



**Hodnocení rozkladu různých typů degradovatelných  
plastů v laboratorních podmínkách kompostování**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Mgr. Ing. Magdalena Daria Vaverková, Ph.D.

*Vypracovala:*  
Bc. Lucie Spěšná

## ZADÁNÍ

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Hodnocení rozkladu různých typů degradovatelných plastů v laboratorních podmínkách kompostování** 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 vědoma, 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**

Ráda bych zejména poděkovala své vedoucí diplomové práce Mgr. Ing. Magdaleně Darii Vaverkové, Ph.D. a také konzultantce Bc. Ing. Daně Adamcové, Ph.D., nejen za jejich odborné vedení a rady, ale i za ochotu a vstřícnost. Mé díky patří i rodině a všem mým nejbližším, kteří mě podporovali nejen při zpracovávání diplomové práce, ale především v průběhu celého studia na vysoké škole.

## **Abstrakt**

SPĚŠNÁ, L. *Hodnocení rozkladu různých typů degradovatelných plastů v laboratorních podmínkách kompostování*. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita. Agronomická fakulta, 2015.

Diplomová práce se zabývá zjištěním reálné degradability či biodegradability u vybraných vzorků plastových tašek v laboratorních podmínkách kompostování a dále vlivem biodegradabilních plastů na výslednou kvalitu kompostu. Práce se v teoretické části nejprve věnuje charakteristice syntetických polymerů, na kterou navazuje kapitola věnovaná biodegradabilním plastům popisující jejich druhy, možnosti certifikace či normativní oporu v České republice. Stručně je charakterizován související proces kompostování spolu s definicí fytotoxicity. Praktická část je zaměřena na vyhodnocení prováděného pokusu na vzorcích tašek při procesu kompostování a rovněž na vyhodnocení kvality kompostu pomocí testu fytotoxicity.

**Klíčová slova: degradace, biodegradace, biodegradabilní plasty, polymery, kompostování, fytotoxicita**

## **Abstract**

SPĚŠNÁ, L. *Evaluation of degradation various types of degradable plastics in a controlled composting environment*. Master's thesis. Brno: Mendel University. Faculty of Agronomy, 2015.

The thesis aims to determine the actual degradability or biodegradability of selected samples of plastic bags in a controlled composting environment as well as the impact of biodegradable plastics on the final quality of compost. The theoretical part of the work describes the characteristics of synthetic polymers. The following chapter is devoted to biodegradable plastics and outlines their types, certification options as well as the normative support in the Czech Republic. In addition, it briefly characterizes the composting process itself and defines phytotoxicity. The practical part evaluates the experiment carried out on samples of plastic bags during the composting process and summarises the result of compost quality obtained by phytotoxicity testing.

**Key words: degradation, biodegradation, biodegradable plastics, polymers, composting, phytotoxicity**

## **OBSAH**

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 CÍL PRÁCE.....</b>	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>3 CHARAKTERISTIKA A VÝVOJ POLYMERŮ .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Druhy syntetických polymerů a jejich degradace .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Polyethylen (PE) .....	13
3.1.1.1 Biodegradabilní polyethylen.....	14
3.1.2 Polypropylen (PP).....	14
3.1.2.1 Degradace polypropylenu .....	14
3.1.3 Polystyren (PS) .....	14
3.1.3.1 Degradace polystyrenu .....	15
3.1.4 Polyethylentereftalát (PETP, PET) .....	15
<b>4 BIODEGRADABILNÍ PLASTY .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Biodegradace a její druhy .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Syntetické biodegradabilní plasty .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Biodegradabilní plasty z obnovitelných zdrojů.....</b>	<b>18</b>
4.3.1 Biogenní polymery .....	18
4.3.1.1 Škrob a jeho vlastnosti.....	18
4.3.1.2 Celulóza a její deriváty .....	19
4.3.1.3 Chitin .....	20
4.3.1.4 Kyselina polyléčná (PLA) .....	20
4.3.1.5 Polyhydroxyalkanoáty (PHAs) .....	21
4.3.1.6 Kasein .....	22
4.3.1.7 Keratin .....	22
4.3.1.8 Kolagen.....	23
<b>4.4 Rozdíl mezi biodegradabilními a kompostovatelnými plasty .....</b>	<b>23</b>
<b>4.5 Životní cyklus BDP (LCA) .....</b>	<b>24</b>
<b>4.6 Nakládání s biodegradabilními odpady.....</b>	<b>24</b>
<b>5 NORMATIVNÍ A CERTIFIKAČNÍ SYSTÉM.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Normy .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 Certifikáty.....</b>	<b>26</b>

<b>5.3 Normativní prostředí v ČR</b>	<b>28</b>
<b>6 AKTUÁLNÍ A VÝHLEDOVÁ SITUACE PLASTŮ NA TRHU</b>	<b>30</b>
<b>6.1 Dostupnost BDP na českém trhu</b>	<b>31</b>
<b>7 KOMPOSTOVÁNÍ</b>	<b>33</b>
<b>7.1 Fáze kompostování</b>	<b>33</b>
<b>7.2 Technologie kompostování</b>	<b>34</b>
<b>7.3 Fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti</b>	<b>35</b>
7.3.1 Teplota	35
7.3.2 Hodnota pH	36
7.3.3 Vlhkost	36
7.3.4 Obsah kyslíku	37
7.3.5 Obsah živin, poměr C:N a mikrobiální aktivita	37
<b>7.4 Založení a průběh kompostovacího procesu</b>	<b>38</b>
7.4.1 Doba kompostování a monitoring	38
7.4.2 Stabilita kompostu	38
7.4.2.1 Definice a test fytotoxicity	39
<b>7.5 Ekologické přednosti kompostu</b>	<b>40</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b>	<b>41</b>
<b>8 METODIKA</b>	<b>41</b>
<b>8.1 Realizace pokusu se vzorky plastových tašek</b>	<b>42</b>
8.1.1 Vstupní materiál	42
8.1.2 Příprava pokusu	44
8.1.2.1 Příprava vzorků	44
8.1.2.2 Příprava reaktoru na kompostování	44
8.1.2.3 Příprava syntetického odpadu	45
8.1.3 Založení pokusu	46
8.1.4 Průběh pokusu	48
8.1.4.1 Teplota a pH	49
8.1.4.2 Pach a vzhled kompostované hmoty	50
8.1.4.3 Stav vzorků	51
8.1.5 Ukončení pokusu	52
8.1.5.1 Stanovení stupně rozpadu	52

<b>8.2 Stanovení fytotoxicity .....</b>	<b>53</b>
8.2.1 Vstupní materiál.....	53
8.2.2 Vlastnosti referenčního substrátu.....	53
8.2.3 Příprava vzorků a založení pokusu .....	54
8.2.4 Průběh a ukončení fytotoxického pokusu.....	55
<b>9 VYHODNOCENÍ POKUSŮ .....</b>	<b>57</b>
<b>9.1 Výsledky rozkladu vzorků plastových tašek .....</b>	<b>57</b>
9.1.1 Vzorky tašek s patrným rozpadem.....	59
9.1.2 Vzorky tašek bez známek rozpadu .....	59
<b>9.2 Výsledky a vyhodnocení fytotoxického pokusu.....</b>	<b>60</b>
9.2.1 Vzorek A (vzorek 1) .....	60
9.2.2 Vzorek B (vzorek 2) .....	62
9.2.3 Vzorek C (vzorek 3) .....	63
9.2.4 Vzorek D (vzorek 4) .....	65
9.2.5 Souhrnný přehled získaných výsledků .....	66
<b>10 DISKUZE .....</b>	<b>70</b>
<b>11 ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>74</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>79</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>82</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>83</b>
Příloha 1 – Fotodokumentace .....	84
Příloha 2 – Vývoj sledovaných hodnot v průběhu pokusu.....	86



# 1 ÚVOD

Současnou dobu lze bezesporu charakterizovat jako „dobu plastovou“. Kamkoliv se rozhlédneme, jsou kolem nás produkty z plastů. Staly se nezbytnou součástí našeho moderního života a postupem času i velkým neudržitelným problémem v důsledku neustále vzrůstající produkce polymerů. Recyklace či materiálové využití plastu je sice jednou z možných alternativ, ale pouze řeší již vyrobený produkt. Pozornost je nutné klást na prevenci vzniku plastového odpadu, jenž zůstává v přírodním prostředí minimálně deset, avšak spíše desítek let. Východiskem se zdají být biologicky rozložitelné plasty, které jsou buď zcela nebo částečně vyrobeny z obnovitelných surovin a při umístění do bioaktivního prostředí se dokážou působením mikroorganismů rozložit na oxid uhličitý, vodu a biomasu. Hovoříme o plastech šetrných k životnímu prostředí, které by mohly značně pomoci ke snížení produkce polymerních materiálů a díky nimž by se zredukovala spotřeba fosilních zdrojů.

Přestože se na světovém trhu pohybují již několik let, existuje o těchto materiálech stále malé množství materiálů a výzkumů, které se ve svých tvrzeních občas i rozcházejí. Stejně tak se liší tvrzení výrobců plastových tašek o jejich šetrnosti k životnímu prostředí a případnému rozkladu. Proto se moje práce zaměřuje na zjištění rozkladu různých vzorků plastových tašek v laboratorních podmínkách kompostování dle modifikované normy ČSN EN 14806 za snížené teploty. Šetrnost biodegradabilních plastů k životnímu prostředí je dále vyhodnocena zjištěním ekotoxických vlivů na řetěchu setou.

## **2 CÍL PRÁCE**

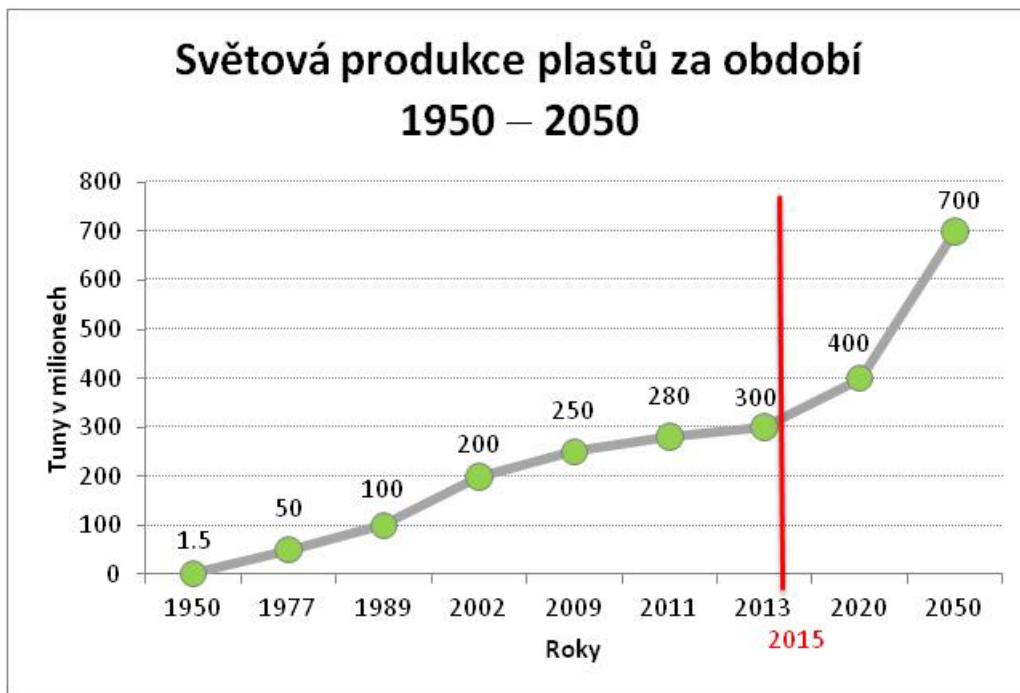
Prvotním cílem diplomové práce je shrnout a zmapovat dostupné informace o biodegradabilních plastech, včetně známějších a nejvyužívanějších syntetických polymerech. Důležitou částí bude kapitola věnovaná fungování a udělování certifikací biodegradabilním plastům a jejich opora v normativním systému. Dále bude zhodnocena perspektiva plastů, jak na světovém, tak i na českém trhu. Následná stručná charakteristika procesu kompostování bude nastiňovat fáze probíhající při prováděném experimentu. Hlavním cílem je tedy pomocí laboratorního pokusu zjistit a vyhodnotit reálnou degradabilitu čtyř vzorků plastových tašek v procesu kompostování a jejich možný rozklad probíhající za nižší teploty než je stanovena normou ČSN EN 14806. Pokus bude realizován tři měsíce v laboratorních podmínkách Mendelovy univerzity v Brně, kde bude sledován průběh. Dalším úkolem bude zjistit, zda mají vybrané biodegradabilní plasty negativní vliv na klíčení a růst rostlin. Z toho důvodu bude proveden test fytotoxicity na vzorcích výsledného kompostu dle modifikované normy ČSN EN 13432.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 3 CHARAKTERISTIKA A VÝVOJ POLYMERŮ

Syntetické polymery vyráběné nejčastěji z ropy znamenaly průlom v materiálových vědách a v chemii pro celý svět. Vznikl velice všestranný a odolný materiál s výbornými vlastnostmi – pevný, pružný, nepropustný, s nízkou hustotou a pomalým stárnutím. Jejich obliba u výrobců vzrostla rovněž díky jednoduchým možnostem zpracování a levné výrobě. Slabou stránkou polymerů je teplo při němž se stávají plastickými a tvarovatelnými. Mezi nejvyužívanější syntetické polymery patří polyolefiny do nichž patří polyethylen (dále PE), polypropylen (dále PP) a polyethylentereftalát (dále PETP, PET), ze kterého jsou vyráběny PET láhve spadá do skupiny polyesterů. Spotřebitelé si oblíbili především jednorázové polyethylenové sáčky s různorodou škálou využití. Spotřeba plastu jako obalového materiálu podle odhadu činí 35 – 45 % z celkové produkce plastů. Plasty na obalovém trhu dominují takovým způsobem a v některých ohledech natolik předčí ostatní materiály, že se jim podařilo nahradit papír, dřevo i kovy. [20, s. 7–9], [34, s. 3–4]

Nyní jsou plasty používány více než 150 let a jsou nedílnou součástí moderního života lidstva. I když téměř každý zdroj uvádí jiná čísla, závěr je stejný – spotřeba plastů každým rokem stoupá. Dle grafu Plastics Europe (obr. 1) bylo během roku 2002 vyprodukováno přibližně  $200 \times 10^9$  kg plastů. V roce 2012 dosahovala produkce plastů již  $300 \times 10^9$  kg. Průměrný meziroční nárůst v produkci plastu byl tedy téměř 9 % mezi lety 1950 až 2013. Dle světových prognóz by se mělo v roce 2020 vyrobit  $400 \times 10^9$  kg plastu a v roce 2050 již  $700 \times 10^9$  kg. Ovšem v potaz se musí vzít i neustále vzrůstající tendence rozrůstání lidské populace a další faktory. [27], [34, s. 3], [39]



Obr. 1: Světová produkce plastů za období 1950 – 2050

(Zdroj: autorka a [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org))

Vzrůstající produkce plastu a plastového odpadu, jeho následná likvidace a stále vysoká poptávka po polymerních materiálech představuje v 21. století rozsáhlý problém. Dříve vyzdvihované vlastnosti polymerů jsou dnes jejich hlavní nevýhodou. I když na polymery působí v přírodním prostředí řada degračních faktorů, jako jsou mikroorganismy, atmosférický kyslík, světelné záření a samozřejmě povětrnostní vlivy a s nimi spojené roční období a zeměpisná poloha, trvá jejich rozklad minimálně deset let. Svět je v důsledku rychlého hospodářského rozvoje zamořen plasty a jejich dopad na životní prostředí je obrovský. Podle odborníků končí 80 % plastového odpadu vyprodukovaného na pevnině v mořích. Právě v mořském prostředí jsou plasty schopny přetrvávat stovky let, což je v dnešní době vnímáno jako nový globální problém. [9, s. 242], [15, s. 5–6]

Mnoho vyspělých zemí a politiků se snaží situaci různými způsoby řešit a zmírnit negativní vliv polymerních materiálů na životní prostředí i na mezinárodní úrovni. Jednou z možných alternativ jsou biodegradabilní plasty, které splňují vlastnosti a parametry polymerních obalových materiálů. Nejvýznamnější rozdíl mezi nimi a konvenčními plasty je v jejich složení z obnovitelných zdrojů a degradaci v přírodním prostředí.

### 3.1 Druhy syntetických polymerů a jejich degradace

Následně jsou uvedeny základní vlastnosti syntetických polymerních materiálů, které patří mezi nejvyužívanější v obalovém průmyslu. K dispozici je syntetických polymerních materiálů mnohem více. Liší se svými chemickými, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. [20, s. 9]

#### 3.1.1 Polyethylen (PE)

Polyethylen je nejrozšířenějším obalovým materiálem. Strukturu PE rozlišujeme z hlediska hustoty, která má zásadní vliv na vlastnosti PE. Rozeznáváme PE o nízké hustotě (LDPE), střední hustotě (MDPE) a o vysoké hustotě (HDPE). Výhodou polyethylenu pro výrobce je snadná zpracovatelnost i zmíněná nízká cena. Jejich dalšími vlastnostmi jsou dobrá chemická odolnost, nízká propustnost vodních par, odolnost vůči nízkým teplotám nebo elektroionizační vlastnost. [32, s. 16]

Využívá se pro výrobu technických produktů, jako jsou trubky, pláště kabelů či kanystry, ale i na výrobu textilních vláken. Další využití nachází ve výrobě dětských hraček a výrobků pro domácnost. Z hlediska využití PE jako obalového materiálu oceňujeme průhlednost tenkých fólií a především jejich zdravotní nezávadnost. Z velké části se z PE vyrábí hlavně fólie. Škála obalových výrobků, které vznikají z PE je velká, jsou to např. velké sáčky na odpadky, sáčky pro balení ovoce a zeleniny, které známe i pod označením *Mikroten*. Polyethylenem se laminují i papírové sáčky a tašky, které mají ochránit výrobky a zabránit tak vzniku vlhkosti. [9, s. 65], [32, s. 16]

Polyethylen nepodléhá působení mikroorganismů z několika důvodů:

- má vysokou molekulovou hmotnost,
- je hydrofobní,
- mikroorganismy jej nemohou napadnout enzymy, protože neobsahuje funkční skupiny,
- obsahuje stabilizátory a antioxidanty.

První důvod, vysoká molekulová hmotnost, představuje zásadní problém. Jelikož je nereálné, aby takto velká molekula byla uvolněna do vodního prostředí a následně vstoupila do buňky mikroorganismu. PE podléhá vlivům prostředí a vyznačuje se svojí

nestálostí. Z tohoto důvodu se při výrobě přidávají stabilizátory a antioxidanty, aby nedocházelo k oxidačním procesům. [32, s. 16–17]

#### ***3.1.1.1 Biodegradabilní polyethylen***

Přidáním speciálních aditiv, tzv. prooxidantů k PE je možné urychlit oxidaci a PE se stává oxo-biodegradabilní. Základem prooxidantů jsou ionty přechodných kovů, které zvyšují citlivost polymerního řetězce vůči termooxidaci nebo fotooxidaci. Jakmile dojde k vyčerpání antioxidační kapacity, polyethylen ztratí mechanické vlastnosti a dojde k fragmentaci. Rozklad může být vyvolán teplem, UV zářením nebo mechanickým napětím. Produkt, který vznikne by měl být přirozeně biodegradabilní. Rychlost rozkladu se odvíjí od přídavku aditiv. Výhodou je, že lze naplánovat, aby se degradační proces projevoval až po spotřebě výrobku. [32, s. 17]

#### **3.1.2 Polypropylen (PP)**

PP má podobnou charakteristiku jako PE. Ovšem důležitými odlišnými vlastnostmi je použitelnost PP při větších teplotách, liší se i nižší hustotou, menší odolností v mrazech a menší propustností pro páry a plyny. Naopak nepodléhá snadnému oděru a lepší je jak v pevnosti, tak i tvrdosti. [9, s. 67], [32, s. 17]

Jejich využití je opět široké, používají se v průmyslu automobilovém, textilním, spotřebním i obalovém, kde jsou také využívány pro balení potravin (např. kelímky). Uplatnění nachází i jako fólie a varné sáčky. [32, s. 17]

#### ***3.1.2.1 Degradace polypropylenu***

Pokud je PP vystaven ultrafialovému záření ze slunečního svitu probíhá degradace. Proces degradace PP s mikroorganismy je zkoumán, ale již bylo zjištěno, že při působení mikroorganismů a mycelia může dojít k biodegradaci isotaktického polypropylenu. [32, s. 17]

#### **3.1.3 Polystyren (PS)**

Plast, který je jedním z nejstarších syntetických polymerů a i dnes patří k nejpoužívanějším. Typická je pro něj tvrdost, ale zároveň i křehkost. Není jej tedy

možné použít na mechanicky namáhané výrobky, jelikož stářím podléhá postupnému vzniku trhlin. Nevhodné je vystavovat jej UV záření, na kterém křehne a žloutne. Polystyren je nejméně odolný proti vyšší teplotě, snáší max. 75 °C. PS je plast, který je možné použít v kombinaci s kyselinami, alkoholy, minerálními oleji a vodou. I to je jeden z důvodů jeho všestranného využití v různých průmyslech (obalový, spotřební, potravinářský). Z PS se především vyrábí spotřební zboží – nádobí (misky, kelímky, podnosy) nebo hračky. Své využití nachází i v obalové technice, kdy chrání předmět při dopravě a manipulaci. [9, s. 78–79], [32, s. 18]

#### **3.1.3.1 Degradace polystyrenu**

PS se řadí mezi plasty, které je možné recyklovat, ale nelze jej biologicky odbourat. Uvádělo se, že PS film byl rozložen kmenem bakterií *Actinomycete*. Stupeň biologického rozkladu byl ovšem velmi nízký. [32, s. 18]

#### **3.1.4 Polyethylentereftalát (PETP, PET)**

V dnešní době rovněž jeden z nejrozšířenějších a nejznámějších plastů. Setkáváme se s ním denně ve formě PET lahví, které jsou vyráběny za účelem balení kapalin. Hlavním produktem PETP jsou vlákna a v menší míře také fólie, jejichž mechanická pevnost vyniká. [9, s. 86], [32, s. 18]

PETP jsou charakterizovány výbornou rozměrovou stálostí, odolností proti oděru, tvrdostí, vysokou tepelnou odolností a skvělými elektroizolačními vlastnostmi. Výhodou je jejich nepropustnost pro oleje a plyny. Poslední zmíněná vlastnost umožňuje plnit láhve sycenými nápoji. [32, s. 18]

## 4 BIODEGRADABILNÍ PLASTY

Biodegradabilních plasty (dále BDP) neboli biologicky rozložitelné plasty jsou materiály, které mohou být degradovány biologickými procesy v průběhu kompostování. Výsledkem je rozložení plasty na vodu, oxid uhličitý a biomasu.

