

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

**PROBLEMATIKA BIOPLASTŮ – HODNOCENÍ JEJICH
ROZLOŽITELNOSTI, OBLASTI VYUŽITÍ, ÚSKALÍ
ODDĚLENÉHO SBĚRU A NAKLÁDÁNÍ S NIMI**
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Vypracovala: Tereza Hanušová

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Hanušová

Územní technická a správní služba

Název práce

Problematika bioplastů – hodnocení jejich rozložitelnosti, oblasti využití, úskalí odděleného sběru a nakládání s nimi

Název anglicky

Bioplastic issues – assessment of their degradability, area of use, pitfalls of separate collection and handling

Cíle práce

Cílem práce je zpracování rešerše sumarizující aktuální poznatky o materiálech deklarovaných jakožto bioplasty se zaměřením na hodnocení jejich rozložitelnosti, oblasti využití, úskalí odděleného sběru a nakládání s nimi. Práce reflektuje skutečnost, že oblast 'bioplastů' není v současnosti legislativně nijak ošetřena ani u nás, ani v Evropě, a neexistují žádné normy, podle kterých by mohla být deklarovaná rozložitelnost jednotlivých materiálů posuzována a plánovanou plošnou regulací Evropskou komisí.

Metodika

Práce v teoretické části přehledově shrnuje informace o materiálech deklarovaných jakožto bioplasty, jako je složení, doporučený systém odděleného sběru, deklarovaná rozložitelnost, včetně podmínek jejího dosažení. Data jsou doplněna o dostupné technologie zpracování těchto materiálů, včetně základního ekonomického zhodnocení daných postupů.

Praktická část práce je pak zaměřena na zhodnocení vybraných informačních kampaní s vazbou na danou problematiku a jejich praktický dopad na informovanost obyvatel v rámci dané problematiky.

Doporučený rozsah práce

25 stran

Klíčová slova

biodegradabilní plasty, odpad, materiálové využití, systém nakládání s odpady

Doporučené zdroje informací

- Accinelli C. et al., 2012: Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere* 89(2). P.136–143.
- Adamcová D. & Vaverková M.D., 2016. New Polymer Behavior Under the Landfill Conditions. *Waste and Biomass Valorization* 7(6). P.1459–1467.
- Adamcová D. & Vaverková M., 2014: Degradation of biodegradable/degradable plastics in municipal solid-waste landfill. *Polish Journal of Environmental Studies* 23(4). P.1071–1078.
- Biologicky rozložitelné plasty: jsou pro životní prostředí lepší? (online), dostupné z: <http://www.futurenergia.org/www/cz/pub/futurenergia/chats/bio_plastics.htm>.
- Emadian S.M., Onay T.T. & Demirel B., 2016: Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, P. 526–536
- Gómez E.F. & Michel F.C., 2013: Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. *Polymer Degradation and Stability*, 98(2013). P. 2583–2591
- Nehasilová D., 2012: Jsou bioplasty opravdu alternativou? *DLG-Mitteilung*, 2. S. 78- 81
- Vaněk T., Lipavský J. a Vrbová M., 2013: Výzkum říká: Degradovatelné plasty příliš nedegradují. *Odpady* 23(10). S. 22-23.
- What are bioplastics? (online), dostupné z <<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>>
- What are plastics. (online), dostupné z <<https://www.plasticseurope.org/en>>
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2018

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 11. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 04. 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Terezy Hnátkové, Ph.D. s využitím literatury a informací, na něž odkazuji. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá komplexní problematikou bioplastů od jejich složení a výroby, přes možnosti využití až po jejich zpracování jako odpad. Cílem je sumarizace aktuálních poznatků o materiálech deklarovaných jakožto bioplasty se zaměřením na hodnocení jejich rozložitelnosti, oblasti využití, úskalí odděleného sběru a nakládání s nimi. Dostupné technologie zpracování těchto materiálů jsou doplněny o ekonomické zhodnocení. Práce poukazuje i na skutečnost, že oblast bioplastů není legislativně podpořená ani v České republice ani v Evropě. K dispozici je ale celá řada norem. Je proto nezbytné zavést jednotnou legislativu, kterou plánuje Evropská komise.

Klíčová slova

Biodegradabilní plasty, odpad, materiálové využití, systém nakládání s odpady

Abstract

The bachelor thesis deal with the complex issue of bioplastics from their composition and production through the possibilities of use to their processing as waste. The aim is to summarize the current knowledge of materials declared as bioplastics with a focus on assessing their degradability, area of use, pitfalls of separate collection and handling. The available processing technologies for these materials are complemented by economic appreciation. The thesis also points out that the area of bioplastics is not supported by legislation either in Czech Republic or in Europe. There are a number of standards available. It is therefore necessary to introduce uniform legislation planned by the European Commission.

Keywords

Biodegradable plastics, waste, material use, waste management system

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Bioplasty	3
3.1 (Bio)degradace.....	4
3.1.1 Degradace.....	4
3.1.2 Biologická degradace	4
4. Rozdělení bioplastů.....	7
4.1 Syntetické biodegradabilní polymery.....	8
4.2 Biodegradovatelné plasty z obnovitelných zdrojů	9
4.2.1 Extrahované z biomasy	10
4.2.2 Získané chemickými syntézami	12
4.2.3 Produkované mikroorganismy	13
5. Využití bioplastů	14
6. Právní úprava.....	16
6.1 Normy zabývající se biodegradabilními plasty	16
6.2 Standardizace	17
6.3 Certifikace.....	18
6.4 Označení.....	18
6.5 Harmonizace norem.....	19
6.6 Návrh nové směrnice EU	20
6.6.1 Evropská strategie pro plasty v cirkulární ekonomice	21
7. Procesy nakládání s bioplastovými odpady.....	23
7.1 Bioplasty v odpadech	23
7.2 Recyklace	24
7.2.1 Ovlivnění procesu recyklace bioplasty	25
7.3 Kompostování.....	26
7.3.1 Degradabilita bioplastů v procesu kompostování	26
7.4 Anaerobní digesce	28
7.4.1 Degradabilita bioplastů v procesu anaerobní digesce	29
7.5 Energetické využití.....	30
7.5.1 Ovlivnění procesu energetického zpracování bioplasty.....	30
7.6 Skládkování	31
7.6.1 Degradabilita bioplastů na skládkách.....	32

7.7	Doporučený systém odděleného sběru	32
7.8	Degradabilita v půdě.....	33
7.9	Degradabilita ve vodním prostředí.....	34
8.	Diskuze.....	35
9.	Závěr	38
10.	Seznam použité literatury	40
11.	Seznam obrázků a tabulek.....	51

Seznam použitých zkratek

ASTM	Americká společnost pro zkoušení a materiály (American Society for Testing and Materials)
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
CEN	Evropská organizace pro standardizace (Comité Européen de Normalisation)
ČOV	Čistírna odpadních vod
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
LCA	Posouzení životního cyklu (Life Cycle Assessment)
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PA	Polyamidy
PBAT	Poly (butylen adipát-co-tereftalát)
PBS	Polybutylen sukcinát
PBT	Polybutylentereftalát
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PHA	Polyhydroxyalkanoáty
PHB	Polyhydroxybutyrát
PLA	Kyselina polymléčná
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTT	Polytrimethyltereftalát
PUR	Polyurethany
PVA	Polyvinylalkohol
PVC	Polyvinylchlorid
TPC	Termoplastické škroby

UNEP Program OSN pro životní prostředí (The United Nations Environment Programme)

ZEVO Zařízení na energetické využití odpadu

1. Úvod

Současná společnost se ocitá v „době plastové“. Produkce plastů celosvětově překonala i ocel (Philp, et al., 2013). Staly se nepostradatelnou součástí našeho každodenního života. Jejich rozsah využití je obrovský – od obalových materiálů, přes součástky do elektronických zařízení až po zdravotnický či stavební materiál. Stávají se ale také neudržitelným problémem v souvislosti s rostoucí produkcí a zvyšujícím se množstvím plastového odpadu, který zůstává v životním prostředí.

Řešením by mohly být bioplasty – substituty, které by do budoucna zcela nahradily dnešní plasty vyráběné na bázi ropy. Díky rostoucím nákladům na ropu, regulace a zvyšující se obavy z klimatických změn, se v poslední době vyžaduje stále větší posun k výrobě založené na obnovitelných zdrojích. K této problematice přispívá i celosvětová obava z vyčerpání fosilních zdrojů, ze kterých jsou konvenční plasty vyráběny.

Dnes již existuje alternativa téměř pro všechny typy konvenčních plastů se stejným potencionálním využitím (Vondráčková, 2018). Bioplasty – plasty na bázi bio nebo biologicky rozložitelné, nebo obojí – mají stejné vlastnosti jako konvenční plasty a přináší další výhody v podobě redukce uhlíkové stopy nebo možnosti kompostování v systému nakládání s odpady.

