

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav aplikované a krajinné ekologie



**Analýza biodegradability plastových materiálů
v laboratorních a reálných podmínkách kompostování**

Diplomová práce

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

Vypracoval:
Bc. Jan Zloch

Brno 2015



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Jan Zloch**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Agroekologie
Konzultant: Bc. Ing. Dana Adamcová, Ph.D.
Název tématu: **Analýza biodegradability plastových materiálů v laboratorních a reálných podmínkách kompostování**
Rozsah práce: cca 50 stran + přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika plastových materiálů se zaměřením na biodegradabilní plasty.
2. Stručná charakteristika procesu kompostování.
3. Normativní prostředí související s biodegradabilními plasty.
4. Realizace pokusu v laboratorních podmínkách s vybranými vzorky.
5. Realizace pokusu v reálných podmínkách domácího kompostování.
6. Vyhodnocení získaných výsledků.



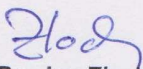
Seznam odborné literatury:

1. RUDNIK, E. *Compostable Polymer Materials*. AE Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2008. 209 s. ISBN 978-0-08-045371-2.
2. ZEMÁNEK, P. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. Praha: VUZT Praha, 2010. 112 s. ISBN 978-80-86884-52-3.
3. ZEMÁNEK, P. – BURG, P. – KOLLÁROVÁ, M. – PLÍVA, P. a kol. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vyd. Praha: VUZT, 2010. 113 s. 1. ISBN 978-80-87091-06-7.
4. ČSN EN 13432 *Obaly – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci – Zkušební schémata a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 24 s.
5. ČSN EN 14806 – *Obaly – Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006. 20 s.
6. JONÁŠOVÁ, A. *Současný stav v oblasti druhotného zpracování a využití plastů*. Bakalářská práce. Brno: MZLU v Brně, 2008. 48 s.
7. VAVERKOVÁ, M. – ADAMCOVÁ, D. – KOTOVICOVÁ, J. – TOMAN, F. Evaluation of biodegradability of plastics bags in composting conditions. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2013. ISSN 1898-6196.
8. ADAMCOVÁ, D. – VAVERKOVÁ, M. – TOMAN, F. Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. sv. 2013, ISSN 1211-8516.
9. VAVERKOVÁ, M. – TOMAN, F. – ADAMCOVÁ, D. – KOTOVICOVÁ, J. Study of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in a controlled composting environment. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2012. sv. 19, č. 3/2012, s. 347–358. ISSN 1898-6196. URL: <http://versita.metapress.com/content/h618153248r3/?p=e71c51255c894338bce8cd7acbf5ce13&pi=0>
10. VAVERKOVÁ, M. – KOTOVICOVÁ, J. – ADAMCOVÁ, D. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment. *Infrastruktura and Ecology of Rural Areas*. 2011. sv. 12, č. 12, s. 93–101. ISSN 1732-5587.


Datum zadání diplomové práce: říjen 2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015

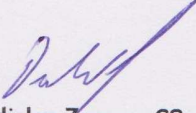
L. S.


Bc. Jan Zloch
Autor práce




Mgr. Ing. Magdalena Vaverková, Ph.D.
Vedoucí práce


prof. Ing. František Toman, CSc.
Vedoucí ústavu


v z.
prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

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

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

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád věnoval velké poděkování vedoucí mé diplomové práce, paní Mgr. Ing. Magdaleně Vaverkové, Ph.D., za odborné vedení práce a ochotu pomoci, také za její čas a vstřícnost k řešení diplomové práce.

Dále mnohokrát děkuji i paní Bc. Ing. Daně Adamcové, Ph.D. za cenné rady a připomínky k dané problematice. Oběma děkuji za pomoc při laboratorních zkouškách.

V neposlední řadě děkuji nejbližší rodině za jejich trpělivost, pochopení a podporu během studia.

ABSTRAKT - Analýza biodegradability plastových materiálů v laboratorních a reálných podmínkách kompostování

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku biodegradabilních či kompostovatelných plastů. Věnuje se jejich vlastnostem a možnostem využití. Práce také objasňuje pojem biodegradabilní a kompostovatelný plast. Dále je v práci popsán proces kompostování a pojmy s ním spojené. V neposlední řadě je několik kapitol věnováno normativnímu prostředí, které se týká rozložitelných plastů.

V několika posledních kapitolách jsou připojeny výzkumy týkající se ověření stupně degradace plastů označovaných jako kompostovatelné, degradovatelné nebo 100% rozložitelné. Proběhly současně dva pokusy rozpadu vybraných vzorků rozložitelných plastů. Zkouška rozpadu v laboratorních i v reálných podmínkách kompostování byla založena v březnu 2014 na dobu tří měsíců. Po uplynutí vymezené doby byl v laboratoři založen navíc test fytoxicity. V reálných podmínkách byla doba pokusu navýšena na 12 měsíců. Po vyhodnocení a porovnání výsledků obou zkoušek rozpadu lze připustit použití rozložitelných plastů při kompostování za kontrolovaných podmínek. Naopak v reálných podmínkách domácího kompostování tyto plasty doporučit nelze, nerozloží se.

Klíčová slova: degradace; stupeň rozpadu; kompost; kompostovatelnost; bioplast; životní prostředí.

ABSTRACT - Analysis of biodegradability of plastic materials in laboratory and real conditions of composting

This thesis is focused on biodegradable or compostable plastics. Focuses on their properties and uses. The work also clarifies the concept of biodegradable and compostable plastic. The work also describes the process of composting and concepts associated with it. Finally, there are several chapters devoted to the normative environment that relates to biodegradable plastics in the thesis.

There are connected researches concerning the verification of the degree of degradation of plastics known as compostable, biodegradable and 100% compostable, in the last few chapters. There were conducted simultaneously two experiments of disintegration selected samples of biodegradable plastics. The tests of disintegration in the laboratory and in real conditions of composting were founded in March 2014 for a period of three months. There was founded a phytotoxicity test after the expiry of the time allotted in the laboratory. In a real conditions the study time was increased to 12 months. After evaluating and comparing the results of both tests disintegration may be allowed the use of biodegradable plastics in composting under controlled conditions. Conversely, in real conditions of home composting these plastics can not be recommended, does not decompose.

Keywords: degradation; the degree of disintegration; compost; compostability; bioplastic; environment.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE.....	10
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1	Charakteristika plastových materiálů.....	11
3.1.1	Polymery	11
3.1.2	Základní klasifikace polymerů.....	12
3.2	Charakteristika biodegradabilních plastových materiálů	13
3.2.1	Biodegradace	14
3.2.2	Plastové materiály šetrnější k ŽP.....	15
3.2.3	Charakteristika biodegradabilních polymerů.....	17
3.2.4	Dostupné bioplasty - rozlišení	18
3.2.5	Výroba a použití bioplastů - nevýhody.....	20
3.2.6	Druhy biodegradabilních plastů a jejich vlastnosti.....	20
3.2.7	Oblasti využití degradabilních plastů	27
3.3	Charakteristika kompostování.....	28
3.4	Normativní prostředí související s biodegradabilními plasty.....	31
3.4.1	ČSN EN 14806	32
3.4.2	ČSN EN 13432	37
3.4.3	Certifikace.....	38
4	MATERIÁL A METODIKA	39
4.1	Cíl výzkumu	39
4.2	Praktická zkouška rozpadu - laboratorní podmínky.....	39
4.2.1	Materiál - vybrané vzorky BDP, laboratorní prostředí.....	39
4.2.2	Metodika - rozpad v laboratorních podmínkách.....	40
4.2.3	Metodika - rozpad v laboratorních podmínkách - ukončení zkoušky	43
4.3	Rozpad v laboratorních podmínkách - test fyto toxicity	44
4.4	Praktická zkouška rozpadu - domácí kompostování.....	47
4.4.1	Materiál - vybrané vzorky BDP, domácí kompostér	47
4.4.2	Metodika - rozpad v procesu domácího kompostování	48
5	VÝSLEDKY.....	51
5.1	Výsledky zkoušky - laboratorní podmínky	51

5.1.1	Výpočty - laboratorní zkouška.....	52
5.1.2	Závěr zkoušky rozpadu v laboratorních podmínkách.....	54
5.2	Výsledky zkoušky - test fytoxicity.....	54
5.2.1	Závěr - test fytoxicity.....	55
5.3	Výsledky zkoušky - domácí kompostování	56
5.3.1	Stupeň rozpadu - 3 měsíce	56
5.3.2	Stupeň rozpadu - 12 měsíců.....	57
5.3.3	Závěr zkoušky rozpadu v podmínkách domácího kompostování.....	59
5.4	Přehled hodnot, výsledky obou zkoušek rozpadu	60
6	DISKUZE.....	61
7	ZÁVĚR.....	63
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	69
	SEZNAM TABULEK	71
	SEZNAM ZKRATEK	72
	PŘÍLOHY	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

1 ÚVOD

Plasty mají obecně vynikající vlastnosti, díky nimž se staly oblíbeným a využívaným materiálem ve všech směrech. Z toho důvodu celosvětově roste produkce těchto umělých hmot. V praxi se jimi nahrazují tradiční materiály (papír, dřevo apod.). Masivní používání těchto materiálů má však za následek zatěžování životního prostředí. Plastový materiál je odolný a v prostředí nerozložitelný. Zmiňované vynikající vlastnosti plastů jsou nyní, v případě nakládání s plastovým odpadem, spíše negativní. Komerční plasty nejsou v prostředí a ani na skládce odbourávány a zůstávají v něm po dlouhou dobu. S plasty lze nakládat běžně používanými technologiemi (recyklace, materiálové využití či termické využití).

Problematika stavu životního prostředí je dnes velmi často zmiňována. Aby se docílilo co nejmenšího negativního vlivu plastových materiálů na životní prostředí, několik společností se zaměřilo na vývoj a následně výrobu plastů, které by měly zatěžovat prostředí mnohem méně, než klasické plastové materiály. Vznikly například plasty vyráběné z obnovitelných surovin nebo plasty, které mají schopnost degradace v prostředí a rozkládají se rychleji nebo se dokonce rozkládají zcela beze zbytku (např. plasty vyráběné z rostlinných škrobů). Postupně se ve světě rozšiřuje pojem bioplast, biodegradabilní plast nebo kompostovatelný plast. Kompostovatelný plast je myšlenkou toho, že by se obalový plastový materiál mohl, společně s ostatním bioodpadem, vložit do kompostované směsi v kompostéru. Tento plastový obal se bezzbytku rozloží a v kompostu nezanechá škodlivé látky.

Certifikované biodegradabilní či kompostovatelné plasty musejí splňovat požadavky uváděné v normách. Vybrané vzorky jsou dle normy testovány a během zkoušky rozpadu je ověřován jejich stupeň rozpadu. Pokud rozložitelný plast splňuje požadavky normy, je označen certifikací a lze jej použít např. v procesu kompostování.

Tato práce se věnuje ověření stupně rozpadu certifikovaných, nebo jiným způsobem označených, rozložitelných obalových plastů. Ověření bylo provedeno zkouškou rozpadu jak v laboratorních, tak v domácích podmínkách kompostování.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je seznámit se s charakteristikou plastových materiálů, a to především se zaměřením na biodegradabilní plasty. Kromě charakteristiky procesu kompostování popsat také normativní prostředí týkající se problematiky kompostování biodegradabilních plastů.

Dalším cílem práce je realizovat a představit dva pokusy, které se věnují biodegradabilitě vybraných vzorků plastových materiálů, a to v laboratorních i domácích podmínkách kompostování. Výsledky obou pokusů zpracovat a vyhodnotit.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

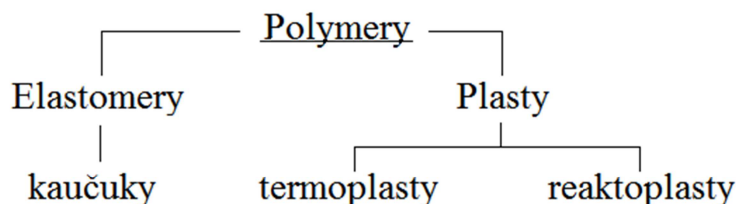
3.1 Charakteristika plastových materiálů

V dnešním světě si nikdo nedokáže představit, jak by mohl žít, kdyby neexistovaly plasty. Plastové materiály jsou všude. Jsou využívány už několik desetiletí a stále více nahrazují tradiční materiály (dřevo, papír, ...).

V udržitelném rozvoji mají plastové materiály důležitou roli. Kromě ekologických přínosů napomáhají k rozvoji společnosti, a to tím, že se s jejich výrobou a používáním zvyšuje zaměstnanost. Nejrozšířenějšími výrobky z plastových materiálů jsou plasty ve stavebnictví a obalové plasty tzv. obaloviny, do kterých se v Evropě zabalí více než 50 % všech produktů. Odpad z plastových materiálů lze opětovně využít recyklací nebo získat a využít jeho energii ve spalovacím zařízení (RAAB, 2005).

3.1.1 Polymery

Polymery mají mnoho různých vlastností. Jsou to chemické látky, které ve svých makromolekulách obsahují atomy vodíku, kyslíku, často dusíku, uhlíku nebo chloru a mnoho dalších. Plastové výrobky jsou známy především v tuhém skupenství. Ovšem během určitého stadia zpracování mohou být některé plasty ve skupenství kapalném, kdy jim lze za zvýšené teploty a tlaku určit konkrétní tvar dle plánovaného využití (DUCHÁČEK, 2006). Rozdělení polymerů je zřetelné z následujícího obrázku (obrázek č. 1).



Obrázek č. 1 Dělení polymerů (ZLOCH, 2013)

Syntetické polymery

Syntetické polymery jsou sloučeniny makromolekul, jejichž relativní molekulová hmotnost se pohybuje kolem desítek až stovek tisíc. Mer je strukturální jednotka, která se v makromolekulách syntetických polymerů pravidelně opakuje. Při výrobě plastů se pro zlepšení jejich vlastností používají různá aditiva. Lze přidat různá změkčovadla (pro dosažení vláčnosti), stabilizátory (pro zajištění stálosti) nebo pigmenty (pro obarvení plastu). Tyto aditiva zvětší objem polymeru, ale nezpůsobí zhoršení jeho kvality (ZEHNÁLEK, 2005).

3.1.2 Základní klasifikace polymerů

Elastomery

Polymery lze rozdělit na dvě základní skupiny. Jednou z nich jsou elastomery. Elastomery jsou plastické polymery, u kterých lze bez použití velké síly způsobit deformaci. Deformací ovšem nedojde k nenávratnému poškození, deformace je vratná. Do skupiny elastomerů lze zařadit hlavní surovinu pro výrobu pryží - kaučuk (DUCHÁČEK, 2006).

Plasty

Druhou základní skupinou jsou plasty. Plasty jsou za normálních podmínek tvrdé a křehké. Při zvyšování teploty se stávají plastickými a lze je tvarovat. Pod skupinu plastů se dále řadí **termoplasty** a **reaktoplasty**. Rozdíl mezi těmito dvěma podskupinami je v tom, že termoplasty po jejich zahřívání, kdy změknou, získávají ochlazením zpět své původní vlastnosti. Na druhou stranu reaktoplasty mají řetězce mezi sebou spojené kratšími řetězci (výrobek je tedy jedna velká makromolekula). To má za následek to, že reaktoplasty při zahřívání neměknou, ale rovnou se rozkládají. Takováto změna je nevratná (DUCHÁČEK, 2006).

Protože polymery nejsou přírodního původu a vznikly jako chemicky syntetizované látky, mohou být charakterizovány dle různých hledisek.

a) Podle vzniku:

- *polymerací* - reakce monomerů za vzniku polymerů, nevznikají vedlejší produkty,

- *polyadici* - reagují dva jiné monomery, nevznikají vedlejší produkty,
- *polykondenzací* - reakce dvou různých monomerů, ty mají alespoň dvě funkční skupiny, vznik polymeru a nízkomolekulární látky jako vedlejšího produktu,
- *modifikací polymerů* nebo *kombinací předchozích reakcí* (DUCHÁČEK, 2006).

b) Podle tvaru molekuly:

- *lineární* - základní stavební jednotky jsou za sebou uspořádány, a to v jednom směru,
- *rozvětvené* - rozvětvené lineární vlákno,
- *zesíťované* - lineární řetězce spojené příčnými vazbami,
- *prostorově zesíťované* - základní stavební jednotky spojené do prostorové sítě (STOKLASA, 2005).

c) Podle chování při zahřívání:

- *termoplasty* - zahříváním měknou, mohou se tavit, ochlazením znovu získají původní vlastnosti,
- *reaktoplasty (termosety)* - nejdříve se při zahřátí stanou plastickými, poté již plasticitu nenávratně ztrácejí (DUCHÁČEK, 2006).

3.2 Charakteristika biodegradabilních plastových materiálů

Stejně jako řada jiných věcí, tak i věci z plastových materiálů se jednou stanou odpadem, a poté je zapotřebí složitého managementu s jeho nakládáním. S postupem času a zdokonalováním výrobních a zpracovatelských technologií se objevily plastové materiály, které mají schopnost rozložitelnosti v procesu kompostování nebo i v životním prostředí (ZLOCH, 2013).

Odpadní plasty mohou být pro životní prostředí (ŽP) zátěží, a proto se někteří výrobci rozhodli pracovat na nových výrobních technologiích, které by přinesly plasty méně škodlivé pro ŽP. Takové materiály se nazývají biodegradabilní plasty (BDP). Jsou charakteristické tím, že díky svým vlastnostem podléhají v daném prostředí činnosti mikroorganismů a rozkládají se (ZLOCH, 2013).

Na rozdíl od běžných plastů mají degradovatelné plasty výhodu v tom, že za optimálních podmínek v daném prostředí podléhají rozkladu. Na daném stanovišti se rozloží buď zcela nebo na drobnější fragmenty. Tato kapitola se věnuje biodegradabilním

plastům, což je pojem relativně nový, ale stále více rozšiřován. S ohledem na negativní vliv plastových materiálů na ŽP bylo nutno přijít s novou alternativou výroby těchto materiálů, která by měla negativní vliv snížit. Při používání pojmu biodegradabilní plasty je třeba rozlišovat plasty degradovatelné, kompostovatelné plasty a bioplasty (plasty vyrobené z obnovitelných zdrojů) (ZLOCH, 2013).

3.2.1 Biodegradace

Biodegradace je pojem, kterým se označuje proces rozkladu materiálu za přítomnosti živých organismů, v tomto případě mikroorganismů. Biodegradace, či jinými slovy biologický rozklad, je ojedinělým případem degradace, ve kterém jsou hlavním aktérem rozkladu polymerů živé organismy. Tento termín je hojně zmiňován v ekologii nebo odpadovém hospodářství (SHAH ET AL., 2008).

Biodegradabilní polymery jsou proto potenciálními substráty pro heterotrofní mikroorganismy. Většinou nejde pouze o samotnou biodegradaci působením mikroorganismů, ale často se jedná o kombinaci více degradačních procesů. (SHAH ET AL., 2008). Fotolýza, fotooxidace nebo např. hydrolýza či jiná abiotická degradace musí předcházet samotné enzymatické degradaci, která je za normálních podmínek pomalá (GU, 2003).

Se snižující se molekulovou hmotností materiálu se mikrobiální schopnost degradace zvyšuje. Naopak při vysoké molekulové hmotnosti je rozpustnost materiálu zhoršena, z toho důvodu se snižuje pravděpodobnost napadení látky mikroorganismy (SHAH ET AL., 2008). Monomery, dimery a oligomery jsou degradovatelné snáze. Z toho důvodu je zapotřebí, aby enzymatické degradaci předcházela degradace abiotická a snížila se molekulová hmotnost materiálu. Schopnost materiálu podléhat biodegradaci povzbuzuje konkurence biologických a abiotických procesů (GU, 2003).

Plastový materiál může být bakteriálně poškozen pouze za daných podmínek v závislosti na okolním prostředí, ve kterém se materiál nachází. Dané okolní prostředí musí umožňovat existenci mikroorganismů a zároveň je další neopomenutelnou věcí samotná povaha polymeru a jeho aditiv. Nejčastějším, kdo napadá biodegradabilní plasty, jsou plísně, kdy každé z těchto plísní vyhovují jiné podmínky prostředí. Pokud tyto podmínky nesplňují požadavky konkrétního druhu plísní, organismus odumírá. Není ovšem pravidlem, aby v nepříznivých podmínkách musel organismus zemřít. Do doby, než nastanou vhodné životní podmínky, dokáže organismus přežít ve formě spór (HAGEN, 1977).

Zvolení přísad a chemické složení polymeru se odráží v jejich odolnosti. V procesu biodegradace dochází k tomu, že mikroorganismy získávají rozkladem materiálu některé biogenní prvky, které jim slouží jako zdroj energie a potřebují je pro svůj růst. Velké množství mikroorganismů, které napadají polymery a přísady, se řadí do kmene hub rodu *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Rhizopus* a podobně (HAGEN, 1977).

Biodegradace může probíhat snadněji u polyetherů, polyamidů, polyuretanů nebo polyesterů, ale každopádně to musejí být polymery obsahující heteroatomy ve svých řetězcích. Mikroorganismy se dělí na mezofilní a termofilní a schopnost biologické degradace je závislá mimo jiné i na typu onoho rozkládajícího organismu. Další podmínky, které musejí odpovídat vhodnému prostředí pro to, aby probíhala biodegradace, jsou vhodná teplota, vlhkost, přítomnost živin a pH (ZLOCH, 2013).

Atomy uhlíku mohou být ve formě oxidu uhličitého (CO₂) navraceny zpět do koloběhu ekosystému, a to díky těmto přirozeným rozkladným procesům. Uvolněné a navracené látky mohou být v procesu fotosyntézy znovu využity a následně by se mohly případně stát součástí a stavební jednotkou bioplastů. Mikroorganismy nejsou jediní tvorové podílející se na rozkladu materiálu. Nepřímo zde svým dýcháním, trávením potravy či vylučováním působí i jiní (vývojově dokonalejší) živočichové. Toto vše je součástí uhlíkového cyklu, který je velmi důležitý a nezaměnitelný pro život na Zemi (KROISOVÁ, 2009).

3.2.2 Plastové materiály šetrnější k ŽP

Na celém světě je ročně vyprodukováno téměř 200 milionů tun různých druhů plastů a nemalé množství těchto materiálů se dostane do prostředí, kde zůstává, nerozkládá se a tím vytváří mnoho problémů. Z tohoto důvodu se řada výrobců či inovačních pracovišť intenzivně zabývá již zmiňovanou výrobou biodegradabilních plastových materiálů. Tyto materiály jsou do výroby navrhovány jak na bázi čistě přírodních zdrojů (materiálů), tak i zcela syntetických sloučenin (ZLOCH, 2013).