Od konvenčních plastů se BDP liší materiálovým i chemickým složením. Na současném trhu nalezneme šetrné biodegradabilní plasty, které kompletně pocházejí z obnovitelných zdrojů. Jejich největší překážkou je včetně vysoké ceny v porovnání s výrobky pocházející z ropy, rovněž neznámost a neznalost plynoucí z nedostatečné informovanosti veřejnosti.

Ovšem ne všechny biodegradabilní plasty jsou kompostovatelné. V kapitole 4.2 jsou popsány oxo-biodegradabilní plasty, jenž jsou nevhodné jednak pro proces kompostování v domácích podmínkách i pro kompostárny průmyslové, jelikož nedochází k jejich rozkladu, ale pouhé fragmentaci.

Dle původu klasifikujeme BDP do tří skupin:

- na bázi syntetické (ropa, zemní plyn),
- na bázi obnovitelných zdrojů (např. škrob, celulóza, sacharidy, proteiny, lipidy),
- kombinované. [2, s. 8]

### 4.1 Biodegradace a její druhy

Biodegradací neboli „přírodní recyklací“ se rozumí proces rozkladu BDP umístěných například do kompostu, jenž se rozloží na oxid uhličitý, vodu a biomasu prostřednictvím činnosti mikroorganismů. Daná fáze je označována jako mineralizace, která je dokončena, jestliže je celý objem biomasy spotřebován, uhlík je přeměněn na oxid uhličitý a všechny chemické prvky jsou začleněny zpět do přírodního cyklu. [20, s. 48]

Podle mechanismu biodegradace lze BDP následně rozdělit na:

- Kompostovatelné

Rozklad je uskutečněn během procesu kompostování. Výslednými produkty jsou oxid uhličitý, voda, anorganické sloučeniny a biomasa.



- Hydro-biodegradovatelné

Počátkem degradace je hydrolýza, po které začnou působit mikroorganismy na plast.

- Foto-biodegradovatelné

Plasty se rozkládají nejprve pomocí fotodegradace a posléze probíhá činnost mikroorganismů.

- Bioerodovatelné

Činnost mikroorganismů je ze začátku potlačena. Degradace tedy může probíhat různými procesy, např. působením UV záření či rozpouštěním ve vodě. Jedná se o tzv. abiotickou desintegraci. [2, s. 9]

## 4.2 Syntetické biodegradabilní plasty

Mezi syntetické biodegradabilní plasty se řadí polyolefiny a polystyren, které jsou modifikovány speciálními aditivami, které umožní jejich degradaci. Takto upravené polymery jsou označovány jako oxo-biodegradabilní. K jejich oxidaci a následné fragmentaci dochází díky absenci stabilizátorů a obsahu progresivních aditiv, které jsou označovány zkratkou TDPA. Název pocházející z angličtiny znamená Totally Degradable Plastic Additives, neboli zcela rozložitelná aditiva pro plasty. Svoji uplatnitelnost nachází především jako obalový materiál. Chemická degradace je iniciována prostřednictvím tepla, UV zářením nebo mechanickým napětím a probíhá za podmínek kompostování při teplotě cca 60 °C. Při optimálních podmínkách se oxo-biodegradabilní plasty degradují během několika měsíců, což potvrdili Bonhomme et al. (2003), kteří zkoumali rozklad PE s přídavkem TDPA o tloušťce 470 – 640 mm. [20, s. 60], [31]

Avšak dle European Bioplastics i poslanců Evropského parlamentu jsou oxo-biodegradabilní plasty nevhodným řešením problému plastového odpadu v životním prostředí v důsledku jejich fragmentace. Oxo-biodegradabilní plasty se pouze rozpadnou na menší fragmenty, které nejsou viditelné. V prostředí ovšem zůstávají a mohou se akumulovat do vodního či mořského prostředí vlivem větru či deště. Z důvodu rychlejšího rozpadu těchto materiálů by v procesu recyklace

při tříděném sběru plastů způsobily sníženou kvalitu konečných recyklovaných produktů. Již několik let ekologické organizace požadují, aby byly oxo-biodegradabilní plasty zakázány. [14], [21]

### 4.3 Biodegradabilní plasty z obnovitelných zdrojů

Preferovanými BDP jsou suroviny pocházející z obnovitelných zdrojů. Důvodem je možnost efektivně zhodnotit přebytky ze zemědělské produkce či vedlejší produkty z potravinářského průmyslu. [2, s. 8]

Na výrobu BDP jsou vhodné biogenní polymery neboli biopolymery, které jsou:

- extrahované přímo z biomasy,
  - polysacharidy (např. škrob, deriváty celulózy, kaučuk),
  - chitin,
  - proteiny (živočišné - syrovátka, rostlinné - sója),
- získané klasickými chemickými syntézami,
  - kyselina polyléčná (PLA),
- produkované mikroorganismy,
  - polyhydroxyalkanoáty (PHAs). [2, s. 8]

#### 4.3.1 Biogenní polymery

##### 4.3.1.1 Škrob a jeho vlastnosti

Škrob je polysacharid vyšších rostlin (např. kukuřice, brambory, obilí, rýže) s funkcí zásobní látky. Skládá se ze dvou polysacharidů, z amylozy a amylopektinu. Nejvíce využívaným zdrojem škrobu je kukuřice. Ostatní suroviny jsou omezeny dostupností i cenou. Škrob je ze všech biopolymerů nejlevnější. Poptávka po škrobových polymerech je v současné době nejvyšší. Na celkovém trhu s bioplasty jednoznačně převládá, podílí se 75–80 %. Z toho je naprostá většina použita k výrobě obalů. [20, s. 57], [32, s. 22]

Přírodní čistý škrob je sypkého charakteru, vyznačující se svou křehkostí a nízkou odolností proti rozpouštědlům a olejům. Dokáže absorbovat vlhkost a je citlivý na kontakt s vodou. Dané vlastnosti určují, případně omezují možnosti použití škrobových polymerů. Čistý škrob nemá ideální vlastnosti pro zpracování a upravuje se

tedy pomocí tzv. destrukturalizace, což je proces, při kterém dojde k porušení struktury a ze škrobu se vytvoří homogenní nebo-li stejnorodý materiál. Čím více škrobu biogenní polymery obsahují, tím více podléhají biologickému rozpadu a následnému rozkladu. Ovšem, aby měl obsah škrobu v plastu podstatnější význam, musí být zastoupen min. 60 %. Ale rozmezí obsahu škrobu v plastech je široké, pohybuje se od 10 až do 90 %. Z daných údajů vyplývá, že míra biodegradability se značně liší. Pokud není podíl škrobu v plastu dostačující, nedojde k biodegradaci celé struktury polymeru. [32, s. 23]

Škrobové polymery jsou z velké části na trhu zastoupeny v obalovém průmyslu, kde se využívá modifikovaný škrob, což je škrob, u kterého se některé OH-skupiny nahradí např. esterovými nebo etherickými skupinami. Dané úpravy zahrnují hlavní náklady na výrobu, ale mohou podstatně ovlivnit chemické i fyzikální vlastnosti škrobu – hmotnost, elasticitu, plasticitu nebo hydrofilitu. Takto upravené škrobové polymery nacházejí své využití jako: sáčky, pytle, tašky, kelímky, tácky nebo jednorázové obaly. Škrobové polymery jsou vhodným materiálem pro balení teplých jídel, jelikož mezi jejich vlastnosti patří vysoká propustnost pro vodní páru a nedochází tedy k zapařování výrobku. [32, s. 23]

Trh s biodegradabilními plasty, konkrétně se škrobovými polymery se postupně rozrůstá. V současnosti je dominantním výrobcem v Evropě italská firma Novamont S.p.A, která již v roce 1989 vyvíjela materiál z polymerů na bázi škrobu. I dnes společnost každoročně investuje do výzkumu a vývoje. Dle jejich prognóz by v roce 2020 mohly být na trhu dostupné 100% škrobové polymery. [32, s. 27]

Dopad škrobových polymerů na životní prostředí postupně klesá, jelikož se omezuje podíl přidávaných petrochemických látek. Přesto nemůžeme čekat, že se na trhu objeví čisté škrobové polymery, které jsou prozatím limitovány svými vlastnostmi. [32, s. 23]

#### ***4.3.1.2 Celulóza a její deriváty***

Celulóza je nejrozšířenější přírodní polymer na Zemi, obsažený v bavlně a dřevu. V suchém stavu obsahuje bavlna asi 90 % celulózy a dřevo 50 %. Má krystalickou strukturu a je hydrofilní. Celulóza je snadno biodegradabilní, avšak při její biodegradabilita může být snížena chemickou modifikací. Nevýhodou celulózy je, že není termoplastická, tudíž ji nelze rozpustit ani tavit. Z toho důvodu je nutné změnit

její chemické vlastnosti a přeměnit ji na deriváty, které lze snadno plasticky zpracovávat. Tím je např. acetát celulózy, jehož vlastnostmi jsou tuhost, transparentnost a chemická odolnost. Používá se na výrobu fólií a nátěrů. Na výrobu fólií z celulózy, např. celofánu se používají velmi agresivní a toxické chemikálie. Obecně mají deriváty celulózy výborné mechanické vlastnosti, ale širšímu využití brání velmi vysoké výrobní náklady. [20, s. 22], [32, s. 23–24]

#### **4.3.1.3 Chitin**

Chitin se vyskytuje v houbách, tkáních hmyzu a schránkách mořských živočichů, ze kterého je mnohdy získáván. Jeho výhodou je požitelnost, která otevírá možnost dalšího využití. Chitin je schopen vytvářet tenké fólie, které nacházejí uplatnění hlavně v potravinářském průmyslu a zemědělství. [20, s. 24]

#### **4.3.1.4 Kyselina polymléčná (PLA)**

Kyselina polymléčná (dále PLA) je polyester, který je vyráběn polymerizací kyseliny mléčné, která je získávána anaerobní fermentací uhlíkových substrátů nebo může být vyrobena i ze surovin petrochemických (např. etylén). PLA polymery jsou schopné nahradit klasické termoplasty díky jejich fyzikálním a mechanickým vlastnostem, které jsou s nimi srovnatelné. Rozdíl mezi škrobem a PLA polymery je v jejich lepších bariérových vlastnostech pro vlhkost a zápach. Vynikají svojí pevností, elasticitou, transparentností a podobnými vlastnostmi s PET. Výrobky z PLA polymerů je nutné kompostovat pouze průmyslově, kdy jsou zajištěny optimální podmínky pro rozklad (více než 60 °C). Proces degradace trvá 4–6 týdnů, během které jsou polymery mineralizovány na oxid uhličitý, vodu a menší množství biomasy. [32, s. 24]

I v tomto případě je produkce polymerů z PLA značně zastoupena v obalovém průmyslu. Výhledově se jeví PLA jako dobrá náhrada za výrobu PET lahví, jelikož disponují srovnatelnými mechanickými vlastnostmi i průhledností. Lahve z PLA mohou být vyráběny na stejných strojích jako PET lahve a dokonce by byla výroba i efektivnější, protože lahve jsou vyfukovány při vyšší rychlosti a pod nižším tlakem vzduchu a není tedy potřeba takové množství tepla jako k nahřátí PET. [32, s. 24]

V současné době ale není reálný přechod z PET lahví na rozložitelné PLA lahve, jelikož nemají tak dobré bariérové vlastnosti, jsou teplotně méně stabilní a jsou

náchylnější k prasknutí v porovnání s PET. Stejně tak nejsou vhodné pro plnění sycenými nápoji, protože mají nízkou bariéru pro H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. Všechny tyto vlastnosti je limitují a PLA nejsou dnes zatím na takové úrovni, aby mohly ohrozit produkci PET lahví. [32, s. 24]

Uplatnění proto nachází v jiných sférách obalového průmyslu. Jejich primární využití je zaměřeno na balení potravin, především potravin s krátkou dobou trvanlivosti. S PLA plasty se můžeme setkat v podobě fólií na vážený sýr, vaniček na saláty či kelímků pro rychlé občerstvení, ale vyrábí se z nich i umělé příbory nebo tácky. Pokud jsou ke kyselině polymléčné přidány antimikrobiální složky, což není podmínkou, je podle některých studií schopná inhibovat mikroorganismy na čerstvých potravinách nebo polotovarech. [32, s. 24–25]

Nejvlivnějším výrobcem na trhu s PLA je americká společnost Cargill Dow, která zahájila svoji činnost již v roce 1994. V tomto roce bylo ročně vyprodukováno 6 tisíc tun PLA. Množství produkce se od té doby mnohonásobně zvýšilo a v roce 2003 společnost vyrobila 100 tisíc tun PLA. [32, s. 25]

#### **4.3.1.5 Polyhydroxyalkanoáty (PHAs)**

Polyhydroxyalkanoáty (dále PHAs) jsou polyestery, které si vyrábějí některé bakterie jako zásobní zdroj energie a uhlíku. Existuje více než 250 bakterií, které syntetizují PHAs (např. *Escherichia coli*, *Azobacter vinelandii* nebo *Alcaligenes eutrophus*). Významnými zdroji uhlíku pro výrobu PHAs jsou: sacharidy (glukosa, fruktosa, sacharosa), alkoholy (methanol, glycerol), alkany, organické kyseliny a tuky a oleje z rostlinných a živočišných odpadů. Zdrojem PHAs může být řepný cukr (v EU), sójový olej, palmová zrna nebo tekutina vznikající při máčení kukuřice (v USA). [32, s. 25]

Mechanické vlastnosti PHAs jsou opět podobné některým syntetickým polymerům, například polypropylenu. Vlastnosti PHAs jsou ovlivněny použitými zdroji uhlíku a použitými mikroorganismy. Biodegradace při splnění optimálních podmínek trvá pár týdnů, maximálně měsíců. Podmíněna je vlhkostí, teplotou, pH či mikrobiální aktivitou prostředí. [32, s. 25]

PHAs jsou opět aplikovány v obalovém průmyslu v podobě lahví, kelímků, sáčků nebo potravinových fólií. Zajímavostí je jejich použití při výrobě mikrofonů, sluchátek

nebo reproduktorů. Polyhydroxyalkanoáty mají akustickou a oscilační vlastnost. [32, s. 25]

Hlavním výrobcem PHAs je americká firma Metabolix Inc. založená v roce 1992. Mimo jiné je předmětem jejich zájmu produkce PHAs v zelených tkáních rostlin (rákos, tabák, vojtěška) a snaha přestruovat centrální metabolismus *Escherichia coli*, který by zapříčinil účinnější přeměnu obnovitelných zdrojů na PHAs. [32, s. 25]

#### **4.3.1.5.1 Vlastnosti polyhydroxybutyrátu**

Polyhydroxybutyrát (dále PHB) patří mezi polyhydroxyalkanoáty. PHB je charakterizován termoplastickou vlastností, díky které je možné jej použít i v širším rozmezí teplot. Od ostatních bioplastů se odlišuje svou hydrofobní vlastností a bariérou proti vlhkosti. Dále je odolný vůči UV záření nebo má dobrou odolnost vůči tukům a olejům. PHB se jeví jako vyhovující materiál pro balení výrobků, které jsou citlivé na kyslík, protože PHB má mnohem menší propustnost kyslíku než PE nebo PET. [32, s. 25–26]

#### **4.3.1.6 Kasein**

Kasein je bílkovina obsažená v mléce, rozpustná ve vodě i ve vodných roztocích kyselin a zásad. Rozpustnost kaseinu lze potlačit jeho vystavením účinku zvýšené teploty. Zdrojem kaseinu mohou být například syrovátka, odpad vznikající při výrobě sýrů. Plasty vyráběné z kaseinu vznikají zkombinováním s vhodnými plastifikátory. Zpracovávají se buď lisováním nebo zvláknováním. Výsledkem je široká škála plastů, od pevných a křehkých až po ohebné a měkké. V dnešní době je kasein používán hlavně jako lepidlo pro papír, dřevo a textil. Využívá se jako adhezivum na etiketování lahví. V budoucnosti by výroba byla zaměřena na produkci jedlých fólií na bázi těchto bílkovin. Ovšem i v tomto případě, brání širšímu rozšíření relativně vysoká cena na trhu a citlivost vůči vlhkosti. [32, s. 26]

#### **4.3.1.7 Keratin**

Keratin patří mezi vláknité bílkoviny, které jsou stavebním materiálem těl živočichů. Obsažen je ve vlasech, nehtech, parožích či peřích. Jedná se tedy o odpadní produkty, proto

je keratin levným materiálem. Charakteristickými vlastnostmi keratinu je nerozpustnost ve vodě, tvrdost, pevnost v ohybu a mechanická odolnost. Zpracování keratinu je komplikováno jeho vláknitou strukturou a vysokým obsahem cysteinu. Výsledný produkt je již nepropustný pro vodu a plně biodegradovatelný. Nicméně jeho mechanické vlastnosti jsou nedostačující pro možné aplikace. [32, s. 26]

#### **4.3.1.8 Kolagen**

Kolagen je vláknitá bílkovina obsažená ve vazivových a pojivových tkáních, kostech, šlachách a chrupavkách. Tudíž je obnovitelnou surovinou a jeho zdroje jsou téměř neomezené. Neustále je proto snaha nacházet jeho nové možnosti zpracování a využití. Kolagen se poměrně těžko zpracovává, ale v budoucnu jej bude možné použít na výrobu fólií a pěn. Jejich degradace probíhá pomalu specifickými mezibuněčnými enzymy. Aby bylo možné jej použít například v obalovém průmyslu, je nutné kolagen nejdříve chemicky upravit, jelikož se jedná o velice hydrofilní materiál. V současné době nachází hlavní využití při výrobě želatiny, která se vytváří při rosolování kolagenu ve vroucí vodě. [32, s. 26–27]

### **4.4 Rozdíl mezi biodegradabilními a kompostovatelnými plasty**

Biodegradabilní plasty nemusí být nutně kompostovatelné. Takovými jsou zmiňované oxo-biodegradabilní výrobky, které jsou vyráběny z PE a organické hmoty. Materiál pouze degraduje, ale nelze jej kompostovat v domácím kompostu. Nevhodné jsou i průmyslové kompostárny, kde způsobují problémy. Další překážkou materiálu je chybějící vlastnost – paropropustnost. Díky čemuž se tyto výrobky nehodí k oddělenému sběru bioodpadu za účelem kompostování. [4]

Naopak kompostovatelné biodegradabilní plasty jsou vyrobeny pouze z organické hmoty, především ze zemědělských produktů, které jsou plně obnovitelné. Splňují podmínky biodegradability uvedené v normě ČSN EN 13432 a jsou na základě splnění požadavků uvedené normy využitelné ke kompostování. [4]

## **4.5 Životní cyklus BDP (LCA)**

Doposud existuje pouze malé množství analýz životního cyklu výrobku – Life Cycle Analysis LCA, které se zaměřují na BDP a nelze tedy jednoznačně prokázat jejich finální působení na životní prostředí. Výsledky jsou ovlivněny mnoha faktory, jelikož záleží na zdroji polymerů, na předpokládané životnosti materiálů a také na způsobu a systému nakládání s odpady v konkrétním místě. Z těchto důvodů se získané výsledky rozcházejí a jsou nepřesné. Do životního cyklu BDP se jistě promítnou i zásahy spojené se zemědělskou výrobou, jako je hnojení, využívání pesticidů (zvýšení fytotoxicity) a velkým problémem mohou být geneticky modifikované plodiny optimalizované na výrobu vyhovujících polymerů. Bezpochyby lze říci pouze to, že biodegradabilní plasty mohou přispět k úspoře ropy a snížení skleníkových plynů. [2, s. 7], [13]

## **4.6 Nakládání s biodegradabilními odpady**

V současné době jsou kladeny vysoké nároky na druhovou čistotu vstupujících druhotných surovin při recyklaci. Pokud by byli BDP sbírány společně se syntetickými plasty, jako jsou PE, PET, PP a další, mohl by vzniknout problém při jejich identifikaci na dotřídňovacích linkách a došlo by ke kontaminaci plastů. Problémem je, že BDP vypadají stejně jako konvenční plasty. [35, s. 97]