Produkce bioplastů ovšem tvoří pouze nepatrné procento z celkové plastové produkce. Navíc v současné době máme přes 300 druhů bioplastů s různými vlastnostmi a podmínkami degradace (Dohnal, 2018). Důvodem, proč je objem produkce bioplastů tak nízký, je cena, která je 3 – 5x vyšší ve srovnání s konvenčními plasty. Ke snížení jejich ceny by pomohla možnost recyklace a znovuvyužití materiálu. Díky druhové variabilitě bioplastových materiálů je ale recyklace spolu s konvenčními plasty ve většině případů nemožná, stejně jako separovaný sběr bioplastů. Proces zpracování bioodpadu se jeví jako největší problém, který potvrzují jednotlivé výzkumy, zabývající se jejich rozložením za různých podmínek.

Situaci ještě komplikuje fakt, že bioplasty a jejich degradabilita nejsou právně ošetřeny v české ani evropské legislativě. Existuje sice řada evropských standardů a norem, ale každá z nich se věnuje jinému odvětví dané problematiky.

2. Cíle práce

Cílem práce je rešerše sumarizující aktuální poznatky o materiálech deklarovaných jakožto bioplasty se zaměřením na hodnocení jejich rozložitelnosti, oblasti využití, úskalí odděleného sběru a nakládání s nimi. Práce reflektuje skutečnost, že oblast „bioplastů“ není v současné legislativně ošetřena ani v České republice ani v Evropě, a neexistují žádné normy, podle kterých by mohla být deklarována rozložitelnost jednotlivých materiálů posuzována.

3. Bioplasty

Nízká cena, vysoká odolnost a jednoduché zpracování, to jsou přední vlastnosti plastů, které vedly k jejich širokému užití. Většina z nich ale není biologicky rozložitelná, a proto se teď hromadí, kam se podíváme. Petrochemické plasty jsou v současné době vyráběny z fosilních surovin, jako je ropa a zemní plyn (www.eia.gov, 2016). Přibližně 7 % všech ropných produktů se dnes přetváří na plasty (www.european-bioplastics.org, 2018). Fosilní suroviny ale nejsou neobnovitelným zdrojem, a proto je jejich substituce na místě.

Bioplasty momentálně představují 1 % všech druhů vyprodukovaných plastů (www.european-bioplastics.org, 2018). Nicméně očekává se, že trh bude během následujících let expandovat především díky zvyšujícímu se trendu bio – bio potraviny, bio kosmetika, bio ekonomika, bio paliva a ochraně životního prostředí. Poptávka po alternativních materiálech, které by nahradily konvenční plasty, dynamicky roste, což je vidět i z následujícího grafu.

Global production capacities of bioplastics



Obrázek 1: Globální produkce bioplastů

(www.european-bioplastics.org, 2018)

V poslední době se na trhu objevují výrobky s označením „biologické“, „zelené“, „bio-based“ či „biodegradable“. Bioplast bývá chybně používán jako souhrnný pojem pro všechny tyto materiály. Poslední dva pojmy mohou být pro veřejnost velmi matoucí. „Bio-based“ označuje plasty, jejichž složky jsou buď zcela nebo částečně odvozené z biomasy – kukuřice, cukrové třtiny, celulózy apod. V Evropské směrnici o produktech z biologického materiálu je tento produkt definován jako úplně nebo částečně derivovaný z biomasy (ČSN EN 16575:2017).

Oproti tomu pojem „biodegradable“, v překladu biologicky rozložitelný, je vlastnost, díky které materiál degraduje.

Většina bioplastových výrobků je ale z klasického plastu s aditivou, které podporují biologickou rozložitelnost (Adamcová, et al., 2016).

V této souvislosti byly bioplasty rozděleny do třech generací: 1. generace by měla nahradit samostatné produkty, 2. generace nahrazuje petrochemické materiály „blendy“ – směsi konvenčních bioplastů s aditivou na podporu biodegradace, 3. generace využívá k výrobě bioplastů odpadní produkty (Vörös, 2013).

3.1 (Bio)degradace

3.1.1 Degradace

Degradace neboli rozklad polymerů, je nevratná změna struktury a vlastností vlivem času, teploty, světelného záření, (ne)přítomnosti kyslíku, vody, chemických látek a biologických činitelů (Schnabel, 1981). Druhů degradace konvenčních plastů je několik – termická, oxidační, fotochemická, chemická, mechanická radiační a biologická.

3.1.2 Biologická degradace

Biodegradace je biologický proces, během kterého dochází k aerobnímu či anaerobnímu rozkladu za přítomnosti mikroorganismů (bakterií nebo hub) na vodu, přirozeně se vyskytujících plyny (oxid uhličitý (CO₂) a metan (CH₄)) a biomasu (Emadian, et al., 2017).

Mezi důležité vlastnosti, které mají vliv na biologický rozklad, patří chemická struktura polymerního řetězce, krystalinita a složitost polymerního vzorce. Dalším

klíčovým faktorem je prostředí – teplota, pH, vlhkost, (ne)přítomnost kyslíku a výskyt mikroorganismů (Massardier-Nageotte, et al., 2006).

Postup biologického rozkladu:

- 1) Biologické znehodnocení, což je modifikace mechanických, chemických a fyzikálních vlastností polymeru vzhledem k růstu mikroorganismů na nebo uvnitř povrchu polymeru;
- 2) Biofragmentace neboli přeměna polymerů na oligomery a monomery působením mikroorganismů;
- 3) Asimilace, při které mikroorganismy dodávají potřebný uhlík, energii a zdroje živin z fragmentovaných polymerů a převádějí je na CO₂, vodu a biomasu (Lucas, et al., 2008).

Metody používané k hodnocení biodegradability

Hodnocení biodegradability se zatím aplikuje pouze pro obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci podle ČSN EN 13432. Zde je uvedené schéma, podle kterého se hodnotí biologická využitelnost obalu.

Nejprve se určí, zda je obal složen pouze z jednoho či více materiálů a změří se jeho tloušťka nebo plošná hmotnost. Pokud byl již materiál v minulosti hodnocen, další zkouška není požadována. Pokud nebyl hodnocen, musí se změřit těžké kovy, těžké pevné látky, identifikují se složky v obalovém materiálu, zjistí se jeho škodlivost k životnímu prostředí a jeho původ (přírodní/ chemicky upravený).

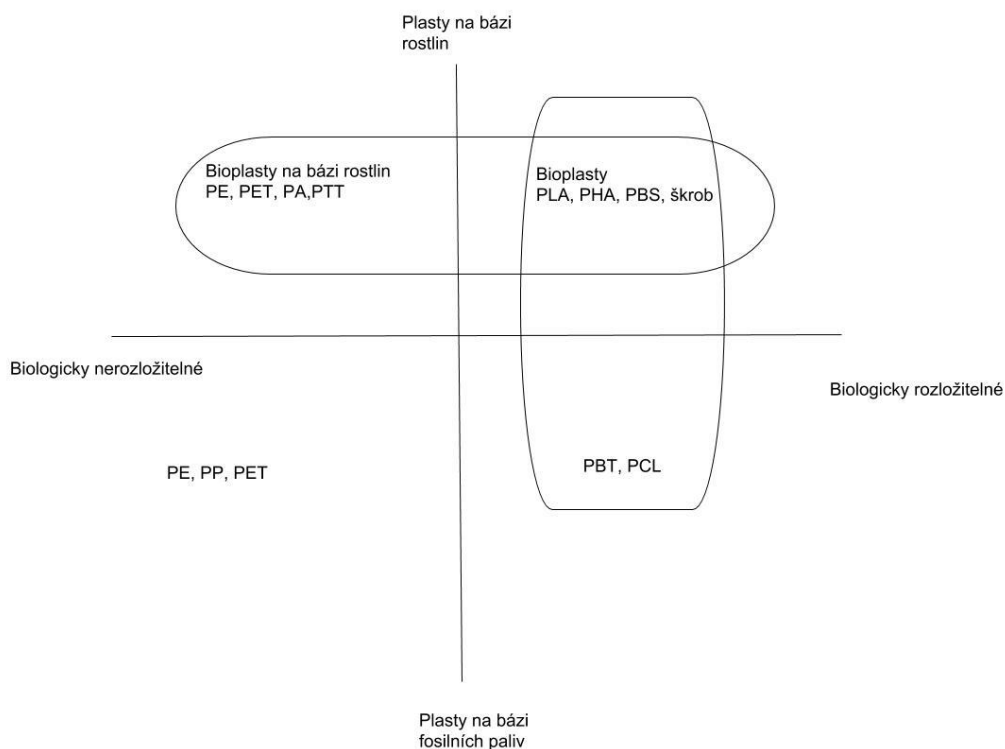
U obalu přírodního původu není zkouška biodegradace zapotřebí. Pokud byl ale chemicky upraven, jeho biodegradabilita se musí posoudit zkoušením organických složek. Pro všechny složky platí, že celková koncentrace musí být více než 1 % a celkový obsah všech složek musí být více než 5 %, dále biodegradabilita musí proběhnout z více než 90 %. Pokud je i tato vlastnost splněna, posuzuje se rozpad poloprovozní nebo provozní zkouškou.

