvá minimálně 60 dní. Interval mezi první a druhou překopávkou musí být větší než 21 dní a výška kompostových zakládek musí být dle normy od 2 - 4 m. Výsledným produktem je kompost, který je uváděn do oběhu prodejem, podle předpisu č. 156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů (zákon o hnojivech). Zákon uvádí, že výrobci a dodavatelé mohou uvádět do oběhu pouze komposty, které jsou registrované podle tohoto zákona. O registraci rozhoduje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (UKZUZ) na základě žádosti výrobce, který je oprávněn k podnikání. Vyhláška Ministerstva zemědělství (MZ) o stanovení požadavků na hnojiva (předpis č. 474/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů) uvádí rizikové prvky a jejich limitní hodnoty v hnojivech a substrátech, dále pak stanoví typ hnojiva [31].

Z technologického hlediska lze rozdělit způsoby kompostování na:

- kompostování v pásových hromadách,
- kompostování v plošných hromadách,
- kompostování v biofermentorech,
- kompostování v boxech nebo žlabech,
- kompostování ve vacích,
- vermikompostování [30].

Legislativně dělíme kompostárny na *zařízení ke sběru, výkupu nebo využívání biologicky rozložitelných odpadů*, kde je nutný souhlas k provozování zařízení a na *malá zařízení*, která zpracovávají využitelné biologicky rozložitelné odpady pro jednu

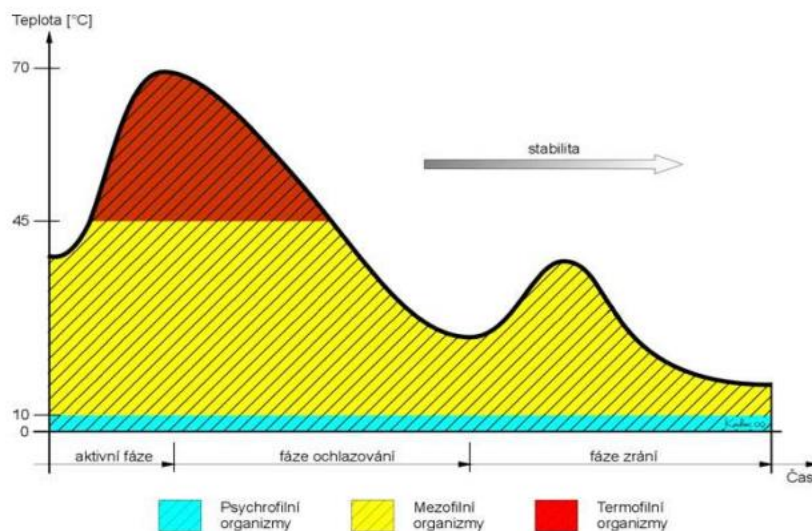
zakládku v množství nepřekračujícím  $10^3$  kg těchto odpadů za rok a kde roční množství BRO zpracované malým zařízením nesmí přesáhnout  $150 \cdot 10^3$  kg [23].

Kompostování odpadů ze zeleně a dalších bioodpadů můžeme z organizačního hlediska provádět na úrovni *domácího kompostování* (v rodinných zahradách), *komunitního kompostování* (na sídlištích, u škol, v zahrádkářských koloniích, systém sběru a shromažďování rostlinných zbytků z údržby zeleně a zahrad na území obce, jejich úprava a následné zpracování na zelený kompost) a na úrovni *centrálního kompostování* (průmyslové kompostování) [31].

Mezi vlastnosti, které významně ovlivňují proces kompostování, patří teplota, vlhkost, pH, obsah kyslíku, poměr C : N, mikroorganismy a pórovitost, zrnitost a velikost částic [30].

### **Teplota**

Průběh teplot lze rozdělit do dvou částí a to mezofilní a termofilní fáze. *Mezofilní fáze* je v rozsahu teplot  $+10$  až  $+40$  °C. V *termofilní fázi* jsou teploty nad  $40$  °C. Po těchto dvou fázích dochází k poklesu teplot, které by se měly u zralého kompostu stabilizovat na úroveň teploty okolního prostředí. Z průběhu teplot můžeme určit dobu, kdy je kompost zralý. Výše teploty je dána aktivitou mikroorganismů. Optimální teplota (Obrázek 6), kdy se rozkládají organické látky je dána především surovinovou skladbou, protože různé organické materiály se rozkládají při různých teplotách. Uvádí se teplotní rozmezí od  $+50$  do  $+60$  °C. Výše teplot pro odstranění patogenních mikroorganismů se liší podle jejich druhu a jsou dány příslušnou státní normou ČSN 465735. Obecně platí, že k odstranění většiny lidských, živočišných a rostlinných patogenů je třeba dosáhnout teploty  $55$  °C a pro odstranění semen plevelů  $63$  °C [30]. Teplota je měřena kontaktním elektronickým teploměrem, s ukazatelem analogovým nebo digitálním. Snímač teploty je zabudován do tyčové zapichovací sondy, která se zapichuje do kompostovací zakládky do hloubky minimálně  $1$  m pod povrch. Tím je zajištěna teplota v celém průřezu hromady [32].



Obrázek 6 Optimální teploty kompostování [32]

### Vlhkost

Voda je důležitá pro transport živin, pohyb organismů a slouží jako medium pro chemické reakce. Optimální vlhkost kompostu se pohybuje v rozmezí 50 až 60 %. Vlhkost se může lišit s danou surovinou zakládkou. V případě poklesu vlhkosti pod 40 % dochází ke zpomalování mikrobiální aktivity a naopak, když je vlhkost kompostu nad 60 %, dochází k ucpávání pórů vodou. Vlhkost kompostu souvisí s množstvím dodávaného vzduchu. Vlhkost měříme kalibrovanými vlhkoměry nebo orientačně stiskem kompostu v ruce, kdy se po otevření dlaně nesmí mezi prsty objevit voda [30].