Další možností je kompostovat BDP spolu s bioodpadem. V této alternativě je překážkou fakt, že BDP nemusí být tedy kompostovatelné. Při domácím kompostování musí být dodrženy veškeré podmínky kompostovacího procesu, jelikož biodegradabilita je závislá na specifickém prostředí. Důležitou roli hraje relativně vysoká teplota, která je nezbytná pro zahájení procesu a dále provozní podmínky kompostovacího procesu a samozřejmě druh materiálu BDP. Některé evropské státy povolují přidání BDP do sbíraného bioodpadu. [35, s. 97], [37, s. 4]

Východiskem nemusí být ani oddělený sběr BDP, jelikož existuje mnoho skladeb materiálů, ze kterých jsou vyrobeny. Navíc se liší i způsobem degradace. [35, s. 97]

V případě odhození BDP do komunálního odpadu nenastane žádný větší problém. Biodegradabilní odpad buď putuje na skládku nebo do spalovny odpadu, kde je energeticky využit. [35, s. 97]






## 5 NORMATIVNÍ A CERTIFIKAČNÍ SYSTÉM

### 5.1 Normy

Normy definují požadavky, které musí produkt splnit. Podrobně popisují metody analýz a prahové hodnoty pro jednotlivé parametry. Jestliže má produkt získat označení například kompostovatelný, musí splňovat normy, které jsou vědecky podložené a rovněž všeobecně aplikovatelné. Na sestavení pracují následující světové organizace uvedené v tabulce (tab. 1): [16, s. 2]

Tab. 1: Normalizační organizace (Zdroj: autorka a [www.plastice.org](http://www.plastice.org) )

<b>Mezinárodní</b>	<b>Americká</b>	<b>Evropská</b>
<b>ISO</b>	<b>ASTM International</b>	<b>CEN</b>
International Organization for Standardization	American Society for Testing and Materials	European Committee for Standardization
Mezinárodní organizace pro normalizaci	Americká společnost pro testování a materiály	Evropská komise pro normování
		

ASTM International (dále ASTM) předcházela vzniku evropským normalizačním institucím. V Evropě posléze vznikla Evropská komise pro normování (dále CEN), někdy označována jako Evropský výbor pro normalizaci, která je oficiálním normalizačním orgánem Evropské unie (dále EU). CEN pracuje na vývoji evropských norem (EN), které kromě jiného podporují ochranu životního prostředí, výzkumné a vývojové programy či volný obchod. Tyto normy jsou posléze uplatňovány v jednotlivých členských státech EU. Česká republika patří (dále ČR) do členské základny tohoto normalizačního orgánu. Výrobci je vstup na evropský trh umožněn až v momentě, kdy splní podmínky, které jsou normou požadovány. [1], [16, s. 2]

V roce 1997 vydal Německý ústav pro průmyslovou normalizaci (dále DIN) první normu zabývající se kompostovatelností biodegradabilních plastů, která byla označena

DIN V54900. Brzy nato byla nahrazena normou Evropské unie – ČSN EN 13432 (viz. kapitola 5.3 Normativní prostředí v ČR). [16, s. 2]

Každá organizace má sice své vlastní normy, avšak vzájemně jsou zharmonizované a akceptují se. Pakliže výrobce získá certifikát v oblasti plastových polymerů a kompostovatelných výrobků, neznamená to, že již nemůže získat certifikát, který je podmíněn jinými normami, jenž jsou získané normě podobné, ovšem liší se ve speciálních analýzách. [16, s. 2, 7]

## 5.2 Certifikáty

Certifikát je úřední dokument. Pro výrobce biodegradabilních plastů je zcela dobrovolným nástrojem a prostřednictvím něžž mohou svým zákazníkům garantovat, že výrobek odpovídá požadavkům normy a je tedy degradabilní. Certifikát biogenních polymerů zaručuje přítomnost obnovitelného zdroje, který je stanovený normou. [16, s. 3]




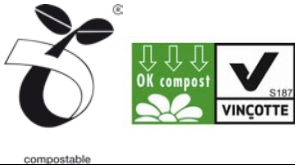


V Evropě vydávají certifikáty biodegradabilním plastům certifikační organizace DIN CERTCO a Vinçotte, jenže udělují certifikáty podle normy ASTM D6866 pro materiály, které jsou vyrobeny z obnovitelných surovin. Existují i další organizace pro certifikaci, jako jsou např. japonská organizace Japan BioPlastic Association či americká certifikační instituce Biodegradable Product Institute (dále BPI) (tab. 2). [16, s. 3]

Organizace DIN CERTCO vlastní také certifikát pro biologicky rozložitelné plasty, které jsou vhodné k domácímu kompostování dle normy AS 5810. Produkt získá certifikát „Home Compostable“ Dále vydává certifikáty na základě čtyř norem pro výrobky, které jsou vyprodukovány z kompostovatelných materiálů. Stejný certifikát lze získat i od belgické organizace Vinçotte, jenž uděluje certifikát i plastům, které jsou biodegradabilní v půdě a vodě a rovněž plastům, které jsou kompostovatelné v domácích podmínkách. [16, s. 3], [28]

Jestliže výrobce začne usilovat o získání certifikátu pro svůj výrobek, kontaktuje jednu z certifikačních organizací, kde podá přihlášku. Organizace vydá výrobcovi certifikát na základě analýzy produktu, kterou může vykonávat pouze laboratoř, jenž byla akreditována nezávislým expertem a certifikační organizací na základě normy EN ISO/IEC 17025. Norma popisuje metody analýzy a prahové hodnoty pro jednotlivé

parametry. Pokud výrobek splní veškerá kritéria, je mu certifikační organizací na tři roky udělen certifikát (logo) potvrzující jeho speciální vlastnosti, kvalitu a nízký vliv na životní prostředí. Jeho platnost a registrační číslo lze ověřit na internetových stránkách certifikační organizace. Certifikovaný výrobek je každý rok podroben kontrolní zkoušce. Oxo-biodegradabilní plasty nesmí užívat certifikační logo, přestože mohou být výjimečně v souladu s normou ČSN EN 13432 požadující zkoušky na úplnou biodegradabilitu, zkoušky na kompostovatelnost výrobku a na obsah těžkých kovů. Označení certifikátem mohou získat pouze takové výrobky, které mají vysokou míru odbouratelnosti konečného produktu a jeho fyzikální vlastnosti odpovídají normě. Ostatní, tzn. meziprodukty či materiály s přídavkem aditiv mohou získat jen registraci na šest let, během nichž každé dva roky musí projít ověřovacími zkouškami. [16, s. 3–4, 7]

Tab. 2: Certifikační označení dle organizací (Zdroj: autorka a [www.plastice.org](http://www.plastice.org))

Stát	Organizace	Normy	Certifikační označení
Německo	<b>DIN CERTCO</b>	EN 13432, ASTM, D6400, ISO 17088, EN 14995	
Německo	<b>DIN CERTCO</b>	EN 13432, ASTM, D6400, ISO 17088, EN 14995	
Německo	<b>DIN CERTCO</b>	AS 5810	
Belgie	<b>Vinçotte</b>	EN 13432, EN 14995	
Belgie	<b>Vinçotte</b>	Speciální Vinçotte proces založený na EN 13432 při nízkých teplotách	
USA	<b>BPI</b>	ASTM D6400	

Seedling logo neboli logo semenáčku může od roku 2012 používat i organizace Vinçotte. [16, s. 5]

Logo semenáčku i označení od organizace DIN CERTCO „Industrial compostable“ může být na výrobku použito zároveň. Ochranná loga (tab. 2) se od sebe liší tím, že norma ISO 18606 (Obaly a životní prostředí - Organická recyklace) a norma AS 4736 (Biodegradabilní plasty - Biodegradabilní plasty vhodné ke kompostování a ošetření mikroorganismy) může být zařazena do certifikačního procesu pouze u loga DIN CERTCO. [17]

### **5.3 Normativní prostředí v ČR**

Následující výčet technických norem souvisí s biodegradabilními plasty a plastovým obalovým materiálem pro něž byly v ČR vydány:

- Česká technická norma ČSN EN ISO 20200 Plasty - Stanovení stupně rozkladu plastů za simulovaných podmínek kompostování v laboratorním měřítku.
- Česká technická norma ČSN EN 13432 Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci - Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu
- Česká technická norma ČSN EN 14045 Obaly - Hodnocení rozpadu obalových materiálů pomocí prakticky zaměřených zkoušek při definovaných podmínkách kompostování
- Česká technická norma ČSN EN 14046 Obaly - Hodnocení úplné aerobní biodegradace obalových materiálů při řízených podmínkách kompostování
- Česká technická norma ČSN EN 14806 Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku

- Česká technická norma ČSN EN 13432 Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci
- Česká technická norma ČSN EN 14855-1 Stanovení úplné aerobní biodegradability za řízených podmínek kompostování
- Česká technická norma ČSN EN 14855-2 Stanovení úplné aerobní biodegradability za řízených podmínek kompostování. [7]

## 6 AKTUÁLNÍ A VÝHLEDOVÁ SITUACE PLASTŮ NA TRHU

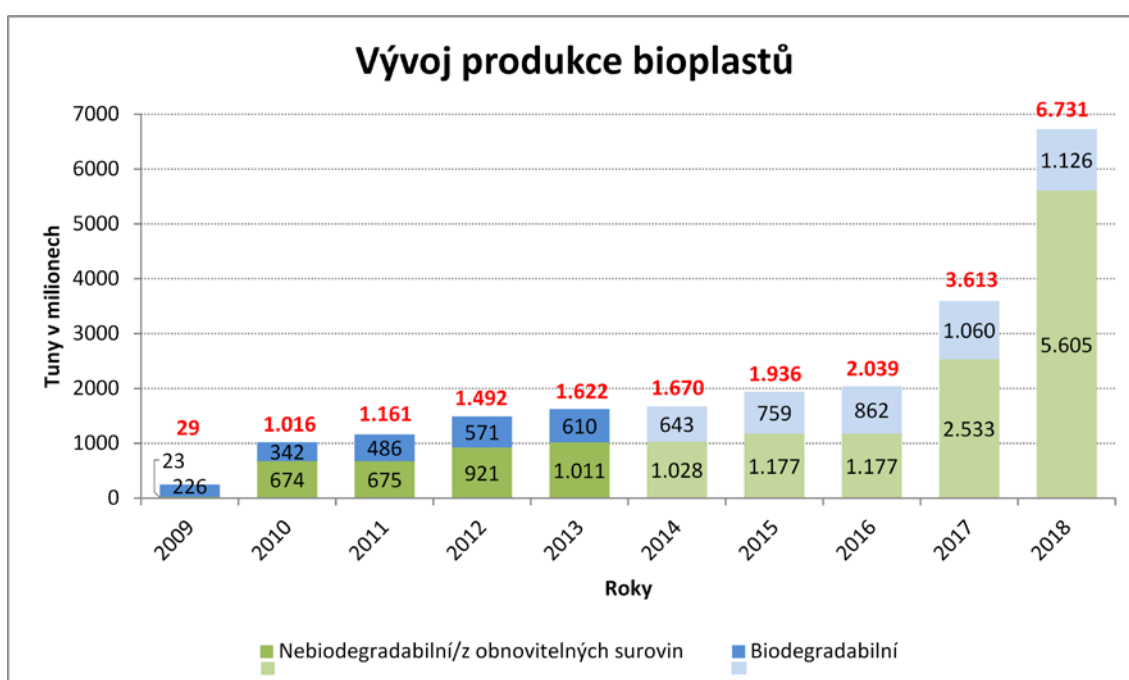
Pouze v EU bylo během roku 2010 použito 95,5 bilionů sáčků z polymerního materiálu. Z tohoto důvodu schválil Evropský parlament ve Štrasburku minulý rok rezoluci požadující snížení či alespoň omezení používání jednorázových plastových produktů, především sáčků a tašek. Problém europoslanci vidí ve stoupající spotřebě plastu a jeho ukládání v mořském prostředí, kde dochází k otírání a rozemílání plastu na mikroskopické kousky. Řešení v podobě oxo-biodegradabilních plastů shledávají europoslanci naprosto nevhodným a požadují, aby byly staženy z trhu a do roku 2020 zcela zakázány. [21]

Jednorázové plastové sáčky a tašky jsou symbolem plýtvání dnešní společnosti. Evropský parlament se tak v roce 2014 dohodl s členskými zeměmi na nových unijních pravidlech, které mají zajistit pokles poptávky po plastových taškách a sáčcích pod 50 mikronů. Ministerstvo životního prostředí (dále MŽP) v ČR evropskou směrnicí podporuje, avšak dohoda se pravděpodobně promítne i do zákaznických cen. Zpoplatnění plastových tašek se zde osvědčilo již v předchozích letech. Regulace je nezbytná, dle poslední analýzy MŽP z roku 2007 spotřeboval občan ČR ročně 150 až 300 kusů (dále ks) jednorázových plastových tašek a sáčků. K podobnému číslu dospěla i studie Evropské komise z roku 2011, podle níž spotřebuje člověk 297 ks/rok. Dle údajů MŽP se spotřeba plastových tašek na jednoho občana pohybovala kolem 45 ks v roce 2010. Za čtyři roky klesla spotřeba člověka na cca 25 tašek z polymerního materiálu. [23], [25]

V ČR jsou plastové tašky ve všech obchodních řetězcích již zpoplatněny a tímto krokem nesledují pouze získání dalšího finančního výnosu, ale i dopad plastů na životní prostředí. Hypermarket Globus nabízí 100% rozložitelnou plastovou tašku, jejímž prostřednictvím chce zákazníky informovat a motivovat k ekologickému chování, k třídění i k recyklaci odpadu. Věrohodnost tohoto tvrzení bude zkoumána v této práci v rámci provedeného pokusu. Rovněž hypermarket Kaufland nabízí jednorázovou plastovou tašku u níž deklaruje 100% rozložitelnost. Primárně obchody zákazníky především podporují v používání vlastních tašek. [30]

Dle prognóz European Bioplastic zobrazených v grafu (obr. 2) očekává organizace vzrůstající trend produkce biodegradabilních plastů a ostatních bioplastů. Největší podíl nárůstu je předpokládán pro plasty, které nejsou biodegradabilní. Organizace očekávala, že trh s bioplasty bude mít rychleji vzestupnou tendenci. V roce 2011 prezentovala

European Bioplastics prognózy pro rok 2016. Předpokládala, že se bude na trhu s bioplasty pohybovat  $776 \times 10^6$  kg biodegradabilních plastů a celková produkce bioplastů bude dokonce 5 až  $6 \times 10^9$  kg. Vydané prognózy z roku 2014 jsou již více reálné a nedosahují tak vysokých hodnot. Současný předpoklad je, že v roce 2016 bude vyprodukováno cca 2 milióny bioplastů s 42,28% zastoupením biodegradabilních plastů. [12], [32, s. 38]



Obr. 2: Globální vývoj výrobní kapacity bioplastů 2009 – 2018  
(Zdroj: [www.en.european-bioplastics.org](http://www.en.european-bioplastics.org), upraveno: autorkou)

## 6.1 Dostupnost BDP na českém trhu

Současný trend v ČR napomáhá k šetrnějšímu životnímu stylu vůči přírodě a vyzývá k možným alternativám. V posledních letech je stále častěji slyšet o neziskových organizacích či školských zařízeních, které se snaží vést už děti k odpovědnějšímu a šetrnějšímu přístupu k přírodě a celému životnímu prostředí. Přesto je povědomí o existenci biodegradabilních plastů u české veřejnosti stále nízké. Tento fakt se stále snaží změnit projekt Kompostuj.cz, jehož iniciátorem je občanské sdružení EKODOMOV, které vzniklo zásluhou společnosti HBABio, jenž v roce 2003 začala tvořit osvětovou činnost pro obce v rámci předcházení vzniku a zavádění odděleného sběru bioodpadu. Projekt stále funguje, informuje nejen občany, ale i podnikatele

a školy o možných alternativách – např. ukládat bioodpad do biodegradabilních plastů.  
[26]

Velkou měrou přispívá internet, kde za poslední dva roky přibylo velké množství webových stránek nabízející biodegradabilní produkty. Jedná se především o sáčky, pytle na odpadky a čím dál oblíbenější biodegradabilní pleny pro děti. Díky rozrůstajícímu trhu dochází k poklesu cen a biodegradabilní plasty začínají být pro potenciální zákazníky cenově dostupnější, ovšem jen na internetu. V současné době lze zde nalézt plastový sáček vyrobený ze škrobu a PLA, jehož cena se pohybuje kolem tří korun. V kamenných obchodech nalezneme převážně PE tašky s přidanými aditivy.

Na českém trhu s BDP dominují již několik let tři firmy: HBABio, BioPlaneta a Tart. Všechny společnosti nabízejí své výrobky na webových stránkách. Firma HBABio spolupracuje i s obchodními řetězci, velkoobchody a individuálními prodejny.



## 7 KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování je nejstarší metodou znovuvyžití odpadu, kdy je odpad vyprodukovaný lidstvem opět začleněn do přírodního látkového oběhu a přeměněn. Kompostovat lze odpad z domácností, organický odpad ze živností, průmyslu nebo čistírenské kaly z čistíren odpadních vod. [24, s. 4–5, 10]

Kompostování je tedy proces, při kterém se za aerobních podmínek rozkládá organický materiál pomocí biologických a biochemických přeměn a jehož cílem je přivést organické látky zpátky do přirozeného látkového koloběhu. Výsledkem má být stabilní produkt, který má nižší obsah vody a tedy nižší objem i hmotnost a měl by být hygienicky i esteticky nezávadný. Daným procesem lze pro půdu připravit hotové humusové látky, které jsou nezbytné pro udržení úrodnosti půdy. Kompostovaný odpad může být tímto způsobem znovu využit jako organické hnojivo či substrát. Kompostování je obecně chápáno jako ekologický a efektivní způsob odstranění biologicky rozložitelného odpadu. [22, s. 51], [24, s. 1, 4–5], [28, s. 7]

Při kompostování musí být splněny určité technologické předpoklady, které zajistí optimální průběh rozkladných reakcí a výslednou kvalitu kompostu. K nejdůležitějším technologickým faktorům patří:

- technologie kompostování,
- fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostovatelných materiálů
- příprava surovin před založením kompostu
- doba kompostování
- monitorování průběhu kompostovacího procesu
- zralost, stabilita kompostu. [28, s. 7]

### 7.1 Fáze kompostování

Proces kompostování lze rozdělit do tří na sebe navazujících fází. Jedná se o fázi rozkladu, fázi přechodnou a poslední fázi dozrávající. [36, s. 10-11]

Fáze rozkladu neboli mezofilní fáze je charakteristická postupným zvýšením teploty (záleží na výchozím materiálu) zapříčiněné aktivitou mikroorganismů. Za rozkladu lehce odbouratelných organických látek dochází k rozvoji mezofilních bakterií a plísní.

Na mezofilní fázi navazuje fáze přechodná, označována jako termofilní. V této fázi se dále zvyšuje teplota, při které se rozvíjejí pouze termofilní bakterie a jsou odbourávány hůře rozložitelné organické látky (např. celulóza). Výsledkem je vznik stabilních organických látek humusového charakteru. V poslední dozrávací fázi už teplota kompostu nestoupá a dochází ke stabilizaci humusových látek vlivem kokovitých bakterií, aktinomycet a hub. Výsledný produkt nezapáchá a je homogenní. [18, s. 20], [33, s. 33, 36], [36, s. 10–11]

## 7.2 Technologie kompostování

Volba technologie kompostování je závislá kromě mnoha faktorů, hlavně na druhu odpadu. Existují různé způsoby kompostování, avšak až na nějaké rozdíly je průběh kompostování z hlediska probíhajících dějů prakticky u všech technologií stejný. Významný rozdíl je ovšem v intenzitě probíhajících procesů. Z hlediska technologie rozlišujeme tedy kompostování:

- v pásových hromadách (nejoblíbenější technologie),
- v plošných hromadách,
- ve vacích,
- vermikompostování (kompostování s využitím žížal),
- intenzivní kompostovací technologie
  - kompostování v bioreaktorech
  - kompostování v boxech nebo žlabech. [39, s. 5], [28, s. 7]

Dále lze kompost rozdělit podle jeho materiálové skladby, tzn. odkud organický odpad pochází. Rozlišuje se kompost:

- statkový (z organických zbytků z pěstování rostlin a chovu hospodářských zvířat),
- průmyslový (z kalů z čistíren odpadních vod, odpadů z potravinářského průmyslu, organických částí domovního a komunálního odpadu),
- speciální (využívá se hlavně v zahradnictví – kompost z listí, trávy).