Zkouška spočívá v prosévání materiálu, zjišťování podílu frakce a možného výskytu negativního vlivu na výsledný kompost. Následně se porovnají zjištěné hodnoty fyzikálně-chemických parametrů vzorku s evropskými požadavky, a pokud nebyl zjištěn významný rozdíl, je vzorek přijat (ČSN EN 13432:2001).

Materiály podléhající biologické degradaci

- 1) Přírodní polymery – škrob, celulóza, proteiny, Polyhydroxybutyrát atd.;
- 2) Biologicky či chemicky modifikované přírodní polymery – acetát celulózy, estery lignocelulózy;
- 3) Směsi snadno biodegradujících polymerů s přírodními aditivy – směs polyethylenu a škrobu.

4. Rozdělení bioplastů



Obrázek 2: Rozdělení "bio-based" a "biodegradable" plastů

(www.european-bioplastics.org, upravila Hanušová 2018)

Výše uvedené schéma přehledně zobrazuje konkrétní druhy polymerů a jejich začlenění a prolínání se do příslušných kategorií. V prvním kvadrantu jsou uvedeny plasty na bázi rostlin, biologicky rozložitelné – Kyselina polymléčná (PLA), Polyhydroxyalkanoáty (PHA), Polybutylensukcinát (PBS) a škrob. V druhém kvadrantu jsou uvedeny polymery Polybutylen tereftalát (PBT) a Polykaprolakton (PCL), které jsou vyrobeny na bázi fosilních paliv, ale jsou biologicky rozložitelné. Třetí kvadrant obsahuje tradiční plasty, které jsou na bázi fosilních paliv a jsou biologicky nerozložitelné. Jedná se o Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyethyltereftalát (PET). V posledním, čtvrtém kvadrantu, jsou uvedeny plasty na bázi rostlin, ale biologicky nerozložitelné. Jde o bio-PE, bio-PET, Polyamidy (PA), Polytrimethyltereftalát (PTT). Z uvedeného obrázku je patrné, že rozdělení polymerů není zcela jednoznačné. Ne všechny polymery na přírodní bázi jsou biologicky rozložitelné, a ne všechny biologicky rozložitelné polymery jsou na biologické bázi.

4.1 Syntetické biodegradabilní polymery

Polyethylen (PE)

PE je nejpoužívanějším syntetickým polymerem. Výrobky z PE jsou levné a mají dobré mechanické vlastnosti. Z toho důvodu většinou bývá využíván jednorázově, a stává se tak všudypřítomným odpadem (Koutný, et al., 2006). Podle hustoty rozlišujeme vysokohustotní a nízkohustotní. Je nepolární neboli nesmáčivý, vysoce hořlavý, ale bez vzniku škodlivých látek (Mleziva, 1993).

Je využitelný pro obaly, fólie, tašky a sáčky, kanystry či mulčovací fólie. Je velmi odolný vůči biodegradaci, avšak náchylný k oxidačním procesům a poměrně rychle stárne. Při zpracování je třeba doplnit ho aditivu (např. tepelné a světelné stabilizátory, barviva, maziva, změkčovadla, antistatika). Stabilizovaný polymer i tak podléhá účinkům slunečního záření, a rozpadne se během několika let (Koutný, et al., 2006).

Polypropylen (PP)

Z hlediska finanční náročnosti a použití se podobá PE. Má dobrou chemickou a mechanickou odolnost vůči olejům a rozpouštědlům, solím, kyselinám a zásadám. Podléhá ale UV záření, a pro venkovní použití je nutné jej stabilizovat. Jedná se o polymer středně odolný vůči stárnutí. Stejně jako PE je nepolární, má ale nižší hustotu a vyšší teplotu měknutí (Mleziva, 1993).

Využitelný je v oblasti obalového materiálu v podobě fólií, dále jako součástky do strojů a automobilů, trubky či profily. Používá se i jako alternativa PVC pro izolaci elektrických kabelů.

Polystyren (PS)

PS je jeden z nejstarších a nejpoužívanějších syntetických polymerů. Jedná se o pevný a snadno lámavý plast s vynikajícími elektroizolačními vlastnostmi. Jeho nevýhodou je křehkost, malá tepelná odolnost a rychlé stárnutí (Mleziva, 1993).

Používá se k výrobě jednorázových obalů na maso, zeleninu či hotové pokrmy, dále jako jednorázové nádoby. V podobě kuliček se používá jako výplň interiérových doplňků – polštáře, sedací pytle. Výhodou PS je, že neváže vlhkost, takže se v něm nedrží roztoči. Ve stavebnictví se využívá v podobě desek sloužících k tepelné izolaci budov.

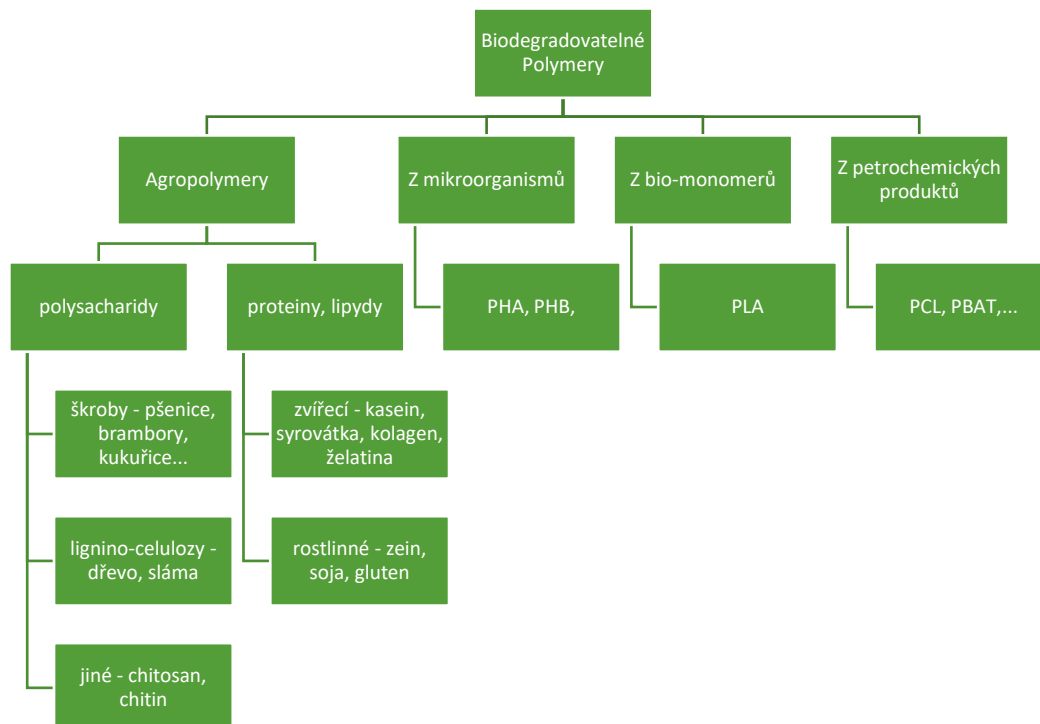
Polyethylentereftalát (PET)

Ve srovnání s ostatními plasty má PET nejlepší mechanickou pevnost a tvrdost. Je odolný vůči působení kyselin. Má také největší světelnou propustnost a je vhodný pro styk s potravinami. Z hlediska rychlosti stárnutí se jedná o střednědobý polymer, stejně jako PP (Mleziva, 1993). Nyní se nevíce používá jako láhve k balení tekutin.

Cenově je snadno dostupný a je vhodný k recyklaci, ovšem za předpokladu vysoké čistoty materiálu. V současné době se uvažuje o zavedení zálohování lahví PET, což je např. v Německu, Dánsku, Finsku, Švédsku a Estonsku již běžnou praxí. V České republice Institut cirkulární ekonomiky provádí studii, která zkoumá momentální situaci nakládání s PET, a zda by měl zálohový systém smysl (www.zalohujeme.cz, 2018).

4.2 Biodegradovatelné plasty z obnovitelných zdrojů

Použití biomasy a rostlinných produktů k výrobě plastů umožňuje splnění požadavku snížení závislosti na fosilních zdrojích. Následující schéma zobrazuje pouze biologicky degradovatelné polymery, mezi které patří agropolymery. Ty dále dělíme na polysacharidy a proteiny (živočišné a rostlinné) a lipidy biodegradovatelné polymery vyrobené z mikroorganismů (Polyhydroxyalkanoáty (PHA), Polyhydroxybutylát (PHB)), z bio-monomerů (PLA), z petrochemických produktů (PCL, Poly (butylen adipát-co-tereftalát) (PBAT)).