### Hodnota pH

Optimální pH hodnota je v rozmezí 6,5 až 8 tedy blízké neutrální hodnotě. Při pH 6 dochází k hynutí mikroorganismů, hlavně bakterií, čímž se zpomaluje proces rozkladu organických látek. Při pH nad 8,5 dochází k přeměně dusíkatých sloučenin na amoniak, který uniká z kompostu ve formě plynů, a tím se zvyšují ztráty dusíku [30].

### Obsah kyslíku

Dodávání kyslíku je důležité k vytvoření aerobního prostředí vhodné pro mikrobiální aktivitu, snižování vlhkosti a dodávky vzduchu za účelem regulace teplot v průběhu kompostování. Provzdušňování se liší s technologií kompostování, mezi nejčastější používané metody patří překopávání vhodným překopávačem kompostu.



Obsah kyslíku ve vzdušných pórech kompostu by neměl klesnout pod 6 %. Nedostatek vede k anaerobnímu prostředí, ve kterém vznikají organické kyseliny, metan, sirovodík a další nežádoucí látky [30].

### **Obsah živin a poměr C : N**

Uhlík, dusík, fosfor a draslík jsou základními živinami pro mikroorganismy obsažené v kompostu. C je důležitý jako zdroj organické hmoty pro mikroorganismy. C a N jsou živiny, na kterých závisí kvalita kompostu, zvláště důležitý je jejich poměr. C : N v poměru 10 : 1 se kompostovatelné hmoty rozkládají velmi rychle a jsou mikrobiologicky dobře využitelné. Naopak v poměru 50:1 se rozkládají velmi pomalu. Optimální poměr C : N je (25-30) : 1 [30].

### **Mikrobiální aktivita**

Aby bylo dosaženo vysoké biodegradační aktivity, je třeba optimalizovat tyto podmínky tak, aby vyhovovaly co nejlépe dekompoziční činnosti přítomného mikrobiálního konsorcia. Složení těchto spolupracujících kmenů ke kompostovatelnému materiálu závisí na selekčních tlacích v prostředí a adaptačních schopnostech jednotlivých mikrobiálních kmenů a chemismů prostředí [29]. Obecně roste odolnost organických složek vůči mikrobiálnímu rozkladu v tomto pořadí: sacharidy, škrob, bílkoviny, tuky, hemicelulóza, celulóza, lignin a další vysokomolekulární fenolové složky [24].

### **Pórovitost, zrnitost a velikost částic**

Pórovitost a struktura souvisí s fyzikálními vlastnostmi surovin, jako jsou například velikost částic, tvar a konzistence. Ty ovlivňují proces kompostování tím, že určují množství vzduchu v kompostovací zakládce. Definice pórovitosti je objem dutin ku celkovému objemu kompostovatelné hmoty. Nejlepších výsledků je dosaženo s velikostí částic 0,02-0,05 m [30].

#### **6.1.2 Bioplynové stanice**

Bioplynové stanice (BS) zařízení zpracovávají biologické odpadní materiály za účelem jejich energetického využití formou elektrické a tepelné energie - jedná se tedy o obnovitelný zdroj energie [23].

BS je technologické zařízení, kde za procesu anaerobní fermentace dochází k rozkladu organických látek za pomoci směsných kultur mikroorganismů. Hlavním

produktem BS je bioplyn (směs metanu, oxidu uhličitého a minoritní příměsí dalších plynů, jako jsou  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $N_2O$  a další.). Druhým produktem je stabilizovaná organická hmota označovaná jako digestát. Pokud vyhovuje všem parametrům stanoveným vyhláškou MŽP, lze ho využít jako hnojivo, přídatek do kompostu nebo k úpravě povrchu terénu [34].

Anaerobní technologie můžeme dělit podle způsobu kultivace biomasy na mokrou (koncentrace sušiny do 15 – 20 %) a suchou fermentaci (koncentrace sušiny nad 15 – 20 %). Dále rozlišujeme technologii podle počtu oddělených stupňů v anaerobním procesu na jednostupňové (všechny reakce od hydrolyzy až po methanogenezi probíhají v jednom reaktoru) a vícestupňové (reakce probíhají ve dvou či více reaktorech) [34].

MŽP dělí BS do tří kategorií a to na: *zemědělské*, kde se zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statková hnojiva, nelze zde zpracovávat odpady podle Zákona o odpadech a ani jiné materiály spadající pod nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech. Dále na *čistírenské*, ty zpracovávají pouze kaly z čistírny odpadních vod (ČOV) a slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda [35]. A *ostatní* BS mohou zpracovávat bioodpady uvedené v tab. 3 v příloze 2 metodického pokynu k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu. Případně substráty uvedené v odstavci 4.1., 4.2. a 4.3. k metodickému pokynu MŽP. Pokud BPS zpracovávají vedlejší živočišné produkty, musí plnit podmínky stanovené v nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech (pasterizace, vysokoteplotní hygienizace) [36].

Aerobní digesce je nejčastěji rozdělována do čtyř fází. První fází je *hydrolyza* - zde jsou makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) rozkládány na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, produkovaných hlavně fermentačními bakteriemi. Druhou fází je *acidogeneze* - produkty hydrolyzy jsou štěpeny na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy,  $CO_2$  a  $H_2$  pomocí acidogenních bakterií. Třetí fází je *acetogeneze* - probíhá oxidace těchto látek na  $H_2$ ,  $CO_2$  a kyselinu octovou a poslední čtvrtou fází je *methanogeneze* - v poslední fází dochází ke tvorbě metanu pomocí

metanogenních mikroorganismů jejichž substrátem jsou metanol, kyselina mravenčí, methylaminy, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> a kyselina octová [37]. Stabilitu procesu, ovlivňuje řada faktorů což je např. teplota, pH, nutrienty, toxické látky [38].