Zvláštní kategorií je kompost:

- domácí (převážně ze zahradního odpadu, avšak i z kuchyňského odpadu – zbytky jídla bez masa, čajové sáčky, skořápky, slupky aj.). [33, s. 28–29]

### **7.3 Fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti**

Fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostovaných surovin jsou ovlivňovány zvolenou výrobní technologií nebo požadavky na kvalitu výsledného produktu. Celý proces kompostování ovlivňují vlastnosti, které je nezbytné v průběhu kompostovacího procesu monitorovat, aby bylo možné provést potřebné kroky v případě odchýlení od optimálních hodnot. Sledují se tyto vlastnosti:

- teplota,
- hodnota pH,
- vlhkost,
- obsah kyslíku,
- obsah živin
- poměr C:N
- mikrobiální aktivita
- pórovitost, velikost a zrnitost částic. [28, s. 7–8]

#### **7.3.1 Teplota**

Teplota patří k velmi důležitým a hlavním vlastnostem, jelikož je ukazatelem zrání kompostu, které je závislé na činnosti mikroorganismů. Její optimální výše pro rozklad organických látek je dána druhem surovin. [28, s. 8]

Průběh teplot je rozdělen do dvou fází – mezofilní a termofilní. Pro první fázi mezofilní neboli rozkladnou jsou charakteristické teploty od +10 do +40 °C a v druhé termofilní fázi je již teplota vyšší, dosahuje nad 40 °C. Jakmile proběhnou obě části, měla by teplota začít klesat a ustálit se na teplotě okolního prostředí. Pokud se tak nestane, znamená to, že kompost není dostatečně vyzrálý. V tomto případě jsou důvodem mikroorganismy, které jsou v důsledku vyšších teplot stále aktivní a kompost tedy neobsahuje potřebné množství stabilních organických látek. Příčin špatného

průběhu teplot může být mnohem více, např. kompost může být přemokřený nebo naopak vyschnutý či mohla být zvolena špatná skladba surovin atd. [28, s. 8, 19]

Teplotu kompostu je možné zjistit kontaktně nebo bezkontaktně. Nejčastěji se pro zjištění teploty kompostu v celém průřezu využívá metoda kontaktní – digitální zapichovací teploměry s různou délkou zapichovacího bodce. Měření by mělo probíhat vždy ze stejného místa. Zapichovací bodce musí být veden kolmo k povrchu kompostu, jakmile se hodnota ustálí, zaznamená se, pokud to teploměr nedělá automaticky. [28, s. 20–21]

### **7.3.2 Hodnota pH**

Z počátku je hodnota pH kompostovaného materiálu nízká (kyselá), což je způsobeno tvorbou organických kyselin. V této fázi nalezneme houby a plísňe. Poté začnou mikroorganismy organické kyseliny rozkládat a pH stoupá k neutrálním hodnotám. Jakmile je pH neutrální až slabě zásadité začínají organické látky rozkládat bakterie. Hodnota pH se při zakládání kompostu upravuje vápněním, pokud je to nutné. [28, s. 8–9]

### **7.3.3 Vlhkost**

Obsah vody v kompostu je nezbytný pro správný průběh kompostovacího procesu a je jednou z nejdůležitějších charakteristik. Voda rozpouští a transportuje živiny, enzymy a plyny. Mikroorganismy potřebují vodu pro své životní pochody. Při nedostatku okamžitě zpomalují až zastavují svoji činnost, dokud není v kompostu opět optimální vlhkost. Naopak při zvýšené vlhkosti se póry ucpávají vodou, což vede k hnilobným procesům kvůli nedostatku vzduchu. Ke snížení obsahu vody během procesu kompostování dochází i díky evaporaci, avšak mikrobiální aktivitou ztratí kompost větší množství vody. Vlhkost je ovlivněna i surovinovým složením kompostu a technologií kompostování. Při kompostování platí zásada, že je vhodnější, aby byl kompost spíše sušší než vlhčí, jelikož převlhčený kompost se špatně upravuje do požadované vlhkosti. V případě zmáčknutí kompostovaného materiálu v ruce se nesmí mezi prsty objevit ani kapka vody a surovina musí zůstat pohromadě tzv. ve formě knedlíku – optimální vlhkost. [28, s. 8, 22–23], [33, s. 30]

### 7.3.4 Obsah kyslíku

Do kompostu musí být zajištěn dostatečný přísun vzduchu, což může být učiněno vícero způsoby, avšak nejčastější je metoda překopávání kompostu. Zvolená technologie kompostování musí zajistit, aby bylo v kompostovaném materiálu mimo jiné dostatek vzduchu s kyslíkem, který je důležitý pro počáteční nastartování procesu. [28, s. 9]

Kyslík se především stará o vytvoření aerobního prostředí kompostu, čímž je umožněna činnost mikroorganismů. Dále dodávka vzduchu ovlivňuje teploty během procesu kompostování. Přítomnost vzduchu v kompostu podporuje evaporaci vody, což pomůže snížit vlhkost přemokřenému kompostu. [28, s. 9]

Nedostatek vzduchu vytváří anaerobní prostředí, ve kterém vznikají organické kyseliny, metan, sirovodík a ostatní nežádoucí látky. Přítomnost těchto látek vytváří problém s hygienou kompostu a rovněž jsou doprovázeny silným zápachem. [28, s. 9, 24]

### 7.3.5 Obsah živin, poměr C:N a mikrobiální aktivita

Mezi důležité živiny pro činnost mikroorganismů patří makrobiogenní prvky – uhlík, dusík, fosfor, draslík a hořčík. Potřebují i množství stopových prvků (vápník, kobalt, měď, železo, hořčík, mangan atd.) pro lepší asimilaci živin. Kvalita výsledného kompostu nejvíce závisí na uhlíku a dusíku a na jejich vzájemném poměru C:N. Pokud poměr dosahuje vyšších hodnot dochází k imobilizaci dusíku půdními mikroorganismy a rostlinám pak chybí. Poměr C:N se upravuje chlévskou mrvou, kejdou či minerálními dusíkatými hnojivy. [28, s. 9], [33, s. 29]

Dále kvalitu kompostu ovlivňuje i fosfor a draslík, včetně dusíku, jelikož jsou živinami pro rostliny. Fosfor společně s draslíkem mají důležitou roli při rozmnožování buněk a při látkové výměně. Dusík potřebují mikroorganismy k syntéze bílkovin. Uhlík je zdrojem organické hmoty pro mikroorganismy, které jej získávají z rozložených rostlinných a živočišných zbytků v kompostu. Při mikrobiální aktivitě se uvolňuje oxid uhličitý, jehož množství se úměrně snižuje s dobou zrání kompostu i s klesající mikrobiální aktivitou. [28, s. 9]

Jak již bylo řečeno, na rozkladu organických látek v kompostu se podílejí mikroorganismy – hlavní podíl tvoří bakterie a nižší houby. Jejich aktivita je dána fyzikálními a chemickými faktory. [28, s. 11]

## **7.4 Založení a průběh kompostovacího procesu**

Aby kompostovací proces probíhal po celou dobu bez problémů, je již na začátku potřeba věnovat pozornost skladbě surovin, které budou zpracovávány a musí na sebe tedy co nejúčinněji vzájemně působit. Při zakládání musí být respektován poměr C:N. Surovinová skladba by neměla být tvořena velmi jemnými složkami, jelikož vytváří soudržnou strukturu, která je těžko přístupná vzduchu a brání růstu mikroorganismů. Výsledkem by měla být kompostovatelná směs surovin, která je dostatečně pórovitá, kyprá a optimálně vlhká. [28, s. 15, 23]

### **7.4.1 Doba kompostování a monitoring**

Doba rozkladu organických surovin se liší a je závislá na množství faktorů, včetně druhu kompostovaného odpadu. V první řadě je ovšem ovlivněna poměrem C:N, dále i teplotou, vlhkostí, množstvím vzduchu a zvolenou technologií kompostování. Úplného rozkladu organických látek lze při ideálních kompostovacích podmínkách docílit během několika týdnů. Nicméně je lepší dobu kompostování prodloužit alespoň na více než dva měsíce. [28, s. 15–17], [33, s. 38]

Pro správný průběh kompostovacího procesu je nezbytné sledovat, zda jsou zajištěny optimální podmínky pro mikroorganismy, což lze zjistit z fyzikálních a chemických vlastností kompostované suroviny. Kromě toho je měřena teplota, která také úzce souvisí s aktivitou mikroorganismů a měla by mít charakteristický teplotní průběh. Nezbytné je kontrolovat stav vlhkosti, aby byly v kompostu zachovány aerobní podmínky. [28, s. 18]

### **7.4.2 Stabilita kompostu**

Stabilita (zralost) patří mezi základní charakteristiky kompostu a hodnotí jeho kvalitu. V případě, že je kompost stabilní má tmavě hnědou barvu, struktura je drobtovitá až hrudkovitá, není na dotek teplý a nelze vizuálním pohledem rozpoznat jeho původní strukturu. Dále má pozitivní vliv na kvalitu půdy díky obsahu humusových látek, rovněž je schopen i po několika letech uvolňovat do půdy živiny a bez přístupu vzduchu nezapáchá. Rozlišujeme stabilitu trvalou a dočasnou. Stabilita trvalá je způsobena tím, že biologicky snadno rozložitelné látky jsou přeměněny do formy složitých komplexů

humusových látek. Stabilita dočasná může být způsobena nedostatkem vody. Stabilita a zralost kompostu lze určit mnoha metodami, např. samozáhřevným testem, mikrobiologickým hodnocením či testem fytotoxicity. [19, s. 18], [28, s. 26]

#### 7.4.2.1 Definice a test fytotoxicity

Fytotoxicitu lze definovat jako schopnost látky způsobit rostlině dočasné nebo trvalé poškození na celé rostlině, listech, kořenech, květech či plodech. Fytotoxické látky mohou na rostlinu působit již při jejím klíčení nebo růstu a mohou vyvolat řídnutí rostlin, barevné změny na rostlině, změny ve vývojovém cyklu, deformaci nebo nekrózu. [11]

K vyhodnocení fytotoxicity je používán test fytotoxicity neboli řeřichový test, což je biologická metoda sloužící k zjištění zralosti kompostu a k vyhodnocení intenzity rozkladu organických surovin. V kompostářské praxi patří k nejvíce užívaným metodám. Test fytotoxicity je založen na výpočtu indexu klíčivosti (IK) citlivé rostliny – nejčastěji řeřicha setá (*Lepidium sativum*), v prostředí vodního výluhu kompostu. Semena řeřichy seté se používají kvůli jejím požadovaným vlastnostem – rychlé klíčení a růst. [19, s. 19]

Pokud je index klíčivosti kolem 100 %, znamená to, že kompost je zralý, živiny v něm jsou více vázány a nejsou v něm přítomny fytotoxiny. Tabulka č. 3 vyjadřuje hodnocení kompostu a jeho využitelnost dle indexu klíčivosti. Nejlepší hnojivý účinek má kompost v momentě, kdy je index klíčivosti mezi 60 až 80 %, avšak citlivé rostliny může poškodit. Při hodnotách do 50 % (60 %) je z hlediska využitelnosti k přímé aplikaci kompost nepoužitelný. Hodnota fytotoxicity je přímým odrazem obsahu toxických meziproductů. Index klíčivosti se vypočítá dle následujícího vzorce:

[19, s. 20]

$$IK = \frac{k_v \times l_v}{k_k \times l_k} \times 100 \quad (\%), \quad (1)$$

kde vyjadřuje:

$k_v$  – klíčivost vzorku (%)

$l_v$  – průměrná délka kořínků (mm)

$k_k$  – klíčivost kontroly (%)

$l_k$  – průměrná délka kořínků kontroly (mm)

Zdroj: Kollárová, 2008

Tab. 3: Vyhodnocení indexu klíčivosti (IK) (Zdroj: Kollárová, 2008)

IK (%)	Typ kompostu	Využitelnost
nad 100 %	Schopnost stimulačních účinků	Substráty pro zahradnictví, květinářství
80 – 100 %	Dobře zralý kompost	Aplikace před setím
60 – 80 %	Částečně zralý kompost	Předjarní aplikace, rekultivace do pařenišť, pro pěstování hub
pod 60%	Nezralý kompost	Již do 50 %: aplikace riskantní – neekonomická

## 7.5 Ekologické přednosti kompostu

Nejenže je konečný produkt – kompost, zdravotně i esteticky nezávadný, ale jeho ekologický význam je patrný i v dalších vlastnostech. Kompost zlepšuje půdní faktory, které pozitivně ovlivňují růst rostlin díky obsahu humusu. Kompost vytvořený z odpadu dosahuje kvalit rašeliny či chlévské mrvy. [24, s. 10, 13]

V ČR je 35,9 % zemědělské půdy ohroženo vodní erozí a 18,4 % erozí větrnou. Kompost může být jedním z protierozních opatření. Pokrytím svažité půdy kompostem se při silných srážkách zabrání splavením jemné zeminy, která se naváže do stabilních drobtů kompostu, což umožní vsak srážek a zlepšení odvodňovací schopnosti půdy. [9], [24, s. 15]

Půda, na kterou byl aplikován kompost má zvýšenou vodní kapacitu, díky schopnosti kompostu zadržet vodu. Taková půda vysychá pomaleji a netvrdne. Další vlastností kompostu je, že dokáže rostlinám pomalu a rovnoměrně předávat živiny a stopové prvky, které adsorboval. Nedochozí tedy k přehnojování rostlin a ke ztrátám živin vymýváním, jenž jsou minimalizovány. Kompost a v něm obsažené humusové látky vytvářejí pro rostliny vyvážené půdní prostředí s trvalou úrodností. [24, s. 14–15]



## PRAKTICKÁ ČÁST

### 8 METODIKA

Jelikož ne všechny biologicky rozložitelné materiály splňují kritéria pro kompostování byl na Mendelově univerzitě v Brně realizován v laboratorních podmínkách pokus s vybranými plastovými taškami, které mají být dle údajů od výrobců buď zcela nebo částečně rozložitelné.

Experiment trval tři měsíce (4.11.2013 – 4.2.2014) a probíhal podle modifikované normy ČSN EN 14806: Obaly – předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku, která je zaměřena na prostředí, které se vyskytuje v průmyslových kompostárnách. Avšak částečně byly některé postupy pozměněny v důsledku možností výzkumu. Dle normy má být teplota udržovaná v sušárně  $58 \pm 2$  °C. Mimo jiné, bylo cílem daného pokusu zjištění, zda se vybrané vzorky tašek budou schopny rozložit i při teplotě nižší a zda bude kompostovací proces vzorků při této teplotě nastartován. Z toho důvodu byla zvolena teplota 48 °C. Zkouška může probíhat maximálně 90 dní. [6, s. 6–8]

Dalším cílem laboratorního pokusu bylo zjistit, zda je zkoušený obalový materiál skutečně rozložitelný za podmínek podobných intenzivnímu procesu kompostování a vyhodnotit stupeň rozpadu. Dále zjištění zda výrobci uvádějí na obalových materiálech pravdivé informace a především, zda se mohou tašky v procesu kompostování rozložit i při nižší teplotě, než která je stanovena normou.

Po celou dobu trvání zkoušky byl proces důkladně sledován, včetně teploty a pH kompostovatelné hmoty. Zjištěné údaje byly každý den zaznamenávány do tabulky uvedené v příloze 2. Poměr C:N měřen nebyl. Během pokusu byla průběžně pořizována fotografická dokumentace vypovídající obzvláště o změnách barvy syntetického odpadu a o rozkladu zkoumaných plastových tašek.

V další části kapitoly je zkoumán vliv použitých biodegradabilních plastů na kvalitu výsledného kompostu pomocí testu fytotoxicity, který byl prováděn 21 dnů (pokus zahájen 17.10.2014) opět v laboratorních podmínkách na Mendelově univerzitě v Brně. Pokus byl prováděn podle modifikované normy ČSN EN 13432: Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci a podle Přílohy E (normativní): Stanovení ekotoxických vlivů na vyšší rostliny, kterou norma obsahuje. Cílem bylo zjistit, zda mají bioplasty negativní vliv na růst a klíčení rostlin.

## 8.1 Realizace pokusu se vzorky plastových tašek

### 8.1.1 Vstupní materiál

Pro zkoušku rozpadu byly vybrány čtyři různé značky plastových tašek dostupné v EU. Výrobci spotřebitele potiskem informují, že jsou rozložitelné, avšak svými vlastnostmi či certifikací se liší. Všechny tašky byly nejprve před dalším zpracováním fotograficky zdokumentovány.

- Vzorek 1 (obr. 3)

Bioplaneta je vyrobena z pšeničného cukru, kukuřičného cukru, pšeničné celulózy a bramborového škrobu. Výrobce uvádí, že se taška v kompostéru 100% rozloží za 90 – 150 dnů na kvalitní hnojivo. Natištěné logo semenáčku spotřebitele informuje, že výrobek splňuje evropskou normu ČSN EN 13432 a je tedy kompostovatelný. [3]

- Vzorek 2 (obr. 4)

Plastová taška Carrefour vyrobená z bramborového škrobu je rozložitelná na vodu, biomasu a oxid uhličitý od 6 týdnů do 1 roku. Na tašce nalezneme logo semenáčku, což značí, že je v souladu s normou ČSN EN 13432 a je tedy kompostovatelná.

- Vzorek 3 (obr. 5)

Polyethylenová taška Eko Torba obsahuje oxo-biodegradabilní TDPA aditivum. Rozložitelnost výrobce uvádí za 24 měsíců. Certifikaci taška nemá.

- Vzorek 4 (obr. 6)

Na tašce Globus nalezneme recyklační symbol „panáčka s košem“ a označení PE-HD 2, jedná se tedy o vysokohustotní polyethylen. Avšak výrobce na plastové tašce informuje, že výrobek je 100% rozložitelný, jelikož obsahuje Totally Degradable Plastic Additives (TDPA) a má tedy tu schopnost, že se za tři roky rozloží na vodu, CO<sub>2</sub> a biomasu. Taška může být ale i recyklována. Žádné certifikované logo prokazující rozložitelnost taška nemá.



Obr. 3: Vzorek 1  
(Zdroj: autorka)



Obr. 4: Vzorek 2  
(Zdroj: autorka)



Obr. 5: Vzorek 3  
(Zdroj: autorka)



Obr. 6: Vzorek 4  
(Zdroj: autorka)

## 8.1.2 Příprava pokusu

### 8.1.2.1 Příprava vzorků

V laboratoři byly nejprve vybrané vzorky zváženy na analytické digitální váze Precisa 4000 C (obr. 7) a celková hmotnost zkoušeného materiálu byla zaznamenána (tab. 4). Z plastových tašek se následným rozstříháním vytvoří zkušební vzorky o rozměru 5×5 cm. Jelikož pro každý zkoušený materiál je třeba připravit dva reaktory, rozdělí se zkušební vzorky na dvě části tak, aby v obou reaktorech byla přibližně stejná hmotnost přidaného vzorku.



Obr. 7: Digitální váha Precisa 4000 C

(Zdroj: autorka)

Tab. 4: Počáteční hmotnost plastových tašek (Zdroj: autorka)

Vzorky	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Hmotnost tašek [g]	12,71	15,41	4,89	5,58

### 8.1.2.2 Příprava reaktoru na kompostování

Do připravených reaktorů (obr. 8) byly umístěny vzorky, v nichž probíhal tři měsíce kompostovací proces směsi. Zvoleny byly polypropylenové nádoby obdélníkového půdorysu o rozměrech 30 cm × 20 cm × 5 cm (d × š × v), u kterých nehrozilo, že by nějakým způsobem narušovaly proces. Pro lehkou manipulaci musí být možné nádobu opakovaně otevřít a uzavřít víkem, do kterého byly zhotoveny otvory sloužící k výměně plynů mezi vnitřní atmosférou a venkovním prostředím. Víko zároveň zabraňuje přílišnému odpařování a vysychání kompostované směsi. Celkem bylo pro pokus

použito 8 reaktorů – dva reaktory pro jeden zkoušený materiál. Reaktory byly označeny číslicemi 1 – 8. [6, s. 8]



Obr. 8: Plastové reaktory s víkem na kompostování  
(Zdroj: autorka)

### 8.1.2.3 Příprava syntetického odpadu

Pro provedení zkoušky musel být připraven manuálním smícháním pevný syntetický odpad. Množství potřebného odpadu bylo zjištěno výpočtem. Do jednoho reaktoru bylo potřeba vložit 500 g vytvořeného odpadu. Celkově tedy muselo být vytvořeno 4 000 g směsi, jejíž složení a hmotnost jsou uvedeny v tabulce č. 6. Všechny složky musely být důkladně promíchány (obr. 9). Jako biologicky rozložitelný odpad (BRO) byl použit syntetický odpad (zbytky brambor, slupky od zeleniny a ovoce, nať z mrkve). Jelikož je jedním z cílů vytvořit kvalitní výsledný produkt a množství mikroorganismů v organických odpadech není příliš velké, je nutný přídavek aktivní mikroflóry v podobě kompostu „Černý drak“ pocházející z Centrální kompostárny Brno a.s. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Syntetický odpad byl kompostován společně se zkušebními vzorky plastových tašek.

Tab. 5: Chemické a fyzikální vlastnosti kompostu (Zdroj: Etiketa na kompostu)

Vlastnost	Hodnota
Poměr C:N	max. 30
pH	0,6 – 8,5
Vlhkost v %	30,0 – 65,0
Nerозložitelné příměsi v %	max. 2,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 20,0

Tab. 6: Složení syntetického odpadu (Zdroj: autorka)

Materiál	Hmotnost v suchém stavu	
	g	%
Piliny	1 600	40
BRO z domácností	1 200	30
Kompost	400	10
Škrob	400	10
Sacharóza	160	4
Kukuřičný olej	160	4
Močovina	80	2
Celkem	4 000	100



Obr. 9: Promíchávání vytvořeného syntetického odpadu  
(Zdroj: autorka)

### 8.1.3 Založení pokusu

Vytvořený syntetický odpad byl vložen do jednotlivých polypropylenových reaktorů a po jejich celém dně byl rozprostřen (obr. 12). Každý reaktor byl se směsí zvážen (obr. 10) a hmotnost zaznamenána (hmotnost nádoby odečtena) (tab. 7).