Obrázek 3: Biodegradabilní polymery

(Averous, upravila Hanušová, 2007)

4.2.1 Extrahované z biomasy

Škrob

Jako degradovatelný materiál s potenciálem hlavně v obalovém průmyslu, se škrob dostal do povědomí před více než 30 lety. Hlavními zdroji škrobu je kukuřice, brambory a maniok. Bioplasty se získávají pomocí částečné fermentace a následnou destrukcí s plastifikátorem na TPC (termoplastické škroby) nebo chemickou destrukcí škrobu (Vörös, 2012).

Škrob je nejlevnější a nejsnadněji zpracovatelnou surovinou, a díky tomu stoupá i jeho obliba. Ze škrobu je vyrobeno téměř 80 % bioplastů, a své uplatnění nachází i mimo potravinářský průmysl. Musíme si ale uvědomit, že bioplasty vyráběné z rostlin, využívané k obživě člověka, mohou vést k dramatickému vzrůstu cen těchto potravin.

Hlavní nevýhodou materiálu vyrobeného ze škrobu je jeho malá mechanická pevnost, a proto se musí hydrofobizovat a doplňovat přísadami. Aby se škrob dal využít při výrobě bioplastu, musí se obohatit buď o plastifikátory, přičemž vznikne tzv. termoplast, nebo se smísí s konvenčními polymery jako jsou polyester (PES), či polyvinylalkoholy (PVA) (Halley, Avérous, 2014).

Oleje

K výrobě bioplastů jsou využívány například oleje z ricinových bobů, sójových bobů či řepky. Všimněme si, že se opět jedná o výrobu materiálu na úkor rostlin. Tyto plasty, ač jsou biologicky nerozložitelné, mají prakticky stejné vlastnosti jako plasty na bázi ropy. Jedná se o polyamidy (PA) (nylon), polyuretan (PUR) či polybutylentereftalát (PBT) pro výrobu potrubí a izolačních výrobků.

Oleje se extrahují z olejnatých semen lisováním, organickým rozpouštědlem (hexan) nebo enzymatickým zpracováním. Výsledný olej se následně čistí pomocí různých filtračních a chemických úprav (www.bpf.co.uk, 2019).

Technologie Hydal

Mnohem lepší využití olejů pro výrobu bioplastů ale využívá česká technologie Hydal společnosti Nafigate, která dokáže vyrobit biopolymer PHA (Hydal PHA) z použitého oleje jednoduchým procesem a za konkurence schopnou cenu. Ročně se oleje tohoto druhu vyprodukují desítky milionů tun. Odpadní kuchyňské oleje sesbírané v EU končí především v biodieselu. Oproti tomu Čína, která vyprodukuje přibližně 30 milionů tun oleje ročně, ho dále nijak nerecykluje, protože jeho kvalita není použitelná ani pro výrobu zmíněného biodieselu. Zdá se, že Hydal by tento problém mohl vyřešit (Jonášová, 2018).

Hydal PHA slouží dále k výrobě bioplastů, který eliminuje možnou kontaminaci čistíren odpadních vod odpadním kuchyňským olejem. Zároveň je také příkladem tzv. „uzavřené smyčky“ – protože je 100% biodegradabilní v půdě, vodě i mořích nevzniká jeho výrobou žádný další odpad (Mynářová, 2018).

Tato technologie nepotřebuje ke své produkci půdu – prvotní surovinou není plodina, ale odpad. Jsou tedy cenově dostupnější než jejich substituty z kukuřice, brambor, třtiny apod (www.nafigate.com, 2019).

Celulóza

Nejrozšířenějším biopolymerem na naší planetě je celulóza. Jedná se o polysacharid z beta-D-glukózy. Pro výrobu plastů se používá téměř 140 let. Nejznámější výrobek z celulózy – celofán, byl jako obalový materiál použit již v roce 1924. Zdrojem přírodní celulózy je především dřevo, konopí a bavlna. Je hlavní složkou stěn rostlinných buněk a získává se extrakcí několika složek, jako jsou hemicelulóza,

lignin, oleje atd. nebo chemickou modifikací přírodní celulózy. Modifikovaná celulóza má přidanou hodnotu v podobě vylepšených vlastností, které umožňují její použití ve více odvětví – zdravotnictví, obalový průmysl, pohonné hmoty – biodiesel (fermentací na ethanol za použití mikrobů), konstrukční materiál (Chandra, et al. 1998)

Proteiny

Proteiny se dále dělí na dvě kategorie – rostlinného původu (lepek, sója, kukuřice, hrách apod.) a živočišného původu (kolagen, kasein, syrovátka) (Roudnik, 2008).

Jako první experimentoval s použitím sójových bílkovin v plastech Henry Ford již v roce 1920. V současnosti zájem o využití sójových i kukuřičných proteinů znovu roste. Potencionální odvětví, kde by se tyto suroviny mohly uplatnit je lékařství a zahradnictví (www.bpf.co.uk, 2019).

Chitin

Druhým nejhojnějším polysacharidem na Zemi je chitin. Makromolekuly chitinu jsou přítomny v houbách, tkáních hmyzu a schránkách vodních živočichů jako jsou krabi, humři a krevety. Jeho výhodou je, že ve své přirozené formě je nerozpustný ve vodě a většině organických rozpouštědel. Díky této vlastnosti – hydrofobilitě je využitelný pro čištění odpadních vod (Chandra, et al., 1998).

Chitinová vlákna jsou použitelná pro výrobu umělé kůže a vstřebatelných stehů, dokážou se totiž rychle rozložit v lidském těle a mají antibakteriální a imunologické účinky. Mohou se využít i pro výrobu obvazů (Beránková, 2013).

4.2.2 Získané chemickými syntézami

Kyselina polyléčná (PLA)

PLA je nejčastěji se vyskytující kyselina v přírodě. Vyrábí se z rostlin, které produkují škrob – kukuřice, brambory, maniok atd. Díky vynikajícím fyzikálním a mechanickým vlastnostem má potenciál nahradit konvenční plasty. Získává se anaerobní fermentací škrobu nebo glukózy a následnou polymerizací kyseliny mléčné (Somleva et al., 2013).

Výhodou PLA je její vysoká pružnost. To umožňuje vyrábět pevné, tuhé a tenkostěnné výrobky. Nevýhodou oproti petrochemickým alternativám (PP, PS nebo PET) je nižší

teplota měknutí. Proto je PLA vhodná spíše jako obalový materiál pro studené výrobky, a to až do -20 °C (Obruča, 2007). Splňuje veškeré požadavky pro balení masa, mléčných výrobků a čerstvé zeleniny a ovoce. Díky průhlednosti může nahradit i zmíněný PET při výrobě lahví na vodu. Ohrožení produkce PET ale zatím nehrozí. Výroba lahví z PLA musí projít ještě určitými inovacemi, aby byla vhodná pro balení i sycené minerální vody. V medicíně se PLA používá při výrobě šicích nití či některých implantátů (Ashter, 2016).

V současné době je nejdůležitějším biodegradovatelným polymerem na trhu (Ashter, 2016). Je to jediný, biologicky odbouratelný plast, který je průmyslově vyráběn ve větším množství. Jeho limitujícím faktorem je ale vysoká cena, která je neakceptovatelná jak pro výrobce, tak pro spotřebitele.

4.2.3 Produkované mikroorganismy

Polyhydroxyalkanoáty (PHA)

Skupina PHA reprezentuje polyestery produkované mikroorganismy. Mohou být vyráběny jak z obnovitelných zdrojů (škrob, celulóza, sacharóza apod.) tak z fosilních zdrojů (hnědé a černé uhlí, metan, minerální oleje). Existuje přes 250 druhů bakterií, které PHA produkují jako svůj zásobní zdroj energie a uhlíku.

Svémi vlastnostmi jsou podobné PP. Biodegradace probíhá za optimálních podmínek pouze několik týdnů, závisí přitom především na mikrobiální aktivitě prostředí.

Mezi PHA patří PHB (polyhydroxybutylát), který je hydrofobní – nerozpustný, čímž se liší od většiny bioplastů. Může být využíván v obalových aplikacích, díky lepší propustnosti kyslíku než PE nebo PET (Somleva, et al., 2013).

5. Využití bioplastů

Díky vlastnostem jako je dobrá stabilita, odolnost vůči teple, nižší náchylnost k deformaci, jednoduchost zpracování, vyšší lesk či odolnost vůči poškrábání a UV záření nachází bioplasty své uplatnění v různých sférách. Pro spotřebitele je jejich expanze nejviditelnější v obalových aplikacích. Maloobchodní řetězce začínají postupně poskytovat nákupní tašky vyrobené zcela nebo částečně z degradabilních plastů (Nehasilová, 2012).

Itálie, která se umístila na prvním místě z hlediska spotřeby plastových tašek v EU, zavedla legislativní opatření, která zakazují používání těchto plastových tašek a sáčků (Accinelli, 2012). Výsledky laboratorních studií totiž ukázaly, že tašky vyrobené z bioplastů rychle degradují v půdě i v kompostu.