Vývoj a návrh těchto rozložitelných materiálů se zaměřuje především na volbu vhodných surovin. Takové suroviny mohou být např. zdroje biomasy z organického odpadu. Vývoj materiálů je sledován metodou Life Cycle Assessment (Posuzování životního cyklu - LCA). Z hlediska LCA musí tyto materiály splňovat požadované vlastnosti. Během používání rozložitelných materiálů se předchází problémům, které by mohly nastat na skládkách nebo ve spalovnách. Po ukončení životnosti

rozložitelného plastu nenastává problém s jeho následným zneškodněním či odstraněním (LEŠINSKÝ, 2004).

V příloze č. 1 je znázorněn světový nárůst produkce biodegradabilních plastů.

Plasty rozložitelné v životním prostředí

Skupina plastů označovaných jako biodegradabilní obsahuje i takové, které jsou ve skutečnosti biodegradabilní pouze z části. Například fotodegradabilní plasty jsou plasty, u kterých je rozklad iniciován působením světla (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

Kategorie takových plastů může být definována jako široká škála syntetických nebo přírodních plastů, které podléhají změnám za působení faktorů vnějšího prostředí, v němž se nachází. Tyto změny mohou být fyzikální či chemické. Následně, za působení mikroorganismů, vznikne konečný produkt CO_2 a H_2O . Zmiňovanou skupinu či kategorii plastů lze označit jako ekologicky rozložitelné plasty - Environmentally degradable plastics (EDP) (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

Do průběhu rozkladu se řadí dvě fáze – desintegrace (rozpad) a mineralizace. Nejdříve nastává ztráta mechanických vlastností materiálu (fáze desintegrace), následuje změna barvy, materiál zkrhne a často se rozpadne na drobnější fragmenty. Po vzniku fragmentů nastupuje druhá fáze (mineralizace), ve které dochází k celkové přeměně fragmentů materiálu na částičky velikosti molekuly polymeru (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

V aerobních podmínkách jsou částice přeměněny, např. působením mikroorganismů, na CO_2 , H_2O , biomasu. V anaerobním prostředí vznikne namísto vody metan. Aby nedocházelo k tomu, že se bude materiál kumulovat v prostředí (v půdě), je nutno, aby degradace proběhla rychle (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

EDP jsou vyráběny z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů. Jako zástupce při výrobě z obnovitelný zdroj lze jmenovat např. celulózu, kolagen, acetát celulózy, škrob, estery škrobu, kyselinu polymléčnou, polyhydroxyalkanoáty nebo viskózu. Z neobnovitelných zdrojů to je polyvinylalkohol, polykaprolakton, alifatickoaromatický kopolyester apod. Obnovitelnými surovinami se rozumí přírodní látky jako aminokyseliny, sacharidy, výtažky z rostlin nebo zdroje živočišného původu apod., které lze vhodnými způsoby (např. pěstováním) obnovovat a čerpat znovu. Na druhou stranu zdroje jako je plyn, ropa, olej apod., jsou zdroje neobnovitelné (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

Využívají se i EDP složené ze směsi skládající se ze dvou a více materiálů splňujících požadavek na biodegradaci. Složky jsou kombinovány tak, aby výsledný materiál vyhovoval potřebám pro aplikaci. EDP musí splňovat dle International Centre for Science and High Technology of the United Nations Industrial Development Organization (ICS-UNIDO) tyto požadavky: rychlá degradace a/nebo biodegradace, snadná výroba, vysoká přizpůsobivost, přijatelný výkon, přijatelná cena pro zamýšlenou aplikaci, biologická přizpůsobivost produktů degradace. Pod skupinu EDP se řadí biodegradabilní polyestery, polymery, které jsou rozpustné ve vodě, fotodegradabilní polymery, biodegradabilní směsi škrobu a polymeru a koncentráty na výrobu polymerů s řízenou degradací (KYRIKOU, BRIASSOULIS, 2007).

3.2.3 Charakteristika biodegradabilních polymerů

Biologicky rozložitelné plasty nebo kompostovatelné plasty se komerčně zavedly roku 1980, kdy byly poprvé vyráběny z konvenčních polymerů. Takovým nejčastějším polymerem byl polyolefín smíchaný se škrobem popř. jinou organickou látkou. Rozklad byl založen na tom, že mikroorganismy napadly a rozložily škrob. Celková hmota materiálu se tedy rozpadla na drobné fragmenty polymeru (RUDNIK, 2008).

Biologicky rozložitelné neboli biodegradabilní polymery jsou polymery, u kterých za daných podmínek s ohledem na teplotu, pH, vlhkost apod. dochází vlivem mikroorganismů, za vzniku metanu, vody, oxidu uhličitého a případně i biomasy, k biologickému rozkladu (KROISOVÁ, 2009). Biodegradabilní plasty jsou plastické hmoty vyráběné čistě z biomasy nebo se do těchto materiálů při výrobě přidávají různá aditiva, která na první dojem vypadají totožně jako obvyklé plastické látky (DUCHÁČEK, 2006). Ne všechny takto upravené materiály jsou zcela odolné vůči dlouhodobému působení vnějších podmínek (např. vodě). Většina biodegradabilních plastů je rozložitelná a představují menší zátěž pro ŽP, a to je hlavní odlišnost od klasických plastů (PEPPAS, LANGER, 1993).

BDP jsou polymerní materiály, které jsou schopny rozkladu bez zásahu člověka v daných podmínkách aerobního i anaerobního prostředí (v půdě, v kompostu, v přirozených i odpadních vodách). Jako BDP lze označit i takové materiály, které se rozkládají nebiologickými vlivy, ale produkty rozkladu jsou vlivem mikroorganismů mineralizovány. Materiály, které se rozloží pouze částečně nebo se rozloží jen jejich aditivum nelze označit jako BDP (ZLOCH, 2013).

Dnešní obaly z BDP momentálně nemohou konkurovat zavedeným materiálům, které se běžně užívají, a to především z důvodu vysoké ceny BDP. Z praktického hlediska je návrat k tradičním obalovým materiálům pravděpodobně také nereálný. Požadavky na ekologicky šetrné nakládání s odpadem obalových materiálů se zvyšují, a proto budou mít BDP v budoucnu, v souladu s ochranou přírody, své opodstatněné místo. V posledních letech se spotřeba BDP výrazně zvyšuje (BUSINES MEDIA, 2010).

3.2.4 Dostupné bioplasty - rozlišení

Degradovatelný/odbouratelný plast

Degradovatelný plast má podle podmínek daného ŽP za úkol podstoupit radikální změnu ve své chemické struktuře. Toto ale vede ke ztrátě různých vlastností, které lze běžně měřit testovacími metodami (RUDNIK, 2008). U látek, které jsou biologicky odbouratelné, dochází k bezmála 100% přeměně látek činností hub, bakterií nebo enzymů na CO₂, vodu a metan. Ovšem látky, které by byly vhodné ke hnojení při tomto rozkladu nevznikají (NEHASILOVÁ, 2012).

Bioplast

Je to nová etapa pro plastové obaly. Cena ropy, jakožto neobnovitelného zdroje, se stále zvyšuje, a proto přichází alternativní řešení. Bioplasty obsahují materiály jako je přírodní celulóza, škrob z brambor, mléko, ale i syntetické polymery, kopolymery a blendy. Aby bylo dosaženo stoprocentní biodegradability, jsou bioplasty vyráběny ze zemědělských produktů, např. kukuřice, brambory, cukrová řepa, sója a tabák (JONÁŠOVÁ, 2008).

Bioplasty jsou vyráběny i z přírodních materiálů, které obsahují bakterie *Ralstonia europhiase*. Díky těmto bakteriím jsou za vhodných podmínek vytvářeny molekuly vlastnostmi srovnatelnými se syntetickými plasty (ZLOCH, 2013).

Bioplast je pojem, který poukazuje na to, že surovina použita k výrobě tohoto plastu pochází z biomasy. Samotný bioplast nemusí být zrovna charakteristický tím, že je biologicky rozložitelný. Schopnost plastu být biologicky degradován nezáleží na použití základní suroviny pro výrobu, ale především na jeho chemické struktuře. I zcela stoprocentní bioplast nemusí být biodegradabilní a plast vyrobený synteticky z fosilních zdro-

ju může být takový, že podléhá biologické degradaci. Základním pravidlem při výrobě bioplastů je to, aby se využívali obnovitelné zdroje. Takto je obnovitelný zdroj využit jako materiál a později z něj lze získat další energii. Díky tomuto využívání lze snížit uhlíkovou stopu, šetřit fosilní zásoby a snižovat emise a množství skleníkových plynů (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2015).

Jeden z nejvíce užívaných bioplastů je Poly-Lactid-Acid (PLA) vyráběný z kyseliny mléčné, a to kvůli svým výborným vlastnostem vhodných pro použití plastu v potravinářství (JONÁŠOVÁ, 2008).

Pro pojem bioplast neexistuje žádný jednotný význam. Tento pojem se na jedné straně používá pro biologicky odbouratelné plasty na bázi ropy, které v současné době tvoří zhruba 10 % vyráběných bioplastů. Na druhé straně je to označení pro bioplasty vyrobené z obnovitelných zdrojů a surovin. Takové bioplasty mohou, ale i nemusejí být biologicky odbouratelné. Navíc ne všechny degradovatelné látky jsou současně kompostovatelné. Zde je tedy nutné rozlišovat dvě skupiny. Kompostovatelné bioplasty jsou certifikovány a zároveň označeny symbolem „OK compost“ nebo symbolem „klíčku“ (NEHASILOVÁ, 2012).

Lze se setkat s celou řadou jiných symbolů než dva výše zmiňované. V příloze č. 2 jsou uvedeny některé další symboly označující BDP. V mnoha literaturách se pojem bioplast používá obecně, spíše označuje hromadnou skupinu plastů, které jsou šetrnější k ŽP (ZLOCH, 2013).

Kompostovatelný plast

Takový plast je charakteristický svým rozkladem v procesu kompostování, kde podstupuje proces biologické degradace za vzniku CO₂, vody, anorganických sloučenin a biomasy. Nezanedbává vizuálně rozlišitelné či toxické zbytky. Proces rozkladu tohoto plastu probíhá stejnou rychlostí jako proces rozkladu jiných kompostovatelných materiálů (RUDNIK, 2008).

Kompostovatelné plasty jsou propagovány především proto, protože jsou přínosné pro životní prostředí. Plastový materiál musí být rozložitelný (jako je např. papír) a použité polymery zároveň plní funkci zdroje živin pro přítomné mikroorganismy (VAVERKOVÁ ET AL., 2012).

3.2.5 Výroba a použití bioplastů - nevýhody

Jedním ze základních problémů spojených s využitím bioplastu je velmi malá poptávka po takovém materiálu. V roce 2005 byla na území Evropy poptávka po bioplastech pouze 0,05 mil. t.rok⁻¹ při celkové spotřebě plastů 48,5 mil. t.rok⁻¹. Poptávka nebude mít tendenci se zvyšovat, dokud bude stále špatná informovanost, nezvýší se atraktivita a dokud se nebude moci rovnat cenou s komerčními plasty. Cena jednoho kilogramu bioplastu je takřka 3-krát vyšší než stejné množství běžně dostupných komerčních plastů (JONÁŠOVÁ, 2008).

Další problém přichází s pěstováním biomasy. Momentálně není pěstování plodin pro výrobu bioplastů ekonomicky a technologicky schůdné. Celkové emise jsou sice téměř o polovinu nižší, než při výrobě klasických plastů, ale do těchto údajů je započítána samotná výroba, nikoliv ostatní faktory (např. potřebná plocha). V současné době při nízké spotřebě bioplastů by nebyl problém vyčlenit oblasti pro zábor půdy k pěstování plodin pro výrobu bioplastů. Se zvyšující poptávkou po bioplastech by rostl i zábor půdy. Z plánu Evropské unie vyplývá, že do roku 2020 má být nahrazeno 20 % všech energetických paliv biopalivy (tzn. na pěstování plodin pouze pro účely paliva bude zapotřebí 60 mil. ha půdy) (JONÁŠOVÁ, 2008).

3.2.6 Druhy biodegradabilních plastů a jejich vlastnosti

Dle použité suroviny pro výrobu BDP je lze rozdělit do dvou skupin. Jedna skupina jsou BDP vyráběné z obnovitelných zdrojů a druhá je skupina BDP vyráběných z ropy. Do skupiny BDP vyráběných z obnovitelných zdrojů lze zařadit kyselinu polymléčnou, chitosan, polyhydroxyalkanoát, termoplastický škrob, celulózu a bílkoviny (RUDNIK, 2012). Ve skupině BDP vyráběných z ropy jsou zastoupeny alifatické polyestery a kopolyestery (polybutylensukcinát), aromatické kopolyestery (polybutylendipátereftalát), poly-ε-kaprolakton, polyesteramidy, polyvinylalkohol nebo polyoxyethylen (ZLOCH, 2013).

V dnešní době existují i směsi bioplastů s komerčními plasty jako je například biopolyethylen nebo bio-polyethylentereftalát (VÖRÖS, 2013). Ovšem hlavní skupiny bioplastů jsou plasty odvozené od škrobu, polyhydroxyalkanoáty a polymery kyseliny mléčné (OBRUČA, 2007).

Skupina BDP vyráběných z obnovitelných zdrojů

Plastů, které se vyrábějí z obnovitelných zdrojů, je celá řada. Z toho důvodu se v následující části nachází popis jednotlivých BDP náležejících do této skupiny.

Polymer kyseliny polylactické (Polylactic acid – PLA)

Jedním z nejjednodušších chirálních molekul je kyselina mléčná, ta existuje jako dva stereo izomery, L- a D- kyselina mléčná. V přírodě je to nejvíce se vyskytující kyselina. Polymer této kyseliny se vyrábí polykondenzací (RUDNIK, 2012).

Díky svým jedinečným mechanickým vlastnostem je PLA zajímavým a nezaměnitelným plastem. PLA se nejčastěji vyrábí z kukuřice a jiných rostlin, které produkují škrob. Škrob, který je vyextrahován, je štěpen na molekuly glukózy (základní stavební jednotky rostliny). Následuje fermentace, během které je glukóza přeměněna do podoby kyseliny mléčné. Požadovaný polymer vznikne konečnou chemickou polymerací (OBRUČA, 2007).

PLA je křehký, ale tuhý materiál, u kterého lze přidáním plastifikátorů docílit potřebných mechanických vlastností. Tento plast je zcela biologicky rozložitelný materiál. Jako u většiny BDP je omezujícím faktorem použití jeho cena (KROISOVÁ, 2009).

Dnešní polyethyltereftalátové (PET) lahve jsou těžko odbouratelné, ale ty budou v blízké době pravděpodobně nahrazeny lahvemi z průhledného PLA. Kromě těchto lahví, které se již začaly používat a pomalu se rozšiřují, nachází PLA využití jako obalový materiál pro potraviny a jiné výrobky s krátkou životností (kelímky, fólie, misky, ...) (OBRUČA, 2007).

Zařízení na výrobu PLA, patřící mezi ty největší, jsou ve Spojených státech amerických. Roční produkce v jednom zařízení přesahuje 70 000 tun plastu, ve druhém, kde bude jako základní surovina použit kukuřičný škrob, bude po dostavění závodu konkurovat roční kapacitou 300 000 tun plastu. V současnosti je největší fungující zařízení v Brazílii. Zde produkují plasty na bázi cukrové třtiny a jeho kapacita se pohybuje okolo 200 000 tun (NEHASILOVÁ, 2012).

Polyhydroxyalkanoáty (PHA)

Tyto BDP jsou polyestery hydroxyalkanoátů syntetizovaných mnoha gram pozitivními i gram negativními bakteriemi, kterých je více než 75 druhů. Tyto polymery jsou jako zásoba energie a uhlíku intercelulárně akumulovány až do 90 % hmotnosti samotné buňky. V první polovině 20. století byl objeven polyester poly(3-hydroxybutyrát) (PHB), který je často obsažen jako zásobní látka v mnoha druzích bakterií. Od té doby bylo objeveno velké množství dalších alifatických polyesterů patřících do skupiny polyhydroxyalkanoátů (PHAS). Z důvodu, že jsou PHA vyráběny v buňkách bakterií, se také nazývají bakteriální polyestery. Bakterie, které hrají roli při výrobě těchto polyesterů lze rozdělit na dvě skupiny. Jedna skupina za dostateku uhlíku (ale omezeného množství ostatních živin) vytváří polymery. Tyto polymery jsou tvořeny z dostatečných zásob uhlíku bakteriemi např. *Alcaligenes eutrophus* nebo *Protomonas extorquens*. Další skupinou jsou bakterie, které hromadí polymer během svého růstu a takové bakterie nemusejí být limitovány množstvím základních živin např. *Alcaligenes latus*. Bakterie získávají uhlík ze sacharidů, alkoholů, alkanů a organických kyselin. PHAS jsou získávány na různých substrátech např. sacharóza, uhlí, škrob, metan, kyselina propionová, nebo melasa, glycerol či syrovátka (RUDNIK, 2012).

Jiné BDP jako jsou škrobové plasty a PLA jsou polymery původu rostlinného, ale PHA jsou tedy polymery, které mají původ bakteriální. Plánovalo se zavedení PHA do běžného užívání a PHA měl nahradit běžně užívané komerční plasty. Ovšem vzhledem k vysoké výrobní ceně PHA se od tohoto plánu upustilo. Tento plast se používá hlavně jako biokompatibilní a biodegradabilní materiál (OBRUČA, 2007).

Termoplastický škrob (TPS)

Tato výrobní surovina (škrob) patří do obnovitelných zdrojů a je dobře dostupná. Je to konečný produkt fotosyntézy rostlin, kdy je ukládán do hlíz, obilovin, luštěnin jako zásobní polysacharid. Je složen z amylázy a amylopektinu. Nezaměnitelná morfolgie zrněk škrobu je botanický znak pro škrob charakteristický. Velikost zrn škrobu záleží na druhu rostliny, ale většinou je v rozmezí 2-30 mikrometru. Škrob je zpracováván v přebytečné vodě a za tepla, protože škrobová zrna jsou krystalická (částečně) a ve studené vodě nerozpustná (RUDNIK, 2012).

Škrob je energetickou zásobní látkou, polysacharidem, která je produkována mnoha rostlinami. Škrob je přírodní látka. V přírodě se rozkládá velmi lehce, protože jeho chemické vazby jsou působením mikroorganismů snadno štěpeny. Nepředstavuje tedy pro přírodu zátěž (GU, 2003).

Plasty odvozené ze škrobu v dnešní době tvoří takřka 80 % všech BDP vyskytujících se na trhu. Samotný škrob ovšem nelze zařadit do skupiny plastů. Je nutné udělat směs škrobu a speciálního aditiva. Po přidání plastifikátoru lze škrob použít jako plast a nazvat jej bioplastem. Takto vznikne škrobový termoplast. Vlastnosti plastu lze ovlivnit množstvím a charakterem přidaných aditiv. Škrob jako bioplast lze také aplikovat do výroby společně s konvenčními degradovatelnými polymery (polyester, polyvinylalkohol, polyesteramid). Výsledný materiál, složený z hydrofilního škrobu a hydrofobního polymeru, je díky svým vlastnostem používán jako voděodolné biodegradabilní fólie (GU, 2003).

Komerční plasty mají ovšem stále lepší mechanické vlastnosti než plastický škrob. Ten lze sice snadno zpracovávat, ale také poměrně lehce podléhá degradaci (SHEN ET AL., 2009).

V současnosti se ze škrobového plastu vyrábí mnoho produktů (kelímky, tašky, pytle, fólie, apod.). S ohledem na budoucí oblast použití nového materiálu jsou připraveny speciální plasty, které odpovídají požadavkům daného výrobku (OBRUČA, 2007).

Celulóza

Na Zemi se takto organická sloučenina vyskytuje v největším zastoupení. Je to základní stavební kámen vyšších rostlin a jejich buněčných stěn (polydisperzní lineární polysacharid). Běžně se získává ze lnu, bavlny, juty, dřeva, ale i z cukrové třtiny, kukuřice, ovse a dalších zemědělských produktů. Celulóza není rozpustná ve vodě ani v ostatních organických rozpouštědlech. Z celulózy se tedy vyrábí estery celulózy. Procesem esterifikace vznikají termoplastické materiály jako je např. acetát celulózy (CA), acetát celulózy propionát (CAP) a acetát celulózy butyrát (CAB) (RUDNIK, 2012).

Chitosan

Kromě uvedené celulózy je dalším nejhojněji zastoupeným polysacharidem na Zemi chitin. Je obsažen ve vnější kostře, exoskeletu, koryšů, hmyzu, v buněčné stěně hub

a mikroorganismů. Běžně se získává v podobě prášku bělavé barvy ze zbytků jídla mořských plodů (lastury měkkýšů a koryšů) a z odpadu ve zpracovatelském průmyslu. Samotný chitosan se skládá z glukosaminu a N-acetylglukosaminu (RUDNIK, 2012).

Molekulová hmotnost chitosanu výrazně ovlivňuje jeho vlastnosti. Je zcela biodegradovatelný, rozpustný ve vodě a organických rozpouštědlech. Tyto látky díky svým vlastnostem využívá medicína, zemědělství i potravinářský průmysl (KROISOVÁ 2009).

Bílkoviny

Proteiny (bílkoviny) lze považovat za náhodný kopolymer aminokyselin a rozdělují se do dvou skupin. První skupina obsahuje proteiny rostlinného původu (lepek, sója, brambory) a druhá skupina proteiny původu živočišného (kasein, kolagen, keratin). Pro výrobu biodegradabilních materiálů je nejlepší použít sójové bílkoviny, pšeničný lepek, kukuřičné proteiny nebo proteiny z hrášku. Při výrobě BDP se opět vytváří směsi, do kterých se přidávají aditiva (plastifikátory a změkčovadla) a bílkoviny. Do výrobního procesu se zahrnuje mokrá i suchá metoda přípravy (RUDNIK, 2012).

Biodegradabilní plasty vyráběné z ropy

Alifatické polyestery jsou považovány za zástupce syntetických biodegradabilních polymerů. Syntetické BDP se získávají ze surovin obsažených v petrochemických zásobách a v podstatě se vyrábějí polykondenzační metodou. Tradiční metodou pro syntézu polyesterů je polykondenzace za přítomnosti diolů, derivátů kyselin nebo hydroxy kyselin (RUDNIK, 2012).