Tab. 7: Údaje o vzorcích (Zdroj: autorka)

Číslo reaktoru	Hmotnost reaktoru se směsí [g]	Vzorek tašky	Hmotnost vložených vzorků do reaktoru [g]
1	500,83	Vzorek 1	6,35
2	501,00		6,36
3	501,45	Vzorek 2	7,72
4	502,00		7,72
5	501,35	Vzorek 3	2,43
6	502,00		2,19
7	500,57	Vzorek 4	2,70
8	500,36		2,71



Obr. 10: Příprava syntetického odpadu v laboratoři

(Zdroj: autorka)

Do takto připravených 8 reaktorů byly následně přidány jednotlivé vzorky plastových tašek, které se promíchaly se směsí. Pro jeden vzorek bylo provedeno dvojí opakování. V poslední fázi založení experimentu byla směs zvlhčena vodou tak, aby obsah vody přibližně odpovídal 55% z celkové hmotnosti (obr. 11). Aby nebyla omezena výměna plynů, je doporučeno směs neutlačovat. Takto připravené reaktory (obr. 12) se uzavřely víkem a vložily do sušárny Ecocell s cirkulací vzduchu při teplotě 48 °C (obr. 13), ve které byl prováděn aerobní rozklad. Pokus byl zahájen dne 4.11.2013.





*Obr. 11: Vlhčení směsi*



*Obr. 12: Připravená směs ke kompostování*

*(Zdroj: autorka)*



*Obr. 13: Sušárna Ecocell a v ní vložené reaktory*

*(Zdroj: autorka)*

#### **8.1.4 Průběh pokusu**

Po zahájení pokusu byla od 5.11.2013 každý den kromě víkendů kontrolována teplota a pH. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce o zkoušce (příloha 2). Pravidelné

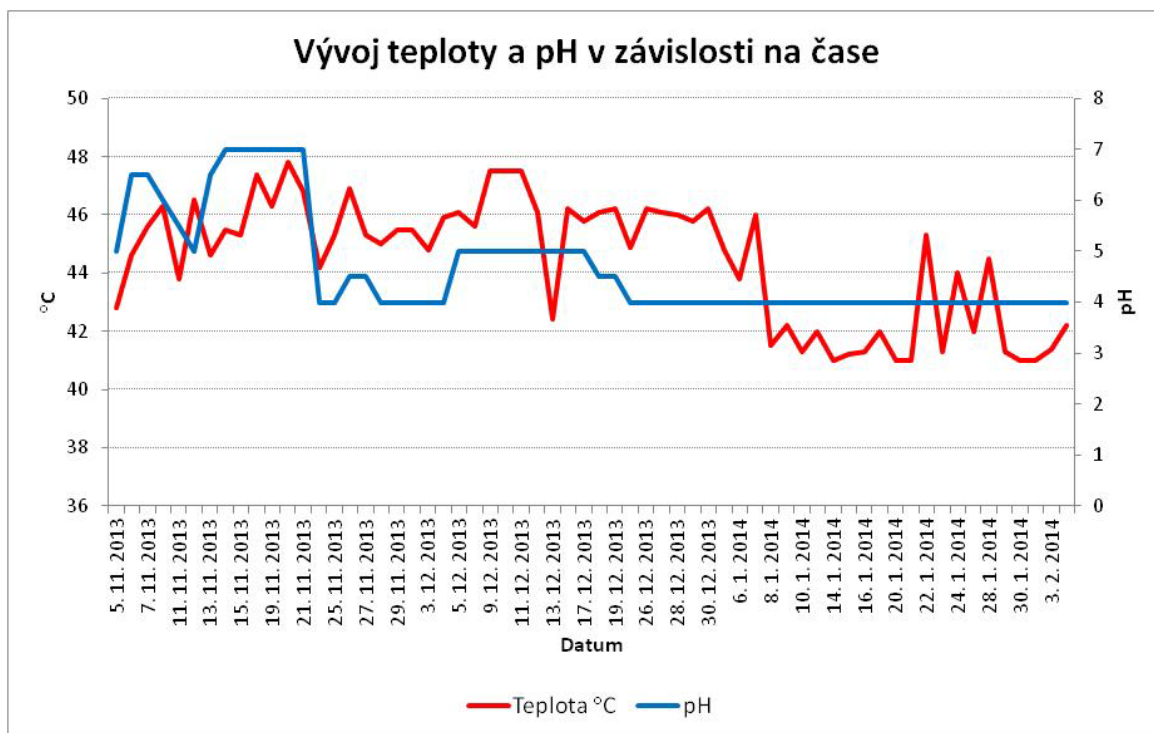


překopávání kompostu v reaktorech mělo zajistit rovnoměrný rozklad celé směsi a dostatečný přístup kyslíku. Kontrolována byla rovněž vlhkost a v případě potřeby či zjevného vysušení byla kompostu dodána voda pro udržení optimální vlhkosti. Taktéž byl sledován pach a byla prováděna vizuální kontrola. Dané úkony nebyly provedeny ve dnech 20.12., 24.12., 25.12. a 31.12. 2013. V roce 2014 bylo pokračováno v pokusu od 3.1.2014.

#### **8.1.4.1 Teplota a pH**

Teplota byla vždy měřena ze středu kompostované směsi a v přibližně stejné hloubce vpichovacím digitálním teploměrem Multi-Thermometer (příloha 1 – fotodokumentace 2). V momentě ustálení teploty byla hodnota zapsána. Nejnižší naměřená teplota během výzkumu dosahovala hodnoty 41,0 °C a nejvyšší 47,5 °C. Průměrná teplota získaná během 90 dní měření činila 44,4 °C. Dne 8.1.2014 došlo k výraznému a dlouhodobému propadu teploty z 46,0 °C na 41,5 °C. Z obrázku č. je patrné, že se teploty pohybovaly kolem 41,0 °C 16 dní a poté teplota vystoupala na 45,3 °C. Důvodem tohoto markantního snížení byla cizí manipulace se sušárnou. Teplota kompostované směsi v reaktorech byla i ovlivňována téměř každodenním otevíráním sušárny a následným otevíráním reaktorů a jejich promícháváním a provzdušňováním.

Hodnoty pH byly zjišťovány použitím univerzálních indikátorových pH papírků, které jsou relativně přesné. Proužek lakmusového pH papírku se zvlhčil menším množstvím kompostu a zjištěný údaj se porovnal s barevnou stupnicí na obalu. Zjištěné hodnoty jsou zaznamenány v tabulce o zkoušce (příloha 2). Dle normy má pH z počátku dosahovat kyselých hodnot, následně se během 10 – 15 dní postupně zvýšit na hodnoty alkalické a v závěru experimentu můžou být hodnoty pH slabě alkalické či neutrální. Jak vyplývá z grafu (obr. 14), pH nejdříve skutečně dosahovalo kyselých hodnot a v desátém dni (14.11.2013) vystoupalo na neutrální hodnotu – 7, která byla v kompostované hmotě naměřena po celý týden. Avšak posléze (od 22.11.2013) začala hodnota pH dosahovat opět kyselých hodnot, které byly naměřeny až do ukončení pokusu. Nejnižší naměřená hodnota pH činila 4, naopak nejvyšší dosáhnutá hodnota pH byla 7. Průměrná hodnota pH za měřené období byla 4,7 - kyselé prostředí.



Obr. 14: Vývoj teploty a pH v závislosti na čase  
(Zdroj: autorka)

#### 8.1.4.2 Pach a vzhled kompostované hmoty

Pach byl zpočátku velmi intenzivní, dráždivý a štiplavý. Posléze jeho intenzita slábla a podle normy se má onen kyselý pach po deseti dnech začít měnit na amoniakální. Po celou dobu trvání pokusu byl stále patrný lehce štiplavý kyselý zápach. Ovšem norma uvádí, že zhruba po měsíci by měl být cítit pouze zemní pach. [6, s. 9]

V prvních dnech byla barva kompostované hmoty světle hnědá, téměř do žluta (obr. 15). Po týdnu kompostování barva ztmavla a změnila se na hnědou. Následně barva přešla až na tmavě hnědou (obr. 15).



*Obr. 15: Změna barvy kompostu*

*(Zdroj: autorka)*

#### **8.1.4.3 Stav vzorků**

Jelikož kompostovací proces neprobíhal správně a zvláště pH bylo po většinu pokusu kyselé, nebylo možné více než dva měsíce zaznamenat žádnou degradaci. Teprve 16.1.2014 došlo k patrnému rozkladu (obr. 16) u vzorku 1 (reaktor 1 a 2) a vzorku 2 (reaktor 3 a 4), které se rozpadly na menší fragmenty. Materiál tašek ztratil své počáteční vlastnosti, nyní byl jemnější a méně pevný.



*Obr. 16: Rozklad vzorku 1 (vpravo) a vzorku 2*

*(Zdroj: autorka)*

Naopak v reaktorech 5 a 6, kde byl umístěn vzorek 3 nedošlo vizuálním pohledem k žádným změnám. Vykazoval stále totožné vlastnosti v obou reaktorech. Pevnost ani barevnost materiálu se nezměnila. Vzorek 4 umístěný v reaktorech 7 a 8 nevykazoval absolutně žádnou změnu. Barva materiálu byla stále sytá, na dotyk byla taška pevná a soudržná, jako na začátku pokusu, kdy se vkládala do reaktoru (příloha 1 – fotodokumentace 5).

Vizuální vývoj degradace vzorků je zpracován v příloze 1 - fotodokumentace 1, 3-6.

### 8.1.5 Ukončení pokusu

Proces kompostování byl ukončen po třech měsících, tj. 4.2.2014. Další postup zkoušky byl volen opět podle normy ČSN EN 14806. Všechny reaktory byly vyjmuty ze sušárny a nejdříve z nich byly ručně za pomoci pinzety vybrány větší zbytky obalového materiálu. Následovalo prosetí vysušeného kompostu síty Retsch s velikostí otvorů 2 mm (obr. 17). Každý kompost byl z reaktoru vsypán do síta a pomocí prosévačky Retsch AS 200 prosen. V případě potřeby byl kompost ještě ručně a velmi opatrně rozmělněn na jemnější frakci, tak aby nedošlo k poškození zbytků obalového materiálu, které se nacházely v hručkách kompostu. Zbytky obalového materiálu se tedy shromáždily z frakce větší než 2 mm, tzn. nadsítné frakce a opatrně se očistily od kompostu. Takto získané vzorky zbytků obalového materiálu z každého reaktoru byly vloženy do polyethylenového sáčku se zipem a očíslovány dle příslušného čísla reaktoru. Jednotlivé sáčky se vzorky byly zváženy na stejné digitální váze jako při přípravě pokusu.



Obr. 17: Síto Retsch s velikostí otvorů 2 mm

(Zdroj: autorka)

#### 8.1.5.1 Stanovení stupně rozpadu

Zjištěná hmotnost zbytků plastových vzorků (bez hmotnosti sáčku) uvedená v tabulce č. 8 ve sloupci Mr, je nutná pro stanovení procentuálního úbytku materiálu. Stupeň rozpadu (D) se počítá pro každý reaktor zvlášť dle vzorce: [6, s. 11]

$$D(\%) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

$M_i$  – počáteční hmotnost zkoušeného materiálu v suchém stavu, v gramech

$M_r$  – hmotnost vytříděného obalového materiálu v suchém stavu (zbylého na síti), v gramech

Zdroj: ČSN EN 14806

Tab. 8: Hmotnost zbytků vzorků a stanovení stupně rozpadu (Zdroj: autorka)

Číslo reaktoru	Vzorky	$M_i$ [g]	$M_r$ [g]	D [%]
1	Vzorek 1	6,35	0	<b>100</b>
2		6,36	2,95	<b>53,6</b>
3	Vzorek 2	7,72	1,44	<b>81,3</b>
4		7,72	1,43	<b>81,5</b>
5	Vzorek 3	2,43	2,43	<b>0</b>
6		2,19	2,19	<b>0</b>
7	Vzorek 4	2,70	2,70	<b>0</b>
8		2,71	2,71	<b>0</b>

## 8.2 Stanovení fytotoxicity

### 8.2.1 Vstupní materiál

Pro stanovení fytotoxicity sloužil kompost, který vznikl během tříměsíčního kompostování vzorků plastových tašek, které byly po ukončení pokusu z kompostu vyjmuty. Potřeba tedy bylo 8 vzorků kompostu, tzn. z každého reaktoru byl odebrán jeden vzorek. Dále bylo ke stanovení použito 36 keramických květináčů, semena řeřichy seté (*Lepidium sativum*) a to v počtu 36×100, křemičitý písek a substrát. Použita byla stejná analytická digitální váha Precisa 4000 C.

### 8.2.2 Vlastnosti referenčního substrátu

Referenční substrát musí být schopen normálního klíčení a růstu rostlin a v nejlepším případě mít rovněž shodné složení a strukturu se vzorky kompostu. Do substrátu nesmí být dodána žádná umělá hnojiva. Referenčním substrátem byla zvolena směs rašeliny a křemičitého písku. [5, s. 20]

### 8.2.3 Příprava vzorků a založení pokusu

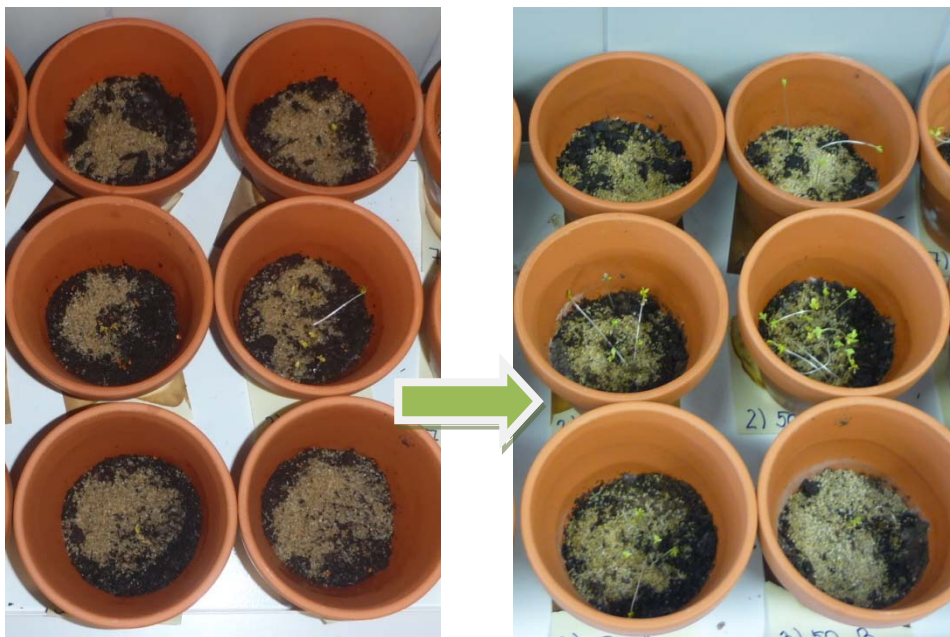
Nejprve byly nachystány směsi referenčního substrátu, které obsahovaly 25 % a 50 % kompostu, rašelinu a křemičitý písek. Každý květináč obsahoval 35 g, 50 g, 52,5 g nebo 75 g směsi dle hmotnosti kompostu po rozkladu zkoumaného materiálu, procentuálního poměru kompostu a referenčního kompostu. Což znamená, že směs vytvořená ze 70 g kompostu, jenž obsahuje 25 % kompostu obsahovala 8,75 g kompostu a 26,25 g substrátu. Poměr směsi vytvořené ze 100 g kompostu, jenž obsahuje 25 % kompostu byla 12,5 g kompostu a 37,5 g substrátu. Naopak směs, která obsahovala 50 % kompostu, tudíž obsahovala 37,5 g kompostu a 37,5 g substrátu.

Osm vzorků kompostu bylo zváženo. Čtyři květináče sloužily jako slepý vzorek (etalon) a byl do nich vložen kompost, jenž nevníkl při kompostování vzorků plastových tašek. Na jeden vzorek kompostu náležely čtyři květináče. Do zbylých 32 květináčů byl navážen vzorek kompostu a substrátu v poměru 1:3 a 1:1 ve dvou opakováních. Na povrch směsi kompostu a substrátu bylo položeno 100 semen řeřichy seté, které byly zahrnuty inertním materiálem – křemičitým pískem (obr. 18). Všechny květináče byly řádně označeny. Místo čísel 1 – 8, byly při tomto pokusu vzorky kompostu označeny písmeny s čísly (A1, A2 – D1, D2, slepý vzorek), jak je uvedeno v tab. č. 9. Na závěr byly květináče umístěny na stinné místo a zavlaženy vodou, aby byla dodržena optimální vlhkost směsi. Voda byla každodenně doplňována.

Tab. 9: Změna značení (Zdroj: autorka)

Reaktor	1	2	3	4	5	6	7	8
Vzorek	<b>Vzorek 1</b>		<b>Vzorek 2</b>		<b>Vzorek 3</b>		<b>Vzorek 4</b>	
Označení květináčů	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2





*Obr. 18: Zahájení a vývoj testu fytotoxicity*

*(Zdroj: autorka)*

#### **8.2.4 Průběh a ukončení fytotoxického pokusu**

Po 14 dnech od založení pokusu byly klíčky (počet rostoucích rostlin) a vyklíčené rostliny na vzorcích kompostu spočítány a porovnány se slepými vzorky. Stejný postup byl proveden po 21 dnech od založení pokusu. Následně byl pokus ukončen. Získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce (tab. 10).

Tab. 10: Množství vyklíčených rostlin po 14 a 21 dnech (Zdroj: autorka)

Číslo vzorku	Vzorek	Počet vyklíčených rostlin	
		14 dnů	21 dnů
A1	25A	80	86
A1	25B	79	89
A1	50A	0	0
A1	50B	7	7
A2	25A	44	82
A2	25B	74	92
A2	50A	7	13
A2	50B	18	29
B1	25A	52	85
B1	25B	63	91
B1	50A	6	18
B1	50B	5	6
B2	25A	39	58
B2	25B	16	19
B2	50A	0	0
B2	50B	0	0
C1	25A	73	73
C1	25B	64	92
C1	50A	3	5
C1	50B	1	3
C2	25A	88	100
C2	25B	56	68
C2	50A	43	63
C2	50B	46	64
D1	25A	71	96
D1	25B	85	98
D1	50A	78	95
D1	50B	52	61
D2	25A	79	95
D2	25B	52	75
D2	50A	63	73
D2	50B	31	38
Slepý vzorek	25A	52	80
Slepý vzorek	25B	58	84
Slepý vzorek	50A	66	83
Slepý vzorek	50B	89	91



## 9 VYHODNOCENÍ POKUSŮ

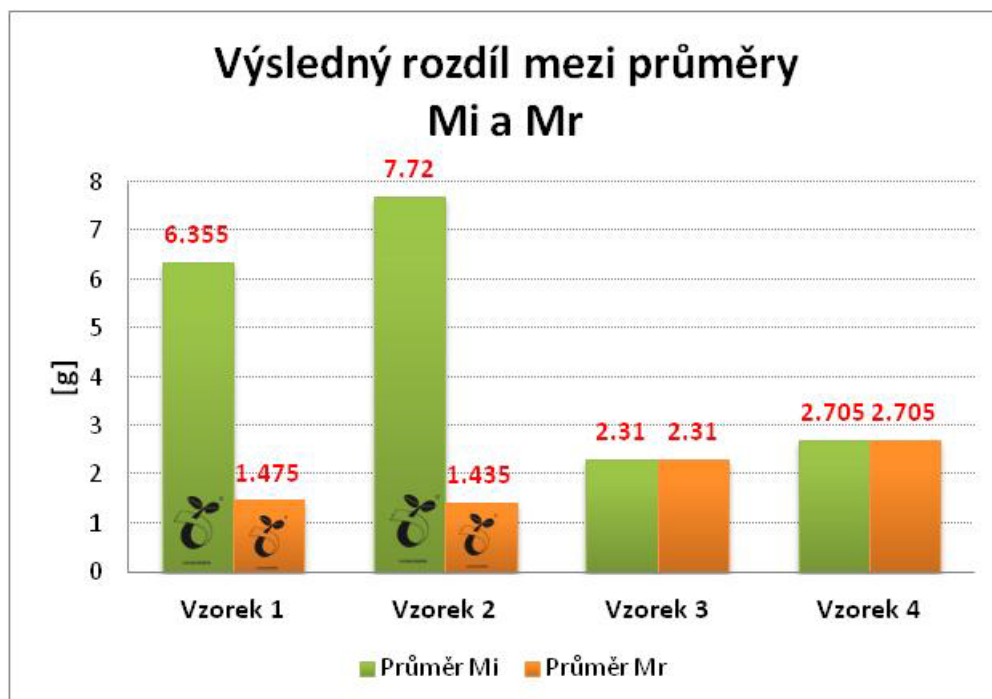
### 9.1 Výsledky rozkladu vzorků plastových tašek

Z důvodu větší přesnosti a věrohodnosti výsledků bylo pro každý vzorek plastové tašky provedeno dvojí opakování. Paralelně s pokusem při teplotě 48 °C probíhal stejný experiment při teplotě 68 °C. V tomto případě byla zkoumána degradabilita za vyšší teploty než je stanoveno normou ČSN EN 14806, podle které vyhodnocení výsledků probíhalo. Dle grafu (obr. 19) i vizuálního pohledu vykazovaly v laboratorních podmínkách rozklad, respektive hmotnostní úbytek dva vzorky plastových tašek. K úbytku materiálové hmotnosti došlo u vzorků 1 a 2 při srovnání s průměrnou počáteční hmotností vzorků. Vzorek 1 byl v reaktoru zcela rozložen. Při jeho prosévání se nevyskytl žádný fragment obalového materiálu ve frakci. U vzorku 3 (reaktor č. 5, 6) a vzorku 4 (reaktor č. 7, 8) nedošlo k žádné degradaci/biodegradaci. Průměrná hmotnost zůstala stejná. Vzorky nevykazovaly žádnou změnu (tab. 11). Vlastnosti materiálu se nezměnily. Barva vzorků byla stále sytá, na dotyk byla taška pevná a soudržná.