Bioplastové obaly jsou nejvíce využívány v potravinářském průmyslu. Obaly mají ochrannou funkci, která je důležitá hlavně z hlediska hygieny. V tomto ohledu je důležité sledovat vlastnosti a dlouhodobé působení biodegradovatelných polymerů při styku s potravinou (Scott, 2000), přestože jejich výroba se výrazně neliší od výroby petrochemických plastů (Ashter, 2016). Potenciální využití je spatřováno ve výrobě pytlů pro sběr potravinového odpadu. Ty by výrazně zjednodušily systém odděleného sběru biologického odpadu.

Další sektor, ve kterém se nabízí tržní příležitost nahradit konvenční plasty bioplasty, je jednorázové nádobí, používané především v rychlém občerstvení. Právě zde vzniká největší objem plastového odpadu. Nádobí je vyráběno z PS nebo PP. Tyto polymery by mohly být nahrazeny PLA, která má stejné vlastnosti, a zároveň je kompostovatelná se zbytky bioodpadu.

V zemědělství a zahradnictví se bioplast využívá pro výrobu bioplastových mulčovacích fólií, které jsou po sklizni zaorávány do půdy. Zde se následně snadno rozloží, díky své malé tloušťce. Nevýhodou je ale jejich cena, která je více než dvojnásobná (Nehasilová, 2012).

Díky vysokému lesku a stabilitě se skvěle hodí i pro výrobu dotykových obrazovek a dalších elektronických součástí a komponentů, jako jsou klávesnice, myše, sluchátka či kryty na telefony. Primární surovina je nejčastěji již zmíněná PLA.

Bioplasty se stávají součástí i automobilového průmyslu. Využívají se k výrobě součástek v palubní desce. Plast se zde používá z důvodu redukce hmotnosti. Přidanou hodnotou bioplastů je zmírnění negativního dopadu na životní prostředí. Toyota jako první nahradila PBT bioplasty. Konkrétně bio-PET a PLA použila ke zhotovení až 60 % interiéru (www.toyota.com, 2018).

I v běžné domácnosti by plastové výrobky mohly časem nahradit bioplasty. Týká se to kuchyňských potřeb jako jsou krabičky, hrníčky apod., koupelnových doplňků, hraček nebo třeba i ramínek na oblečení. Ty ve svých prodejnách zavedla společnost módní značky United Colors of Benetton (Chua, 2011).

6. Právní úprava

Jak bioplasty, tak i odpady z nich jsou regulovány různými zákony a předpisy, které upravují především nakládání s nimi. Evropská komise a nezávislé instituty standardizování vydali několik standardů (směrnic) pro hodnocení bioplastů a dalších bioproduktů. Normy používané v České republice jsou převzaté právě z těchto Evropských norem. Ani jedna z norem ale neřeší problematiku bioplastů komplexně (složení, označení, nakládání s nimi). Na trhu se objevuje čím dál více bioplastových výrobků, ale díky jejich různorodosti a nejednotné legislativě a označování, je pro spotřebitele obtížné určit, jak s takovým odpadem naložit. Z toho vyplývá, že biodegradabilní plasty by měly být zahrnuty i do legislativy odpadového hospodářství (Weber).

6.1 Normy zabývající se biodegradabilními plasty

Nejdůležitější normou je EN 13432, která definuje úplnou degradabilitu jako odbourání určité chemické sloučeniny za působení mikroorganismů s přítomností kyslíku na vodu, CO₂ a minerální látky a bez přístupu vzduchu na CO₂, metan, přírodní soli a biomasu. Rozpad musí proběhnout do dvou měsíců a degradaci musí podstoupit minimálně 50 % původního materiálu.

Degradabilita musí být prokázána při laboratorních zkouškách řízeného kompostování, která je shodná s ČSN EN ISO 14855:2005 a musí splňovat veškerá uvedená kritéria. Těmi jsou přítomnost významných organických složek v obalovém materiálu, které musí být větší než 1 % hmotnosti sušiny (množství pevných látek získaných sušením) tohoto materiálu. Celkový obsah nedegradabilních složek nesmí přesáhnout 5 %. Zkouška se musí provádět s takovým materiálem, který by měl být uveden na trh.

Zkouška aerobní biodegradace trvá nejdéle 6 měsíců, přičemž biodegradovat musí nejméně 90 % zkoušeného materiálu. Po 12 týdnech nesmí více jak 10 % původní sušiny projít sítím pro frakci $a > 2$ mm.

Dále jsou v normě uvedeny požadavky na výsledný kompost v podobě fyzikálně-chemických parametrů, jako je objemová hmotnost (sušina), celková sušina, těkavé pevné látky, obsah soli, pH, obsah celkového dusíku, amoniakálního dusíku, fosforu, hořčíku a draslíku.

Zkouška anaerobní biodegradace má předepsanou dobu trvání maximálně dva měsíce, přičemž produkce bioplynu musí být minimálně 50 %.

ČSN EN 13432 je částí celé série standardů připravovaných Evropskou Unií na podporu implementace Směrnice o obalech a obalových materiálech (94/62/EC). Celosvětově, respektive v USA (ASTM D 6400), Japonsku (Green Pla) a Německu (DIN V 54900) existují směrnice, které jsou velmi podobné, v některých bodech i totožné s ČSN EN 13432.

Liší se ale například v uznání nebezpečných látek a jejich limitních hodnot. ČSN EN 13432 považuje za anorganické nebezpečné látky s limitními hodnotami mg/kg: Zn -150, Cu-50, Ni-25, Cd-0,5, Pb-50, Hg-0,5, Cr-50, Mo-1, Se-0,75, As-5, F-100. Velmi podobnou specifikaci má Japonsko. Německo uznává celkově nižší limitní hodnoty, naopak americké standardy mají limitní hodnoty 3x-5x vyšší než ČSN EN 13432 (Weber).

Kritéria posuzování biodegradability uvedená v ČSN EN 13432 vychází z ISO 14851, 14852, 14855. Doba trvání degradace je pro všechny zmíněné země stejná - 6 měsíců, přičemž podíl biodegradability je podle ČSN EN 143432 nejvyšší (90 %), ostatní státy uznávají už 60% biodegradabilitu.

6.2 Standardizace

Standardizace je snaha definovat obecně akceptovatelná kritéria a pokyny pro popis produktů, služeb a procesů. Díky ní by mělo dojít k překonání bariér nejasných a nepřesně specifikovaných termínů, zavést jednotné měřítko pro žádanou kvalitu, a předejít tak podvodnému tržnímu chování.

Cílem standardů je určit měřítko biologické rozložitelnosti daného materiálu nebo jeho obnovitelnosti a předložit kritéria, která musí být bezprostředně splněna. Při splnění všech podmínek může být produkt certifikován.

Klíčovými organizacemi pro standardizaci jsou ISO (International Organization for Standardization), CEN (European Comitée for Standardization) a ASTM (American Society for Testing and Materials) a další národní organizace fungující v jednotlivých státech.

Standardy týkající se biodegradabilních plastů jsou ISO 18606:2013 - Obaly a životní prostředí – organické recyklování a ISO 17088:2012 - specifikace pro kompostování plastů.

6.3 Certifikace

Certifikaci provádí nezávislý orgán, který kontroluje, zda jsou splněny požadavky stanovené normou. Pokud testování dopadne pozitivně, udělí se výrobcí příslušná certifikace a logo k označení produktu (www.european-bioplastics.org, 2016).

V Evropě fungují dvě organizace, které poskytují certifikaci a povolí používání loga v souladu s ČSN EN 13432 – DIN certo a Vincotte. Certifikované produkty jsou přidány do jejich seznamů a jsou jim přiřazena čísla s vypovídací schopností, o jaký typ produktu se jedná.

6.4 Označení

Logo neboli značka kvality, umožňuje především spotřebitelům snadnou identifikaci výrobku. V současné době ale ani toto označení není jednotné, což jen přispívá ke zmatení spotřebitele. Jednotné označení výrobku by mělo sloužit pro zákazníka k rozpoznání, zda se jedná o kompostovatelný plast, plast na bázi bio nebo biodegradovatelný. Nejdůležitější informací, kterou by logo mělo obsahovat, je způsob, jakým bude s produktem naloženo po skončení jeho životnosti. Existují standardy (ISO 14020:2000 - Environmental labels and declarations), které definují požadavky z oblasti marketingu a komunikace se zákazníky a mimo jiné i to, jaký by měl vzhled loga být.



Obrázek 4: Symboly kompostovatelných produktů
(www.basf.com, 2019)

Symbol klíčku je udělován produktům, které jsou v souladu s ČSN EN 13432:2001 a splňují podmínky biodegradability. Logo se používá v Nizozemí, Švýcarsku, Německu, Belgii, Polsku a Velké Británii (www.european-bioplastics.org, 2016).