## 6.2 Zařízení pro energetické využití a odstranění odpadu

BRO jsou v komunálním odpadu významnou skupinou. Z výsledku šetření Skladby směšného domovního odpadu společnosti EKO-KOM vyplývá, že průměrné procentuální zastoupení BRKO v roce 2005 až 2009 bylo 23,4 % hmotnostních. Toto zastoupení je ovlivněno mnoha faktory, mezi které například patří velikost sídla, skladba obyvatel a způsob vytápění [39].

Způsob nakládání s BRKO může pozitivně nebo negativně ovlivnit složky ŽP. Tento odpad je třeba separovaně sbírat, látkově nebo energeticky využívat a omezovat jeho ukládání na skládku, které zapříčiní vznik skleníkového plynu metanu a výluhů v průsakových vodách [40].

### 6.2.1 Spalovna odpadu

*„Spalovna odpadu je legislativní označení pro stacionární zdroj určený k tepelnému zpracování odpadu, jehož hlavním účelem není výroba energie ani jiných produktů, a jakýkoliv stacionární zdroj, ve kterém více než 40 % tepla vzniká tepelným zpracováním nebezpečného odpadu nebo ve kterém se tepelně zpracovává neupravený směšný komunální odpad“ [41].*

### 6.2.2 Skládka odpadů

*„Biologicky rozložitelné odpady můžeme ukládat na skládku odpadů pouze, jedná-li se o biologicky rozložitelné složky obsažené v komunálním odpadu (skupiny 20 Katalogu odpadů), pro něž platí, že biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu ukládaný na skládky musí být postupně omezován v souladu s harmonogramem stanoveným v Plánu odpadového hospodářství ČR a krajů (tj. snížit tento podíl do roku 2010 na 75 %, do roku 2013 na 50 % a do roku 2020 na 35 % celkového množství (hmotnosti) biologicky rozložitelného komunálního odpadu vzniklého v roce 1995)“ [29].*

## 7 MATERIÁL A METODIKA

Při provádění experimentu byla použita certifikovaná metodika [42] pro hodnocení rozkladu rozložitelných polymerních materiálů v reálných podmínkách kompostování. Výzkum je podložen průběžnou fotodokumentací (Obrázek 8- 10 a 12- 14).

### 7.1 Komunitní kompostárna Boskovice – lokalita pokusu

Výzkum byl realizován na komunitní kompostárně v Boskovicích (Obrázek 7). V kompostovací základce bylo po dvanáct týdnů uloženo 9 vzorků. Kompostárna se nachází na ulici K Lipníkům 31 v obci Boskovice a je provozována firmou SITA CZ a.s. od roku 2005. V roce 2014 došlo k realizaci navýšení kapacity kompostárny z původních 1800 t/rok na výsledný stav 2600 t/rok. Objektem této rekonstrukce byl skladovací box, vodní hospodářství a provozní plocha. Kompostárna je nyní součástí provozu Odpadového hospodářství města Boskovice, které dále zahrnuje sběrný dvůr a překladiště komunálního odpadu [43].



Obrázek 7 Kompostárna v Boskovicích s GPS souřadnicemi:  
49°29'43.0"N 16°40'43.7"E [44], upravila Svobodová 2016

### 7.1.1 Technicko-technologické řešení kompostárny

Kompostování je technicky řešeno volně na vodohospodářsky zabezpečené ploše formou volné hromady. Areál, kde se nachází i kompostárna, administrativní a provozní zázemí, je napojen na vodovod a rozvod vody. Provozní plocha kompostárny je zpevněná, vodohospodářsky zabezpečená izolační folií vysoké hustoty (PEHD) s asfaltobetonovým povrchem o rozloze zhruba 1400 m<sup>2</sup>. Tato plocha je ohraničená zemní krajnicí šířky 0,5 m a je vyspádována do systému kanalizačních vpustí, které jsou zaústěny do bezodtoké akumulární jímky. Provozní plocha je určena k deponování odpadů, surovin a výrobků, k jejich manipulaci a úpravě, k výrobě kompostů a substrátů, k výrobě výrobků ze dřeva, případně ke skladování surovin. Skladovací box je řešen jako vodohospodářsky zabezpečená plocha o půdorysných rozměrech 6 × 10 m a o rozloze 60 m<sup>2</sup>, která je vyspádována a odvodněna pomocí vpusti do samostatné bezodtoké sběrné jímky. Stěny skladovacího boxu jsou z monolitického betonu a izolace je tvořena PEHD folií. Sběrná jímka je určena k akumulaci vod z provozní plochy a je provedena jako zemní otevřená bezodtoká o objemu 57 m<sup>3</sup>, při rozměrech 6 × 15 m. Izolace dna a svahů je provedena z PEHD fólie. Vody akumulované ve sběrné jínce mohou být využívány ke zpětnému zkráplění výrobních zakládek. Případný přebytek vod se odvádí na ČOV. Druhá jímka je určena k akumulaci průsakových vod z prostoru skladovacích boxů surovin a produktů. Je tvořena železobetonovou konstrukcí z vodostavebního betonu o objemu 7,5 m<sup>3</sup>. Vody jsou využity k vlhčení výrobní zakládky nebo odvedeny na ČOV [43].

Součástí kompostárny je traktor a homogenizér (Příloha 4). Požadavky na technickou specifikaci byly dány rozhodnutím ze zjišťovacího řízení zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů. Traktor má motor typu turbo diesel, výkon minimálně 74·10<sup>3</sup> W a pohon 4 × 4. Závěs traktoru má 10 výškových poloh. Traktor pohání homogenizační zařízení a tažná oje má minimální příkon 30·10<sup>3</sup> W. Homogenizační korba homogenizéru má minimální výkonnost 0,083 m<sup>3</sup>/s. Součástí jsou dva drtící a homogenizační šneci s min. průměrem 0,350 m a výkonností 0,002 m<sup>3</sup>/s [43].