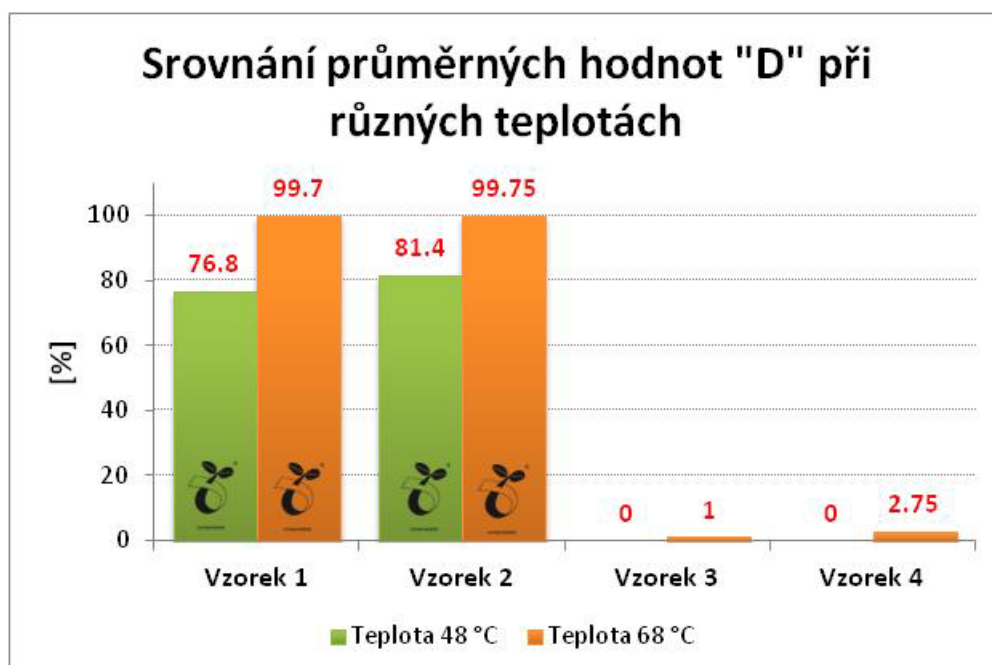
Pro lepší přehlednost byly získané hodnoty stupně rozpadu zprůměrovány a zaznamenány do grafu (obr. 20) spolu s průměrnými hodnotami stupně rozpadu pro teplotu 68 °C. Certifikované vzorky byly v grafu označeny logem semenáčku.

Tab. 11: Průměrné hodnoty  $M_r$  a  $D$  (Zdroj: autorka)

Číslo reaktoru	Vzorky	$M_i$ [g]	Průměr $M_i$ [g]	$M_r$ [g]	Průměr $M_r$	$D$ [%]	průměr $D$ v %
1	Vzorek 1	6.35	6.355	0	1.475	<b>100</b>	76.8
2		6.36		2.95		<b>53.6</b>	
3	Vzorek 2	7.72	7.72	1.44	1.435	<b>81.3</b>	81.4
4		7.72		1.43		<b>81.5</b>	
5	Vzorek 3	2.43	2.31	2.43	2.31	<b>0</b>	0
6		2.19		2.19		<b>0</b>	
7	Vzorek 4	2.7	2.705	2.7	2.705	<b>0</b>	0
8		2.71		2.71		<b>0</b>	



Obr. 19: Srovnání průměrné počáteční ( $M_i$ ) a průměrné konečné hmotnosti ( $M_r$ ) vzorků v suchém stavu  
(Zdroj: autorka)



Obr. 20: Srovnání průměrných hodnot stupně rozpadu všech vzorků při teplotách 48 °C a 68 °C  
(Zdroj: autorka a Bc. Dagmar Dostálová)

### **9.1.1 Vzorky tašek s patrným rozpadem**

#### **Vzorek 1**

V reaktoru 1 byla umístěna plastová taška Bioplaneta jejíž výrobce deklaruje rozložitelnost tašky za 90 – 150 dnů. Z grafu (obr. 19) je zřejmé, že průměrná hmotnost vzorku 1 klesla během kompostování o téměř 5 g. V daném pokusu se vzorek tašky jako jediný za 90 dnů zcela rozložil, tudíž stupeň rozpadu dosáhl hodnoty 100 %. Dle výsledků pokusu je taška oprávněně označena logem semenáčku a je tedy biologicky rozložitelná a kompostovatelná. Do reaktoru č. 2 byl umístěn stejný vzorek tašky, který vykazuje rozdílné hodnoty. V tomto případě byl stupeň rozkladu téměř poloviční, tzn. 53,6 %.

#### **Vzorek 2**

Vzorek 2 umístěný v reaktorech 3 a 4 dosáhl téměř totožného stupně rozkladu – 81,3 % a 81,5 %. Tato taška by měla být kompostovatelná, jelikož je certifikována logem semenáčku. Zpočátku vzorek nevykazoval žádné změny. Až po dvou měsících začaly být vzorky v obou reaktorech méně viditelné a byl patrný rozklad. Výrobce udává rozložitelnost tašky od 6 týdnů do 1 roku. Pokud by daný pokus probíhal déle, s největší pravděpodobností by se vzorky tašky v kompostu zcela rozložily.

### **9.1.2 Vzorky tašek bez známek rozpadu**

Vzorky plastových tašek s označením 3 a 4 se řadí do kategorie oxo-biodegradabilní, jelikož obsahovaly TDPA aditivum, včetně HDPE. Výrobce vzorku 3 deklaruje rozložitelnost svého produktu za 24 měsíců. Vzorek 4 má dobu rozložitelnosti dle výrobce poněkud delší – tři roky. Oba vzorky tašek nebyly certifikovány žádnou organizací prokazující biologickou rozložitelnost výrobků.

Ve všech čtyřech reaktorech zůstaly nezměněné kusy vzorků, které byly na začátku pokusu do reaktorů vloženy. Dle stupně rozpadu u vzorků 3 a 4 se žádný rozpad neuskutečnil. Rovněž dle každodenního sledování vzorků, bylo patrné, že během tří měsíců pokusu v laboratorních podmínkách nevykazovaly tyto dva vzorky žádnou degradaci a nebyly pozorovány ani vizuální změny. Tyto tašky nejsou vhodné ke kompostování.

## 9.2 Výsledky a vyhodnocení fytotoxického pokusu

Získané hodnoty za 14 a 21 dnů byly následně zprůměrovány (tab. 12), popsány a vykresleny do grafů pro jednotlivé vzorky.

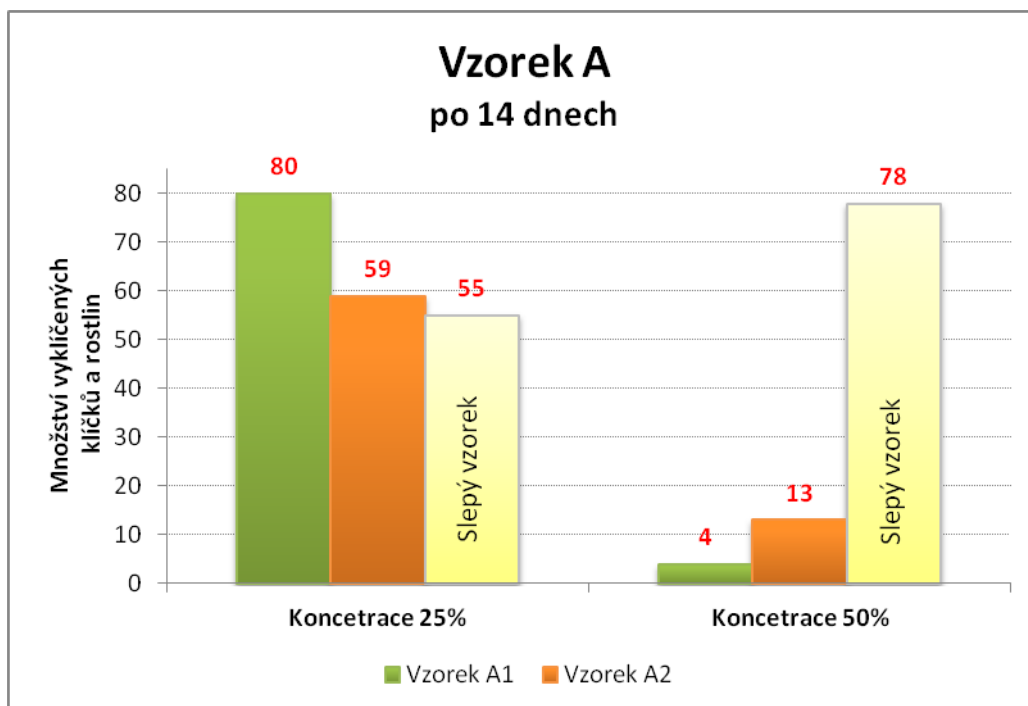
Tab. 12: Zprůměrované hodnoty po 14 a 21 dnech (Zdroj: autorka)

Číslo vzorku	Koncentrace	Průměr	
		14 dnů	21 dnů
A1	25 %	80	88
A1	50 %	4	4
A2	25 %	59	87
A2	50 %	13	21
B1	25 %	58	88
B1	50 %	6	12
B2	25 %	27	39
B2	50 %	0	0
C1	25 %	69	83
C1	50 %	2	4
C2	25 %	72	84
C2	50 %	45	64
D1	25 %	78	97
D1	50 %	65	78
D2	25 %	66	85
D2	50 %	47	56
Slepý vzorek	25 %	55	82
Slepý vzorek	50 %	78	87

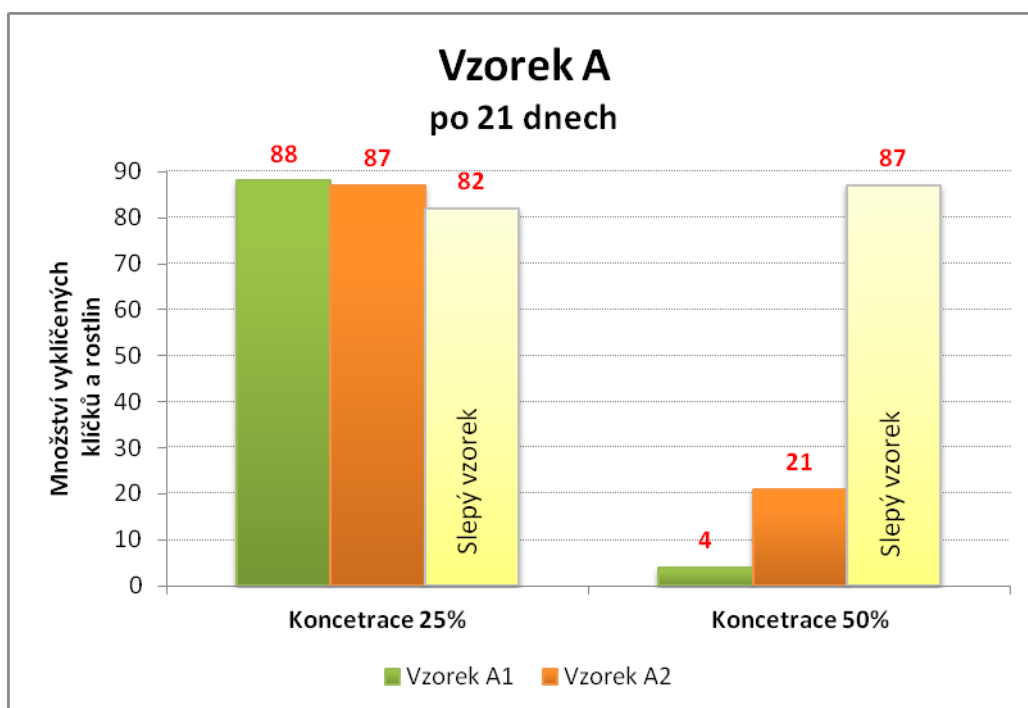
### 9.2.1 Vzorek A (vzorek 1)

Při koncentraci 25 % vykazoval po 14 dnech vzorek A1 i vzorek A2 vyšší klíčivost v porovnání se slepým vzorkem (obr. 21). Naopak při koncentraci 50 % byla klíčivost obou vzorků (A1, A2) v porovnání se slepým vzorkem velmi nízká (obr. 21).

Po 21 dnech, klíčivost při koncentraci 25 % vzrostla a byla u vzorků A1 i A2 o něco vyšší ve srovnání se slepým vzorkem. Vzorky A1 a A2 měly klíčivost při 50% koncentraci po 21 dnech stále velmi nízkou oproti slepému vzorku (obr. 22).



*Obr. 21: Vyhodnocení vzorku A po 14 dnech  
(Zdroj: autorka)*

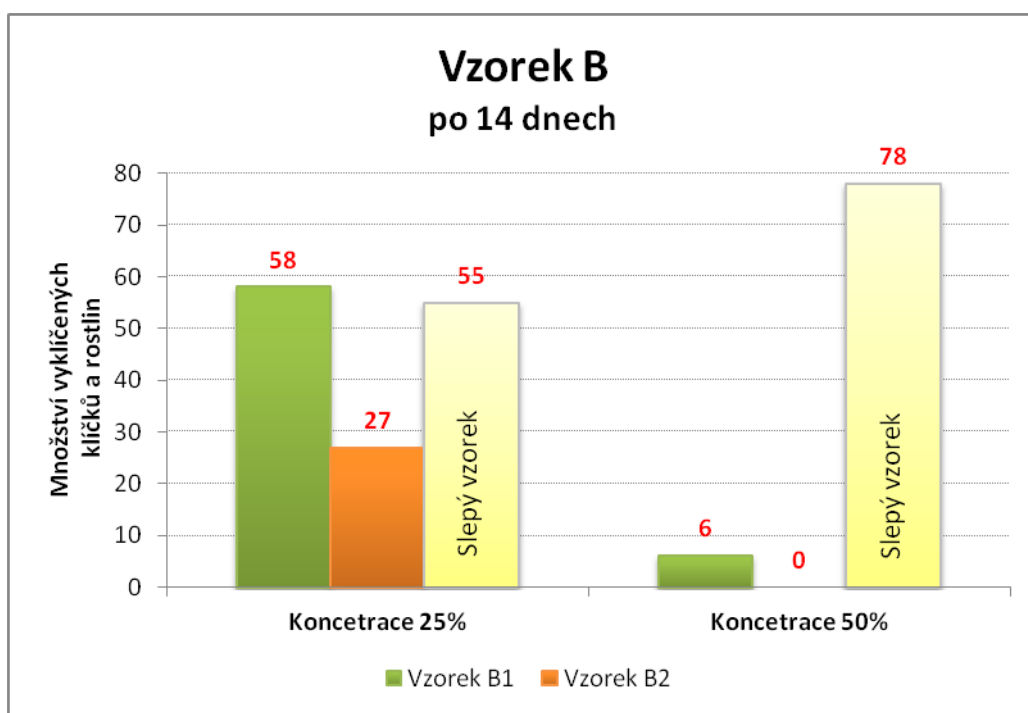


*Obr. 22: Vyhodnocení vzorku A po 21 dnech  
(Zdroj: autorka)*

### 9.2.2 Vzorek B (vzorek 2)

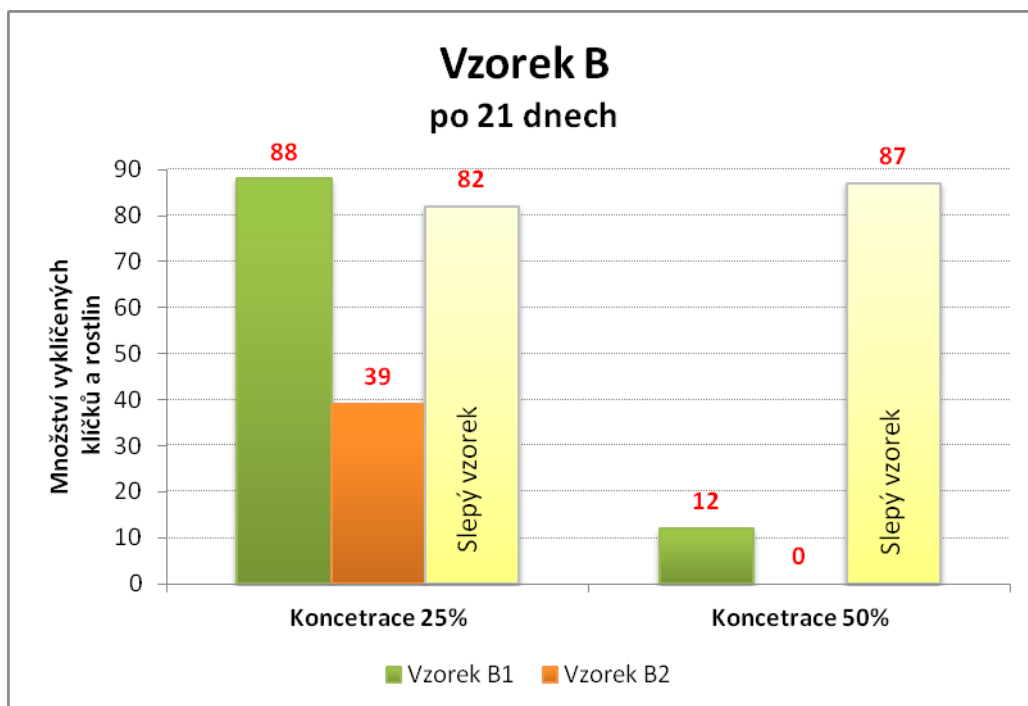
Po 14 dnech vykazoval vzorek B1 při koncentraci 25 % téměř srovnatelnou klíčivost se slepým vzorkem. Při této koncentraci dosáhl vzorek B2 poloviční klíčivosti. Slepý vzorek měl při 50% koncentraci klíčivost vysokou. Avšak vzorek B1 ani B2 nedosáhl jeho hodnot. Vzorek B1 měl klíčivost velmi nízkou a vzorek B2 vůbec nevyklíčil (obr. 23).

Jak je patrné z grafu (obr. 24), byla situace po uplynutí 21 dnů téměř totožná. Při koncentraci 25 % vyklíčil vzorek B1 opět o trochu více než slepý vzorek a vzorek B2 naopak méně. Při koncentraci 50 % byla klíčivost vzorku B1 velmi nízká ve srovnání se slepým vzorkem. U vzorku B2 nedošlo znovu k žádnému vyklíčení řepičky seté.



Obr. 23: Vyhodnocení vzorku B po 14 dnech

(Zdroj: autorka)

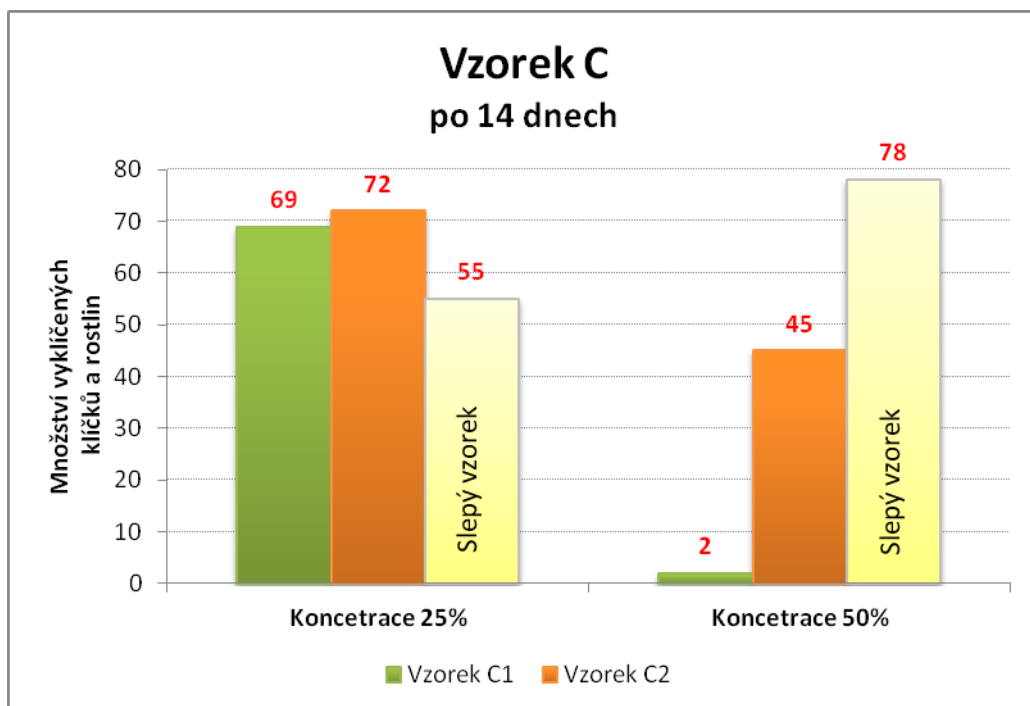


Obr. 24: Vyhodnocení vzorku B po 21 dnech  
(Zdroj: autorka)

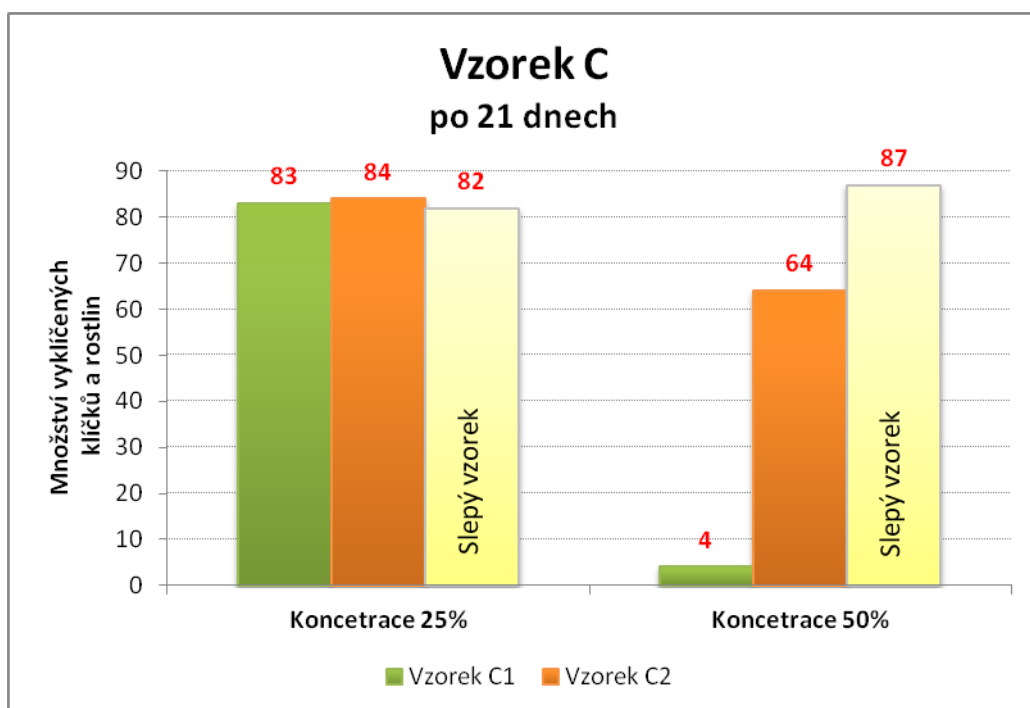
### 9.2.3 Vzorek C (vzorek 3)

Vzorky C1 a C2 měly při 25% koncentraci za 14 dnů vyšší klíčivost než slepý vzorek o stejné koncentraci. Při 50% koncentraci dosahoval slepý vzorek výrazně vyšších hodnot, avšak klíčivost vzorků byla velmi nízká. Vzorek C1 nevyklíčil skoro vůbec a vzorek C2 klíčil rovněž hůře v porovnání slepým vzorkem (obr. 25).