Druhý symbol – „OK compost“, je značení vyvinuto společností AIB-Vincotte, a používá se pro všechny kompostovatelné produkty a suroviny. Produkty s logem „OK compost“ garantují, že jsou biologicky odbouratelné v průmyslových kompostárnách. Toto označení je v souladu s kritérii uvedenými v ČSN EN 13432:2001 (www.growcoon.com, 2019).

Jak je vidět z obrázku, označení se týká pouze plastů, určených ke kompostování. Biodegradabilní plasty, které ke kompostování určené nejsou, nemají žádné předepsané označení.

6.5 Harmonizace norem

Pro Evropský trh je důležité přijmout ČSN EN 13432:2001 Evropskou komisí, aby nenastal problém přesunu výrobků napříč státy EU. Harmonizace by neměla být z hlediska procesu náročná, protože v současné době již existuje celá řada norem a standardů. Je nutné zvýšit úsilí v harmonizaci norem, certifikaci a označování biologicky odbouratelných a biologicky rozložitelných plastů, aby bylo možné

transparentně sdělit výhody těchto materiálů, přičemž výchozí normou je právě ČSN EN 13432:2001. Ta jediná je právně platná.

Biodegradabilita je ale popsána pouze pro proces kompostování a anaerobní digesce. Rozložitelnost v jiných typech prostředí, např.: ve vodním prostředí také nemá harmonizované standardy a normy. Zabývají se jí pouze ASTM D7081, ASTM D 6692, ASTM D7473, OECD 306 a ISO 16221:2001. Rozložitelnost bioplastů na skládkách není legislativně ošetřena vůbec. Pro požadování biodegradability musí být specifikovány vhodné, dostupné podmínky a časový rámec biodegradace. Nároky/požadavky musí být měřitelné a porovnatelné.

Na základě harmonizace norem bude vybudován obecně akceptovatelný certifikační systém. Ocení to především koncoví spotřebitelé, kteří budou moci výrobkům a materiálům více důvěřovat.

Uzavřít tuto problematiku by mělo jednotné logo. Označení musí být jasně identifikovatelné a pochopitelné. Mezinárodní spolupráce při harmonizaci norem a jednotného označení již přislíbila Belgie, Japonsko, Německo, USA, Francie, Švédsko a Finsko. Ti již zahájili první jednání (Weber).

6.6 Návrh nové směrnice EU

Evropská komise přichází s opatřením proti produkci dalších plastových výrobků na jedno použití, a to hlavně z důvodu růstu objemu plastového odpadu v oceánech a mořích. Jedná se o deset druhů plastových výrobků – lahve a víčka, nedopalky, obaly z chipsů a sladkostí, hygienické potřeby, igelitové tašky, brčka a jednorázové nádoby, vatové tyčinky, balóčky a obaly na potraviny vč. krabic z rychlého občerstvení. Ty tvoří přibližně 70 % plastového odpadu ve vodním prostředí. Pokud bude existovat alternativa daného výrobku, která je cenově přijatelná, Evropská komise zakáže výrobu těchto produktů z konvenčních plastů. Zároveň chce vybídnout jednotlivé členské státy, aby samy, ve svých státech, navrhly strategii, jak omezit používání dalších jednorázových plastových výrobků.

Do budoucna by se výrobci měli podílet na nákladech spojených s nakládáním s odpady a zajistit tak například zpětný odběr 90 % jednorázových nápojových obalů. S tím souvisí označení výrobků, které chce Evropská komise zlepšit. Výrobce bude

povinen označit výrobek informací o tom, jak se má, potom co se stane odpadem, zlikvidovat. Zde se jedná především o hygienické produkty, které obsahují plast.

Komise předloží návrh Evropskému parlamentu a Radě v roce 2019. Zároveň má v plánu spustit 5. června (Světový den životního prostředí) celoevropskou osvětovou kampaň, ve které bude zdůrazněna úloha jednotlivce v zabránění dalšího znečištění plasty především moří a oceánů (www.ec.europa.eu, 2018).

6.6.1 Evropská strategie pro plasty v cirkulární ekonomice

V současné době Evropa potřebuje strategickou vizi, která by zobrazovala, jak by měla vypadat cirkulární ekonomika v oblasti plastů. Cirkulární ekonomika je opak té lineární. Její snahou je udržet zdroje v oběhu co nejdéle, vytěžit z nich maximum a na konci životnosti je obnovit nebo znovu využít. Aby se plasty staly součástí cirkulární ekonomiky, musí být zmenšen objem produkce plastového odpadu (www.plasticseurope.org, 2019).

Mezi hlavní vize patří:

- Do roku 2030 by měla být více než polovina plastového odpadu recyklovatelná. Recyklace plastů by měla dosáhnout podobné úrovně jako recyklace jiných materiálů. Nezbytné je podpořit kooperaci od výrobců plastů a veřejnosti, potažmo soukromých společností zabývajících se sběrem odpadu;
- Větší recyklace by pomohla Evropě zbavit se závislosti na fosilních zdrojích a vedla by ke snížení emisí CO₂ v souladu s Pařížskou dohodou;
- Inovativní materiály a alternativy by měly být použity tam, kde se prokáže, že jsou ve srovnání s neobnovitelnými plasty udržitelnější;
- Efektivní systém sběru odpadu spolu s poklesem produkce plastového odpadu a větší informovaností spotřebitelů pomůže vyvarovat se dalšímu litteringu (European Commission, 2018).

Výše zmíněné výzvy spojené s výrobou, spotřebou a ukončením životnosti plastů lze proměnit v příležitosti pro EU a konkurenceschopnost evropského průmyslu. Řešení těchto problémů v rámci strategické vize pokrývající celý hodnotový řetězec může podpořit růst počtu pracovních pozic. Zároveň se utvrdí vedoucí postavení Evropy z hlediska globálního řešení problémů při přechodu na nízkouhlíkové oběhové hospodářství.

Evropská komise vyzývá Evropský Parlament a Evropskou radu, aby podpořili tuto strategii a její cíle, a dále vyzývá národy, orgány na regionální úrovni, města, všechny účastníky plastového průmyslu a další relevantní zúčastněné zavázat se ke konkrétním opatřením.

Součástí této strategie je vypracovaný seznam budoucích opatření k uskutečnění zmíněné strategie. Na prvním místě je zlepšení kvality recyklace plastů. To zahrnuje již zmíněnou revizi ČSN EN 13432:2001, spuštění celoevropské kampaně zaměřenou na průmysl a orgány veřejné správy, vydání nových pokynů pro separovaný sběr a třídění odpadu a přezkoumání současné legislativy platné v odpadovém hospodářství. Dále snížení množství plastového odpadu a litteringu, což představuje redukcí používání jednorázových plastů, monitoring litteringu v rámci vodního prostředí, harmonizace pravidel, definování a označování kompostovatelných a biodegradovatelných plastů. Usilovat o investice a inovace v oblasti cirkulárního řešení. Nutná je ale především mezinárodní spolupráce (European Commission, 2018).

7. Procesy nakládání s bioplastovými odpady

Jak biologická rozložitelnost, tak i rychlost degradace biologicky rozložitelného plastického produktu mohou být různé v půdě, ve vlhkém nebo suchém podnebí, v povrchové vodě, v mořské vodě nebo v systémech, jako je domácí kompostování či průmyslové kompostování (Oever, 2017).

7.1 Bioplasty v odpadech

Odpadem rozumíme movitou věc, které se člověk úmyslně zbavuje nebo má povinnost se jí zbavit. Zákon č. 158/2001 Sb. O odpadech dále stanovuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů, nakládání s nimi, oblast působnosti orgánů veřejné správy a vymezuje práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství.

Podle Katalogu odpadů (příloha zákona č. 158/2001 Sb.) se můžeme s bioplastovým odpadem setkat ve skupinách:

- 02 01 04 – **Odpadní plasty kromě obalů** – zbytky mulčovacích biodegradabilních fólií používaných v zemědělství pro pěstování plodin;
- 15 01 02 – **Plastové obaly** – vytríděný plast sesbíraný v obcích nebo vzniklý podnikatelskou činností.
- 19 – **Odpady ze zařízení na zpracování odpadu** – dodatečně vytríděné plasty na dotřídňovacích linkách či v kompostárnách;
- 20 01 08 – **Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven** – jednorázové nádoby;
- 20 01 39 – **Plasty** – láhve, tašky. Mezi konvenční plasty se dostanou zejména díky jejich stejnému vzhledu;
- 20 02 01 – **Biologicky rozložitelný odpad** – mezi tento druh odpadu by se bioplasty dostaly, pokud by občané využívali např. pytle určené ke sběru bioodpadu;
- 20 03 01 – **Směsný komunální odpad** – bioplasty nevytríděné v rámci separovaného sběru;
- 20 03 03 – **Uliční smetky** – vnikají především mylnou představou lidí, že biorozložitelné plasty se v přírodě sami rozloží, a mohou je tedy odhodit kdekoliv.