Alifatické polyestery a kopolyestery

Jedním z hlavních zástupců této skupiny BDP je polybutylen sukcinát (PBS). Vzniká chemickou cestou polykondenzací 1,4-butandiolu a kyselinou jantarovou. Dalším důležitým zástupcem je Bionolle, připravovaný polykondenzační reakcí glykolů (př. ethylenglykol) a alifatické dikarboxylové kyseliny (př. kys. jantarová, adipová). Běžně dostupné a známé alifatické polyestery jsou např. Bionolle, PBS, polybutylen sukcinát

adipát (PBSA), polyethersulfon (PES), polyethylen sukcinát adipát (PESA), SkyGreen (RUDNIK, 2012).

Aromatické polyestery a kopolyestery

Již řadu let je známa biologická náchylnost několika alifatických polyesterů. Na druhou stranu aromatické polyestery jako je PET a polybutylentereftalát biologicky rozložitelné nejsou. Aby se zlepšily vlastnosti výsledného plastu, spojily se biodegradabilní schopnosti alifatických polyesterů a vhodné mechanické vlastnosti aromatických polyesterů dohromady. Z pokusů o spojení vycházela nejlépe kombinace 1,4-butandiolu, kyseliny adipové a kyseliny tereftalové. Běžně dostupné a známé aromatické kopolyestery jsou např. Biomax, polybutylen sukcinát tereftalát (PBST), Ecoflex, polybutylen adipát tereftalát (PBAT) (RUDNIK, 2012).

Poly- ϵ -kaprolakton (PCL)

Poly- ϵ -kaprolakton je lineární polyester, pro jehož výrobu lze použít způsob radikální polymerizace. Jeho stupeň krystalinity je kolem 50 % a při 61 °C začíná tát. Bylo rozhodnuto, že PCL je biologicky rozložitelný a netoxický, lze ho tedy aplikovat v řízených procesech. Ve spojení s jinými laktony (např. glykolid nebo polyethylenoxid) mohou vzniknout kopolymery. Dnes se vyrábí i směsi s jinými BDP (např. PHB, škrob a PLA) (RUDNIK, 2012).

Polyesteramidy (PEA)

Je to nová řada termoplastických polymerů, která kombinuje vhodné mechanické vlastnosti a schopnost podléhat biologické degradaci. Výborné mechanické vlastnosti jsou důkazem toho, že se s obsahem aromatických uhlovodíků zvýšila tuhost řetězce. Rozsah zpracovatelnosti je podobný jako u polyolefinů. Z tohoto polymeru se vyrábějí tašky, květináče nebo např. různé dekorace (RUDNIK, 2012).

Polyvinylalkohol (PVA)

V současnosti je nejlépe vodou rozpustný polymer polyvinylalkohol. Nevzniká přímou polymerací daného monomeru, jako u ostatních. PVA se získává především ze základního homopolymeru poly(vinyl)acetátu (PVAc). Polyvinylalkohol je průmyslově vyráběn hydrolýzou PVAc. Podle stupně hydrolýzy se získává různý PVA. Polyvinylalkohol se označuje různými obchodními názvy, z nichž se lze setkat s názvem jako je Mowiol, Erkol, Sloviol, Polyvinol, Elvanol, Cevol, Airvol, Kuraray Poval atd. (RUDNIK, 2012).

Směsi polymerů

Strategie míchání biologicky rozložitelných polymerů je přijata už řadu let a s její pomocí se produkují kompostovatelné polymerní materiály. V polymerní vědě se tato strategie praktikuje běžně a tím se mohou snižovat náklady na výrobu nebo i zlepšovat nedostatečně vhodné mechanické (fyzikální) vlastnosti polymeru. Změnou složení a zpracování lze měnit vlastnosti polymeru. V tomto směru jsou hlavními polymery materiály na bázi škrobu, kdy se kombinuje škrob - TPS (má nižší náklady na výrobu) s ostatními polymery (dobré mechanické vlastnosti). Tímto způsobem lze docílit výsledného materiálu označovaného jako Mater-Bi (Novamont). Mater-Bi se dělí do tří základních tříd. Začlenění do třídy Z, Y nebo V závisí na materiálu přidaném ke škrobu. Třída Z zahrnuje přidaný polykaprolakton, třída Y zahrnuje přidané deriváty celulózy a třída V obsahuje více než 85 % samotného TPS (RUDNIK, 2012).

Bio-polyethylen (Bio-PE)

Tento plast je vhodným příkladem polymeru, který je vyroben z obnovitelných zdrojů, ale není biologicky rozložitelný. Bio-polyethylen je nejčastěji vyráběn z cukrové třtiny. V zemích, kde se pěstuje, představuje tato třtina hlavní zdroj potravy pro obyvatele. Z toho důvodu jsou vedeny debaty o vhodnosti použití této suroviny pro výrobu plastů.

Polymer je vyráběn polymerací bio-ethylenu, vzniklého fermentačními procesy z cukrové třtiny. Může být vyroben polyethylen o vysoké hustotě (HDPE) nebo polyethylen o nízké hustotě (LDPE) s přívlastkem bio. Z tohoto plastu jsou vyráběny tašky, sáčky, obalové fólie nebo například i nápojové obaly či trubky (GOTRO, 2013).

3.2.7 Oblasti využití degradabilních plastů

Ačkoliv produkce BDP každoročně roste, jedná se stále o nový materiál, který se ještě zcela nezapojil do běžného užívání (ZLOCH, 2013).

V příloze č. 3 je znázorněna produkce BDP v roce 2011 a odhad produkce BDP do budoucna.

Využití BDP v zemědělství

Plasty jsou v tomto odvětví používány už několik desítek let, kdy je pro zemědělce aplikace těchto materiálů více efektivní, zvyšuje výnosy, chrání plodiny, atp. Tyto BDP jsou použity jako mulčovací fólie, kořenáče, kompostovací pytle nebo speciálně použity jako řízené uvolňovače živin a pesticidů. V zemědělství je využito mnoho tun takového materiálu (ZLOCH, 2013).

Hojně používaným plastem je LDPE (s charakterem degradovatelného plastu), který se používá například jako mulčovací fólie. Ta se po aplikaci na poli může zaorat. Je nutné vyvinout nový typ tohoto plastu, takový, který by byl zcela rozložitelný a nezanechával nerozložené zbytky materiálu (ZLOCH, 2013).

Kromě LDPE se lze setkat s polybutylen sukcinát (PBS), který plní stejnou funkci jako výše zmiňovaný, ovšem problémem při jeho použití je i v jeho vysoké pořizovací ceně (ZLOCH, 2013).

Využití BDP v potravinářství

V potravinářství je důležité, aby potraviny zůstaly co nejdéle čerstvé a kvalitní. Z toho důvodu je v tomto průmyslu balení výrobku velmi důležité. Výborné, díky svým vlastnostem i dostupnosti jsou například polyolefiny, polyestery nebo polyamidy. A nejen to, jsou i levné a mají výborné vlastnosti, protože jsou pružné, tažné, nepropouštějí plyny. Z těchto důvodů jsou jako obalový materiál používány nejvíce (PETERSEN ET AL., 1999).

Lze se ale setkat i s jinými, např. TPS, PHB, atp. (ZLOCH, 2013). Pytle, sáčky nebo obaly pro jednorázové použití se vyrábějí z materiálu, který se obchodně nazývá Ecoflex. Je to materiál podobný polyetylenu. Je ovšem zcela kompostovatelný a biologicky rozložitelný. Ecoflex je schopen rozložit se během několika

dnů (HARAŠTOVÁ, 2012). Z chemického hlediska se jedná o aromaticko-alifatický kopolyester založený na ropě. Ropa je zde jako primární surovina a při výrobě se používá i kyselina tereftalová, kyselina adipová a 1,4-butandiol (ZLOCH, 2013).

Dalším materiálem a srovnatelným s Ecoflexem je Ecovio. Ecovio je směs Ecoflexu a PLA (45 %). Plast s vlastnostmi shodnými s LDPE (měkkost, pevnost) je např. Bionolle. Je to alifatický polyester na bázi diolů a dikarboxylových kyselin. Jako ostatní materiály, tak i tento se uplatňuje především jako obalový materiál (HARAŠTOVÁ, 2012).

Využití BDP v lékařství

Příchod BDP byl pro lékařství velký přínos. Používají se již řadu let, kdy se po aplikaci v těle sami rozloží a vstřebají (BRANNON-PEPPAS, 1997). Oblasti lékařství, které BDP využívají jsou např. regenerativní medicína, tkáňové inženýrství, genová terapie nebo bionanotechnologie. Mohou to být kostní šrouby (alifatické polyestery), kostní pláty (PCL, PLA, PHB), antikoncepční implantáty (PCL), nanočástice i mikročástice pro kontrolované uvolňování léčiv (PCL, alifatické polyestery), ochranné membrány během regenerace tkání, atd. Nejvýznamnější BDP v tomto směru je Mater-Bi, PHB a PCL (HARAŠTOVÁ, 2012). BDP jsou také využívány pro postupné uvolňování léků ve farmacii. Dnes se lze setkat i s novými materiály, které jsou oproti starším elastické a nesou označení bioguma (BRANNON-PEPPAS, 1997).

Mater-Bi je plastový materiál obsahující směs škrobu a jiných plastů. Běžně například PCL smíchan s celulórou (ZLOCH, 2013).

3.3 Charakteristika kompostování

Použití BDP při procesu kompostování je složité a pod dohledem norem. Plastové materiály vhodné ke kompostování podléhají certifikaci a označují se značkami, které vypovídají o tom, zda je materiál kompostovatelný či biodegradovatelný. Nejčastějším certifikovaným plastovým materiálem jsou fólie z PLA nebo PHA. Silnostěnné materiály se rozkládají pomaleji, a proto, aby se splnily požadavky norem, se do takových materiálů přidávají aditiva urychlující degradaci. Certifikované a vhodně označené plasty lze třídit společně s biologickým odpadem (VÖRÖS, 2013).

Proces kompostování je do jisté míry přirozenou cestou recyklace. Odumřelá rostlina nebo její části jsou v půdě za pomoci mikroorganismů rozloženy. Po rozkladu zůstávají v půdě živiny, a ty jsou v budoucnu využity opět rostlinou např. při klíčení semene a následném růstu. Tomuto přirozenému způsobu rozkladu podléhají organické materiály (např. hnůj, tráva, listí, potraviny, ...). V průběhu kompostování se z organických zbytků stanou kvalitní humusové látky. Tento konečný produkt je cenným a nezastupitelným zdrojem pro zemědělství, lesnictví či zahradnictví, a označuje se jako kompost (RUDNIK, 2008).

První zmínky o kompostování sahají do dob počátků Řeků a Římanů. Jedná se tedy s největší pravděpodobností o nejstarší recyklační technologii. Znalosti spojené s technologií kompostování byly předávány z generace na generaci a šířeny do okolních zemí. Postupně se vyvinuly i dnes známé moderní kompostovací zařízení (RUDNIK, 2008).

V průmyslových kompostárnách probíhá pouze urychlování a napodobování toho, co příroda dělá každý den. V kompostárnách je materiál, díky řízenému procesu a zvyšování teploty, rozložen rychleji. Problematika ochrany ŽP vedla k rostoucímu zájmu o rozvoj ekologicky šetrného způsobu odstranění komunálního a průmyslového odpadu. Z toho důvodu se poslední dobou průmyslové kompostování značně rozmohlo (RUDNIK, 2008).

Obecně platí, že je ve strategii nakládání s odpadem kladem důraz na předcházení vzniku odpadu, popř. opětovné využití nebo recyklaci. Plastový odpad představuje podstatnou část z celkového objemu komunálního odpadu. Proto je vhodné začlenit plasty degradovatelné, v tomto případě kompostovatelné. Jejich výhodou je v tom, že tyto materiály lze začlenit společně s ostatním bioodpadem do procesu kompostování. Kompostovatelné plasty jsou polymery podléhající biologické degradaci během procesu kompostování. Při jeho rozkladu vzniká CO_2 , voda, anorganické sloučeniny a biomasa (RUDNIK, 2008).

Z důvodu obrovského množství konvenčních obalových plastových materiálů a nutnosti snížení jejich počtů byly v nedávné době uvedeny na trh kompostovatelné plastové materiály. Nejvíce takových materiálů je vyráběno ve Spojených státech amerických, kde se ročně vyrobí 140 000 tun PLA (RUDNIK, 2008).

Definice pojmů spojených s procesem kompostování

Kompostování - je to řízený proces biologického rozkladu a přeměny (za působení aerobní, mezofilní a termofilní degradace organické hmoty) degradovatelného biologického materiálu na humusové látky nazývané kompost. Proces probíhá za přítomnosti mikroorganismů i makroorganismů a má za cíl vytvořit konečný kompost. Na konci procesu vznikne CO_2 , H_2O , minerální látky a stabilizovaná organická hmota (kompost, humus) (RUDNIK, 2008).

Činností mikroorganismů a makroorganismů dochází za přístupu vzduchu k přeměně využitelného biologického odpadu na stabilizovaný výstup. Rozlišují se tři druhy kompostování. Pojmem **otevřené kompostování** se rozumí, že proces rozkladu probíhá na otevřené ploše. Během **uzavřeného kompostování** se kompostovací procesy odehrávají v uzavřeném prostoru. Posledním druhem je **reaktorové kompostování**. Tento způsob probíhá také v uzavřeném prostoru, avšak zcela chráněném proti nepříznivým vlivům. Je zde také možnost jímání a zpracování technologického vzduchu (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

Kompost je výsledný produkt kompostování. Je to půdní organický materiál, který byl získán biodegradací. Kompost je směs obsahující podíl minerálních látek a skládající se především z přeměněných rostlinných zbytků a jiných organických materiálů (HARAŠTOVÁ, 2012).

Domácí kompostování

Podle platné legislativy je domácí kompostování, jinak též domovní kompostování, považováno za předcházení vzniku odpadu. Tato forma kompostování je pravděpodobně nejjednodušší a nejlevnější způsob zpracování bioodpadu. Bioodpad vzniklý z činnosti domácnosti nebo ze zahrad rodinných domů je použit v domácích podmínkách kompostování a přeměněn na kompost (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

K takovému kompostování je obvykle použito malých kompostérů o stejné délce hrany a velikosti 1 m^3 . Materiál na stavbu kompostéru bývá, běžně dostupný a levný materiál, nejčastěji dřevo, pletivo nebo plast. Koneckonců v domácích podmínkách lze kompostovat i na prosté hromadě. Je to tradiční metoda zpracování odpadu přímo u zdroje. Není potřeba jiné manipulace, kromě občasného promísení a provzdušnění. Na konci procesu vzniká kvalitní hnojivo (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

Vermikompostování

Žížaly mají výbornou schopnost přeměňovat organické zbytky na, z hlediska živin, kvalitní výstupy. Pro tuto jejich speciální schopnost jsou žížaly využívány pro tvorbu kompostu v procesu zvaném vermikompostování. Tento proces může probíhat v malých reaktorech, a proto není omezen potřebou velkých prostor (lze je umístit např. do garáže, na balkón, ...). Pro životaschopnost žížal je ale nutné zajišťovat vhodnou vlhkost a teplotu kolem 20 °C. Při dodržení základních předpokladů údržby vermikompostéru není cítit žádný zápach, který by se uvolňoval při rozkladu bioodpadu (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

Vhodný odpad pro kompostování

Je nutné rozlišovat a třídit odpad, který se při kompostování použije. Ne všechny bioodpad je pro kvalitní kompost vhodný. Jako přípustný bioodpad lze jmenovat např. zbytky ovoce, zeleniny, pečivo, sýry, vaječné skořápky, kávové filtry, čajové sáčky, peří a srst hospodářských zvířat, listí, pokosená tráva, odpad z údržby zeleně, květiny a okrasné rostliny nebo odpad z klecí domácích mazlíčků. Na druhou stranu nevhodné je použití tekutých či kašovitých vařených zbytků jídla, kostí, zbytků masa a uzenin, impregnovaného dřeva, vaty, plen, popelu z topenišť a grilů, textilu, kůže, cigaret, léků, pracích prostředků, atd. (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

Právě od složení použitého materiálu ke kompostování se odvíjí kvalita výsledného kompostu. Pro běžný odpad z kuchyně je vhodné používat uzavřený kompostér. Kompost je tak chráněn a lze jeho zaručit kvalitní hygienizací. Je ale třeba kompost provzdušnit a hlídat vlhkost. Difúze a konvekce do jisté míry provzdušněnost zaručí, i přesto je ale doporučováno alespoň jednou za šest měsíců kompost mechanicky překopat, čímž se provzdušněnost zaručí (HŘEBÍČEK ET AL., 2010).

3.4 Normativní prostředí související s biodegradabilními plasty

Následuje výčet norem zabývajících se problematikou biologicky rozložitelného plastového materiálu.

Česká technická norma ČSN EN ISO 20200 Plasty - Stanovení stupně rozkladu plastů za simulovaných podmínek kompostování v laboratorním měřítku

Česká technická norma ČSN EN 14045 Obaly - Hodnocení rozpadu obalových materiálů pomocí prakticky zaměřených zkoušek při definovaných podmínkách kompostování
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 14806 Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku

Pro potřeby této diplomové práce bude podrobněji přiblížena norma ČSN EN 14806, protože tato sloužila jako vzor pro zakládání zkoušky rozpadu vybraných vzorků plastových obalů v laboratorních podmínkách. Další kapitola bude věnována pouze jedné části z normy ČSN EN 13432, kde je popisován postup testu fyto-toxicity.

3.4.1 ČSN EN 14806

Česká technická norma ČSN EN 14806 Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku se věnuje, jak již její název napovídá, laboratorní metodě, při které se používá syntetický odpad a zaměřuje se na modelování prostředí vyskytujícího se v průmyslových kompostárnách. Z hlediska rozpadu je možné obalové materiály vystavené činnosti v takovém prostředí posoudit předem (ČSN EN 14806, 2006).

Termíny a definice v normě ČSN EN 14806

Kompost - je organický prostředek pro zvýšení kvality půdy získaný biodegradací směsi složené hlavně z rostlinných zbytků, popřípadě i z jiných organických zbytků, má omezený obsah minerálů;

kompostovatelnost - schopnost materiálu být náchylným k biodegradaci v procesu kompostování;

kompostování - aerobní proces probíhající za účelem produkce kompostu;

rozpad - fyzikální rozpadávání materiálu na drobné částičky;

hmotnost v suchém stavu - hmotnost vzorku, která je stanovena po jeho vysušení, jednotkami jsou procenta hmotnosti vlhkého vzorku;

celková sušina - množství pevných látek získané odebráním známého množství zkoušeného materiálu či kompostu, které je dále vysušeno za stálé teploty 105 °C dokud se hmotnost vzorku neustálí na konstantní hodnotě;

těkavé pevné látky - od celkové sušiny vzorku je odečteno množství zbytků po spálení známého množství materiálu nebo kompostu, spalování probíhá při cca 550 °C, rozdílem je právě množství pevných těkavých látek (ČSN EN 14806, 2006).

Podstata zkoušky

Metoda v této normě hodnotí stupeň rozpadu daného materiálu v laboratorních podmínkách. Simuluje podobné podmínky jako při intenzivním procesu kompostování. Živná půda je složena ze syntetického pevného odpadu smíchaného s kompostem z kompostárny. Vybrané vzorky testovaného materiálu jsou uloženy a kompostovány společně s pevným syntetickým odpadem. Následný stupeň rozpadu je stanoven až po fázi kompostování. Provádí se prosev výsledné živné půdy sítím o velikosti ok 2 mm. Zbytky nerozloženého sledovaného materiálu, které nepodlehly rozkladu, jsou zachyceny v nadsítné frakci. Hmotnost materiálu, který chybí z původní celkové hmotnosti sledovaného vzorku, je považována za rozpad a je použita při výpočtu stupně rozpadu (ČSN EN 14806, 2006).

Syntetický pevný odpad

V tabulce č. 1 je uvedeno složení syntetického odpadu potřebného ke zkoušce.

Tabulka č. 1 Složení pevného syntetického odpadu pro zkoušku hodnocení rozpadu (ČSN EN 14806, 2006)

Materiál	Hmotnost v suchém stavu [%]
piliny	40
krmivo pro králíky	30
kompost	10
škrob	10
sacharóza	4
kukuřičný olej	4
močovina	2
celkem	100

Norma dále určuje bližší a konkrétní specifika o jednotlivých materiálech pro složení pevného syntetického odpadu. Celkový pevný syntetický odpad je připraven manuálním promícháním jednotlivých složek uvedených v tabulce č. 1. Do směsi je nakonec přidána voda tak, aby představovala 55 % celkové hmotnosti (ČSN EN 14806, 2006).

Reaktor na kompostování

Takovým reaktorem se rozumí schránka vyrobená z vhodného inertního materiálu, který neovlivní proces kompostování, nejlépe o daných rozměrech 30×20×10 cm (odchylky rozměrů použitých nádob by neměly přesáhnout 5 %). Nádoba je uzavřena víkem, které zaručí těsnost vůči nadměrnému vypařování. Po stranách reaktoru jsou vedeny otvory o průměru 5 mm. Otvory zajišťují výměnu plynů mezi vnitřním a vnějším prostředím (otvory nesmějí být zakryty či zalepeny) (ČSN EN 14806, 2006).

Tato norma taktéž povoluje jiné nádoby s objemem 5-20 l, které musejí být ale předem ověřeny, že se uvnitř netvoří nepříznivé aerobní podmínky. Ostatní podmínky použití a přípravy jsou stejné jako u reaktoru popsaného výše (ČSN EN 14806, 2006).

Zkušební postup

Zkoušený materiál se rozřeže na menší části. Rozměry částí zkušebního vzorku jsou stanoveny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2 Rozměry zkušebních vzorků použitých ke sledování procesu rozpadu (ČSN EN 14806, 2006)

Tloušťka zkoušeného materiálu [mm]	Rozměry zkušebních vzorků [mm]
≤ 5	25 x 25 x původní tloušťka
> 5	15 x 15 x tloušťka ≤ 15

Na každý vzorek sledovaného materiálu připadají dva reaktory. Vzorky o hmotnosti 5-20 g jsou promíseny s 1 kg ovlhčeného syntetického odpadu, vše je zaznamenáno. Směs je rozprostřena rovnoměrně jako homogenní směs po dně reaktoru a neměla by být utlačena (výměna plynů) (ČSN EN 14806, 2006).

Každý reaktor je uzavřen, zvážen a vložen do sušárny s cirkulací vzduchu. Teplota v sušárně je konstantní a nastavena na 58 °C. Dle uvážení je možné teplotu regulovat v rozmezí 21-58 °C. Doba trvání zkoušky je maximálně 90 dní. Po 28 dnech lze do reaktorů přidávat 25 g úrodné půdy nebo kompostu. Teplota je pravidelně sledována po celý čas zkoušky a pečlivě zaznamenávána (ČSN EN 14806, 2006).