## 7.2 Zkoumaný materiál

Pro účel experimentu byly vybrány kuchyňské houbové utěrky od čtyř výrobců, které jsou běžně dostupné na trhu (Příloha 2). U výrobků je na obale uvedeno, že vnitřní obsah je stoprocentně biologicky rozložitelný. Od každého výrobce byly vybrány dva reprezentativní vzorky a jako etalon byl zvolen filtrační papír. V Tabulce 2 jsou uvedeny bližší informace o výrobcích, které jsou uvedené na obalu.

Tabulka 2 Informace z obalu zkoumaného materiálu

	Výrobce	Země původu	Rozměry vzorků [m]	Složení
<b>Vzorek č. 1</b>	Vileda	Švédsko	0,18 × 0,20	75 % celulózy a 25 % bavlny
<b>Vzorek č. 2</b>	Spontex	Evropa	neuvedeno	Obnovitelné zdroje - vnitřní síťovina z organické bavlny
<b>Vzorek č. 3</b>	AquaPur	Německo	0,19 × 0,21	100 % viskóza - uvnitř s bavlněnou strukturou z rostlinných vláken
<b>Vzorek č. 4</b>	K-Classic	Německo	0,18 × 0,20	70 % celulóza a 30 % bavlna

## 7.3 Příprava vzorků

Celkem 8 vzorků bylo zváženo na digitální pultové váze modelu: SW-1S, sériového čísla: 060722519 s poslední kalibrací roku 2013. Následně byly vzorky vloženy do síťoviny, která byla po stranách zabezpečena svorkami, aby nedošlo ke ztrátě houbové utěrky a označeny barevnými stahovacími páskami. Takto připravené vzorky byly opět zváženy a jejich váha zdokumentována. Počáteční hmotnosti houbových utěrek před a po uložení do síťoviny jsou uvedeny v Tabulce 3. Fotografie označení a uložení do síťoviny je na Obrázku 8.

Tabulka 3 Počáteční hmotnosti zkoumaného materiálu

	Etalon	Vileda 1a	Vileda 1b	Spontex 2a	Spontex 2b	Aqua Pur 3a	Agua Pur 3b	K- Classic 4a	K- Classic 4b
<b>Hmotnost vzorku [g]</b>	0,002	0,022	0,022	0,018	0,018	0,018	0,018	0,012	0,012
<b>Hmotnost vzorku v sít'ovině</b>	0,008	0,036	0,036	0,028	0,028	0,030	0,034	0,022	0,022



Vzorek č. 1

Vzorek č. 2

Vzorek č. 3

Vzorek č. 4

Obrázek 8 Vzorky označených houbových utěrek uložených v sít'ovině

## 7.4 Průběh pokusu

Připravené vzorky byly dle metodiky [42] uloženy dne 24. 4. 2015 do dvou třetin zakládky po dobu dvanácti týdnů. Místo uložení bylo označeno, aby nedošlo ke ztrátě vzorků Obrázek 9.



Obrázek 9 Dokumentace průběhu pokusu

Vizuální kontrola i překopávka proběhla 10. 6. 2015. Výsledky vizuální kontroly jsou uvedeny v Příloze 3. Po uplynutí dvanácti týdnů byl dne 24. 7. 2015 pokus ukončen. Zkoumaný materiál byl vyňat ze sítoviny a očištěn od kompostu ponořením do vody a omytím. Výsledná hmotnost byla zaznamenána na digitální pultové váze. Výpočet stupně rozkladu se pro jednotlivé vzorky stanovil pomocí modifikovaného (1) vzorce uvedeného v normě ČSN EN 14806 [39].

$$D_{(9\%)} = \frac{M_p - M_k}{M_p} \times 100 \quad (1)$$

Kde:

$M_p$  je počáteční hmotnost zkoumaného materiálu

$M_k$  je hmotnost zbytků materiálu po ukončení pokusu



## 8 VÝSLEDKY

Po dvanáctidenním uložení vzorků do zakládky proběhlo vizuální a početní vyhodnocení (Tabulka 4). U vzorku Vileda 1b zůstalo na síťovině žluté barvivo (Příloha 3). Zkoumaný materiál byl ponořen do vody, za účelem očištění zbytků zkoumaného materiálu od kompostu. V síťovině, kde byly uloženy vzorky kuchyňských houbových utěrek, nezůstaly žádné hmotné stopy po zkoumaném materiálu. Výsledkem byl 100% rozklad zkoumaných vzorků. Prostředí pro rozklad bylo vhodné, protože došlo k rozkladu celulózového filtračního papíru (Obrázek 10).

Tabulka 4 Výsledky z pokusu

Označení vzorku	Hmotnost zkoumaného materiálu [g]	Počáteční hmotnost zkoumaného vzorku uloženého v síťovině [g]	Konečná hmotnost zkoumaného vzorku uloženého v síťovině [g]	Stupeň biologického rozkladu	Vizuální vyhodnocení
etalon	0,002	0,008	0,006	100 %	100% rozklad
Vileda 1a	0,022	0,032	0,012	100 %	100% rozklad
Vileda 1b	0,022	0,036	0,012	100 %	100% rozklad
Spontex 2a	0,018	0,028	0,014	100 %	100% rozklad
Spontex 2b	0,018	0,028	0,014	100 %	100% rozklad
Aquapur 3a	0,018	0,030	0,014	100 %	100% rozklad
Aquapur 3b	0,018	0,034	0,016	100 %	100% rozklad
K-Classic 4a	0,012	0,022	0,012	100 %	100% rozklad
K-Classic 4b	0,012	0,022	0,012	100 %	100% rozklad



Obrázek 10 Rozložený filtrační papír

V reálných podmínkách je proces kompostování ovlivněn prouděním vzduchu, atmosférickými srážkami a neustálou změnou pH. V Tabulkách 5 a 6 jsou uvedeny průměrné teploty a územní srážky pro Jihomoravský kraj v čase založení až do doby ukončení pokusu.