7.2 Recyklace

Jedná se o proces opětovného využití odpadů a jejich vlastností. Recyklace zvyšuje úsporu primárních surovin, snižuje potřebu těžby často neobnovitelných surovin a snižuje zátěž životního prostředí. Z hlediska hierarchie nakládání s odpady je na předních příčkách (hned za prevencí předcházení vzniku odpadů).

Plasty určené k recyklaci se do recyklačních zařízení dostávají ze žlutých sběrných nádob, určených právě plastům. Rostoucí požadavky na výslednou kvalitu recyklátu zvyšují zároveň i nároky na důsledné třídění sesbíraných plastů na dotříd'ovacích linkách. To se projeví i zvýšením finančních nákladů na celý proces recyklace.

Nejčastějšími způsobem opětovného zpracování plastového odpadu je materiálová neboli fyzikální recyklace. Je definována v Evropských standardech ČSN EN 13430:2001 a ISO 18604:2013 – přeměna použitého materiálu na nový produkt. Takto se recykluje zejména PET. Materiálová recyklace má vysoké nároky na čistotu vytríděných složek. Lisování, drcením praním či mletím se plastový odpad převede na taveninu. Ta je spolu s aditivou a čistým polymerem využita k výrobě nového plastového produktu. Tento druh zpracování je závislý na poptávce po výrobcích z daného recyklátu (Hájek, 2014).

Další možností opětovného využití je chemická recyklace založená na rozkladu polymerů na oligomery (produkty nižší molární hmotnosti). Výhodou jsou nízké nároky na čistotu vstupní suroviny. Nevýhodou jsou vysoké počáteční investice na technologická zařízení a zavedení tohoto procesu do praxe. V porovnání s fyzikální recyklací jde o technologicky náročnější procesy.

Surovinová recyklace představuje chemické zpracování plastů na výchozí surovinu. Takto se zpracovává především PET, PUR, PA a směsi plastového odpadu a silně znečištěný plastový odpad – například frakce z komunálního plastového odpadu. Díky termickým destrukčním procesům jsou polymerní složky rozloženy na nízkomolekulární látky, které nelze dále polymerizovat. Výstupní produkty jsou využitelné jako topné oleje či ropná surovina. Tato metoda je nejsložitější a finančně nejnákladnější (Ignatyev, et al., 2014).

7.2.1 Ovlivnění procesu recyklace bioplasty

Spolu s konvenčními plasty lze recyklovat pouze biopolymery stejného chemického složení. Ty se v odpadech vyskytují převážně ve skupině 15 01 02 – plastové obaly a 20 01 39 – plasty. Z bioplastů se jedná pouze o bio-PET, který lze recyklovat spolu s klasickými plasty (Vöros, 2013). Pokud se smísí konvenční plasty s biodegradabilními substituty, výsledný recyklát bude znehodnocen a nebude ho možné dále použít pro výrobu nového produktu. Pro představu již 0,1 % PLA může ohrozit recyklaci PET (nejvíce recyklovaný plast) i přesto, že mají velmi podobné vlastnosti (Vaněk, 2013).

Separovaný sběr bioplastových produktů je ale vyloučen, a to hned z několika důvodů. Prvním z nich je, že bioplasty představují pouze 1 % z celé produkce plastů, což je extrémně nízký výskyt a zároveň jich existuje přes 300 druhů. Každý jeden druh má své specifické vlastnosti a složení a je tedy velmi obtížné přesně identifikovat, zda se jedná o bioplast či nikoli. Dalším důvodem je nemožnost identifikovat biodegradabilitu plastu na dotřídňovacích linkách. Vizually jsou nerozeznatelné od konvenčních plastů. Tato metoda by byla nevýhodná jak z hlediska časového, tak finančního. Na dotřídňovacích linkách není čas na to podrobně zkoumat každý produkt, u kterého není na první pohled zřejmé, z čeho je vyroben. Projede zde zhruba 1 tuna materiálu za hodinu, což je přibližně 30 000 lahví. Pracovníci by tak k dispozici museli mít vzorky, které by identifikaci bioplastů zjednodušily. Vezmeme-li v úvahu množství druhů bioplastů, je toto řešení zcela nepoužitelné (Šťastná, 2016). Co se týče financí, vznikaly by vícenáklady na školení zaměstnanců v oblasti dané problematiky. V rámci opatrnosti by následně mohly být vytřízeny plasty, které biodegradabilní nejsou a snížilo by se tak množství recyklovaného materiálu, což by zvýšilo náklady na tunu zpracovaného odpadu. To by mohlo ohrozit plnění recyklačních cílů stanovených Českou republikou a v extrémních případech by mohly hrozit sankce z EU (Blaner, Vrbová, 2015).

Krom lidské práce existují i mechanické separační technologie. Flotační separace je založená na třídění jemného materiálu za pomoci vzduchu či vody. Jedná se o rozduřování polymeru na základě jejich rozdílné hustoty. Metoda je jednoduchá, avšak neúčinná. Další možnou metodou je vzduchová separace. Ta je ale použitelná pouze pro odstranění lehkých částic (prach, etiketa). Poslední nejúčinnější a zároveň nejdražší metodou separace je NIR (blízká červená spektroskopie). Ani tato zařízení,

i přesto že mají drahou a náročnou technologii, ale nepracují stoprocentně a výstupní materiál je nutno ještě zkontrolovat manuálně (Šťastná, 2016).

Pro znovuvyužití PLA byla navržena nová technologie recyklace, která by zajistila zpětnou výrobu kyseliny mléčné. Znamenalo by to ale opět vytvoření samostatného třídícího systému (Vörös, 2013).

Recyklace by byla výhodná ale i z ekonomického hlediska – poskytla by nové pracovní pozice. Jeden milion tun skládkovaného odpadu přinese 8-10 tisíc pracovních míst (www.mzp.cz, 2018).

7.3 Kompostování

Kompostování nebo také organická recyklace je proces zpracování biologicky rozložitelného odpadu komunálního odpadu (BRKO) na kompost. Do kompostáren se dostávají odpady ze zemědělství, lesnictví, potravinářského průmyslu. Dále kaly z ČOV, odpady z údržby zeleně apod. (Vyhláška č. 341/2008 Sb.). Kompostování dělíme na domácí, komunitní a průmyslové, a to podle objemu kompostu a použitých technologií.

Biodegradabilita v procesu kompostování je definována v EN 13432:2001. Materiály určené ke kompostování a jejich relevantní organické komponenty musí být biologicky odbouratelné a musí se vyskytovat alespoň v obsahu 1 %. Při aerobní biodegradaci musí být nejdéle za 6 měsíců rozloženo nejméně 90 % materiálu. Zároveň po uplynutí doby 12 týdnů od zahájení procesu kompostování nesmí projít více než 10% původní sušiny sítím pro frakci $a > 2$ mm.

Výsledný kompost nesmí být negativně ovlivněn kompostovaným materiálem. Případné negativní vlivy lze zjistit zkouškou ekotoxicity. Dále musí splňovat evropské nebo národní požadavky na jakost kompostu – například nízkou hladinu těžkých kovů, jejichž limity jsou striktně dané. Kompost je možné použít při rekultivacích, při parkových úpravách nebo jako hnojivo v zemědělství a v zahradnictví.

7.3.1 Degradabilita bioplastů v procesu kompostování

Kompostování bioplastů je podle studií bezproblémové (Krása, 2016). Nejvhodnější polymer pro kompostování je PLA. Naproti tomu plasty vyrobené z ropy nebo plasty s aditivami podlehnou pouze fermentaci (rozklad na malé části). Biodegradabilní složka

se rozloží, fosilní složka zůstává nerozložena (Philp, 2013). V praxi jsou ale i kompostovatelné plasty z procesu kompostování vyloučeny, protože jsou téměř nerozeznání od běžných plastů a hrozí tak negativní ovlivnění jak celého procesu, tak výsledného kompostu.

Aby spotřebitelé jednoduše rozpoznali, který výrobek je kompostovatelný, výrobce ho označí logem. Loga se udělují na základě certifikace nezávislým certifikačním orgánem. Po úspěšné certifikaci mohou tyto výrobky být legálně označené jako „kompostovatelné“. Výrobce by ale zároveň měl uvést, jak se vzniklým odpadem nakládat.