Řádný průběh zkoušky lze docílit především i sledováním a zajišťováním vhodné vlhkosti uvnitř reaktorů. Ideální stav nastane tehdy, jeli hmota uvnitř reaktoru dostatečně vlhká, avšak není viditelná volná voda, tzn. není zcela dosaženo nasycení vodní absorpční kapacity (ČSN EN 14806, 2006).

Nutností je také pravidelné promíchávání kompostované hmoty. Mícháním se současně kompostovaná hmota i provzdušní, to se nedělá ovšem pouze proto, aby se promíchala hmota s vodou, ale i z důvodu onoho provzdušnění (ČSN EN 14806, 2006).

V průběhu procesu se lze potkat s typickým zápachem vyskytujícím se ve specifickém sledu. Kyselý pach je charakteristický pro první dva až tři dny a postupně slábne. Následně se až do desátého dne mění na zápach amoniakální, který vydrží kolem deseti dní. Po tomto sledu již není patrný žádný jiný charakteristický pach (kromě zemního) (ČSN EN 14806, 2006).

Rovněž je možné sledovat a zaznamenávat pH kompostované hmoty univerzálními pH papírky. O kompost se jeden konec papírku ovlhčí. Ze začátku procesu je pH kyselé (kolem pH 6), postupně pH roste do alkalických hodnot (pH 8 - 9) a ke konci zkoušky by mělo být pH kompostu neutrální (pH 7 - 8) (ČSN EN 14806, 2006).

V prvních dvou týdnech je zřetelná vizuální změna vzhledu kompostované hmoty. V prvním týdnu lze pozorovat mycelia na povrchu hmoty. Od prvotní žlutavé barvy přechází během prvních deseti dnů do barvy hnědavé (ČSN EN 14806, 2006).

Chemická analýza

U vzorků se stanovuje hmotnost v suchém stavu a těkavé látky. Hmotnost vzorků v suchém stavu je stanovena až po vysušení v sušárně při 105 °C do neměnné hmotnosti a vyjádří se v procentech z celkové hmotnosti vzorku (ČSN EN 14806, 2006).

Pokud pach kompostované hmoty zůstává kyselý, barva hmoty se nemění do hnědé, pH nestoupá do alkalických hodnot, tzn. proces probíhá nesprávně. V takovém případě je po prosetí doporučeno stanovit standardními metodami poměr C/N a pH vzorků syntetického odpadu a vzorků kompostu odebraného po ukončení procesu kompostování. V případě stále kyselého pH a stále sníženého poměru C/N lze usoudit, že kompostovací proces nezačal (ČSN EN 14806, 2006).

Ukončení zkoušky

Po uplynutí doby vymezené pro provedení zkoušky rozpadu sledovaného materiálu se výsledný kompost z každého reaktoru prosevá sítím s velikostí ok 2 mm. Z nadsítné frakce jsou vybrány nerozložené zbytky sledovaného materiálu. Jsou použita standardní síta dle ISO 3310-1 (ISO - International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace pro normalizaci). Částičky materiálu, které se nacházejí ve frakci > 2 mm a které se barvou, strukturou, vlhkostí, atd. neodlišují od prosetého kompostu se považují za kompost (ČSN EN 14806, 2006).

Vytříděné zbytky sledovaného materiálu se očistí od kompostu, pokud je třeba, tak se zbytky omyjí vodou a poté v sušárně vysuší do konstantní hmotnosti. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány (ČSN EN 14806, 2006).

Výpočet stupně rozpadu

Zbylé částičky sledovaného materiálu, které nepropadly přes síto, se označují jako frakce nepodléhající rozpadu. Naopak částičky v podsítné frakci se považují za rozpadlé. Stupeň rozpadu je zjištěn jednoduchým vzorcem, do kterého vstupuje počáteční hmotnost materiálu a koncová hmotnost zbytků materiálu po přesetí. Tento stupeň rozpadu je vypočítán pro každý reaktor (ČSN EN 14806, 2006).

Platnost zkoušky

V případě, že je v každém reaktoru celkový obsah těkavých látek mezi počátečním syntetickým obsahem a kompostem na konci zkoušky roven nebo větší 30 %, lze zkoušku označit za platnou (ČSN EN 14806, 2006).

3.4.2 ČSN EN 13432

Pro potřeby této diplomové práce bude rozebrána kapitola o jakosti výsledného kompostu a stanovení ekotoxických vlivů na vyšší rostliny.

Jakost výsledného kompostu

Jakost výsledného kompostu může být ovlivněna kterýmkoliv dodaným obalem nebo jeho složkou. Pro hodnocení možných rizik pro ŽP se přihlíží ke stanovení ekotoxikologických vlivů produktů biodegradace obalových materiálů nebo provedení ekotoxikologických zkoušek s kompostem připraveným s obalovým materiálem a bez něj a porovnání jejich výsledků. Výsledný kompost musí splňovat evropské či národní požadavky na jakost kompostu včetně analytických a biologických zkoušek (ČSN EN 13432, 2001).

Stanovení ekotoxických vlivů na vyšší rostliny

Ekotoxicita je vlastnost odpadu (či jiného materiálu) představující akutní nebezpečí pro jednu i více složek ŽP. Je to ukazatel používaný k hodnocení odpadů z hlediska možnosti jejich využití a k hodnocení vlastností odpadu (KŘENEK, 2007). Fytotoxicita je negativní vlastnost, která představuje nebezpečí pro vyšší rostliny.

Základním východiskem tohoto stanovení je metodický pokyn Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) pro zkoušení chemikálií 208 Suchozemské rostliny - zkouška růstu (ČSN EN 13432, 2001).

3.4.3 Certifikace

Za základní normu v tomto směru lze považovat normu ČSN EN 13432. Výrobky splňující požadavky této normy dostanou označení (logo), díky kterému lze na první pohled rozeznat kompostovatelné výrobky od ostatních. Toto logo znázorňuje symbol klíčku a uvádí, že výrobek je biodegradabilní a vhodný ke kompostování. Pod logem se nachází také nápis „kompostovatelný“ (může být i v různých cizích jazycích). Kromě symbolu klíčku existuje další symbol vypovídající o možnosti využít konkrétní materiál v procesu kompostování. Tímto symbolem je znak OK Compost. Pokud je splněna norma ČSN EN 13432 a pokud jsou schopny rozkladu v průmyslové kompostárně, lze takto biodegradabilní plasty označit. V příloze č. 4 jsou znázorněny dva zmiňované znaky. Takto označené materiály mají na evropském trhu své místo a získávají si stále větší uznání (SPĚŠNÁ, 2013).

4 MATERIÁL A METODIKA

Kromě výše zpracovaného literárního přehledu dané problematiky biodegradabilních plastů je nyní několik kapitol věnováno praktické části. Dalšími body zadání je realizovat pokusy s vybranými vzorky obalových materiálů jak v laboratorních podmínkách, tak i v domácích podmínkách kompostování.

4.1 Cíl výzkumu

Cílem obou pokusů (laboratorní či domácí podmínky kompostování) je ověřit především schopnost vybraných vzorků podléhat biodegradaci. Zjistit do jaké míry jsou vybrané vzorky biologicky rozložitelné (za předpokladu, že jsou) a u pokusu v laboratorních podmínkách navíc ověřit, jaký bude mít výsledný kompost vliv (ve smyslu ekotoxicity) na vyšší rostliny.

4.2 Praktická zkouška rozpadu - laboratorní podmínky

V laboratoři probíhá zkouška rozpadu daného materiálu za kontrolovaných podmínek. Založení zkoušky je v tomto případě odvozeno od podmínek uváděných v ČSN EN 14806, kde je popisována metodika založení zkoušky rozkladu materiálu v laboratorních podmínkách. Tato zkouška je určena pro ověření stupně rozpadu degradovatelných plastových materiálů. Po vyhodnocení této zkoušky na pokus navazuje test fytotoxicity. Tento test poukazuje na to, zda není výsledný kompost ovlivněn rozloženým materiálem a není toxický pro vyšší rostliny.

4.2.1 Materiál - vybrané vzorky BDP, laboratorní prostředí

Vzorky BDP

Zkouška ověřuje stupeň rozpadu různých vzorků plastového materiálu. Tyto vzorky jsou označeny jako rozložitelné či kompostovatelné.

Praktická zkouška rozpadu (v domácích i laboratorních podmínkách) proběhla u čtyř druhů rozložitelných plastových tašek, pro pokus označeny písmeny A, B, C a D. V laboratorních podmínkách bude zkouška probíhat u každého druhu plastových tašek dvakrát. Vzniknou tedy dvě řady čtyř vzorků (po dvou kusech od každého druhu), tzn. celkově osm vzorků. Druhá řada vzorků je označena písmeny AA, BB, CC a DD. Výsledná řada vzorků vypadá tedy takto: A, AA, B, BB, C, CC, D a DD. Tyto vzorky a jejich popis se nachází v příloze č. 5.

Laboratorní prostředí

Zkoušky byla provedena v prostorách Ústavu aplikované a krajinné ekologie na půdě Mendelovy univerzity v Brně. Laboratoř je moderně zařízena a poskytuje možnost využití všech potřebných přístrojů a příslušenství v takové míře, jakou uvádí metodika obsažená v ČSN EN 14806, ze které tato praktická zkouška vychází. Laboratoř je vybavena, a v praktické zkoušce bylo použito, sušárnou, digitální váhou, nádobami pro založení kompostované směsi - reaktory, digitálním teploměrem, lakmusovými papírky, sítem a dalším potřebným příslušenstvím.

V tomto odstavci jsou popsány přístroje a příslušenství nutné k provedení zkoušky. Reaktor představuje plastová nerozložitelná krabice o rozměrech vyhovujících normě s uzavíratelným víkem. Reaktory jsou na bočních stěnách opatřeny provzdušňovacími dírami. Další je sušárna, která po celou dobu zkoušky zajistí, že reaktory budou uloženy v uzavřeném prostředí o konstantní teplotě. Pokus probíhá s použitím sušárny Ecocell-BMT. Pro přesátí výsledného kompostu je použito vibrační síto Retsch AS 200 s velikostí oka 2 mm. Je použita i digitální váha typu Precisa 4000 C. Ukázka tohoto vybavení se nachází v příloze č. 6.

4.2.2 Metodika - rozpad v laboratorních podmínkách

Tato zkouška rozpadu vychází z normy ČSN EN 14806, kde je přesně popsána metodika zkoušky, její průběh a potřebné náležitosti.

Zkouška byla založena 7. března 2014, na dobu, kterou uvádí norma, tedy 3 měsíce. Složení kompostovací směsi bylo oproti normě, po dohodě s vedoucí práce, modifikováno a založení proběhlo následovně. Největší podíl směsi zaujímá biologicky rozloži-

telný odpad (králíčí hnůj, seno, sláma, shrabané listí a tráva, zbytky z kuchyně, apod.). Toto je největší rozdíl oproti metodice v normě. Dále je například namísto kukuřičného oleje použito větší množství oleje slunečnicového. Ostatní zastoupení jednotlivých složek se od normy do jisté míry neliší. Při založení zkoušky bylo lakmusovými papírky zjišťováno pH, jehož hodnota ukázala stupeň 6. Konkrétní složení kompostové zakládky je uvedeno v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3 Modifikované složení kompostovací směsi pro laboratorní použití (ZLOCH, 2015)

Materiál	Hmotnost [g]	Hmotnost [%]
BRO*	5 960	64
Piliny	1 500	16
Slunečnicový olej	1 000	11
Škrob	300	3
Kompost	300	3
Sacharóza	180	2
Močovina	60	1
Celkem	9 300	100

* BRO - Biologicky rozložitelný odpad- králíčí hnůj, sláma, listí, tráva, kuchyňský odpad (ovoce, zelenina, apod.)

Připravená směs byla rovným dílem rozdělena do osmi reaktorů. Současně s přípravou směsi proběhlo upravení vzorků plastových tašek, spočívající v jejich nastříhání na menší části, dle normy, o velikosti zhruba 2,5 x 2,5 cm. Vzniklé části vzorků byly postupně přidány do jednotlivých reaktorů. V tabulce č. 4 je uvedeno označení a uložení vzorků do těchto reaktorů včetně zaznamenané hmotnosti.

Tabulka č. 4 Uložení vzorků do jednotlivých reaktorů včetně hmotnostních údajů (ZLOCH, 2015)

Číslo reaktoru	Vzorek (plastové tašky)	Hmotnost Reaktoru [g]	Hmotnost kompostované směsi [g]	Hmotnost vzorku [g]	Celková hmotnost [g]
1	A	108,48	1168,02	5,13	1281,63
2	AA	106,77	1236,43	5,69	1348,89
3	B	108,95	1190,98	11,21	1311,14
4	BB	103,44	1176,59	11,22	1291,25
5	C	103,5	1189,78	12,25	1305,53
6	CC	103,67	1191,25	12,65	1307,57
7	D	103,8	1184,31	10,31	1298,42
8	DD	105,19	1198,73	10,42	1314,34

Po promíchání směsi v reaktoru s vybranými vzorky se každý reaktor uzavřel a vložil do sušárny s předem nastavenou teplotou 58 °C. Postup přípravy a založení zkoušky se nachází v příloze č. 7. V další tabulce (tabulka č. 5) jsou shrnuty základní parametry založení zkoušky.

Tabulka č. 5 Základní parametry založení zkoušky rozkladu (ZLOCH, 2015)

Datum založení zkoušky	7. března 2014
Počet vzorků	4 x 2
Počet reaktorů	8
pH kompostované směsi	6
Teplota v sušárně	58 °C
Doba vyhrazená pro zkoušku	3 měsíce
Metodika	modifikovaná dle ČSN EN 14806

Každý pracovní den po dobu 3 měsíců bylo nutné reaktory otevřít, mechanicky promíchat a provzdušnit směs, zjistit teplotu a pH směsi. Tyto hodnoty (včetně konečných průměrných hodnot), uvedené v příloze č. 8, byly zaznamenávány pro následovné vyhodnocení zkoušky. Promíchávání směsi v každém reaktoru se pečlivě provádělo vhodným pracovním nástrojem tak, aby došlo k promísení a provzdušnění celého profi-

lu rozkládajícího se materiálu se sledovanými vzorky. Promíchávání směsi je znázorněno v příloze č. 9. Následující příloha (příloha č. 10) zobrazuje reaktory, ve kterých lze již viditelně pozorovat rozklad vzorků. První zaznamenaná zřetelná změna vzorku (rozpad) byla zaznamenána zhruba po uplynutí 1 měsíce, a to u vzorku B a BB, což je jeden druh BDP.

4.2.3 Metodika - rozpad v laboratorních podmínkách - ukončení zkoušky

Po uplynutí 90 dnů od založení, tedy 4. června 2014, byla zkouška ukončena. Reaktory s kompostovanou směsí byly otevřeny a v sušárně Ecocell - BMT vysušeny do konstantní hmotnosti. Po vysušení byly z každého reaktoru pinzetou posbírány všechny viditelné zbytky vzorku. Aby bylo zajištěno vytřídění všech fragmentů vzorků, bylo nutné použít síto. Bylo použito vibrační síto Retsch AS 200. Síto umožňuje oddělit frakce o velikosti větší než 2 mm. Z této nadsítné frakce byly vybrány další fragmenty vzorku. Toto proběhlo se vzniklým kompostem z každého reaktoru. V příloze č. 11 jsou znázorněny reaktory s kompostovanou směsí po ukončení zkoušky.

Po vytřídění všech fragmentů se jednotlivé zbytky vzorků zvážily na digitální váze a hodnoty byly zaznamenány pro budoucí výpočty. Podsítná frakce z jednotlivých reaktorů (částice kompostu a vzorků menší než 2 mm) byla označena a uschována pro uplatnění při testu fytotoxicity. Označení bylo provedeno tak, že ke každému označení zkoušeného vzorku bylo přiřazeno číslo. Názorná ukázka označení kompostů je v tabulce č. 6. V příloze č. 12 je znázorněno přesívání výsledných kompostů a také zbylé fragmenty zkoumaných vzorků BDP.

Tabulka č. 6 Označení vzorků výsledných kompostů (ZLOCH, 2015)

Reaktor/vzorek BDP	Označení kompostu
1/A	A1
2/AA	AA2
3/B	B3
4/BB	BB4
5/C	C5
6/CC	CC6
7/D	D7
8/DD	DD8

4.3 Rozpad v laboratorních podmínkách - test fytotoxicity

Test vlivu výsledného kompostu po rozložení vzorků BDP na vyšší rostliny, neboli test fytotoxicity, je založen na metodice dle ČSN EN 13432. V této normě je pod přílohou písmena E popsán postup pro stanovení ekotoxického vlivu na vyšší rostliny. Test probíhá 21 dní, kdy je nutno nádoby se substrátem a semeny dle potřeby zavlažovat.

Použitý materiál pro stanovení vlivu fytotoxicity kompostu na vyšší rostliny

Při zkoušce rozpadu vzniklo osm vzorků výsledného kompostu (A1, AA2, B3, BB4, C5, CC6, D7 a DD8). Jako základní substrát je použit tento výsledný kompost. Pro slepý vzorek je použit referenční substrát (bez rozložených vzorků BDP). Byly připraveny vzorky substrátu s použitím 25 % a 50 % kompostu z předchozí zkoušky. Pro doplnění do 100 % hmotnosti celkového substrátu bylo do potřebného poměru přidáno referenčního substrátu.

Od každého vzorku kompostu budou čtyři nádoby se substrátem (dvě nádoby s 25 % vzniklého kompostu a dvě nádoby s 50 % vzniklého kompostu). Bylo zapotřebí celkem 34 nádob (32 nádob pro kompost z předchozí zkoušky a 2 nádoby pro kontrolní vzorky). V každé nádobě bylo celkově 100 g substrátu (referenční substrát a kompost ze zkoušky rozpadu, popřípadě pouze kontrolní vzorek referenčního substrátu). Konkrétní potřebné množství substrátů pro jednotlivé vzorky je uvedeno v tabulce č. 7.

Jako vhodný rostlinný druh pro provedení testu byla vybrána hořčice bílá (*Sinapis alba*). Pro založení testu bylo do každé nádoby s připraveným smíchaným substrátem vloženo 100 semen hořčice bílé, zasypáno malou vrstvou křemičitého písku a zalito vodou. Zdokumentovaný postup založení testu fytotoxicity je znázorněn v příloze č. 13. Po uplynutí 21 dní byl test ukončen.

Tabulka č. 7 Jednotlivé vzorky substrátů pro test fytotoxicity (ZLOCH, 2015)

Vzorek kompostu nebo ref. substrátu	vzorek BDP	označení	hmotnost kompostu [g]	hmotnost ref. substrátu [g]	hmotnost celkem [g]
kontrolní A	není	Eh A	0	100	100
kontrolní B	není	Eh B	0	100	
A1	A	A1/25 A	25	75	100
		A1/25 B	25	75	
		A1/50 A	50	50	
		A1/50 B	50	50	
AA2	AA	AA2/25 A	25	75	100
		AA2/25 B	25	75	
		AA2/50 A	50	50	
		AA2/50 B	50	50	
B3	B	B3/25 A	25	75	100
		B3/25 B	25	75	
		B3/50 A	50	50	
		B3/50 B	50	50	
BB4	BB	BB4/25 A	25	75	100
		BB4/25 B	25	75	
		BB4/50 A	50	50	
		BB4/50B	50	50	
C5	C	C5/25 A	25	75	100
		C5/25 B	25	75	
		C5/50 A	50	50	
		C5/50 B	50	50	
CC6	CC	CC6/25 A	25	75	100
		CC6/25 B	25	75	
		CC6/50 A	50	50	
		CC6/50 B	50	50	
D7	D	D7/25 A	25	75	100
		C7/25 B	25	75	
		C7/50 A	50	50	
		C7/50 B	50	50	
DD8	DD	DD8/25 A	25	75	100
		DD8/25 B	25	75	
		DD8/50 A	50	50	
		DD8/50 B	50	50	

4.4 Praktická zkouška rozpadu - domácí kompostování

Zkouška rozpadu daného plastového materiálu v procesu domácího kompostování probíhá v reálných podmínkách. Dle vlastní metodiky je zjišťováno, jak se biodegradabilní či kompostovatelné plasty chovají v jiných než laboratorních podmínkách nebo v podmínkách řízeného kompostování na průmyslových kompostárnách. Tato zkouška je založena na principu domácího kompostování. Vybrané vzorky byly při výrobě označeny za rozložitelné, nebo dostali certifikaci jako biodegradabilní/kompostovatelné. Cílem zkoušky je ověřit tato tvrzení v nekontrolovaných podmínkách domácího kompostování (nekontrolována teplota, pH, vlhkost, provzdušňenost, ani není řešeno optimální složení zakládací kompostované směsi dle normy).

4.4.1 Materiál - vybrané vzorky BDP, domácí kompostér

Vzorky BDP

Pro praktickou zkoušku rozpadu bylo vybráno čtyř vzorků BDP, totožných jako při zkoušce v laboratorních podmínkách. Dle údajů uvedených na těchto vzorcích jsou všechny rozložitelné (biodegradovatelné nebo kompostovatelné). Vybrané vzorky BDP jsou na trhu běžně dostupné, pro tuto zkoušku (i pro zkoušku v laboratoři) ovšem poskytnuté od vedoucí diplomové práce. Pro účel zkoušky byly vzorky označeny písmeny Ax, Bx, Cx a Dx (viz. příloha č. 14.)

Domácí kompostér

Kompostér je nádoba, z různého materiálu a o různé velikosti, vhodná k ukládání biologického materiálu za účelem jeho přeměny na kompost.

Pro založení této zkoušky byl vybrán domácí kompostér, resp. dva kompostéry, stojící volně na nezpevněném a neupravovaném povrchu. Jeden kompostér je vyrobený z neimpregnovaného dřeva o rozměrech 160 × 130 × 100 cm. Při zakládání pokusu již byl kompostér plný biologického odpadu (zbytky rostlin, shrabaná stará tráva, zbytky slámy, králičí hnůj, odpad zeleniny a ovoce z kuchyně, vše smícháno s již hotovým kompostem), ale tato kompostová zakládka byla stará jeden měsíc, rozkladné procesy

ještě plně neprobíhaly, základka byla překopána, provzdušněna a promísena. Tento způsob kompostování se označuje jako otevřené kompostování.

Druhý kompostér byl využit v druhé fázi zkoušky (popsané níže). Jedná se o kompostér rozměrů 100 × 105 × 80 cm vyrobený z lakovaných dřevotřískových desek. Znázornění obou kompostérů je vidět v příloze č. 15.