Tabulka 5 Měsíční průměrné teploty v době pokusu [40], upraveno Svobodová 2016

Územní teploty v roce 2015 pro Jihomoravský kraj				
	duben	květen	červen	červenec
Teplota vzduchu [°C]	9,2	13,7	18,0	21,9
Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]	8,6	13,5	16,6	18,1
Odchylka od normálu	+ 0,6	+ 0,2	+ 1,4	+ 3,8

Tabulka 6 Měsíční průměrné srážky v době pokusu [40], upraveno Svobodová 2016

Územní srážky v roce 2015 pro Jihomoravský kraj				
	duben	květen	červen	červenec
Úhrn srážek [mm]	16	41	32	35
Dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 [mm]	38	65	75	64

## 9 DISKUZE

Při vizuální kontrole, která proběhla po 47 dnech od založení pokusu, vzorky nejevily žádné známky rozkladu. To může být zapříčiněno několika faktory. Prvním faktorem jsou hydrometeorologické podmínky, které jsou uvedeny v Tabulce 5 a 6, které dokazují teplotní a srážkové odchylky od normálu v letech 1961-1990, kdy od času založení pokusu až po vizuální kontrolu bylo velké sucho a málo srážek. Dalším faktorem může být nedostatek kyslíku a nízká vlhkost kompostovací zakládky. Po 44. dni od kontroly byl pokus ukončen. Vyhodnocení všech vzorků proběhlo na základě kontroly a následně numericky dle metody. U všech vzorků byl stanoven 100 % rozklad a zůstatek žlutého barviva u vzorku Vileda 1b může být důsledkem umístění daného vzorku v kompostovací zakládce. Lze tedy konstatovat, že informace, uvedené na obale zkoumaných vzorků, které zaručují 100% biologickou rozložitelnost, jsou pravdivé.

Pokus se čtyřmi stejnými vzorky z osmi zkoumaných, od firem Aquapur a Spontex, byl proveden v laboratorních podmínkách [47]. Od výrobce Spontex byly vybrány dva vzorky, houbových utěrek zelené barvy, označené A<sub>1</sub> (Spontex 2a) a A<sub>2</sub> (Spontex 2b). Od firmy Aquapur byly vybrány vzorky žlutých houbových utěrek, značených B<sub>1</sub> a B<sub>2</sub> (Aquapur 3a), dále růžových, značených B<sub>3</sub> a B<sub>4</sub> (Aquapur 3b) a dvou modrých, značených B<sub>5</sub> a B<sub>6</sub>. V Tabulce 7 je uvedeno označení vzorků a výsledek degradace po dvanácti týdnech.

Tabulka 7 Výsledky pokusu v laboratorních podmínkách [47], uprav. Svobodová 2016

Firma	Značení vzorků v laboratorních podmínkách	Značení vzorků v reálných podmínkách	Barva zkoumaných houbových utěrek	Výsledek degradace [%]
Spontex	A1	Spontex 2a	zelená	21,7
Spontex	A2	Spontex 2b	zelená	12,8
Aquapur	B1	Aquapur 3a	žlutá	47,6
Aquapur	B2	Aquapur 3a	žlutá	67,6
Aquapur	B3	Aquapur 3b	růžová	84,8
Aquapur	B4	Aquapur 3b	růžová	87,75
Aquapur	B5	nezkoumáno	modrá	99,5
Aquapur	B6	nezkoumáno	modrá	74,4

Výsledek v laboratorních podmínkách se liší od výsledků výzkumu v reálných podmínkách. Pouze tři vzorky B<sub>3</sub> (Aquapur 3b), B<sub>4</sub> (Aquapur 3b) a B<sub>5</sub>, z osmi zkoumaných, vykazovaly rozklad více než 80 %. U dvou vzorků A<sub>1</sub> a A<sub>2</sub> (Spontex 2a a 2b) byl zaznamenán výsledek degradace nižší než 22 % (Příloha 5). Odlišné výsledky v reálných a laboratorních podmínkách mohou být ovlivněny množstvím kompostu, přírodními podmínkami ovlivňující chemismus a přirozený proces kompostování, kde *míra biodegradace závisí na dostupnosti polymerního řetězce pro vodu a mikroorganismy. Každý mikroorganismus má svoji typickou škálu enzymů a tyto enzymy zase štěpí pouze některé polymery* [24].

Z výsledků výzkumu vyplývá, že zkoumané vzorky mají na obale uvedeny pravdivé informace a lze je považovat za kompostovatelný materiál. Biologická rozložitelnost ovšem závisí na prostředí, ve kterém jsou umístěny a na chemické povaze daného materiálu.