Klíčivost vzorků C1 a C2 v porovnání se slepým vzorkem byla po 21 dnech prakticky vyrovnaná. Větší rozdílnosti byly patrné při koncentraci 50%. Slepý vzorek měl klíčivost nejvyšší. Vzorek C1 dosáhl oproti slepému vzorku velice nízkých hodnot. Klíčivost vzorku C2 byla významně vyšší než u vzorku C1, avšak ve srovnání se slepým vzorkem klíčil vzorek C2 špatně (obr. 26).



*Obr. 25: Vyhodnocení vzorku C po 14 dnech  
(Zdroj: autorka)*



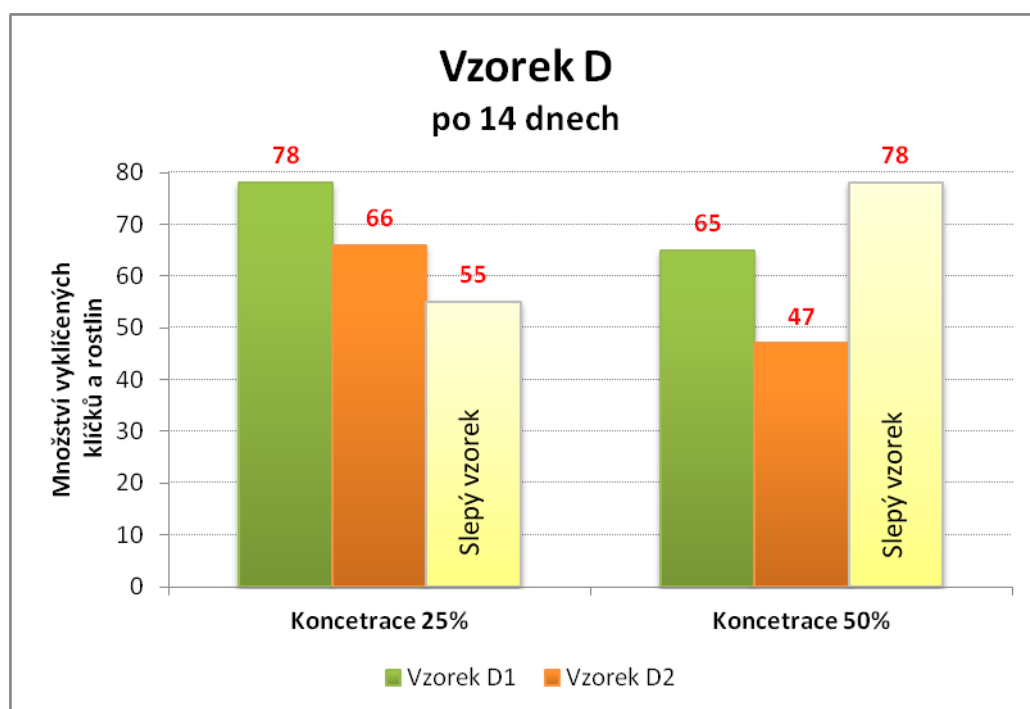
*Obr. 26: Vyhodnocení vzorku C po 21 dnech  
(Zdroj: autorka)*



#### 9.2.4 Vzorek D (vzorek 4)

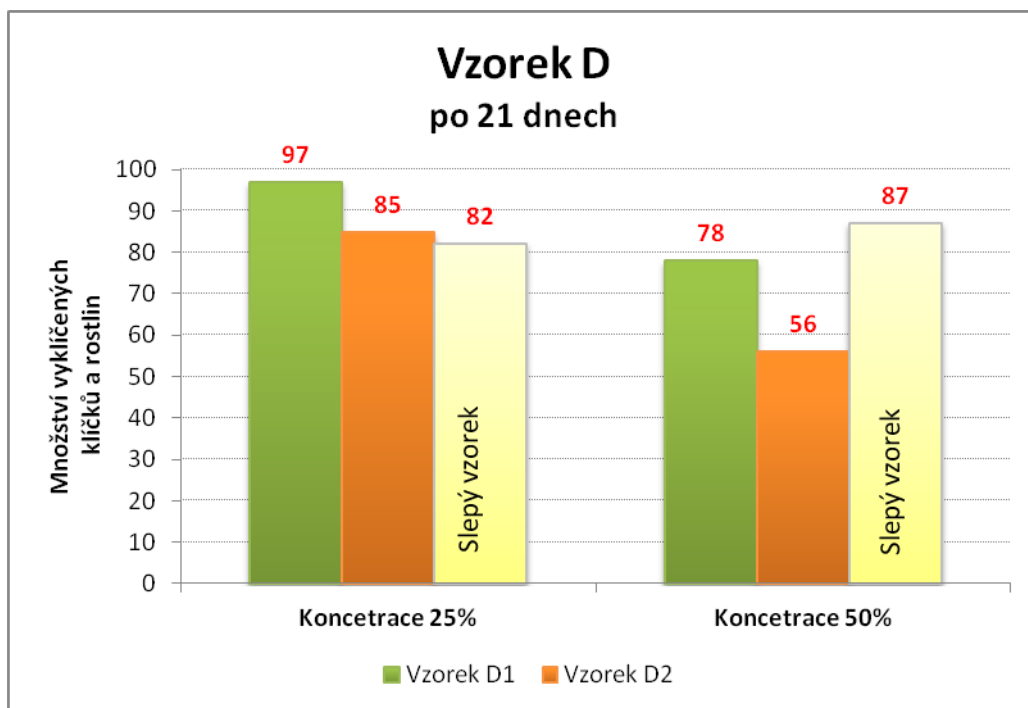
Po 14 dnech vykazoval nejvyšší hodnotu při koncentraci 25 % vzorek D1 ve srovnání se slepým vzorkem. Vzorek D2 měl nižší klíčivost než vzorek D1, ale oproti slepému vzorku dosáhl vyšší klíčivosti. Při koncentraci 50 % klíčil vzorek D1 v menším množství v porovnání se slepým vzorkem. Ještě nižší klíčivost měl vzorek D2 (obr. 27).

Vzorek D1 měl při 25% koncentraci po 14 dnech klíčivost vyšší i oproti slepému vzorku. Vzorek D2 vykazoval při 25% koncentraci vyšší klíčivost než při koncentraci 50 % v porovnání se slepým vzorkem. Vzorek D1 s 50% koncentrací dosahoval nižší klíčivosti než slepý vzorek, který měl klíčivost nejvyšší (obr. 28).



Obr. 27: Vyhodnocení vzorku D po 14 dnech

(Zdroj: autorka)



*Obr. 28: Vyhodnocení vzorku D po 21 dnech  
(Zdroj: autorka)*

### 9.2.5 Souhrnný přehled získaných výsledků

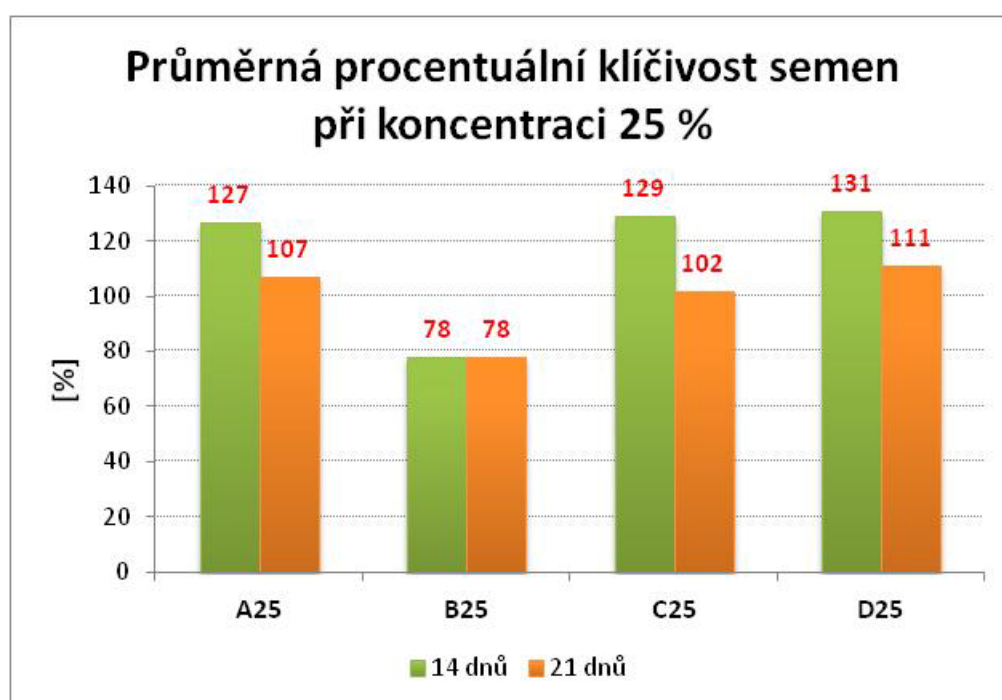
Získané výsledné hodnoty byly pro jednotlivé vzorky o koncentraci 25 % a 50 % zprůměrovány a počet vyklíčených semen procentuálně vyjádřen (tab. 13 a tab. 14). Vypočítané hodnoty obou koncentrací byly zaneseny do grafů.

Zprůměrované hodnoty o příslušné koncentraci byly stanoveny průměrem vzorků. Výsledek vzorku A25 při koncentraci 25 % vznikl průměrem průměrných hodnot vzorků A1 a A2 o této koncentraci. Postup u dalších vzorků – B25, C25, D25 o stejné koncentraci byl totožný. Stejným způsobem probíhalo i získávání hodnot vzorků A50, B50, C50, D50 o koncentraci 50 %. Například výsledek vzorku B50 vznikl rovněž průměrem průměrných hodnot vzorků B1 a B2 o koncentraci 50 %.

Hodnoty slepých vzorků o příslušné koncentraci byly použity k zjištění procentuálního počtu vyklíčených semen. Počet semen slepého vzorku tvořilo 100 %.

Tab. 13: Zprůměrované hodnoty vzorků o koncentraci 25 % a procentuální počet vyklíčených semen (Zdroj: autorka)

Vzorek 25 %	Slepý vzorek 14 dnů	Slepý vzorek 21 dnů	Počet semen	Počet vyklíčených semen		Počet vyklíčených semen v %	
				14 dnů	21 dnů	14 dnů	21 dnů
A25	55	82	100	70	88	127	107
B25	55	82	100	43	64	78	78
C25	55	82	100	71	84	129	102
D25	55	82	100	72	91	131	111



Obr. 29: Procentuální poměr vzorků A25 – D25 o koncentraci 25 % vzhledem ke slepému vzorku po 14 a 21 dnech

(Zdroj: autorka)

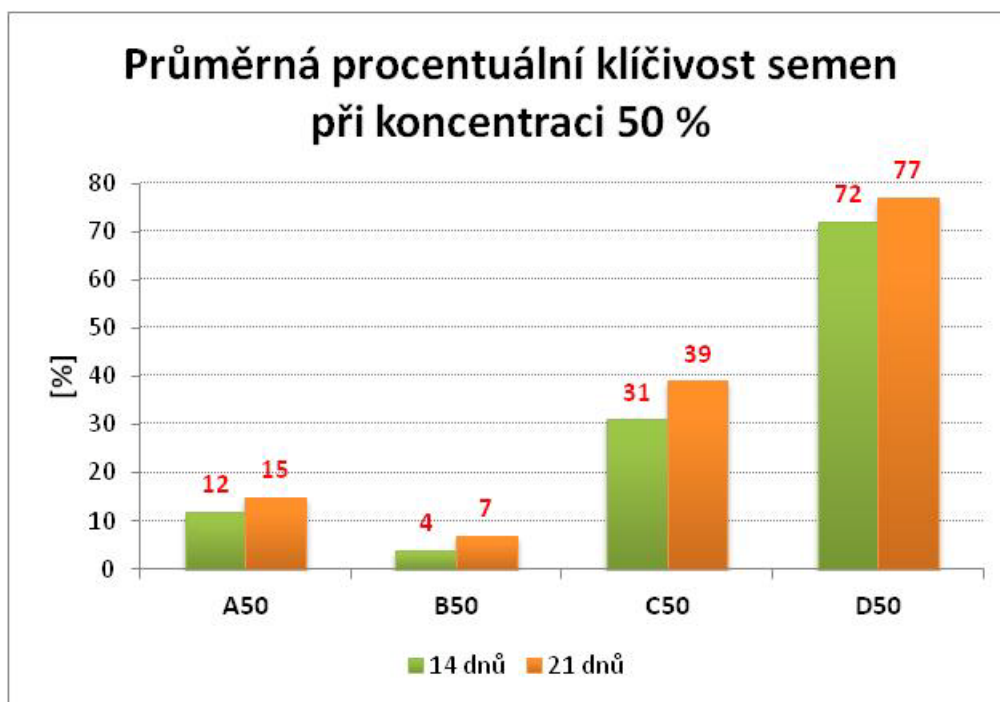
Jak je patrné z grafu (obr. 29), ve vzorku A25 o koncentraci 25 % vyrostlo po 14 dnech o 27 % více klíčků než ve slepém vzorku. Pouze vzorek B25 vykazoval klíčivost nižší než slepý vzorek – 78 %. Ve vzorku C25 vyklíčilo o 29 % více klíčků a rostlin než ve slepém vzorku. Nejvyšší klíčivost měl při 25% koncentraci po 14 dnech vzorek D25. Klíčivost semen byla o 31 % vyšší ve srovnání se slepým vzorkem.

Klíčivost při koncentraci 25 % po 21 dnech byla dle oranžových sloupců v grafu (obr. 29) nižší ve srovnání s klíčivostí za 14 dnů. Vzorek A25 vykazoval klíčivost o 7 % vyšší než měl slepý vzorek. Nižší klíčivost ve srovnání se slepým vzorkem byla

vyhodnocena opět u vzorku B25. Ve vzorku C25 vyklíčilo pouze o 2 % více semen než ve slepém vzorku. Vzorek D25 dosáhl i po 21 dnech nejvyšší klíčivosti, která byla o 11 % vyšší než ve slepém vzorku.

Tab. 14: Zprůměrované hodnoty vzorků o koncentraci 50 % a procentuální počet vyklíčených semen (Zdroj: autorka)

Vzorek 50 %	Slepý vzorek 14 dnů	Slepý vzorek 21 dnů	Počet semen	Počet vyklíčených semen		Počet vyklíčených semen v %	
				14 dnů	21 dnů	14 dnů	21 dnů
A50	78	87	100	9	13	12	15
B50	78	87	100	3	6	4	7
C50	78	87	100	24	34	31	39
D50	78	87	100	56	67	72	77



Obr. 30: Procentuální poměr vzorků A50 – D50 o koncentraci 50 % vzhledem ke slepému vzorku po 14 a 21 dnech

(Zdroj: autorka)

Při 50% koncentraci nedosahovaly vzorky dle grafu (obr. 30) tak vysoké klíčivosti, jako tomu bylo u vzorků při koncentraci 25 %. Všechny vzorky měly klíčivost nižší než slepý vzorek. Po 14 dnech klíčení dosáhl vzorek A50 12% klíčivosti klíčků

a rostlin. Vzorek B50 vykazoval klíčivost znovu nejnižší – 4%. Vzorek C50 vykazoval 31% klíčivost semen. Nejvyšší klíčivost byla zaznamenána u vzorku D50 a činila 72 %.

Klíčivost při koncentraci 50 % po 21 dnech byla u vzorku A50 pouze 15%. Vzorek B50 vykazoval klíčivost nejnižší, pouhých 7 %. Ve vzorku C50 vyklíčilo 39 % semen. U vzorku D50 byla vyhodnocena klíčivost nejvyšší, která dosahovala 77 % (obr. 30).

## 10 DISKUZE

Paralelně s pokusem při teplotě 48 °C probíhal v laboratorních podmínkách stejný experiment při teplotě 68 °C. V tomto případě byla tedy zkoumána degradabilita za vyšší teploty než je stanoveno normou ČSN EN 14806.

Vzorky 1 a 2 pocházející z obnovitelných zdrojů jakými jsou bramborový škrob či celulóza se rozkládaly velmi dobře. Kompletní biodegradace při teplotě 48 °C nastala během tříměsíčního pokusu u vzorku 1, jehož průměrný stupeň rozpadu činil 76,8 %, protože ve druhém reaktoru s totožným vzorkem byl stupeň rozpadu pouhých 53,6 %. Přesto je průměrný stupeň rozpadu ve srovnání se stupněm rozpadu vzorku 1 při 68 °C relativně nízký. Jelikož při vyšší teplotě dosáhl vzorek 1 průměrného stupně rozpadu 99,7 %. Vzorek 2 vykazoval pokročilou úroveň biodegradace. K jeho celkové biodegradaci při 48 °C nedošlo, ale v průměru vykazoval jeho stupeň rozpadu (81,4 %) vyšší rozložitelnost než tomu bylo u vzorku 1. V porovnání se stejným vzorkem rozkládající se při teplotě 68 °C dosáhl průměrný stupeň rozpadu hodnoty opět vyšší, konkrétně 99,75 %. Výrazná degradace nastala pouze u vzorků, které jsou certifikovány jako kompostovatelné. Vzorky 3 a 4 se svým složením řadí mezi oxo-biodegradabilní plasty a během kompostování nebyla u těchto vzorků pozorována žádná změna, ať už vizuálního či hmotnostního charakteru. Přestože mnohé studie potvrzují biodegradabilitu těchto plastů, v daném pokusu zůstaly vzorky 3 a 4 zcela neporušeny, a proto byl stupeň rozpadu 0 %. Rovněž i při teplotě 68 °C vykazovaly téměř nulovou rozložitelnost. Průměrný stupeň rozpadu vzorku 3 byl pouze 1 % a u vzorku 4 činil 2,75 %.

Při teplotách 48 °C i 68 °C vykazoval nejvyšší průměrný stupeň rozpadu certifikovaný vzorek 2, jehož degradabilita byla prokazatelně vyšší než u ostatních vzorků. Nejnižší průměrný stupeň rozpadu byl zaznamenán za daných podmínek u vzorku 3, který neprojevil prakticky žádnou degradabilitu. Certifikovaný vzorek 1 se při obou teplotách rovněž rozložil, avšak při teplotě 68 °C byl průměrný rozklad o dost vyšší (téměř 100 %) v porovnání se vzorkem kompostovaným při teplotě 48 °C. Velmi nízký průměrný stupeň rozkladu vykazoval i vzorek 4, který za vyšší teploty projevil alespoň malou degradabilitu oproti stejnému vzorku, jenž byl kompostován při nižší teplotě.

Provedením pokusu bylo zjištěno, že degradace je především podmíněna druhem biodegradabilního plastu, ze kterého je taška vyrobena. Teplota velkou měrou ovlivňuje

rychlost nastartování kompostovacího procesu. Vzorky pocházející z obnovitelných zdrojů je možné kompostovat i za nižších teplot, jak bylo pokusem dokázáno. Avšak rychlost rozkladu a stupeň rozpadu jsou nižší teplotou negativně ovlivněny. Vzorky z obnovitelných zdrojů se při daném tříměsíčním pokusu mnohem lépe a rychleji rozkládaly při teplotě 68 °C v laboratorních podmínkách kompostování. Naopak materiály s přidanými aditivami nedosáhly výrobci garantovaných výsledků ani při jedné z teplot.