4.4.2 Metodika - rozpad v procesu domácího kompostování

Zkouška započala 31. března 2014, kdy byly vzorky (předem zvážené na digitální váze Precisa 4000 C) uloženy do kompostéru s kompostovací směsí. V tabulce č. 8 je uvedena zjištěná hmotnost každého vzorku plastové tašky. Pokud by se vzorky vložily volně do kompostéru, pravděpodobně by po uplynutí daného času pro pokus nastal problém. Tím je myšleno, že by rozložené vzorky a jejich části nebylo možné v kompostéru najít a zhodnotit stupeň rozkladu. Jak je patrné z přílohy č. 16, vybrané vzorky BDP byly proto vloženy do obalů zhotovených z nerozložitelného pevného materiálu, avšak dostatečně perforovaného a tenkého, aby byl zajištěn kontakt vzorku s okolním prostředím (možnost napadení mikroorganismy). Na rozdíl od zkoušky v laboratorních podmínkách nedošlo k nastříhání vzorků na menší části, vzorky se nechaly v původní velikosti, a to především z důvodu přiblížení se reálným podmínkám.

Tabulka č. 8 Hmotnost vzorků pro zkoušku rozpadu - domácí kompostování (ZLOCH, 2015)

Vzorek	Hmotnost vzorku [g]
Ax	5,16
Bx	11,26
Cx	12,78
Dx	10,39

Zkušební doba pro tento pokus byla stanovena na 90 dní. Tato doba vychází z údajů uvedených v normě ČSN EN 14806, která stanovuje dobu zkoušky na 3 měsíce. Tato norma sloužila i jako východisko pro první zkoušku (v laboratorních podmínkách), a proto je zkušební doba u obou pokusů stejná.

Do daného kompostéru bylo vyhloubením připraveno lože pro uložení vybraných vzorků. Do takto připravené kompostované směsi byly vloženy vzorky a zakryty zhruba 30 cm vrstvou směsi. V příloze č. 17 je na příkladu znázorněno vložení vzorků do kompostéru a založení samotné zkoušky. V průběhu pokusu nebylo do procesu kompostování zasahováno jinak, než občasným přidáním dešťové vody do kompostéru, aby se zvýšila vlhkost. Během teplého počasí by kompost samovolně vysychal a rozkladné procesy by neprobíhaly v takové míře, jaké by měly. Voda byla přidána nahodile, bez pravidelnosti, s přihlédnutím na okolní teplotní podmínky. Překopávání a mechanické provzdušňování tedy pravidelně neprobíhalo.

V polovině vymezeného času pro zkoušku proběhlo vytažení vzorků z důvodu vizuální kontroly vzorků a prokypření a provzdušnění kompostované směsi. Vytažené vzorky byly omyty vodou a vizuálně zkontrolovány. Stav vzorků BDP po uplynutí cca 6 týdnů je znázorněn v příloze č. 18. Po kontrole a překopání kompostu byly vzorky uloženy zpět do kompostéru a zahrnuty kompostovanou směsí.

Po uplynutí 3 měsíců byly vzorky z kompostéru vyjmuty a omyty ve vodě, aby se odstranily nečistoty z kompostu. Poté proběhla vizuální kontrola a zhodnocení, zda došlo k viditelným změnám, např. barvy či úbytku materiálu - narušení mikroorganismy. Po usušení vzorků následovalo vyjmutí vzorků z obalů a zjišťování jejich hmotnosti na laboratorních vahách OHAUS Adventurer Pro, zjištěné hmotnosti vzorků byly zaznamenány.

Protože je tato zkouška rozpadu plastového materiálu v podmínkách domácího kompostování podložena výsledky pokusu v práci Biodegradabilní plasty a plastové odpady, jejich úprava, zhodnocení, odstranění (ZLOCH, 2013), dalo se předpokládat, že vyhrazená doba (3 měsíce) nebude za těchto podmínek dostatečně dlouhá, aby se materiál v potřebné míře rozložil. Z tohoto důvodu byla metodika již při založení pokusu upravena, a to tak, že po uplynutí 90 dní bude provedeno a vyhodnoceno výše uvedené a poté se materiál opět vloží zpět do kompostéru. Modifikace spočívá v tom, že po uplynutí třech měsíců se vzorky vložily zpět do kompostéru a ponechaly se zde po zbytek doby chybějící do 12 měsíců od prvotního založení zkoušky, tzn. navíc 9 měsíců.

Při této modifikaci byly vzorky vloženy do nově připravené kompostované směsi ve druhém kompostéru (králíčí hnůj, sláma, zbytky rostlin, tráva, zbytky z kuchyně) smíchané s již hotovým kompostem. Směs byla tedy promíchána a provzdušněna. Po zbytek doby se do procesu mechanicky nezasahovalo (pouze nepravidelné přidávání

dešťové vody) a nechal se mu volný průběh. V tabulce č. 9 jsou uvedeny hodnoty pH kompostované směsi při založení pokusu, zjištěná hodnota pH po 3 měsících a hodnota pH o 12 měsících.

Tabulka č. 9 Hodnoty pH kompostované směsi (ZLOCH, 2015)

	založení	3 měsíce	12 měsíců
hodnota pH	5,5	7,5	8

31. března 2015, tzn. 12 měsíců od založení zkoušky v domácích podmínkách, byly vzorky opět vyjmuty, omyty vodou a na laboratorních vahách zjištěna jejich hmotnost. Byl použit stejný postup jako při kontrole po uplynutí 3 měsíců. Příloha č. 19 znázorňuje vizuální změny vzorků vyjmutých z kompostéru po 3 měsících a po 12 měsících. Pro účel zjištění hmotnosti vzorků byla použita laboratorní váha OHAUS Adventurer-Pro, viz. příloha č. 20, ve které lze kromě váhy vidět i průběh samotného vážení vzorků po 3 měsících a po 12 měsících.

5 VÝSLEDKY

Tato kapitola je podrobně věnována vyhodnocení všech předešlých zkoušek. Jedná se konkrétně o praktickou zkoušku rozpadu materiálu v podmínkách domácího kompostování, zkoušku rozpadu materiálu v laboratorních podmínkách a na ni navazující test fytotoxicity. Z každé zkoušky byly výstupní hodnoty zaznamenány, nyní se využijí pro výpočty.

5.1 Výsledky zkoušky - laboratorní podmínky

Zkouška rozpadu v laboratorních podmínkách byla ukončena dne 4. června 2014, tj. po 3 měsících od jejího založení. Nyní lze tedy navázat na kapitolu 4.2.3, kde je zmínováno ukončení zkoušky spojené s vytríděním, popř. s přesátím kompostu a zbytků zkoumaných vzorků.

Po ukončení zkoušky lze říci, že na první pohled došlo k úplnému rozkladu vzorků B, C a D. U vzorku A bylo jasně zřetelné, že k rozpadu nedošlo. Po bližším zkoumání a přesátí bylo malé, v některém případě nepatrné, množství fragmentů zkoumaných vzorků nalezeno v každém reaktoru. Tyto fragmenty byly zváženy a jejich hmotnost uvádí tabulka č. 10.

Tabulka č. 10 Hmotnostní tabulka vzorků - po ukončení zkoušky (ZLOCH, 2015)

Vzorek	Hmotnost [g]
A	5,59
AA	5,82
B	0,68
BB	0,78
C	0,13
CC	0,03
D	0,12
DD	0,15

V příloze č. 8 lze najít přehled hodnot pH a teploty v reaktorech za celou dobu zkoušky. Pro přehlednost jsou tyto hodnoty zprůměrované a uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11 Tabulka průměrných hodnot pH a teploty v reaktorech (ZLOCH, 2015)

pH kompostované směsi - průměr	teplota kompostované směsi - průměr
3, 4	55, 5 °C

5.1.1 Výpočty - laboratorní zkouška

Kapitola s výpočty je odvozena opět od normy ČSN EN 14806, kde je mimo jiné popsán i postup pro výpočet stupně rozpadu.

Výpočet stupně rozpadu

Materiál, který neprošel sítí se považuje za materiál nepodléhající rozpadu. Z hmotnostního rozdílu zkoumaného materiálu na začátku zkoušky a na jejím konci lze zjistit stupeň rozpadu, a to následovně:

$$D = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

; kde D - stupeň rozpadu

M_i - počáteční hmotnost vzorku

M_r - hmotnost fragmentů vzorku
po ukončení zkoušky

(ČSN EN 14806, 2006)

Pro zkoušku bylo vybráno osm vzorků (A, AA, B, BB, C, CC, D a DD), jejichž hmotnosti se liší, a proto se stupeň každého vzorku počítá zvlášť.

Vzorek A:

$$D(A) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(A) = \frac{5,13 - 5,59}{5,13} \times 100$$

$$\underline{D(A) = -9,0\%}$$

Vzorek AA:

$$D(AA) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(AA) = \frac{5,69 - 5,92}{5,69} \times 100$$

$$\underline{D(AA) = -4,0\%}$$

Vzorek B:

$$D(B) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(B) = \frac{11,21 - 0,68}{11,21} \times 100$$

$$\underline{D(B) = 93,9\%}$$

Vzorek BB:

$$D(BB) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(BB) = \frac{11,22 - 0,78}{11,22} \times 100$$

$$\underline{D(BB) = 93,0\%}$$

Vzorek C:

$$D(C) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(C) = \frac{12,25 - 0,13}{12,25} \times 100$$

$$\underline{D(C) = 98,9\%}$$

Vzorek CC:

$$D(CC) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(CC) = \frac{12,65 - 0,03}{12,65} \times 100$$

$$\underline{D(CC) = 99,8\%}$$

Vzorek D:

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

$$D(D) = \frac{10,31 - 0,12}{10,31} \times 100$$

$$\underline{D(D) = 98,8\%}$$

Vzorek DD:

$$D(DD) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(DD) = \frac{10,42 - 0,15}{10,42} \times 100$$

$$\underline{D(DD) = 98,6\%}$$

Vzhledem k tomu, že zkouška v laboratorních podmínkách sledovala čtyři vzorky, které byly rozděleny do dvojic stejného druhu (např. A = AA, B = BB, ...), následuje tabulka (tabulka č. 12), která uvádí průměrné hodnoty rozpadu vzorků stejného druhu.

Tabulka č. 12 Zprůměrované hodnoty stupně rozpadu sledovaných vzorků v laboratorních podmínkách kompostování (ZLOCH, 2015)

vzorek	zprůměrovaný stupeň rozpadu
A/AA	-6,5 %
B/BB	93,5 %
C/CC	99,4 %
D/DD	98,7 %

5.1.2 Závěr zkoušky rozpadu v laboratorních podmínkách

V kapitole 5.1.1 byl vypočítán stupeň rozpadu sledovaného materiálu. Ten procenticky vyjadřuje množství degradovaného materiálu, tj. část vzorku, který se rozložil.

U vzorku A a AA je zaznamenána záporná hodnota stupně rozpadu. To znamená, že vzorky nepodlehly rozkladu. Naopak se jejich výsledná hmotnost navýšila. Tento nárůst hmotnosti je způsoben tím, že se na nerozložený materiál uchytily nečistoty a zbytky kompostu, popřípadě i zbytky mikroorganismů. Tyto vzorky lze označit jako vzorky nepodléhající degradaci, tedy biologicky nerozložitelné.

Vzorek CC vykazoval nejvyšší stupeň rozpadu. Jeho stupeň rozkladu je takřka 100%. Ovšem stupeň rozpadu ostatních vzorků je také velmi vysoký. Ten byl zjištěn v rozmezí 93-99 %. Vzorky B, BB, C, CC, D a DD lze z laboratorního hlediska proto označit jako biologicky rozložitelné (biodegradabilní).

5.2 Výsledky zkoušky - test fytoxicity

K vyhodnocení testu fytoxicity byla použita norma ČSN EN 13432. Počet vyklíčených semen rostliny na jednotlivých vzorcích kompostu s rozloženými vzorky BDP se porovná s počtem vyklíčených semen na kontrolních vzorcích referenčního substrátu, tzn. výsledná hodnota je poměr klíčivosti vyjádřený v procentech. V tabulce č. 13 jsou uvedeny vzorky kompostu, u kterých při zkoušce fytoxicity semena hořčice vyklíčila, včetně jejich počtu. U vzorků kompostu, které v tabulce č. 13 uvedeny nejsou, nebyla zjištěna žádná klíčivost. Příloha č. 21 ukazuje nádoby se vzorky kompostu po uplynutí doby 21 dní. Je zde vidět velmi malé procento klíčivosti, u většiny vzorků se naopak objevila plíseň.

Tabulka č. 13 Klíčivost semen hořčice bílé - test fytotoxicity (ZLOCH, 2015)

Vzorek kom- postu	Počet klíčků ze 100 semen	pH	Klíčivost [%]	
Eh A	38	7	38	
Eh B	54	7	54	
				Poměr klíči- vosti [%]
A1/25 B	8	7	8	Eh A - 21
				Eh B - 15
B3/25 A	14	7,5	14	Eh A - 37
				Eh B - 26
B3/25 B	21	7,5	21	Eh A - 55
				Eh B - 39

V příloze č. 22 jsou znázorněny nádoby s vyklíčenými semeny.

5.2.1 Závěr - test fytotoxicity

Z tabulky č. 13 vyplývá, že z celkového počtu 32 vzorků kompostu vyklíčily semena pouze ve 3 nádobách. Pouze u jediného vzorku kompostu byly výsledky do určité míry uspokojivé, a to u vzorku B3/25 B, kdy bylo smícháno 25 % výsledného kompostu B3 a 75 % referenčního substrátu. Kompost B3 obsahoval rozložený vzorek biodegradabilního plastu B. Klíčivost semen u ostatních vzorků byla nízká, resp. žádná.

Navzdory ojedinělým vzorkům kompostu, kde se podařilo několika semenům vyklíčit, celkový test fytotoxicity nelze označit jinak než za negativní. Při zakládání testu fytotoxicity bylo pH kompostů vzniklých v předcházející laboratorní zkoušce rozpadu vzorků BDP příliš nízké, z toho důvodu nelze bezpečně určit, zda toxické prostředí způsobil rozklad BDP, nebo kyselé pH kompostu.

5.3 Výsledky zkoušky - domácí kompostování

Vyhodnocení zkoušky rozpadu vzorků BDP v podmínkách domácího kompostování bude rozděleno do dvou částí.

První část obsahuje vyhodnocení údajů, které byly získány zjišťováním hmotnosti vzorků vyjmutých po 3 měsících z domácího kompostéru. V druhé části se vyhodnotí stejné údaje, ovšem získané po uplynutí 12 měsíců ode dne založení zkoušky.

V obou případech je pro výpočet stupně rozpadu použit vzorec, který uvádí norma ČSN EN 14806.

Po vyjmutí vzorku z kompostéru (ve 3 měsících i ve 12 měsících) proběhlo zjišťování hmotnosti vzorků, tyto hmotnosti byly zaznamenány pro budoucí výpočty a zaznamenány. Tyto hmotnostní údaje jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Tabulka č. 14 Hmotnostní tabulka vzorků - domácí kompostér (ZLOCH, 2015)

Vzorek BDP	Hmotnost počáteční [g]	Hmotnost po 3 měsících [g]	Hmotnost po 12 měsících [g]
Ax	5,16	5,42	7,81
Bx	11,26	9,83	9,67
Cx	12,78	13,05	13,42
Dx	10,39	9,87	9,69

5.3.1 Stupeň rozpadu - 3 měsíce

Následuje vyhodnocení stupně rozpadu vyjmutých vzorků z kompostéru po 3 měsících.

Výpočet stupně rozpadu

U biodegradabilních plastových obalů či tašek lze předpokládat, že budou ve vhodných podmínkách degradovat, tzn. bude se snižovat jejich hmotnost. Snižování hmotnosti se v tomto případě správně označuje jako stupeň degradace. Stupeň degradace se počítá ze vzorce dle normy ČSN EN 14806 následovně:

$$D = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

; kde D - stupeň rozpadu

M_i - počáteční hmotnost vzorku

M_r - hmotnost vzorku

po ukončení zkoušky

(ČSN EN 14806, 2006)

Pro zkoušku byly vybrány čtyři vzorky (Ax, Bx, Cx a Dx), jejichž hmotnosti se liší, a proto se stupeň každého vzorku počítá zvlášť, následovně:

Vzorek Ax:

$$D(Ax) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Ax) = \frac{5,16 - 5,42}{5,16} \times 100$$

$$\underline{D(Ax) = -5\%}$$

Vzorek Bx:

$$D(Bx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Bx) = \frac{11,26 - 9,83}{11,26} \times 100$$

$$\underline{D(Bx) = 12,7\%}$$

Vzorek Cx:

$$D(Cx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Cx) = \frac{12,78 - 13,05}{12,78} \times 100$$

$$\underline{D(Cx) = -2,1\%}$$

Vzorek Dx:

$$D(Dx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Dx) = \frac{10,39 - 9,87}{10,39} \times 100$$

$$\underline{D(Dx) = 5,0\%}$$

5.3.2 Stupeň rozpadu - 12 měsíců

Následuje vyhodnocení stupně rozpadu vyjmutého vzorku z kompostéru po 12 měsících, tzn. po ukončení zkoušky.

Výpočet stupně rozpadu

U biodegradabilních plastových obalů či tašek lze předpokládat, že budou ve vhodných podmínkách degradovat, tzn. bude se snižovat jejich hmotnost. Snižování hmotnosti se v tomto případě správně označuje jako stupeň degradace. Stupeň degradace se počítá ze vzorce dle normy ČSN EN 14806.

$$D = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

; kde D - stupeň rozpadu

M_i - počáteční hmotnost vzorku

M_r - hmotnost vzorku

po ukončení zkoušky

(ČSN EN 14806, 2006)

Pro zkoušku byly vybrány čtyři vzorky (Ax, Bx, Cx a Dx), jejichž hmotnosti se liší, a proto se stupeň každého vzorku počítá zvlášť, následovně:

Vzorek Ax:

$$D(Ax) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Ax) = \frac{5,16 - 7,81}{5,16} \times 100$$

$$\underline{D(Ax) = -51,4 \%}$$

Vzorek Bx:

$$D(Bx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Bx) = \frac{11,26 - 9,67}{11,26} \times 100$$

$$\underline{D(Bx) = 14,1 \%}$$

Vzorek Cx:

$$D(Cx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Cx) = \frac{12,78 - 13,42}{12,78} \times 100$$

$$\underline{D(Cx) = -5 \%}$$

Vzorek Dx:

$$D(Dx) = \frac{M_i - M_r}{M_i} \times 100$$

$$D(Dx) = \frac{10,39 - 9,67}{10,39} \times 100$$

$$\underline{D(Dx) = 6,7 \%}$$

5.3.3 Závěr zkoušky rozpadu v podmínkách domácího kompostování

V předchozích kapitolách byl vypočítán stupeň rozpadu sledovaného materiálu, tentokrát ale v podmínkách domácího kompostování. Stupeň rozpadu vyjadřuje v procentech množství degradovaného materiálu, tj. část vzorku, který se rozložil.

U vzorku Ax a Cx je po 3 měsících zaznamenána záporná hodnota stupně rozpadu. Stejně, jako když se záporná hodnota stupně rozpadu objevila při zkoušce v laboratorních podmínkách, to znamená, že vzorky nepodlehly degradaci. Naopak se jejich výsledná hmotnost navýšila. Tento nárůst hmotnosti je způsoben tím, že se na nerozložený materiál uchytily nečistoty a zbytky kompostu, popřípadě i zbytky mikroorganismů. Tyto vzorky lze označit jako vzorky nepodléhající degradaci, tedy biologicky nerozložitelné.

Vzorek Bx ze zkoušky po 3 měsících vychází nejlépe (ze čtyř sledovaných). Jeho stupeň rozpadu není vysoký, ale dle vizuálního hlediska o rozpadu hovořit lze. U posledního vzorku byl zaznamenán 5% úbytek materiálu. Stupeň rozpadu je velmi nízký, a proto lze zkoumané vzorky celkově označit jako vzorky nepodléhající degradaci.

Po celkovém ukončení zkoušky v podmínkách domácího kompostování, tedy po 12 měsících, byly na první pohled zaznamenány změny pouze nepatrné. V tabulce č. 15 se nachází hmotnostní porovnání vzorků po 3 měsících a po 12 měsících v kompostu a stupeň rozpadu vzorků v této době, tzn. změna hmotnosti vzorků za dobu 9 měsíců.

Tabulka č. 15 Hmotnostní porovnání vzorků po 3 měsících a po 12 měsících (ZLOCH, 2015)

Vzorek	3 měsíce	12 měsíců	stupeň rozpadu*
Ax	5,42	7,81	-44,1 %
Bx	9,83	9,67	1,6 %
Cx	13,05	13,42	-2,8 %
Dx	9,87	9,67	2,0 %

*stupeň rozpadu - změna hmotnosti za období od 3 měsíců do 12 měsíců

Hodnoty zjištěné z tabulky potvrzují pouze nepatrný rozpad vzorků. Nejen že nepodstoupily výraznější rozpad, ale naopak nabyly na hmotnosti. Nárůst hmotnosti je způsoben uchycením nečistot, které se omytím vzorků nedokázaly odstranit.

Ze čtyř sledovaných vzorků lze zviditelnit pouze vzorek Bx, u kterého byl po uplynutí 12 měsíců zaznamenán úbytek 14,1 % materiálu. Avšak jako přesvědčivý výsledek toto označit nelze. Sledované vzorky se za těchto podmínek nerozložily.

5.4 Přehled hodnot, výsledky obou zkoušek rozpadu

Po zhodnocení výsledků zkoušek následuje tato krátká kapitola, která je věnována porovnání konečných hodnot stupně rozpadu vzorků sledovaných v procesu domácího a laboratorního kompostování. V tabulce č. 16 je přehled výsledných stupňů rozpadu jednotlivých vzorků. Pro objektivní posouzení výsledků byla pro domácí kompostování použita hodnota stupně rozpadu zjištěná ve 3 měsících, což je stejná doba, jakou probíhala zkouška v laboratoři.

Tabulka č. 16 Stupeň rozpadu vzorků obou zkoušek po jejich ukončení (ZLOCH, 2015)

vzorek	stupeň rozpadu - DK₃ [%]	stupeň rozpadu - LP [%]	stupeň rozpadu - DK₁₂ [%]
A/AA/Ax	-5	-6,5	-51,4
B/BB/Bx	12,7	93,5	14,1
C/CC/Cx	-2,1	99,4	-5
D/DD/Dx	5	98,7	6,7

* DK₃ - domácí kompostování (ve 3 měsících); DK₁₂ - domácí kompostování (ve 12 měsících); LP - laboratorní podmínky

6 DISKUZE

Tato kapitola je věnována porovnání výsledků zjištěných během provedení zkoušek v domácím kompostování a během procesu kompostování v laboratorních podmínkách.