## 10 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá biologickým rozkladem polymerních materiálů a zaměřuje se na kompostování, jako způsob využití biologicky rozložitelných polymerů. V literární části jsou popsány biologicky rozložitelné materiály. Rozlišují se polymery biologicky rozložitelné, kompostovatelné a pouze rozložitelné. Biologicky rozložitelné polymery jsou různorodé a liší se i způsob jejich výroby či původu. V kapitole „Dělení biologicky rozložitelných materiálů“ je uvedeno odvětví a současná aplikace. V následující kapitole „Nakládání s biologicky rozložitelnými materiály“ je popsáno, jakým způsobem legislativa České republiky umožňuje využití a odstranění biologicky rozložitelného odpadu a jakým směrem se situace se skládkováním biologicky rozložitelného komunálního odpadu bude v České republice dále vyvíjet. V části „Materiál a metodika“ je popsán pokus, který měl ověřit pravdivost informací uvedených na obalech zkoumaných vzorků. Je zde také popsána lokalita, ve které byl pokus uskutečněn i s technicko-technologickým popisem kompostárny. Pokus byl uskutečněn na kompostárně v Boskovicích, kde proces kompostování probíhá technologicky v plošné hromadě. Tato kompostárna je označena z organizačního hlediska jako kompostárna komunitní. Výsledky výzkumu měly prokázat 100% rozklad zkoumaných houbových utěrek v reálných podmínkách kompostování. Míra biologické rozložitelnosti byla vypočítaná na základě stanovení hmotnostního úbytku vzorku po dvanácti týdnech procesu kompostování dle pokynů uvedených v certifikované metodice. Hmotnostní úbytek byl u všech zkoumaných vzorků 100 %. Výsledek pokusu v reálných podmínkách potvrdil pravdivost údajů uvedených na obalech. Práce je doplněna fotografiemi z průběhu pokusu. Výsledky pokusu v reálných podmínkách se odlišovaly s pokusem provedeným v laboratorních podmínkách. Stupeň rozkladu v reálných podmínkách byl u všech vzorků 100 %. V laboratorních podmínkách bylo procento biologického rozkladu u zkoumaných vzorků nižší. U vzorků B<sub>3</sub> (Aquapur 3b), B<sub>4</sub> (Aquapur 3b) a B<sub>5</sub> byl rozklad více než 80 % a u vzorků A<sub>1</sub> a A<sub>2</sub> (Spontex 2a a 2b) byl výsledek degradace pod 22 %. Ze zjištěných výsledků lze usuzovat, že rozklad biologicky rozložitelných polymerů může být podmíněn velikostí, reálnými podmínkami a skladbou kompostovací zakládky. Pro ověření tohoto zjištění by bylo vhodné pokus ověřit.

## 11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RUDNIK, Ewa. *Compostable polymer materials*. 1st ed. Boston: Elsevier, c2008. ISBN 0080453716
- [2] WALACHOVÁ, Klára. *Plastové odpady jejich úprava, zhodnocení a odstranění se zaměřením na biologicky rozložitelné plasty*. Brno, 2015. Bakalářská práce. MENDELU. Vedoucí práce Mgr. Ing. Magdalena Daria Vaverková, Ph.D.
- [3] SONG, J. H., R. J. MURPHY, R. NARAYAN a G. B. H. DAVIES. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2009, 364(1526), 2127-2139 [cit. 2016-03-14]. DOI: 10.1098/rstb.2008.0289. ISSN 0962-8436. Dostupné z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2008.0289>
- [4] BAKOŠ, Dušan. Biodegradovatelné polyméry a ich potenciálne využitie v obalových aplikáciách [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://www.plastice.org/fileadmin/files/Biodegradovatelné\\_polymery\\_a.pdf](http://www.plastice.org/fileadmin/files/Biodegradovatelné_polymery_a.pdf)
- [5] KOUTNÝ, Marek. Biodegradace polymerů a polymerních materiálů: Biodegradation of polymers and polymeric materials : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Chemie a technologie životního prostředí. Brno: VUTIUM, 2014. ISBN 978-80-214-5085-1.
- [6] EKO-PLASTY.CZ: Produkty z BIO rozložitelných materiálů [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>
- [7] STLOUKAL, Petr a Marek KOUTNÝ. Biodegradabilní plasty: současnost a perspektivy [online]. Chrudim, 2010 [cit. 2016-03-14]. ISBN 978-80-86832-50-0. Dostupné z: [http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2010-03-24/prezentace/11\\_Stloukal.pdf](http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/file/seminare/2010-03-24/prezentace/11_Stloukal.pdf)
- [8] VROMAN, Isabelle a Lan TIGHZERT. Biodegradable Polymers. *Materials* [online]. 2009, 2(2), 307-344 [cit. 2016-03-14]. DOI: 10.3390/ma2020307. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/2/2/307/>
- [9] KARHÁNKOVÁ, Iveta. Biodegradabilní obalové materiály. Brno, 2013. Bakalářská práce. MENDELU. Vedoucí práce Mgr. Ing. Magdalena Vaverková, Ph.D.
- [10] GATE2BIOTECH. Stehy z kyseliny mléčné [online]. 2007 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.gate2biotech.cz/stehy-z-kyseliny-mlacne/>

- [11] CONMED. Bioabsorbční šrouby BioScrew® [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.hscindustry.cz/cz/produkty/artroskopicke-implantaty/bioabsorbncni-srouby-bioscrew/>
- [12] OBRUČA, Stanislav. Polyhydroxyalkonáty - „plasty“ vyráběné bakteriemi [online]. 2011 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/obruca-1>
- [13] GATE2BIOTECH. Polyhydroxyalkanoáty – Přirozeně odbouratelné plasty [online]. 2007 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.gate2biotech.cz/polyhydroxyalkanoaty-prorozene-odbouratelne-plasty/>
- [14] STAŇKOVÁ, Marie. Produkce polyhydroxyalkanoátů s využitím odpadních substrátů a jejich následná izolace. Brno, 2011. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Doc. RNDr. IVANA MÁROVÁ, CSc.
- [15] VONDRÁŠKOVÁ, Šárka. Ekologicky příznivé balení jablek [online]. 2002 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=93&ch=1&typ=1&val=9544>
- [16] KOPÁČOVÁ, Olga. Využití kukuřičného škrobu pro výrobu papíru [online]. 2004 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=152&ch=13&typ=1&val=24792>
- [17] ŠŤASTNÝ, Milan. Pneumatiky Goodyear: Pneumatiky s plnidlem na bázi kukuřičného škrobu místo ropných derivátů, výhody, zkoušky [online]. 2002 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=129&ch=1&typ=1&val=6959>
- [18] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [19] WEISEROVÁ, Eva. Chitosan a jeho využití v potravinových doplncích. Zlín, 2007. Bakalářská práce. UTB. Vedoucí práce Ing. Věra Halabalová, Ph. D.
- [20] KLAPSIDOVÁ, Veronika. Hodnocení rozkladu biologicky rozložitelných obalů. Brno, 2013. Diplomová práce. MENDELU. Vedoucí práce Mgr. Ing. Magdalena Vaverková, Ph.D.
- [21] ŠMOTEK, Jiří. Biodegradovatelné nanokompozitní materiály. Zlín, 2013. Diplomová práce. UTB. Vedoucí práce Ing. Alena Kalendová, Ph. D.