V testu fytotoxicity byl nejhůře vyhodnocen vzorek B (vzorek 2), tudíž měl nejvyšší fytotoxicitu ze všech vzorků. Vykazoval nejnižší klíčivost semen při koncentraci kompostu 25 % i 50 %. Nejnižších hodnot dosahoval v porovnání s ostatními vzorky jak po 14 dnech, tak i po 21 dnech. Nejnižší fytotoxicita byla vypočtena u vzorku D (vzorek 4), jehož semena velmi dobře klíčila při obou koncentracích kompostu a rovněž i po 14 a 21 dnech.

Klíčivost vzorků byla významně ovlivněna koncentrací kompostu, v nichž se semena řechy seté nacházela. Kompost o koncentraci 25 % vykazoval výrazně vyšší klíčivost semen ve srovnání s kompostem o koncentraci 50 %, jehož vzorky klíčily podstatně méně.

Fytotoxicita je vyhodnocována dle normy ČSN EN 13432, která říká, že kompost není fytotoxický pokud je klíčivost v porovnání s kontrolním vzorkem více než 90 %. Za nefytotoxický kompost lze tedy považovat vzorky A (vzorek 1), C (vzorek 3) a D (vzorek 4) o koncentraci 25 % po 21 dnech realizace pokusu. Takové vzorky mohou být použity jako hnojivo. Klíčivost u všech vzorků kompostu při 50% koncentraci byla vyhodnocena jako velmi nízká a žádný vzorek tak ani nesplnil podmínku klíčivosti větší než 90 %. Z tohoto důvodu nemůže být žádný kompost o 50% koncentraci použit jako hnojivo.

## 11 ZÁVĚR

Hlavním tématem diplomové práce bylo hodnocení rozkladu čtyř vzorků vybraných plastových tašek, u nichž byla výrobcí deklarována rozložitelnost či kompostovatelnost. Vzorky tašek byly podrobeny tříměsíčnímu pokusu v laboratorních podmínkách kompostování. Cílem bylo zjistit, zda jsou tyto biodegradabilní materiály rozložitelné i při nižší teplotě než je dáno normou ČSN EN 14806, která stanovuje teplotu o 10 °C vyšší. Po ukončení pokusu byl započat druhý experiment, jehož cílem bylo vyhodnotit fytotoxicitu vzniklého kompostu při rozkladu vzorků tašek.

Z výsledků vyplývá, že vzorek 2 (vzorek B) měl sice nejvyšší průměrný stupeň rozpadu, avšak vykazoval nejvyšší známky fytotoxicity a nejnižší klíčivost semen řechyčy seté. Vzorky 3 (vzorek C) a vzorky 4 (vzorek D) se v prostředí kompostu nerozložily vůbec, což mělo pravděpodobně vliv na dobrou klíčivost a vzorky tedy neobsahovaly fytotoxiny. Vzorek 4 dosáhl v testu fytotoxicity nejlepších výsledků. Jeho klíčivost semen byla nejvyšší.

Při celkovém zhodnocení výsledků lze tvrdit, že nejlepších hodnot dosáhl vzorek 1 (vzorek A). Jeho průměrná degradace byla poměrně vysoká. Při 25% koncentraci kompostu nedosahoval vzorek fytotoxických hodnot a jeho klíčivost byla oproti slepému vzorku vyšší. Oxo-biodegradabilní plasty s přidanými aditivami nejsou na základě proběhlého pokusu vhodné ke kompostování a tvrzení výrobce o 100% rozložitelnosti u vzorku 4 je spíše marketingovým tahem. Dalším z této kategorie plastů byl vzorek 3, který se nevykazoval žádné známky rozkladu, ale výrobce uvádí jeho rozložitelnost až za 24 měsíců. Při delším trvání pokusu obou vzorků by možná vzorek začal jevit známky rozkladu.

Dle mého názoru musí být biodegradabilní tašky kompostovány pouze za specifických podmínek, aby došlo k jejich degradaci/biodegradaci. Považuji za náročné pro laika dodržet a splnit veškeré podmínky k nastartování a udržení kompostovacího procesu. Pokud by taková plastová taška byla zanechána ve volné přírodě, probíhala by její biodegradabilita značně pomalu. Certifikace a uváděné výroky o 100% rozložitelnosti, šetrnosti k přírodě či kompostovatelnosti navádí spotřebitele k tomu, že mohou tašku s klidným svědomím ponechat v přírodním prostředí bez povšimnutí a ona se za několik týdnů samovolně zcela rozloží. Přesto mají ale BDP kratší životní cyklus oproti syntetickým plastům pocházejících z ropy.



Myslím, že prozatím není možné, aby byly syntetické plasty větší měrou nahrazeny BDP, jelikož se výsledky LCA analýz liší a není tedy 100% znám koncový dopad BDP na životní prostředí. Rovněž není vyřešeno optimální nakládání s BDP.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ASTM International. *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 2004, 2015 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/ASTM\\_International](http://en.wikipedia.org/wiki/ASTM_International)
2. Biodegradabilní plasty a jejich využití. In: SLAVÍKOVÁ, Halka. *Výzkum pro hospodaření s odpady v rámci ochrany životního prostředí a udržitelného rozvoje: (Prevence a minimalizace vzniku odpadů a jejich hodnocení)*. Praha: IT Design Praha, 2008, s. 3150-3157. ISBN 978-80-02-02011-0.
3. Bioplastové tašky. *Bioplaneta* [online]. 2010 [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.bioplaneta.cz/bioplastove-tasky.html>
4. Časté otázky: Jaký je rozdíl mezi kompostovatelným a biodegradabilním plastem?. *Nakompost.cz: HBABio spol. s r.o.* [online]. 2013 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: [http://www.nakompost.cz/cs/content/9-caste-otazky#jake\\_jsou\\_druhy\\_BDP](http://www.nakompost.cz/cs/content/9-caste-otazky#jake_jsou_druhy_BDP)
5. ČSN EN 13432. *Obaly – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci: Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijaté obalu*. Český normalizační institut, 2001.
6. ČSN EN 14806. *Obaly – Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku*. Český normalizační institut, 2006.
7. ČSN seznam: Vyhledávání v seznamu normativních dokumentů ÚNMZ. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://seznamcsn.unmz.cz/vyhledavani.aspx>
8. DIN. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2005 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/DIN>

9. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0.
10. Eroze zemědělské půdy: Jaký velký je podíl zemědělské půdy ohrožené erozí?. INFORMAČNÍ SYSTÉM STATISTIKY A REPORTINGU. *Klíčové indikátory životního prostředí České republiky: Půda a krajina, zemědělství* [online]. 2014 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1887>
11. European and Mediterranean Plant Protection Organization. *Efficacy evaluation of plant protection products - Phytotoxicity assessment* [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2338.2007.01067.x/pdf>
12. EUROPEAN BIOPLASTICS. *BIOPLASTICS facts and figures*. 2013. Dostupné z: [http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP\\_FactsFigures\\_bioplastics\\_2013.pdf](http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf)
13. EUROPEAN BIOPLASTICS. *Bioplastic carrier bags – a step forward: Great variety. Full performance. Better for the environment*. Berlin, 2014. Dostupné z: [http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2014/publications/EuBP\\_FS\\_shopping\\_bags\\_2014.pdf](http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2014/publications/EuBP_FS_shopping_bags_2014.pdf)
14. EUROPEAN BIOPLASTICS. *"Oxo-Biodegradable" Plastics*. 2009. Dostupné z: [http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/pp/Oxo\\_Positions\\_Paper.pdf](http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/pp/Oxo_Positions_Paper.pdf)
15. EVROPSKÁ KOMISE. *Zelená kniha: Evropská strategie pro řešení problematiky plastového odpadu v životním prostředí*. Brusel, 2013. Dostupné z: <http://www.senat.cz/xqw/webdav/pssenat/original/67967/57180>
16. HORVAT, Petra a Andrej KRŽAN. *PLASTICE. Certifikácia bioplastov*. 2012.

17. Industrial Compostable Products. *DIN CERTCO* [online]. [cit. 2015-03-19].  
Dostupné z:[http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte\\_leistungen/zertifizierung\\_produkte/umwelt\\_1/industriell\\_kompostierbare\\_produkte/industriell\\_kompostierbare\\_produkte.html](http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte_leistungen/zertifizierung_produkte/umwelt_1/industriell_kompostierbare_produkte/industriell_kompostierbare_produkte.html)
18. KALINA, Miroslav. *Kompostování a péče o půdu*. 2., upr. vyd. Praha: Grada, 2004, 116 s. Česká zahrada. ISBN 80-247-0907-4.
19. KOLLÁROVÁ, Mária. *Zásady pro zpracování zbytkové biomasy z údržby TTP*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 35 s. ISBN 978-80-86884-32-5.
20. KROISOVÁ, Dora. *Biodegradovatelné polymery - úvod do problematiky*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, 78 s. ISBN 978-80-7372-468-9.
21. KROPÁČEK, Ivo. Evropa proti plastovým odpadům. *Deník Referendum* [online]. 2014 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://denikreferendum.cz/clanek/17277-evropa-proti-plastovym-odpadum>
22. KURAŠ, Mečislav. *Odpadové hospodářství*. Vyd. 1. Chrudim: Ekomonitor, 2008, 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0.
23. Ministerstvo podporuje snižování počtu igelitek, patrně se změní předpisy. *ParlamentníListy.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.parlamentnilisty.cz/arena/monitor/Ministerstvo-podporuje-snizovani-poctu-igelitek-patrne-se-zmeni-predpisy-346850>
24. NESVADBA, Jindřich. *Kompostování odpadů*. Praha: INKOTEKA - Environmental Experts, 1996, 1 sv.

25. Omezit igelitky? České ministerstvo pro, obchodníci proti. *Aktuálně.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/omezime-pouzivani-igelitovych-tasek-dohodly-se-zemeeu/r~674fe406717f11e490f70025900fea04/>
26. O nás. *Kompostuj.cz: Vracíme, co si bereme.* [online]. 2009, 2015 [cit. 2015-02-06]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/o-nas/>
27. PLASTICSEUROPE. *Plastics – the Facts 2013: An analysis of European latest plastics production, demand and waste data.* 2013.
28. PLÍVA, Petr. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu.* Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006, 65 s. ISBN 80-86884-11-2.
29. Products made of compostable materials for home and garden composting. *DIN CERTCO* [online]. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: [http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte\\_leistungen/zertifizierung\\_produkte/umwelt\\_1/produkte\\_aus\\_biologisch\\_abbaubaren\\_werkstoffen/produkte\\_biologisch\\_abbaubaren\\_werkstoffen\\_heimkompostierung\\_gartenkompostierung.html](http://www.dincertco.de/en/dincertco/produkte_leistungen/zertifizierung_produkte/umwelt_1/produkte_aus_biologisch_abbaubaren_werkstoffen/produkte_biologisch_abbaubaren_werkstoffen_heimkompostierung_gartenkompostierung.html)
30. S igelitkami zdarma končí poslední z velkých řetězců. *Aktuálně.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://zpravy.aktualne.cz/finance/nakupovani/take-globus-skonci-s-igelitkami-zdarma-uz-v-lednu/r~8382b910446b11e3951a002590604f2e/>
31. SLEJŠKA, Antonín. Oxo-rozložitelný plast d2w. *Biom.cz* [online]. 2004-07-12 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/oxo-rozlozitelny-plast-d2w>. ISSN: 1801-2655.
32. SPĚŠNÁ, Lucie. *Vývoj biodegradabilních plastů na českém trhu.* Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita.

33. TESAŘOVÁ, Marta. *Biologické zpracování odpadů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010, 129 s. ISBN 978-80-7375-420-4.
34. TONJES, David J. a Krista L. GREENE. STONY BROOK UNIVERSITY. *Degradable Plastics and Solid Waste Management Systems*. New York, 2013.  
Dostupné z:  
<http://www.stonybrook.edu/est/people/documents/Degradable%20Plastics.pdf>
35. VANĚK, Tomáš. ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ BOTANIKY AV ČR, v. v. i. *Biodegradabilní plasty v procesech nakládání s odpady*. EKO-KOM, 2013. 14. ročník konference ODPADY a OBCE: Hospodaření s komunálními odpady.  
Dostupné z: [http://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/sborniky/sbornik\\_Odpady\\_a\\_obce\\_2013.pdf](http://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/sborniky/sbornik_Odpady_a_obce_2013.pdf)
36. VAVERKOVÁ, Magdalena Daria. *Metodika pro hodnocení rozkladu rozložitelných polymerních materiálů v reálných podmínkách kompostování: certifikovaná metodika*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2014, 22 s. ISBN 978-80-7509-095-9.
37. VAVERKOVÁ, Magdalena, František TOMAN, Dana ADAMCOVÁ a Jana KOTOVICOVÁ. *Study of the Biodegradability of Degradable/Biodegradable Plastic Material in a Controlled Composting Environment*. In: *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2012-01-1, s. -. ISSN 1898-6196. DOI: 10.2478/v10216-011-0025-8. Dostupné z: <http://www.degruyter.com/view/j/eces.2012.19.issue-3/v10216-011-0025-8/v10216-011-0025-8.xml>
38. VÖRÖS, František. Aktuální údaje o plastech a využití plastových odpadů. *TZB-info: Tepelné izolace* [online]. 2014 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/11996-aktualni-udaje-o-plastech-a-vyuziti-plastovych-odpadu>
39. ZEMÁNEK, Pavel. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010, 113 s. ISBN 978-80-86884-52-3.

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Normalizační organizace .....	25
Tab. 2: Certifikační označení dle organizací .....	27
Tab. 3: Vyhodnocení indexu klíčivosti (IK).....	40
Tab. 4: Počáteční hmotnost plastových tašek .....	44
Tab. 5: Chemické a fyzikální vlastnosti kompostu.....	45
Tab. 6: Složení syntetického odpadu .....	46
Tab. 7: Údaje o vzorcích.....	47
Tab. 8: Hmotnost zbytků vzorků a stanovení stupně rozpadu.....	53
Tab. 9: Změna značení.....	54
Tab. 10: Množství vyklíčených rostlin po 14 a 21 dnech.....	56
Tab. 11: Průměrné hodnoty Mr a D.....	57
Tab. 12: Zprůměrované hodnoty po 14 a 21 dnech .....	60
Tab. 13: Zprůměrované hodnoty vzorků o koncentraci 25 % a procentuální počet vyklíčených semen.....	67
Tab. 14: Zprůměrované hodnoty vzorků o koncentraci 50 % a procentuální počet vyklíčených semen.....	68

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Světová produkce plastů za období 1950 – 2050 .....	12
Obr. 2: Globální vývoj výrobní kapacity bioplastů 2009 – 2018 .....	31
Obr. 3: Vzorek 1 .....	43
Obr. 4: Vzorek 2 .....	43
Obr. 5: Vzorek 3 .....	43
Obr. 6: Vzorek 4 .....	43
Obr. 7: Digitální váha Precisa 4000 C .....	44
Obr. 8: Plastové reaktory s víkem na kompostování .....	45
Obr. 9: Promíchávání vytvořeného syntetického odpadu .....	46
Obr. 10: Příprava syntetického odpadu v laboratoři .....	47
Obr. 11: Vlhčení směsi .....	48
Obr. 12: Připravená směs ke kompostování .....	48
Obr. 13: Sušárna Ecocell a v ní vložené reaktory .....	48
Obr. 14: Vývoj teploty a pH v závislosti na čase .....	50
Obr. 15: Změna barvy kompostu .....	51
Obr. 16: Rozklad vzorku 1 (vpravo) a vzorku 2 .....	51
Obr. 17: Síto Retsch s velikostí otvorů 2 mm .....	52
Obr. 18: Zahájení a vývoj testu fytotoxicity .....	55
Obr. 19: Srovnání průměrné počáteční ( $M_i$ ) a průměrné konečné hmotnosti ( $M_r$ ) .....	58
vzorků v suchém stavu .....	58
Obr. 20: Srovnání průměrných hodnot stupně rozpadu všech vzorků .....	58
při teplotách 48 °C a 68 °C .....	58
Obr. 21: Vyhodnocení vzorku A po 14 dnech .....	61
Obr. 22: Vyhodnocení vzorku A po 21 dnech .....	61
Obr. 23: Vyhodnocení vzorku B po 14 dnech .....	62
Obr. 24: Vyhodnocení vzorku B po 21 dnech .....	63
Obr. 25: Vyhodnocení vzorku C po 14 dnech .....	64
Obr. 26: Vyhodnocení vzorku C po 21 dnech .....	64
Obr. 27: Vyhodnocení vzorku D po 14 dnech .....	65
Obr. 28: Vyhodnocení vzorku D po 21 dnech .....	66



Obr. 29: Procentuální poměr vzorků A25 – D25 o koncentraci 25 % vzhledem ke slepému vzorku po 14 a 21 dnech.....	67
Obr. 30: Procentuální poměr vzorků A50 – D50 o koncentraci 50 % vzhledem ke slepému vzorku po 14 a 21 dnech.....	68

## SEZNAM ZKRATEK

ASTM	Americká společnost pro testování a materiály
BDP	Biodegradabilní plast
BPI	Biodegradable Product Institute
CEN	Evropská komise pro normování
ČR	Česká republika
DIN	Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
EU	Evropská unie
HDPE	Vysokohustotní polyethylen
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LCA	Posuzování životního cyklu
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
MDPE	Středněhustotní polyethylen
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PE	Polyethylen
PET, PETP	Polyethylentereftalát
PHA	Polyhydroxyalkanoát
PHB	Polyhydroxybutyrát
PLA	Kyselina polymléčná
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
TDPA	Zcela rozložitelná aditiva pro plasty

## **SEZNAM PŘÍLOH**

### **Příloha 1 – Fotodokumentace**

Fotodokumentace 1: Vzorek 1 (vpravo) a vzorek 2 dne 6.11.2013

Fotodokumentace 2: Měření teploty zapichovacím teploměrem

Fotodokumentace 3: Vzorek 1 (vlevo) a vzorek 2 dne 5.12.2013

Fotodokumentace 4: Vzorek 1 (vpravo) a vzorek 2 dne 21.1.2014

Fotodokumentace 5: Vzorek 3 (vlevo) a vzorek 4 dne 21.1.2014

Fotodokumentace 6: Srovnání viditelného rozkladu mezi vzorkem 1 (vlevo) a vzorkem 3 dne 21.1.2014

### **Příloha 2 – Vývoj sledovaných hodnot v průběhu pokusu**

## Příloha 1 – Fotodokumentace



*Fotodokumentace 1: Vzorek 1 (vpravo) a vzorek 2 dne 6.11.2013  
(Zdroj: autorka)*



*Fotodokumentace 2: Měření teploty zapichovacím teploměrem  
(Zdroj: autorka)*



*Fotodokumentace 3: Vzorek 1 (vlevo) a vzorek 2 dne 5.12.2013  
(Zdroj: autorka)*



*Fotodokumentace 4: Vzorek 1 (vpravo) a vzorek 2 dne 21.1.2014  
(Zdroj: autorka)*



*Fotodokumentace 5: Vzorek 3 (vlevo) a vzorek 4 dne 21.1.2014  
(Zdroj: autorka)*



*Fotodokumentace 6: Srovnání viditelného rozkladu mezi vzorkem 1 (vlevo)  
a vzorkem 3 dne 21.1.2014  
(Zdroj: autorka)*

**Příloha 2 – Vývoj sledovaných hodnot v průběhu pokusu (Zdroj: autorka)**

Datum	Teplota °C	pH
5. 11. 2013	42.8	5
6. 11. 2013	44.6	6.5
7. 11. 2013	45.6	6.5
8. 11. 2013	46.3	6
11. 11. 2013	43.8	5.5
12. 11. 2013	46.5	5
13. 11. 2013	44.6	6.5
14. 11. 2013	45.5	7
15. 11. 2013	45.3	7
18. 11. 2013	47.4	7
19. 11. 2013	46.3	7
20. 11. 2013	47.8	7
21. 11. 2013	46.8	7
22. 11. 2013	44.2	4
25. 11. 2013	45.3	4
26. 11. 2013	46.9	4.5
27. 11. 2013	45.3	4.5
28. 11. 2013	45.0	4
29. 11. 2013	45.5	4
2. 12. 2013	45.5	4
3. 12. 2013	44.8	4

Datum	Teplota °C	pH
4. 12. 2013	45.9	4
5. 12. 2013	46.1	5
6. 12. 2013	45.6	5
9. 12. 2013	47.5	5
10. 12. 2013	47.5	5
11. 12. 2013	47.5	5
12. 12. 2013	46.1	5
13. 12. 2013	42.4	5
16. 12. 2013	46.2	5
17. 12. 2013	45.8	5
18. 12. 2013	46.1	4.5
19. 12. 2013	46.2	4.5
23. 12. 2013	44.9	4
26. 12. 2013	46.2	4
27. 12. 2013	46.1	4
28. 12. 2013	46.0	4
29. 12. 2013	45.8	4
30. 12. 2013	46.2	4
3. 1. 2014	44.8	4
6. 1. 2014	43.8	4
7. 1. 2014	46.0	4

Datum	Teplota °C	pH
8. 1. 2014	41.5	4
9. 1. 2014	42.2	4
10. 1. 2014	41.3	4
13. 1. 2014	42.0	4
14. 1. 2014	41.0	4
15. 1. 2014	41.2	4
16. 1. 2014	41.3	4
17. 1. 2014	42.0	4
20. 1. 2014	41.0	4
21. 1. 2014	41.0	4
22. 1. 2014	45.3	4
23. 1. 2014	41.3	4
24. 1. 2014	44.0	4
27. 1. 2014	42.0	4
28. 1. 2014	44.5	4
29. 1. 2014	41.3	4
30. 1. 2014	41.0	4
31. 1. 2014	41.0	4
3. 2. 2014	41.4	4
4. 2. 2014	42.2	4