Z odborné literatury vyplývá, že zkoumaný materiál bude podléhat rozkladným procesům jinak v procesu domácího kompostování, jinak v procesu řízeného průmyslového kompostování a zcela odlišně v laboratorních podmínkách kompostování. Tato diplomová práce, která porovnávala rozklad vzorků v domácím kompostéru a rozklad vzorků v laboratorních reaktorech, je toho důkazem.

Po porovnání hodnot stupně rozpadu v tabulce č. 16 je zřetelné, že, ač byly pro zkoušky použity totožné vzorky BDP, nebylo dosaženo stejných, ale ani přibližných, výsledků. Po nastudování odborné literatury bylo na místě předpokládat dosažení nižšího stupně rozložitelnosti v procesu domácího kompostování na rozdíl od laboratorního pokusu.

V této diplomové práci byl zjištěn podobný výsledek stupně rozpadu v laboratoři i v reálných podmínkách pouze u vzorku A/AA/Ax. Nedošlo k žádné degradaci materiálu, ale naopak nárůstu hmotnosti způsobené uchycenými nečistotami. Tento vzorek byl zkoumán i v pracích jiných autorů.

Zkouška rozpadu téhož vzorku z roku 2011, *Evaluation of biodegradability of plastics bags in composting conditions*, v reálných podmínkách Centrální kompostárny Brno a. s., která probíhala 3 měsíce, potvrzuje nerozložitelnost vzorku A/AA/Ax (VAVERKOVÁ ET AL., 2014). Další podobná zkouška proběhla o rok později, kdy autorka diplomové práce *Hodnocení rozkladu biologicky rozložitelných odpadů* ověřovala schopnost rozložitelnosti totožného vzorku v domácích plastových kompostérech. Výsledek byl stejný. Zaznamenán pouze nárůst hmotnosti (nečistoty) (KLAPSIOVÁ, 2013). I přes označení výrobcem, jako 100% rozložitelný materiál, nelze tento vzorek považovat za biodegradabilní.

Výsledné stupně rozpadu v laboratoři a v reálných podmínkách vzorku C/CC/Cx jsou vůči sobě zcela opačné. V laboratoři byl stupeň rozpadu vzorku takřka 100%, tzn. nejoptimálnější výsledek. Na druhou stranu v domácím kompostéru vzorek nepodlehla žádné degradaci a, stejně jako u vzorku A/AA/Ax, byl zaznamenán pouze nárůst hmotnosti. Aby bylo možno zvýšit důvěryhodnost tvrzení, že vzorek C/CC/Cx není do-

poručením hodný pro použití společně s jiným bioodpadem v domácím kompostování, lze uvést výsledky jiné práce.

Pokus v diplomové práci *Hodnocení rozkladu biologicky rozložitelných odpadů* potvrzuje nerozložitelnost vzorku C/CC/Cx v reálných podmínkách domácího kompostování. Stupeň rozpadu byl záporný (KLAPŠIOVÁ, 2013). Na druhou stranu výsledky z pokusu v Centrální kompostárně Brno a. s. potvrzují použitelnost tohoto vzorku pro řízené kompostování v průmyslových podmínkách (VAVERKOVÁ ET AL., 2014). Po případě i v práci *Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions* proběhla zkouška biodegradability plastových materiálů v reálných podmínkách kompostování a autoři potvrzují, že tento vzorek certifikovaný jako kompostovatelný, prokazuje schopnost biodegradace a lze jej použít v průmyslovém kompostování (ADAMCOVÁ ET AL. 2013).

V pokusu s názvem *How do degradable/biodegradable plastics materials decompose in home composting environment?* se sledovala schopnost degradace výše uváděného vzorku C/CC/Cx, ovšem v reálných podmínkách. Vzorek byl vystaven působení přirozeného prostředí pod povrchem půdy v zahradě. Žádné kontrolované podmínky, zcela přirozený proces rozkladu. Výzkum předkládá pouze vizuální hodnocení po ukončení pokusu (12 týdnů). Z toho je ovšem patrné, že tento vzorek BDP se v přirozeném prostředí nerozložil, vizuálně nebyly zaznamenány sebemenší změny naznačující rozklad materiálu (VAVERKOVÁ ET. AL, 2014).

Zbylé vzorky B/BB/Bx a D/DD/Dx podstoupily určitou část rozkladu. V laboratoři se dosáhlo vysokého stupně rozpadu. V domácím kompostování se vzorky rozložily méně, resp. snížení hmotnosti bylo menší, avšak jistý úbytek hmoty zaznamenán byl.

Kompostování v laboratorních podmínkách probíhá pod stálou kontrolou, je kontrolována a upravována vlhkost, provzdušňenost, teplota a pH. Zejména teplota, provzdušňenost a vlhkost podporuje rozkladné procesy a ovlivňují rozpad BDP. V domácím kompostování se tyto hodnoty nekontrolují. Právě toto může mít za následek neshodující se výsledky při ověřování stupně rozpadu plastového materiálu.

7 ZÁVĚR

Plasty vynikají svými výbornými mechanickými vlastnostmi, a proto jsou velmi oblíbeným a využívaným materiálem. Většina obalů je tvořena právě plasty. Nejhorší způsob nakládání s plastovým odpadem je jeho skládkování, kdy se v prostředí nerozkládá a přetrvává v něm dlouhou dobu.

Aby se omezil negativní dopad a zatížení životního prostředí, byly vynalezeny nové plastové materiály, které jsou vyráběny např. z obnovitelných zdrojů. Takový materiál se nazývá bioplast. Dalším je kompostovatelný plast, který je dle certifikace, a po splnění požadavků normy, vhodný k použití v procesu kompostování. Rozkladem takového plastu se do kompostu uvolňují živiny, které je následně pěstovaná rostlina schopna přijímat. Biodegradabilní plasty se mohou vyrábět z biomasy, ale i z ropy. Důležité je, aby byly schopny rozkladu v daném prostředí. Tím je myšlen proces biodegradace, ve kterém představují nezastupitelnou roli mikroorganismy. Bakterie jsou schopny rozkládat plastový materiál a tím ho rozložit. V práci je popsáno a přiblíženo několik degradovatelných plastů, ovšem nejvýznamnější zástupce rozložitelných plastů používajících pro svoji výrobu obnovitelné zdroje je PLA. Z důvodů ponechání vhodných mechanických vlastností konvenčních plastů, ale současně akceptování požadavků na zmírnění negativních vlivů na životní prostředí, se v dnešní době vyrábějí směsi polymerů, kdy je použito klasického plastu s přidáním vhodného degradovatelného plastu.

Biodegradabilní plasty se více a více začleňují do běžného života, avšak plošnému zavedení brání ekonomické hledisko. Nejčastěji se tyto materiály využívají jako obalový materiál v potravinářství nebo například jako vstřebatelné materiály v medicíně či farmacii.

Normativní prostředí týkající se biodegradabilních plastů představuje výčet několika norem, kterými se problematika tohoto materiálu řídí. Pro tuto práci je nejdůležitější norma ČSN EN 14806, kde jsou popsány konkrétní požadavky na plastový obalový materiál certifikovaný jako biodegradabilní či kompostovatelný, který je použit pro zkoušku stanovení stupně rozpadu v laboratorních podmínkách.

Použití biodegradabilních plastů v praxi bylo ověřeno přiloženým výzkumem. Výsledný stupeň rozpadu jednotlivých vybraných vzorků degradovatelných plastů v laboratorních podmínkách byl vysoký (až 99,4% rozpad). Toto neplatí u jediného typu vzorku, u kterého nebylo docíleno žádného stupně rozpadu (vzorek A/AA - nárůst hmotnosti v průměru o 6,5 %) ani v jiných pokusech provedených jinými autory. Labo-

ratorní zkouška potvrdila možnost použití takových plastů (kromě vzorku A/AA) v procesu kompostování, avšak pouze za řízených a kontrolovaných podmínek. Stupeň rozpadu jednotlivých ostatních vzorků biodegradabilních plastů v laboratorních podmínkách byl B/BB - 93,6 %, C/CC - 99,4 %, D/DD- 98,7 %.

Test fytoxicity, navazující na laboratorní zkoušku rozpadu, neprokázal možnost toxického znečištění rozloženými vzorky plastu. Výsledný kompost, vzniklý při laboratorní zkoušce, měl příliš nízké pH (3,4), což negativně ovlivnilo klíčivost kontrolních semen.

Po ověření schopnosti degradovatelnosti stejných typů vybraných vzorků biodegradabilních plastů lze z výzkumu, provedeného v reálných podmínkách domácího kompostování, usoudit, že pro toto užití v daných podmínkách vhodné nejsou. Rozpad byl zaznamenán pouze u vzorků Bx a Dx. Další vzorky, Ax a Cx, rozpadu nepodlehly a jejich hmotnost se navýšila. Stupeň rozpadu vzorků pro ukončení zkoušky ve 3 měsících byl následující. Stupeň rozpadu Ax byl - 5 %, Bx 12,7 %, Cx - 2,1 % a Dx 5 %. Během sledovaného období vzorky nepodlehly rozpadu v takové míře, aby bylo možno pokus v celkovém měřítku hodnotit pozitivně.

8 POUŽITÁ LITERATURA

ADAMCOVÁ D., VAVERKOVÁ M. D., TOMAN F., 2013, Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. sv. 61, č. 6, 1557-1564 s. ISSN 1211-8516.

BUSINESS MEDIA CZ s.r.o., 2010, Jak využít plasty po skončení jejich životnosti. *Business media*: Technický týdeník č. 17, ISSN 0040-1064.

ČSN EN 13432, 2001, Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci - Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu. Praha: Český normalizační institut, 24 s.

ČSN EN 14806, 2006, Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku. Praha: Český normalizační institut, 20 s.

DUCHÁČEK V., 2006, *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.

GU J. D., 2003, Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration And Biodegradation*, Elsevier, 52 (2): 69-91 s.

HAGEN V., 1977, *Únava a stárnutí materiálu*. 1. vyd., Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 76 s.

HARAŠTOVÁ A., 2012, *Ověření stupně degradace biologicky rozložitelných obalů v čase*, Diplomová práce (in MS) Brno: Mendelova univerzita v Brně, 68 s.

HŘEBÍČEK J., KALINA J. a TOMEK J., 2010, *Projektování nakládání s bioodpady v obcích*. 1. vyd. Brno: Littera, 101 s. ISBN 978-80-85763-56-0.

JONÁŠOVÁ A., 2008, *Současný stav v oblasti druhotného zpracování a využití plastů*. Bakalářská práce. Brno: MZLU v Brně, 48 s.

KLAPSIOVÁ V., 2013, *Hodnocení rozkladu biologicky rozložitelných obalů*. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita. Agronomická fakulta, 56 s.

KROISOVÁ D., 2009, *Biodegradovatelné polymery - úvod do problematiky*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 78 s. ISBN 978-80-7372-468-9.

KŘENEK, 2007, *Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů*. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha, 17 s.

KYRIKOU I., BRIASSOULIS D., 2007, *Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A critical review*. J Polymer Environ. Springer, 15: 125-150 s.

PEPPAS N. A., LANGER R. S., 1993, *Biopolymers I*. Berlin: Springer - Verlag, 272 s.

PETERSEN K. et al., 1999, Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 10: 52-68 s.

RUDNIK E., 2008 *Compostable polymer materials*. 1st ed. Boston: Elsevier, 12: 211 s. ISBN 978-0-08-045371-2.

SHAH A. A., HASAN F., HAMEED A., AHMED S., 2008, Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, Elsevier, 26 (3): 246-265 s.

SHEN L., HAUFE J., PATEL M., 2009, *Product overview and market projection of emerging bio-based plastics*. Utrecht: Universiteit Utrecht, 249 s.

SPĚŠNÁ L., 2013, *Vývoj biodegradabilních plastů na českém trhu*. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita. Agronomická fakulta, 65 s.

STOKLASA K., 2005, *Makromolekulární chemie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 108 s.

VAVERKOVÁ M. D., TOMAN F., ADAMCOVÁ D., KOTOVICOVÁ J., 2012, Study of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in a controlled composting environment. *Ecological Chemistry and Engineering*. sv. 19, č. 3/2012, 347-358 s. ISSN 1898-6196.

VAVERKOVÁ M. D., ADAMCOVÁ D., KOTOVICOVÁ J., TOMAN F., 2014, Evaluation of biodegradability of plastics bags in composting conditions. *Ecological Chemistry and Engineering*. sv. 1, č. 21, 45-57 s. ISSN 1898-6196.

VAVERKOVÁ M., ADAMCOVÁ D., ZLOCH J., Oct. 2014, *How do degradable/biodegradable plastic materials decompose in home composting environment?* Journal of Ecological Engineering. Volume 15, No. 4, 82–89 s.

VÖRÖS F., 2013, Bioplasty - nový problém pro odpadáře V. *Odpady: Měsíčník vydavatelství Economia a. s.*, 24 s.

ZEHNÁLEK J., 2005, *Chemie, paliva, maziva*. Vyd. 2., nezměn. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 176 s. ISBN 80-7157-900-9.

ZLOCH J., 2013, *Biodegradabilní plasty a plastové odpady, jejich úprava, zhodnocení, odstranění*. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita, Agronomická fakulta, 67 s.

INTERNETOVÉ ZDROJE

BRANNON-PEPPAS L., 1997, *Polymers in controlled drug delivery: Medical Plastics and Biomaterials Magazine*. Databáze online [cit. 2015-03-23]. Dostupné na: <http://www.mddionline.com/article/polymers-controlled-drug-delivery>

EUROPEAN BIOPLASTICS, 1/2015, Fact sheet: *Bioplastics – a family of materials*. Berlin. Databáze online [cit. 2015-04-23]. Dostupné na: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/Bioplastics_eng.pdf

GOTRO J., 2013, *Bio Polyethylene: Drop-in Replacement*. Polymer Innovation Blog. Databáze online [cit. 2015-04-22]. Dostupné na: <http://polymerinnovationblog.com/bio-polyethylene-drop-in-replacement/>

LEŠINSKÝ D., 2004, *Environmentálne degradovateľné plasty*. Databáze online [cit. 2015-03-05]. Dostupné na: <http://www.enviweb.cz/clanek/archiv/49745/environmentalne-degradovatelne-plasty>

NEHASILOVÁ D., 2012, *Jsou bioplasty opravdu alternativou?* Databáze online [cit. 2015-03-15], ÚZEI: Agronavigátor. Dostupné na: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=146&ch=1&typ=1&val=118744>

OBRUČA S., 2007, *Bioplasty - materiál budoucnosti I/II*. Databáze online [cit. 2015-03-22]. Dostupné na: <http://www.inovace.cz/novinky/681-bioplasty-material-budoucnosti-i>

RAAB M., 2005, *Polymery a lidé*. Databáze online [cit. 2015-02-17]. Dostupné na: <http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C1Kurzy/Chemie/33raab.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1	
Dělení polymerů	11
Obrázek č. 2	
Světový nárůst produkce biodegradabilních plastů podle European bioplastics	77
Obrázek č. 3	
Symbody označování biodegradabilních a kompostovatelných plastů	78
Obrázek č. 4	
Produkce za rok 2011 a odhad celkové produkce bioplastů pro rok 2016 podle regionu	79
Obrázek č. 5	
Obrázek č. 5 Symbody vyskytující se na certifikovaných BDP	80
Obrázek č. 6	
Vzorky BDP vybrané pro laboratorní zkoušku a jejich označení.....	80
Obrázek č. 7	
Laboratorní vybavení	81
Obrázek č. 8	
Zakládání zkoušky v laboratoři.....	82
Obrázek č. 9	
Postup promíchávání vzorků	84
Obrázek č. 10	
Viditelná změna rozkladu vzorků BDP	85
Obrázek č. 11	
Reaktory s kompostovanou směsí po ukončení zkoušky rozpadu v laboratorních pod- mínkách.....	85
Obrázek č. 12	
Přesévání kompostů po ukončení zkoušky v laboratoři.....	86
Obrázek č. 13	
Založení testu fytotoxicity	87
Obrázek č. 14	
Označení vzorků BDP pro zkoušku rozpadu (domácí kompostování).....	87

Obrázek č. 15	
Domácí dřevěné kompostéry použité pro zkoušku rozpadu	88
Obrázek č. 16	
Příprava vzorků pro zkoušku rozpadu v domácích podmínkách kompostování - jejich vložení do obalu	88
Obrázek č. 17	
Příklad způsobu vložení vzorku BDP do domácího kompostéru	89
Obrázek č. 18	
Kontrola vzorků BDP po uplynutí 6 týdnů	89
Obrázek č. 19	
Vyjmutí vzorků po uplynutí 3 měsíců	90
Obrázek č. 20	
Vyjmutí vzorků po uplynutí 12 měsíců	91
Obrázek č. 21	
Porovnání změn vzorků po 3 měsících a po 12 měsících	92
Obrázek č. 22	
Digitální váha Adventurer-Pro	93
Obrázek č. 23	
Průběh zjišťování hmotnosti vzorků po ukončení zkoušky rozpadu v domácích podmínkách kompostování	93
Obrázek č. 24	
Celkový pohled na vzorky kompostu - ukončení testu fytotoxicity	94
Obrázek č. 25	
Vyklíčená semena na vzorcích kompostu s rozloženými vzorky DBP	95

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1	
Složení pevného syntetického odpadu pro zkoušku hodnocení rozpadu.....	34
Tabulka č. 2	
Rozměry zkušebních vzorků použitých ke sledování procesu rozpadu	35
Tabulka č. 3	
Modifikované složení kompostovací směsi pro laboratorní použití.....	41
Tabulka č. 4	
Uložení vzorků do jednotlivých reaktorů včetně hmotnostních údajů	42
Tabulka č. 5	
Základní parametry založení zkoušky rozkladu	42
Tabulka č. 6	
Označení vzorků výsledných kompostů	44
Tabulka č. 7	
Jednotlivé vzorky substrátů pro test fytoxicity	46
Tabulka č. 8	
Hmotnost vzorků pro zkoušku rozpadu - domácí kompostování	48
Tabulka č. 9	
Hodnoty pH kompostované směsi	50
Tabulka č. 10	
Hmotnostní tabulka vzorků - po ukončení zkoušky	51
Tabulka č. 11	
Tabulka průměrných hodnot pH a teploty v reaktorech	52
Tabulka č. 12	
Zprůměrované hodnoty stupně rozpadu sledovaných vzorků v laboratorních podmínkách kompostování	54
Tabulka č. 13	
Klíčivost semen hořčice bílé - test fytoxicity	55
Tabulka č. 14	
Hmotnostní tabulka vzorků - domácí kompostér.....	56
Tabulka č. 15	
Hmotnostní porovnání vzorků po 3 měsících a po 12 měsících.....	59

Tabulka č. 16	
Stupeň rozpadu vzorků obou zkoušek po jejich ukončení.....	60
Tabulka č. 17	
Popis materiálů vzorků BDP.....	81
Tabulka č. 18	
Denní hodnoty pH a teploty v reaktorech během laboratorní zkoušky	83

SEZNAM ZKRATEK

BDP - biodegradabilní plast

Bio-PE - bio-polyethylen

CA - acetát celulózy

CAP - acetát celulózy propionát

CAB - acetát celulózy butyrát

CO₂ - Carbon dioxide (oxid uhličitý)

ČSN EN - Česká technická norma

EDP - Environmentally degradable plastics (přírozně rozložitelné plasty)

HDPE - polyethylen o vysoké hustotě

ICS-UNIDO - International Centre for Science and High Technology of the United Nations Industrial Development Organization (Mezinárodní středisko pro vědu a vysokou technologii Organizace průmyslového rozvoje spojených národů)

ISO - International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

LCA - Life Cycle Assessment (Hodnocení životního cyklu)

LDPE - polyethylen o nízké hustotě

MŽP ČR - Ministerstvo životního prostředí České republiky

OECD - Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

PBAT - polybuthylen adipát tereftalát

PBS - polybutylen sukcinát

PBSA - polybutylen sukcinát adipát

PBST - polybutylen sukcinát tereftalát

PCL - polykaprolakton

PES - polyethylen sukcinát

PESA - polyethylen sukcinát adipát
PEA - polyesteramid
PET - polyethylentereftalát
PHA - polyhydroxyalkanoáty
PHAS - skupina polyhydroxyalkanoátů
PHB - polyhydroxybutyrát
PLA - polymer kyseliny polymléčné
PVA - polyvinylalkohol
PVAc - polyvinyl acetát
TPS - termoplastický škrob
ŽP - životní prostředí

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA č. 1

Světový nárůst produkce biodegradabilních plastů podle European bioplastics 77

PŘÍLOHA č. 2

Symboly označování biodegradabilních a kompostovatelných plastů 78

PŘÍLOHA č. 3

Produkce bioplastů za rok 2011 a odhad pro rok 2016 podle regionu 79

PŘÍLOHA č. 4

Loga vyskytující se na certifikovaných biodegradabilních či kompostovatelných plastech 80

PŘÍLOHA č. 5

Vzorky BDP pro laboratorní zkoušku, jejich popis 80

PŘÍLOHA č. 6

Laboratorní vybavení k provedení zkoušky rozpadu vybraných vzorků BDP 81

PŘÍLOHA č. 7

Postup přípravy a založení zkoušky v laboratorních podmínkách 82

PŘÍLOHA č. 8

Denní hodnoty pH a teploty v reaktorech během laboratorní zkoušky 83

PŘÍLOHA č. 9

Promíchávání směsi v reaktoru 84

PŘÍLOHA č. 10

Reaktory s viditelným rozkladem vzorků BDP 85

PŘÍLOHA č. 11

Reaktory s kompostovanou směsí po ukončení zkoušky rozpadu v laboratorních podmínkách 85

PŘÍLOHA č. 12

Přesévání výsledných kompostu vzniklých při zkoušce rozpadu v laboratorních podmínkách 86