- [22] NOVÁKOVÁ, Jarmila. Biodegradace plastů a kopolyesterů s biodegradabilními plnivými. Diplomová práce. Zlín, 2013. Diplomová práce. UTB. Vedoucí práce Mgr. Petra Jančová, Ph.D.
- [23] Předpis č. 185/2001 Sb.: Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů [online]. 2001 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [24] NOVOTNÁ, Markéta. Vliv vybraných faktorů na kolonizaci biologicky rozložitelných plastů mikroorganismy. Brno, 2014. Diplomová práce. MENDELU. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Záhora, CSc.
- [25] CZ BIOM – ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU. Realizační program pro biologicky rozložitelné odpady [online]. 2004 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/rp-bro/rp-bro.pdf>
- [26] SIROTKOVÁ, Dagmar. Legislativa biologicky rozložitelných odpadů [online]. 2006 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/legislativa-biologicky-rozlozitelnych-odpadu>
- [27] ŠEJVL, Radovan. Energie z odpadů I [online]. 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-I>
- [28] Předpis č. 381/2001 Sb.: Katalog odpadů [online]. 2001 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=51786&recShow=10&nr=381~2F2001&rpp=50#parCnt>
- [29] Předpis č. 341/2008 Sb.: Vyhláška 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. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady) [online]. 2008 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341>
- [30] PLÍVA, Petr. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. ISBN 80-86884-11-2.
- [31] VÁŇA, Jaroslav. Kompostování odpadů [online]. 2002 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>
- [32] ROY, Amitava. Měření teploty kompostu – primárního indikátoru průběhu kompostovacího procesu [online]. 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z:



- <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-teploty-kompostu-primarniho-indikatoru-prubehu-kompostovaciho-procesu>
- [33] ZEMÁNEK, Pavel. Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-52-3.
- [34] PETRÁKOVÁ, Veronika. Možnosti využití digestátu z bioplynové stanice ve Žďáře nad Sázavou. Brno, 2012. Diplomová práce. MENDELU. Vedoucí práce Doc., RNDr. Jana Kotovicová, CSc.
- [35] AUTERSKÁ, Petra. Problematika zápachu na bioplynových stanicích [online]. 2010 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-panicich>
- [36] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Metodický pokyn: K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu [online]. Praha, 2010 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodika\\_schvalovani\\_bps.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodika_schvalovani_bps.pdf)
- [37] PŘIDAL, Štěpán. Případová studie – bioplynová stanice v Úpici. Praha, 2010. Diplomová práce. UK. Vedoucí práce Ing. Libuše Benešová, CSc. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- [38] DOHÁNYOS, Michal. Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace [online]. 2009 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- [39] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/biologicky\\_rozlozitelne\\_odpady](http://www.mzp.cz/cz/biologicky_rozlozitelne_odpady)
- [40] EKO-KOM. Odpady a obce: Sborník přednášek [online]. Hradec Králové, 2011 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/sborniky/Sbornik\\_odpady\\_a\\_obce\\_2011.pdf](http://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/sborniky/Sbornik_odpady_a_obce_2011.pdf)
- [41] Předpis č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší [online]. 2012 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [42] VAVERKOVÁ, Magdalena Daria. Metodika pro hodnocení rozkladu rozložitelných polymerních materiálů v reálných podmínkách kompostování:

- certifikovaná metodika. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2014. ISBN 978-80-7509-095-9.
- [43] KRAJSKÝ ÚŘAD JIHOMORAVSKÉHO KRAJE. KOMPOSTÁRNA BOSKOVICE-NAVÝŠENÍ KAPACITY A DOPLNĚNÍ TECHNOLOGIE KOMPOSTÁRNY-I.ETAPA: Zjišťovací řízení [online]. 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/zakazka/kompostarna-boskovice-navyseni-kapacity-a-doplneni-technologie-kompostarny-i-etapa>
- [44] [www.google.cz/maps/](http://www.google.cz/maps/)
- [45] ČHMÚ [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/>
- [46] PLASTICE.ORG. Certification of bioplastics [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/sustainableplastics/cer>
- [47] VAVERKOVÁ, Magdalena a ADAMCOVÁ, Dana. BIODEGRABILITY OF BIOPLASTIC MATERIALS IN A CONTROLLED COMPOSTING ENVIRONMENT. Journal of Ecological Engineering [online]. 2015 [cit. 2016-03-15]. ISSN 2299-8993. Dostupné z: <http://www.journalssystem.com/jeeng/BIODEGRABILITY-OF-BIOPLASTIC-MATERIALS-IN-A-CONTROLLED-COMPOSTING-ENVIRONMENT,2949,0,2.html>

## 12 SEZNAM ZKRATEK

ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály
BRP	Biologicky rozložitelné polymery
BRM	Biologicky rozložitelný materiál
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
CEN	Evropský výbor pro normalizaci
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
DIN	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizace
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
SWOT analýza	Způsob posouzení podnikatelských projektů na základě identifikace silných i slabých stránek a příležitostí i očekávaných ohrožení
ŽP	Životní prostředí

## 13 SEZNAM CHEMICKÝCH SLOUČENIN

PLA	Polylaktid
PCL	Poly- $\epsilon$ -kaprolakton
PHB	Polyhydroxybutyrát
PET	Polyethylen tereftalát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PBAT	Polybutylenadipat tereftalát
PBS	Polybutylensukcinát
PHA	Polyhydroxyalkonát
PVA	Polyvinylalkohol
PEA	Polyesteramid
POE	polyoxyethylen
TPS	Termoplastický škrob

## 14 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Biologický rozklad nádoby [4] .....	11
Obrázek 2 Rozdělení BRP [4], upravila Svobodová 2016 .....	15
Obrázek 4 Bioabsorbční šrouby [11] .....	16
Obrázek 3 Výrobky z PLA [6] .....	16
Obrázek 5 Druhy biologicky zpracovatelného odpadu [28], upravila Svobodová 2016 .....	21
Obrázek 6 Optimální teploty kompostování [32] .....	24
Obrázek 7 Kompostárna v Boskovicích s GPS souřadnicemi: 49°29'43.0"N 16°40'43.7"E [44], upravila Svobodová 2016 .....	28
Obrázek 8 Vzorky označených houbových utěrek uložených v síťovině .....	31
Obrázek 9 Dokumentace průběhu pokusu .....	32
Obrázek 10 Rozložený filtrační papír .....	34
Obrázek 11 Mapa certifikačních log pro biologicky rozložitelné plasty v Evropě [46] .....	48
Obrázek 12 Zkoumané vzorky v originálním balení .....	48
Obrázek 13 Vizuelní kontrola vzorků dne 10. 6. 2015 .....	49
Obrázek 14 Vzorek Vileda 1b po vizuelní kontrole a stejný vzorek s vyznačenými stopy barviva .....	49
Obrázek 15 Manipulační technika: homogenizér, traktor a čelní nakladač .....	50
Obrázek 16 Pokus v laboratorních podmínkách [47] .....	50

## 15 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Požadavky na povolení pro různé normy [4], upraveno Svobodová 2016 ....	11
Tabulka 2 Informace z obalu zkoumaného materiálu.....	30
Tabulka 3 Počáteční hmotnosti zkoumaného materiálu .....	31
Tabulka 4 Výsledky z pokusu.....	33
Tabulka 5 Měsíční průměrné teploty v době pokusu [40], upraveno Svobodová 2016 .	34
Tabulka 6 Měsíční průměrné srážky v době pokusu [40], upraveno Svobodová 2016 ..	34
Tabulka 7 Výsledky pokusu v laboratorních podmínkách [47], uprav. Svobodová 2016 .....	36

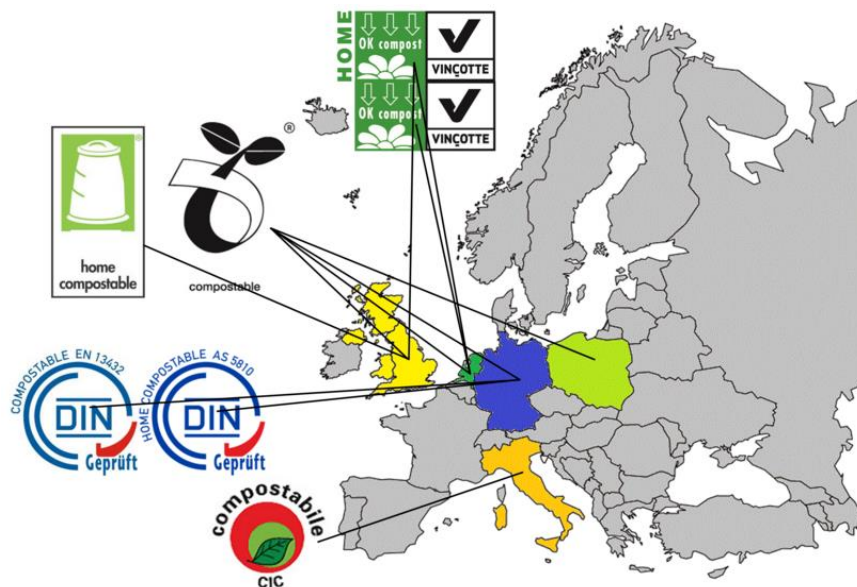
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Mapa certifikačních log pro biologicky rozložitelné plasty v Evropě .....	48
Příloha 2 Příprava vzorků .....	48
Příloha 3 Vzorky v procesu kompostování .....	49
Příloha 4 Manipulační technika na kompostárně v Boskovicích.....	50
Příloha 5 Provedený pokus v laboratorních podmínkách .....	50

## 16 PŘÍLOHY

### Příloha 1

#### Mapa certifikačních log pro biologicky rozložitelné plasty v Evropě



Obrázek 11 Mapa certifikačních log pro biologicky rozložitelné plasty v Evropě [46]

### Příloha 2

#### Příprava vzorků



Obrázek 12 Zkoumané vzorky v originálním balení



Vzorky v procesu kompostování



Obrázek 13 Vizuální kontrola vzorků dne 10. 6. 2015



Obrázek 14 Vzorek Vileda 1b po vizuální kontrole a stejný vzorek s vyznačenými stopy barviva

**Manipulační technika na kompostárně v Boskovicích**



Obrázek 15 Manipulační technika: homogenizér, traktor a čelní nakladač

**Provedený pokus v laboratorních podmínkách**



Obrázek 16 Pokus v laboratorních podmínkách [47]