PŘÍLOHA č. 13

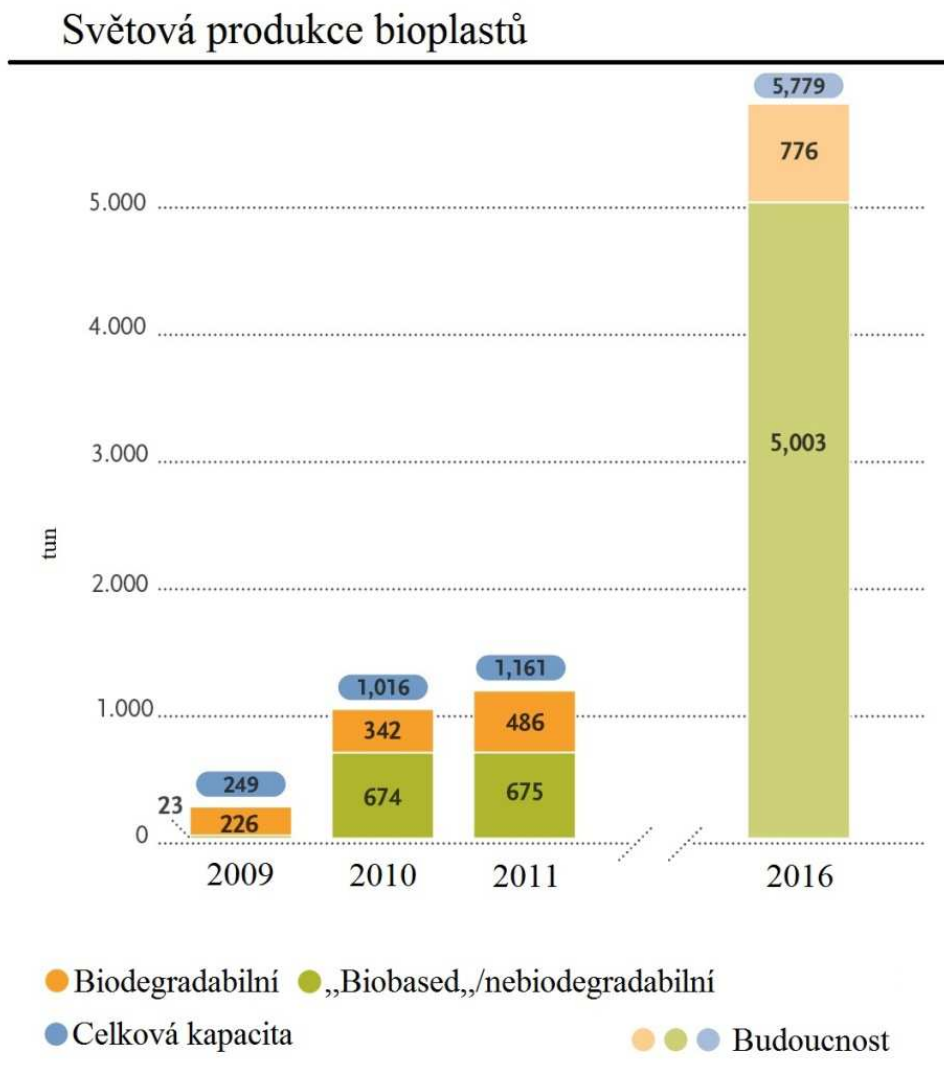
Postup založení testu fytotoxicity 87

PŘÍLOHA č. 14

Označení vzorků BDP pro zkoušku rozpadu v procesu domácího kompostování 87

PŘÍLOHA č. 15	
Znázornění domácích kompostérů - zkouška rozpadu v domácích podmínkách	88
PŘÍLOHA č. 16	
Příprava vzorků pro zkoušku rozpadu v procesu domácího kompostování	88
PŘÍLOHA č. 17	
Příklad způsobu vložení vzorků BDP do kompostéru - založení zkoušky	89
PŘÍLOHA č. 18	
Kontrola vzorků BDP uložených v domácím kompostéru po 6 týdnech	89
PŘÍLOHA č. 19	
Kontrola a porovnání jednotlivých vzorků BDP vytažených z kompostéru po uplynutí 3 měsíců a 12 měsíců	90
PŘÍLOHA č. 20	
Ukázka digitální váhy použité pro zjišťování hmotnosti vzorků BDP po uplynutí 3 měsíců a po 12 měsících, včetně zjišťování hmotnosti vzorků	93
PŘÍLOHA č. 21	
Ukončení testu fytotoxicity, nádoby s kompostem a kontrolními semeny hořčice	94
PŘÍLOHA č. 22	
Ukončení testu fytotoxicity, nádoby s kompostem - vyklíčená semena.....	95










Světový nárůst produkce biodegradabilních plastů podle European bioplastics



Obrázek č. 2 Světový nárůst produkce biodegradabilních plastů podle European bioplastics (ZLOCH, 2013)

PŘÍLOHA č. 2

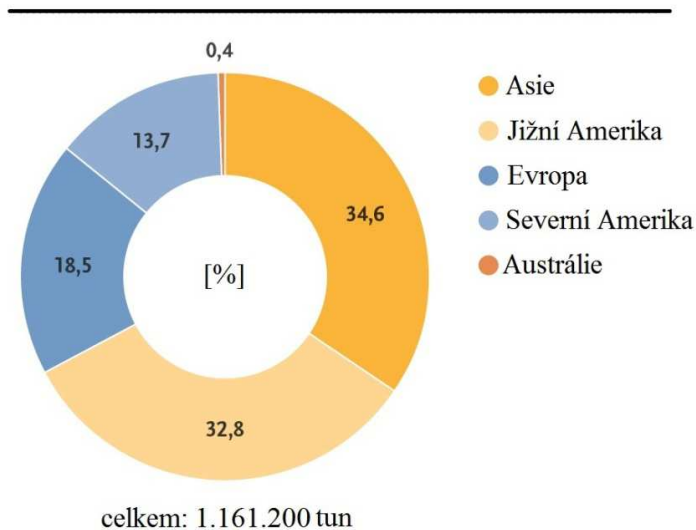
Symboly označování biodegradabilních a kompostovatelných plastů

		<p>Plasty vyrobené z obnovitelných zdrojů</p>
		<p>Kompostovatelné plasty</p>
		<p>Plasty degradovatelné v půdě</p>
		<p>Plasty degradovatelné ve vodě</p>
		<p>Symbol pro kompostovatelný plast tzv. klíček</p>

Obrázek č. 3 Symboly označování biodegradabilních a kompostovatelných plastů (ZLOCH, 2013)

Produkce bioplastů za rok 2011 a odhad pro rok 2016 podle regionu

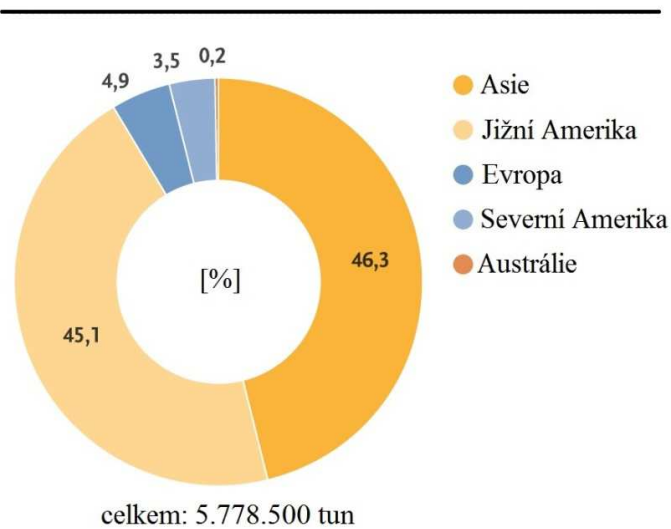
Celková produkce bioplastů (2011)



europa
bioplastics

IfBB
Institute for Bioplastics
and Biocomposites

Celková produkce bioplastů (2016)



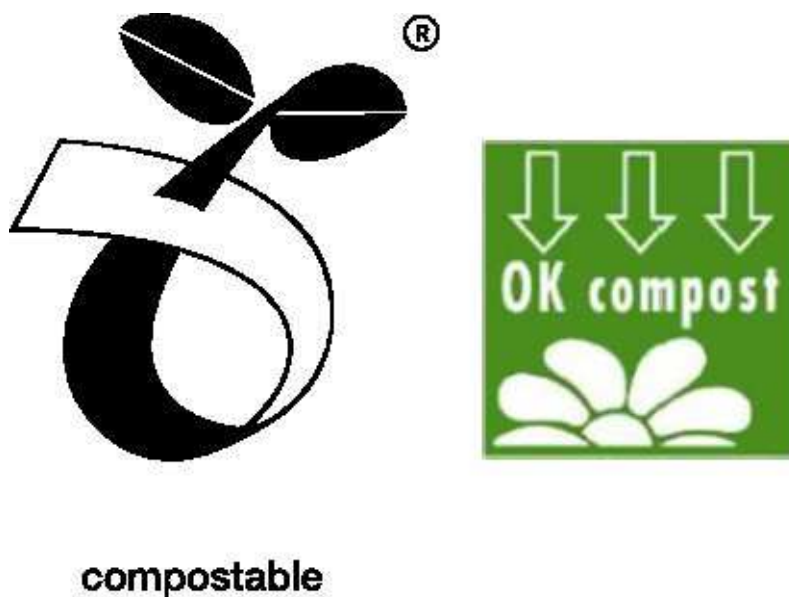
europa
bioplastics

IfBB
Institute for Bioplastics
and Biocomposites

Obrázek č. 4 Produkce za rok 2011 a odhad celkové produkce bioplastů pro rok 2016 podle regionu (ZLOCH, 2013)

PŘÍLOHA č. 4

Loga vyskytující se na certifikovaných biodegradabilních či kompostovatelných plastech



Obrázek č. 5 Symboly vyskytující se na certifikovaných BDP (SPĚŠNÁ, 2013)

PŘÍLOHA č. 5

Vzorky BDP pro laboratorní zkoušku, jejich popis



Obrázek č. 6 Vzorky BDP vybrané pro laboratorní zkoušku a jejich označení (ZLOCH, 2015)

Popis materiálu vzorků BDP

Tabulka č. 17 Popis materiálů vzorků BDP

Vzorek	Materiál	Popisek
A/AA	HD-PE	100% Rozložitelné
B/BB	Mater-Bi	OK Kompost AIB VINCOTTE
C/CC	Přírodní materiál	Compostable 7P0073
D/DD	Mater-Bi	compostable 7P0180, OK compost S81 VINCOTTE

(ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 6

Laboratorní vybavení k provedení zkoušky rozpadu vybraných vzorků BDP



Obrázek č. 7 Laboratorní vybavení; 1 - plastové reaktory, 2 - digitální váha, 3 - vibrační síto, 4 - sušička, 5 - nádoby na přesávaný materiál - součást vibračního síta, 6 - pohled na síto (2 mm) (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 7

Postup přípravy a založení zkoušky v laboratorních podmínkách



Obrázek č. 8 Zakládání zkoušky v laboratoři; 1 - příprava kompostovací směsi, 2 - vkládání kompostovací směsi do reaktorů, 3 - zjišťování hmotnosti vzorků, 4 - vložení nastříhaných vzorků do kompostovací směsi a následné zjišťování hmotnosti, 5 -

promíchání kompostovací směsi a vzorků - uzavření reaktorů, 6 - příprava plných reaktorů, 7 - vložení reaktorů do sušičky, 8 - uzavření sušičky a nastavení potřebné teploty (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 8

Denní hodnoty pH a teploty v reaktorech během laboratorní zkoušky

Tabulka č. 18 Denní hodnoty pH a teploty v reaktorech během laboratorní zkoušky (ZLOCH, 2015)

7.3.2014	založení		datum	pH	teplota [°C]
datum	pH	teplota [°C]	22.4.2014	2	54,8
10.3.2014	6	49,3	23.4.2014	3	53,7
11.3.2014	6	50,2	24.4.2014	3	54,9
12.3.2014	6,5	49,9	25.4.2014	2,5	54,3
13.3.2014	6,5	55,8	28.4.2014	2,5	55,2
14.3.2014	7	54,2	29.4.2014	3	55,8
17.3.2014	6	53,6	30.4.2014	3	56,1
18.3.2014	4,5	55,7	1.5.2014	2,5	55,4
19.3.2014	5	53,8	2.5.2014	3	56,3
20.3.2014	5	57,7	5.5.2014	3	56,2
21.3.2014	5	56,8	6.5.2014	3	56,7
24.3.2014	4,5	58,1	7.5.2014	2,5	56,8
25.3.2014	4	51,4	8.5.2014	3	56,4
26.3.2014	4	55,9	9.5.2014	2,5	56,5
27.3.2014	4	57,2	12.5.2014	2,5	55,8
28.3.2014	3,5	56,9	13.5.2014	2,5	56,1
31.3.2014	4	57,4	14.5.2014	3	54,9
1.4.2014	3,5	55,8	15.5.2014	3	55,2
2.4.2014	3,5	54,3	16.5.2014	2,5	56,3
3.4.2014	4	56,1	19.5.2014	3	54,8
4.4.2014	3,5	56,3	20.5.2014	2	55,6
7.4.2014	3,5	53,3	21.5.2014	2,5	56,9
8.4.2014	2,5	55,8	22.5.2014	3	56,3
9.4.2014	2,5	56,4	23.5.2014	3	55,2
10.4.2014	3	56,3	26.5.2014	2,5	54,9
11.4.2014	3	55,2	27.5.2014	3	56,2
14.4.2014	3	54,1	28.5.2014	3	57,1
15.4.2014	3	55,4	29.5.2014	2,5	56,3
16.4.2014	3,5	56,3	30.5.2014	2,5	55,7
17.4.2014	3	56,4	2.6.2014	3	57,2
18.4.2014	2,5	56,1	3.6.2014	3	56,2
21.4.2014	2,5	56,5	4.6.2014	3	57,3
průměrné hodnoty					
pH 3,4			teplota 55,5 °C		

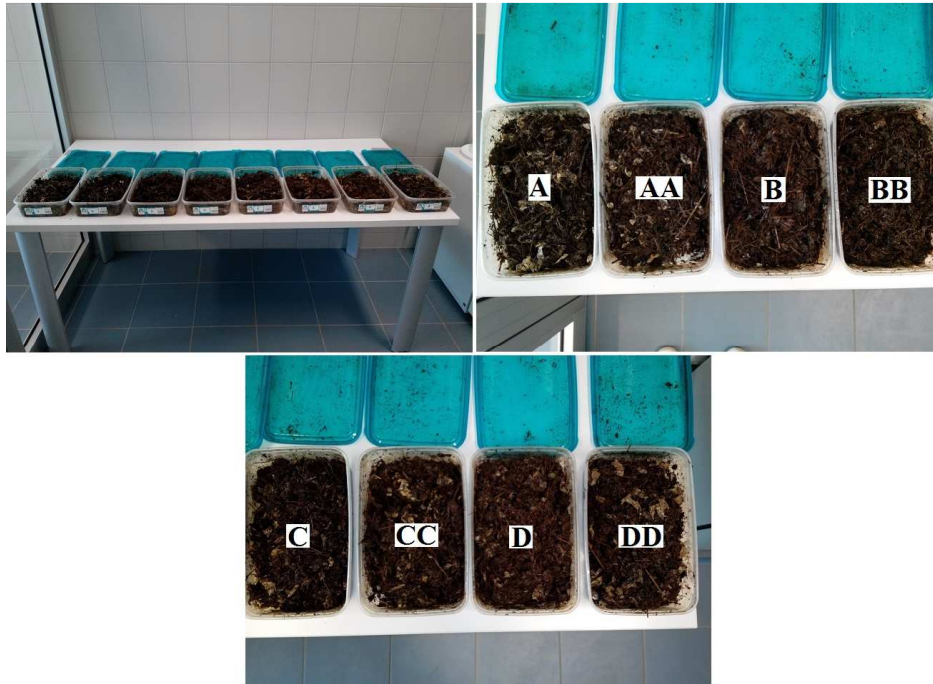
Promíchávání směsi v reaktoru



Obrázek č. 9 Postup promíchávání vzorků; 1 - otevření reaktorů, zjišťování pH a teploty; 2 - promíchání kompostované směsi se vzorky BDP; 3 - zaznamenávání hodnot pH a teploty do laboratorního archu, reaktor s promíchanou kompostovanou směsí (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 10

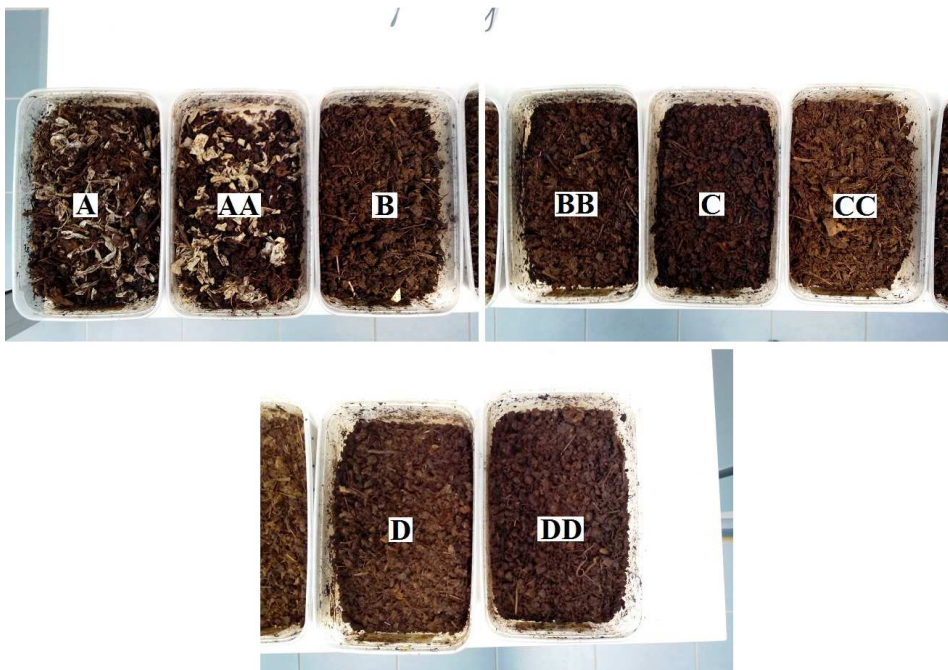
Reaktory s viditelným rozkladem vzorků BDP



Obrázek č. 10 Viditelná změna rozkladu vzorků BDP (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 11

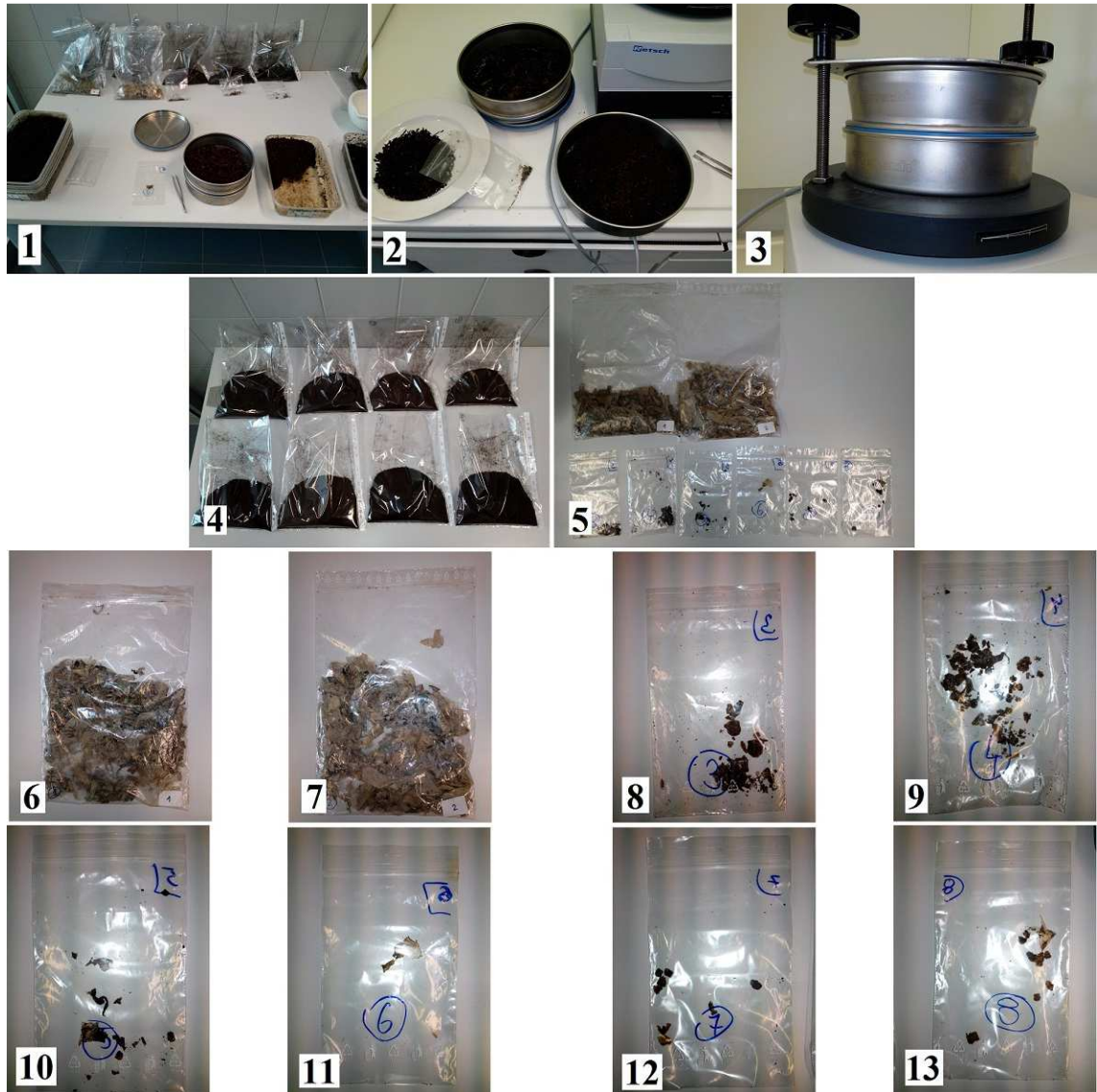
Reaktory s kompostovanou směsí po ukončení zkoušky rozpadu v laboratorních podmínkách



Obrázek č. 11 Reaktory s kompostovanou směsí po ukončení zkoušky rozpadu v laboratorních podmínkách (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 12

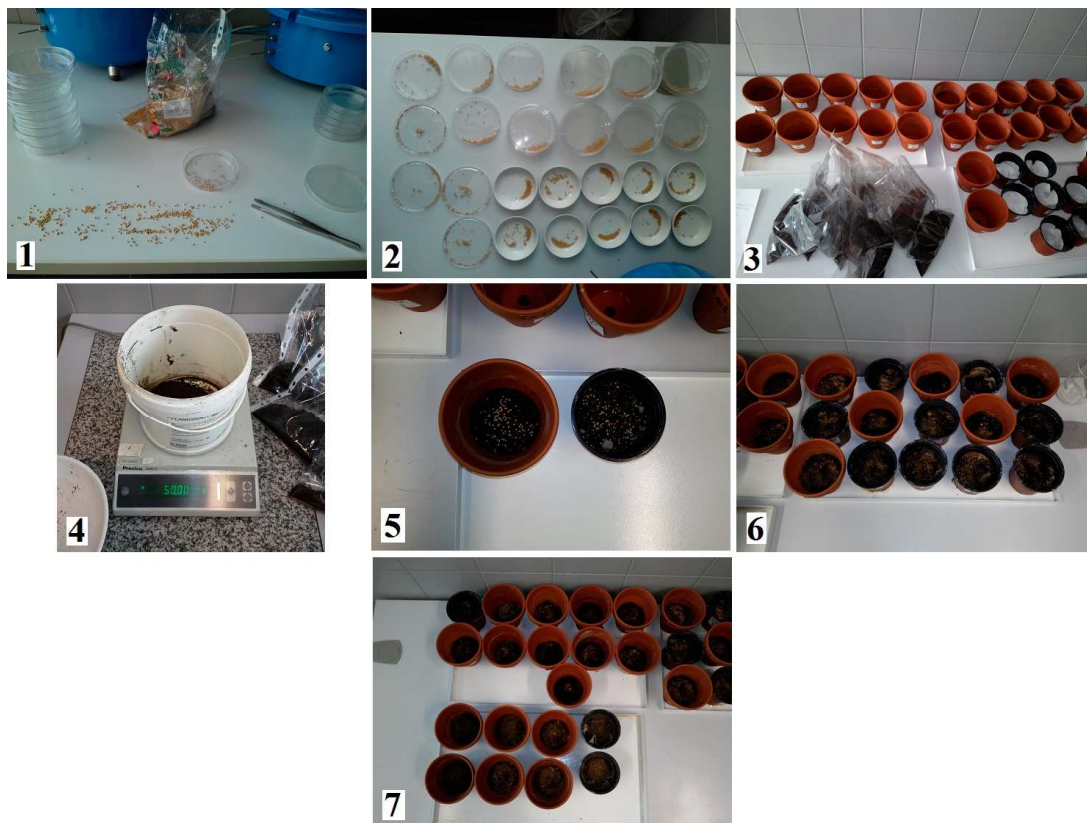
Přesévání výsledných kompostů vzniklých při zkoušce rozpadu v laboratorních podmínkách



Obrázek č. 12 Přesévání kompostů po ukončení zkoušky v laboratoři; 1, 2 - vybírání nerozložených zbytků zkoumaných vzorků BDP; 3 - přesévání na vibračním sítu; 4 - ukázka vzniklých kompostů zbavených nerozložených zbytků vzorků BDP; 5 - vyříděné nerozložené zbytky vzorků BDP; 6 - zbytky vzorku A; 7 - zbytky vzorku AA; 8 - zbytky vzorku B; 9 - zbytky vzorku BB; 10 - zbytky vzorku C; 11 - zbytky vzorku CC; 12 - zbytky vzorku D; 13 - zbytky vzorku DDP (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 13

Postup založení testu fytotoxicity



Obrázek č. 13 Založení testu fytotoxicity; 1 - počítání semen hořčice; 2 - misky s přesným počtem semen pro založení testu; 3 - nádoby a vzorky kompostu; 4 - míchání kompostu a referenčního substrátu v přeném váhovém poměru; 5-7 - uložení semen hořčice do nádob se směsí vzorků kompostu a referenčního substrátu (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 14

Označení vzorků BDP pro zkoušku rozpadu v procesu domácího kompostování



Obrázek č. 14 Označení vzorků BDP pro zkoušku rozpadu (domácí kompostování) (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 15

Znázornění domácích kompostérů - zkouška rozpadu v domácích podmínkách



Obrázek č. 15 Domácí dřevěné kompostéry použité pro zkoušku rozpadu (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 16

Příprava vzorků pro zkoušku rozpadu v procesu domácího kompostování



Obrázek č. 16 Příprava vzorků pro zkoušku rozpadu v domácích podmínkách kompostování - jejich vložení do obalu (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 17

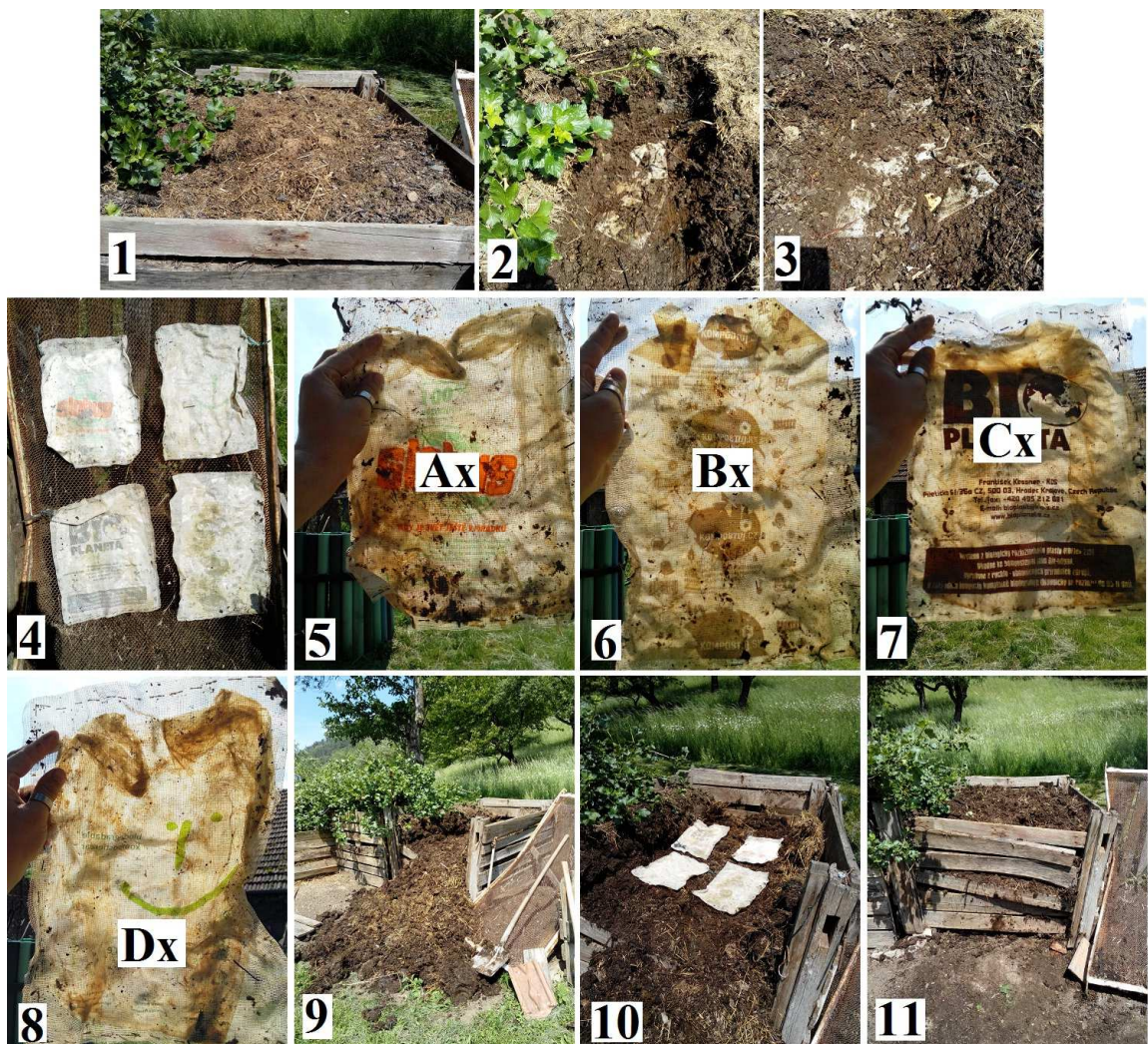
Příklad způsobu vložení vzorků BDP do kompostéru - založení zkoušky



Obrázek č. 17 Příklad způsobu vložení vzorku BDP do domácího kompostéru (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 18

Kontrola vzorků BDP uložených v domácím kompostéru po 6 týdnech

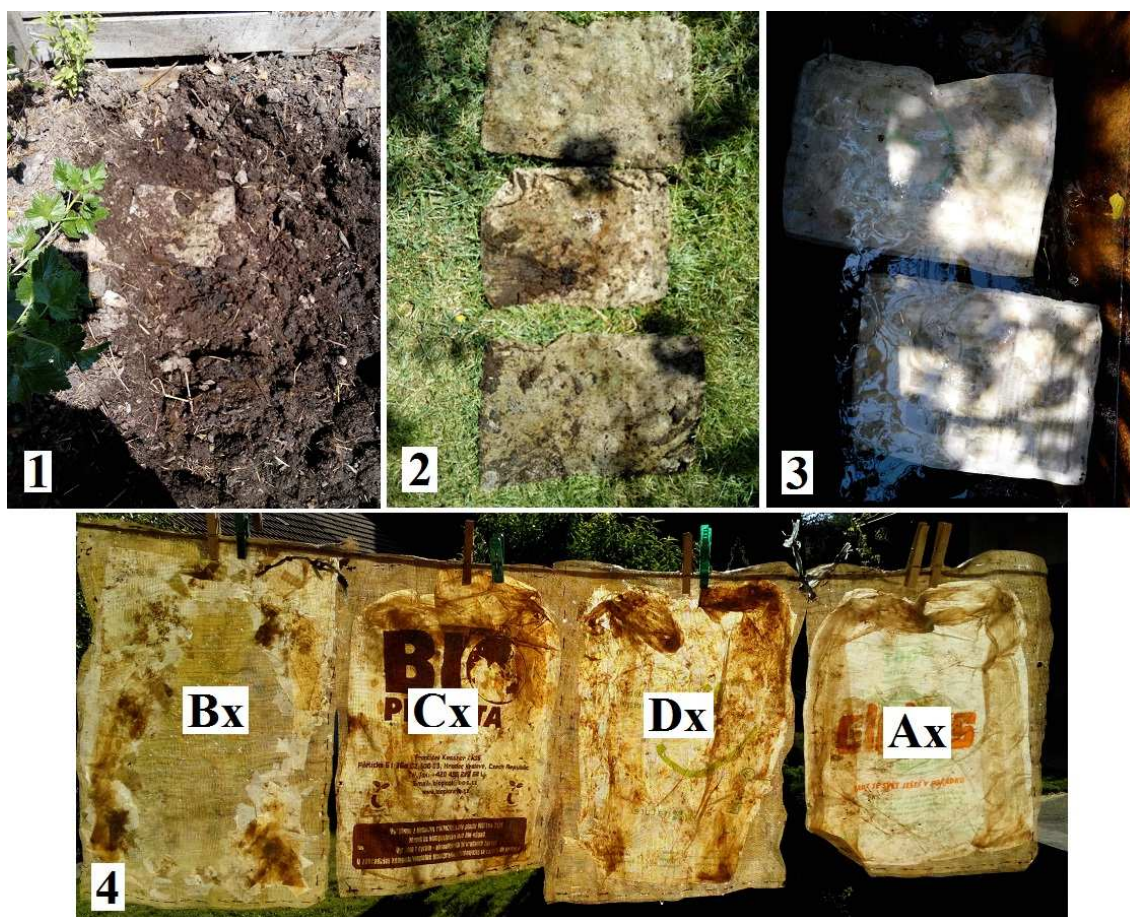


Obrázek č. 18 Kontrola vzorků BDP po uplynutí 6 týdnů; 1 - kompostér; 2-3 - odkrývání vzorků BDP; 4 - vytažené a omyté vzorky BDP; 5-7 - detail vzorků BDP; 9 - prokyp-

ření kompostované směsi; 10-11 - uložení vzorků BDP zpět do kompostéru a jejich zakrytí kompostovanou směsí (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 19

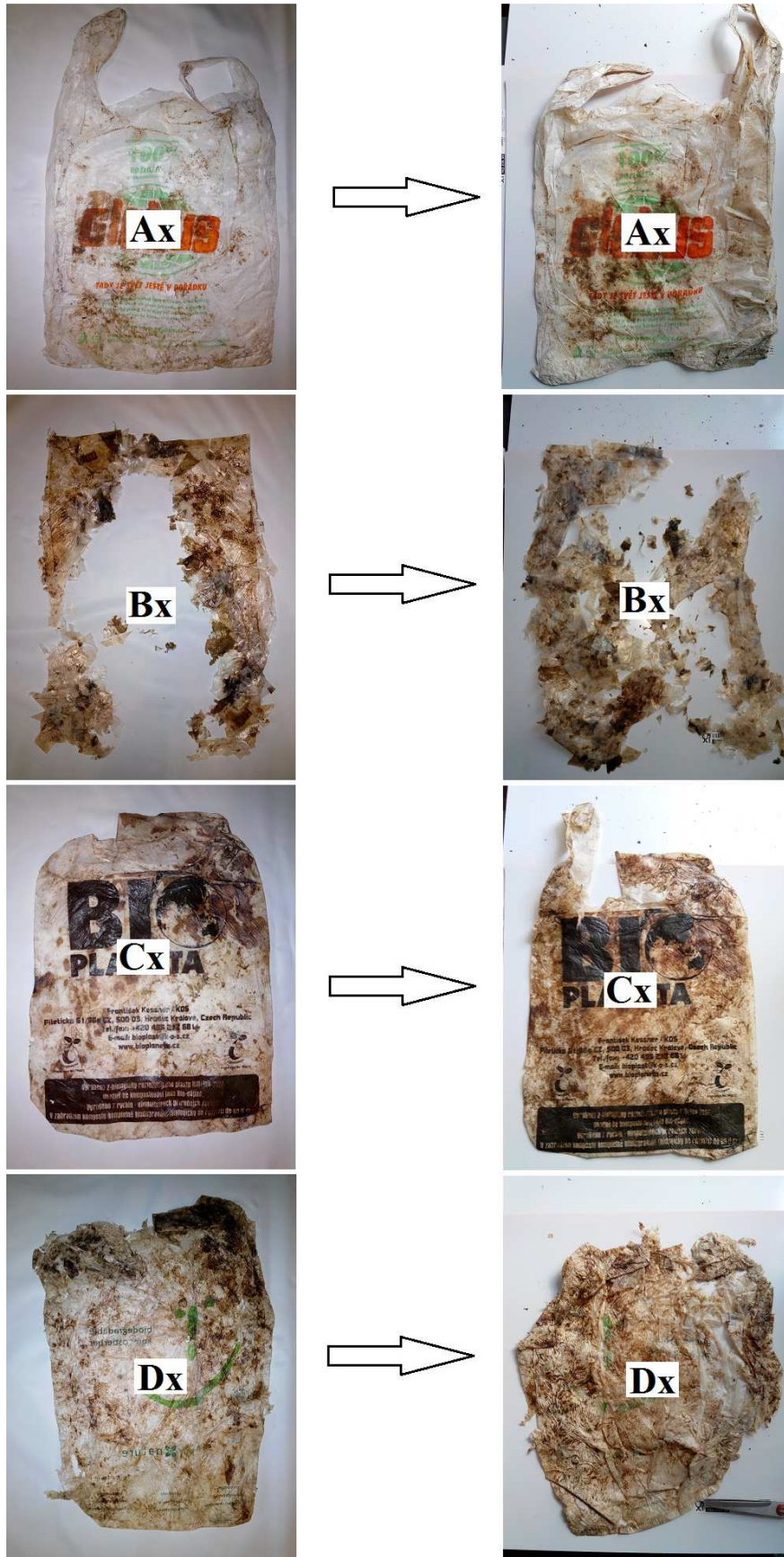
Kontrola a porovnání jednotlivých vzorků BDP vytažených z kompostéru po uplynutí 3 měsíců a 12 měsíců



Obrázek č. 19 Vyjmutí vzorků po uplynutí 3 měsíců; 1 - vzorek v kompostu; 2 - vytažené vzorky; 3 - omývání vzorků; 4 - omyté vzorky BDP (ZLOCH, 2015)



Obrázek č. 20 Vyjmutí vzorků po uplynutí 12 měsíců (ZLOCH, 2015)



3 měsíce

12 měsíců

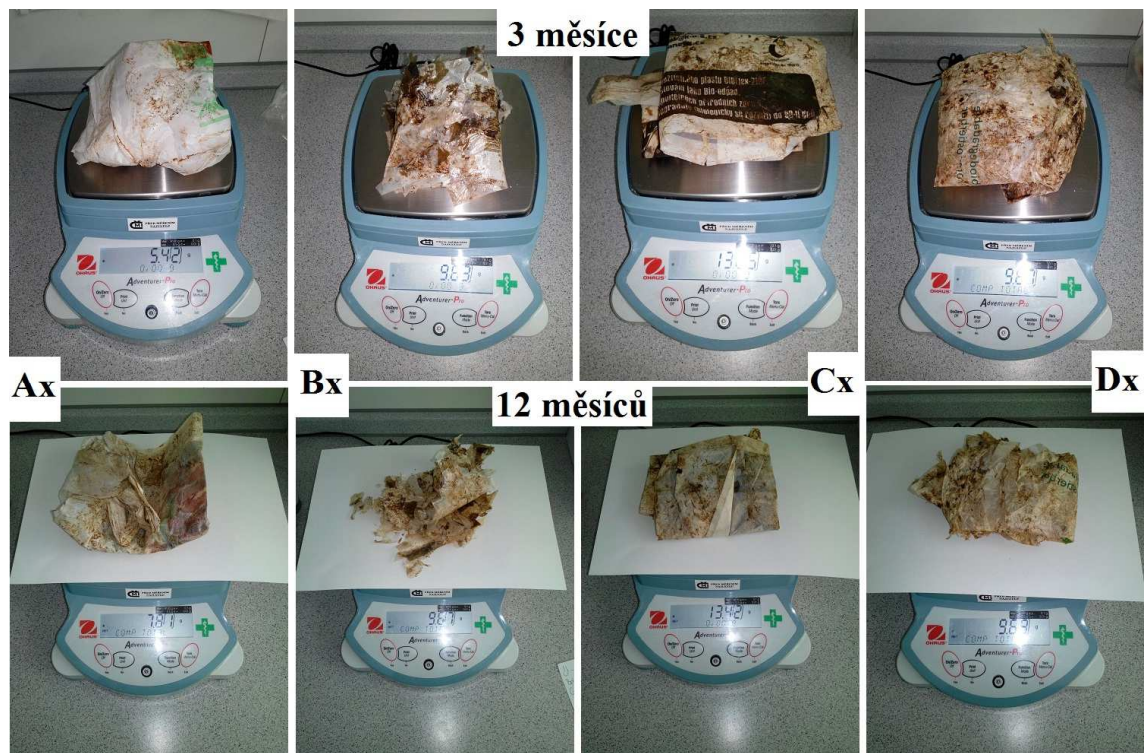
Obrázek č. 21 Porovnání změn vzorků po 3 měsících a po 12 měsících (ZLOCH, 2015)

PŘÍLOHA č. 20

Ukázka digitální váhy použité pro zjišťování hmotnosti vzorků BDP po uplynutí 3 měsíců a po 12 měsících, včetně zjišťování hmotnosti vzorků



Obrázek č. 22 Digitální váha Adventurer-Pro (ZLOCH, 2015)



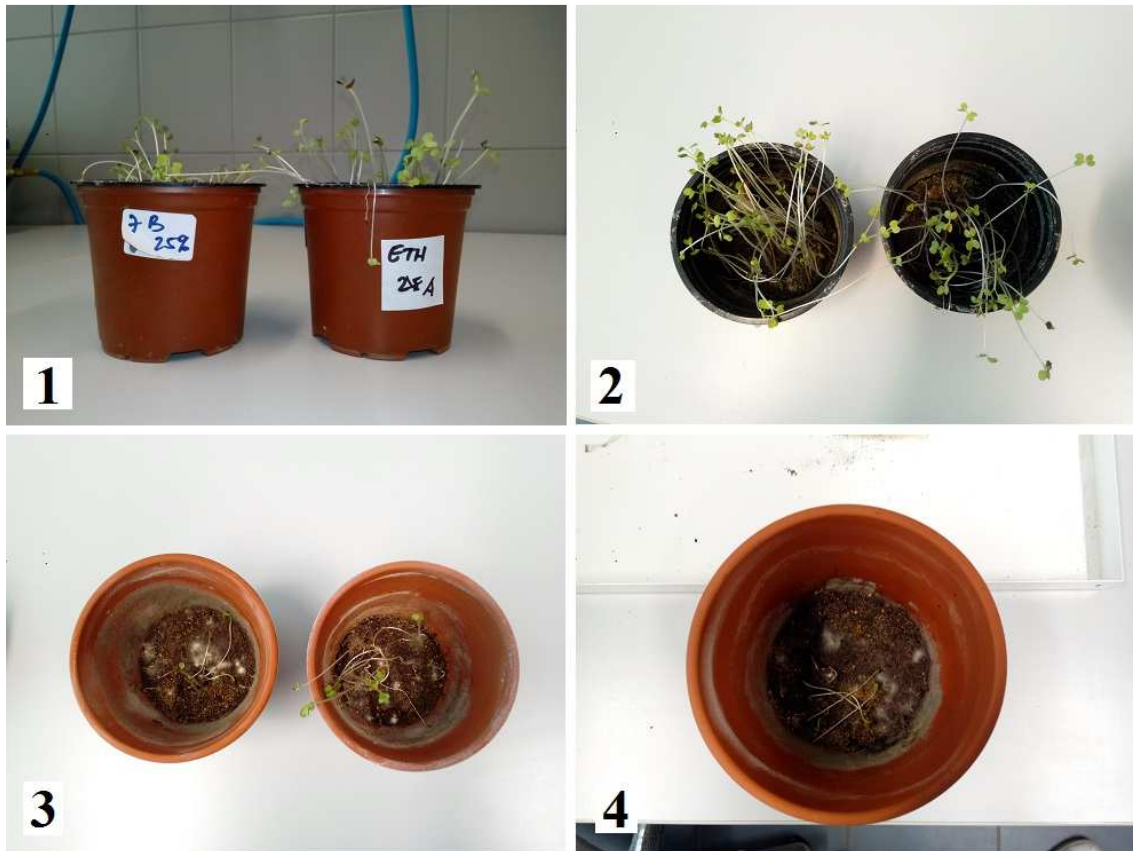
Obrázek č. 23 Průběh zjišťování hmotnosti vzorků po ukončení zkoušky rozpadu v domácích podmínkách kompostování (ZLOCH, 2015)

Ukončení testu fytotoxicity, nádoby s kompostem a kontrolními semeny hořčice



Obrázek č. 24 Celkový pohled na vzorky kompostu - ukončení testu fytotoxicity (ZLOCH, 2015)

Ukončení testu fytotoxicity, nádoby s kompostem - vyklíčená semena



Obrázek č. 25 Vyklíčená semena na vzorcích kompostu s rozloženými vzorky DBP; 1-2 - kontrolní substrát, 3 - vzorek kompostu B3/25A a B3/25B; 4 - vzorek kompostu A1/25B (ZLOCH, 2015)