Jako efektivní ovšem ekonomicky náročný se jeví materiál Mater-Bi – biologicky rozložitelný plast vyráběný z kukuřičného škrobu a aditiv firmou Novamont (Habart, 2013). Je 4x-8x dražší v porovnání s konvenčními plasty. Jeho cena je vyšší především z důvodu komplikované výroby a nedostatku podpory na zdejších trhu. Vyrábí se z něj kompostovatelné sáčky, které se díky svým vlastnostem, a hlavně paropropustnosti skvěle hodí k separovanému sběru bioodpadu. Krom zvýšení efektivity separace biodegradabilních odpadů ze směsného odpadu je třeba brát v úvahu hygienický aspekt – čistá manipulace s opadem, snížení zápachu. V České republice tento typ kompostovatelných sáčků používají ke sběru bioodpadu v Jindřichově Hradci, kde se projekt velmi osvědčil (Hrodek, 2004). Podobný systém je již zavedený v USA ve státě Massachusetts, kde vznikl program Massachusetts Supermarket Organic Recycling Network. Na základě tohoto programu je zajišťováno zpracování biologicky rozložitelného odpadu – nespotřebovaného ovoce a zeleniny. Pro shromažďování se používají pytle vyrobené z biodegradabilního plastu (Kale, et al., 2007).

Kompostování bioplastů by bylo ekonomicky nejvýhodnější spolu s bioodpadem, který má stejné nebo podobné schopnosti biodegradace a následným zpracováním v řízené kompostárně. Uplatnění by kompostovatelné bioplasty našly v potravinářském průmyslu – především v odvětví rychlého občerstvení. Jednorázové nádoby by mohlo být spolu se zbytky jídla odloženo do sběrné nádoby a následně společně kompostováno. (Ovšem za předpokladu použití pouze skutečně biodegradabilních materiálů a důsledného poučení personálu a veřejnosti.)

Domácí kompostování není příliš výhodné – nižší teplota a menší množství kompostovatelného materiálu nezajistí takové podmínky degradace jako průmyslové kompostování

7.4 Anaerobní digesce

Anaerobní digesce probíhá v bioplynových stanicích – zařízení na zpracování biologicky rozložitelného odpadu (BRO). Podle typu zpracovávaného odpadu je dělíme na „zemědělské“ (odpady z živočišné a rostlinné výroby), „čistírenské“ (kaly z ČOV) a „odpadářské“ (vytříděné složky komunálního odpadu). V současné době je v České republice v provozu zhruba 574 bioplynových stanic (www.czba.cz, 2017).

Anaerobní procesy rozdělujeme dle reakčních teplot. Optimálními teplotami pro mikroorganismy jsou psychofilní teploty – 5-30 °C, mezofilní teploty – 30-40 °C, termofilní teploty – 45-60 °C, extrémně termofilní teploty – nad 60°C. Biologicky rozložitelný odpad musí být vystaven teplotě alespoň 55 °C nepřerušovaně po dobu 24 hodin. Celková doba trvání procesu překračuje 30 dní (Mužík, Kára, 2009).

Bioplynové stanice využívají jednu ze dvou technologií, a to suchou nebo mokrou fermentaci. Tyto technologie se odvíjí od procenta obsahu sušiny substrátu. U mokré fermentace je obsah sušiny do 12 % u suché fermentace 25–45 % (Mužík, Slejška, 2003).

Biologicky rozložitelný materiál je nejprve homogenizován a poté dopraven do fermentační nádrže – velké vyhřívané nádrže. Zde je míchán, zahříván a vlhčen (bez přístup vzduchu). Ve fermentorech je odbouráno 50-70 % organické sušiny materiálu (www.bioplyn.cz, 2007).

Výsledkem tohoto procesu je bioplyn, který se používá k výrobě elektrické energie a digestát (obdobu kompostu), který je využíván jako hnojivo. Produkovaný plyn obsahuje metan (CH₄) a oxid uhličitý (CO₂), digestát obsahuje pouze živiny a humus, které se nerozkládají. Bioplyn se dá využít k výrobě energie a ohřevu vody (kogenerace – kombinovaná výroba elektřiny a tepla) v současnosti nejrozšířenější způsob, elektrické energie, tepla a chladu (trigenerace) či paliva (Mužík, Sejška, 2003). Anaerobně zfermentovaný substrát neboli digestát má oproti surovému materiálu (např. prasečí kejda) řadu výhod – je zhomogenizovaný, má snížený obsah

patogenů a semen plevelů, zápach není tak silný, a je snížena emise skleníkových plynů. V Austrálii byla vyvinuta bioplynová stanice, která již dokáže zpracovat i konvenční plasty jako PP, PE a PS na energii a hnojivo. Stroj by měl být schopen zpracovat až 20 tun plastů týdně. Výsledkem procesu je taktéž pevná biomasa a bioplyn, který je dále dělitelný na CH₄ a CO₂ (Naidoo, 2017).

Anaerobní degradace v prostředí s vysokým podílem vody je definována v ISO 14853. Dále je k dispozici ISO 15985, kde je stanovena biodegradace a dezintegrace za podmínek suché fermentace, a je zde popsána metoda analýzy uvolněného bioplynu. DIS 13975 stanovuje anaerobní biodegradaci plastových materiálů s řízenou suspenzí a popisuje metodu měření produkce bioplynu (Degli, 2011). Digesci kalů pocházejících z ČOV definují standardy ASTM D5210 a ASTM D5511 a ČSN EN ISO 11734:1998, kde je popsáno měření v kalech.

Pořizovací cena bioplynové stanice se pohybuje okolo 50 mil. Kč. Jedná se tedy o poměrně velkou počáteční investici. Návratnost se předpokládá do 10 let. Vysoké jsou i provozní náklady, zvláště u odpadářských bioplynových stanic. Důvodem je vyšší spotřeba tepla a elektrické energie při hygienizaci a drcení BRO (Váňa, 1998). V květnu roku 2018 byl vyvinut nový stroj na separaci plastů, kovů a jiných nečistot z organické frakce komunálního odpadu – Bio Scraper firmou Botres Global, který je energeticky nenáročný a mohl by tak snížit zatím alespoň provozní náklady (www.botres.com, 2018)

7.4.1 Degradabilita bioplastů v procesu anaerobní digesce

Bioplasty se do bioplynových stanic mohou dostat v obsahu komunálního odpadu. Musí však být spolehlivě degradabilní (Krása, 2016). Oproti aerobnímu rozkladu je ale anaerobní rozklad pomalejší (Goméz, 2013). Studie ukázala, že při mezofilní teplotě se polymery na bázi škrobu téměř nerozložily. Ovšem při termofilních teplotách byl rozklad pozorován velmi brzy. Velmi podobou reakci měla PLA, která se za 60 dnů rozložila při termofilních teplotách z 90 % (Yagi et al., 2009). Z hlediska LCA (Life Cycle Assessment – posouzení životního cyklu) je anaerobní digesce nejvíce environmentálně šetrné zpracování bioplastů (Rossi, et al., 2015).

7.5 Energetické využití

Energetické využití odpadu představuje jednu z možností, jak ještě zhodnotit vlastnosti odpadu (Rossi, et al., 2015). V České republice máme 4 ZEVO (zařízení pro energetické využití odpadu) na komunální odpad – v Brně, Praze, Liberci a Chotíkově u Plzně. Momentální roční kapacita všech ZEVO v České republice je 750 tisíc tun. Pokud bude chtít ČR dosát cílům Evropské komise v oblasti cirkulárního hospodářství – 65 % recyklovat, 25 % energeticky využít a 10 % skládkovat, bude potřeba navýšit kapacitu ZEVO o dalších 950 tisíc tun (www.cez.cz, 2018).

Termické zpracování není sice nejekologičtější, ale šetří prostor na skládkách. Spalováním se ale zvyšují emise CO₂ a mohou se tak objevit nové ekologické problémy. Technologie pro tepelné zpracování odpadu jsou navíc náročné jak finančně, tak provozně. Spalování odpadu stojí v České republice 880-900 Kč/tun odpadu (www.mzp.cz, 2018). Tato cena bude v porovnání s recyklací nebo materiálovým využitím vždycky vyšší.

7.5.1 Ovlivnění procesu energetického zpracování bioplasty

Vzrůstající náklady na dotřídování plastů v recyklačních zařízeních nejsou žádané, a proto je pro ně ekonomicky výhodnější, když se bioplasty dostanou do spaloven spolu se směsným komunálním odpadem. I přesto, že bioplasty mají příznivý energetický potenciál, nevyužije se jejich potenciál biodegradability což odporuje definici trvalé udržitelnosti. Negativně ale proces energetického zpracování bioplasty neovlivní.

V následující tabulce je uvedena výhřevnost bioplastů v porovnání s konvenčními plasty.

Druh plastu	MJ/kg
PE	45
PET	22
Bio-PE	44
Bio-PET	22
PHA	24
PLA	19

Tabulka 1:Výhřevnost (bio)plastů

(Rosii, 2015)

7.6 Skládkování

Skládka je technické zařízení určené pro ukládání odpadu (Zákon č. 185/2001 Sb., 2017). Jedná se o nejlevnější a nejvyužívanější proces nakládání s odpady v České republice. V roce 2017 se v ČR vyprodukovalo 5,7 milionů tun odpadu. Z toho 45 % jich bylo uloženo na skládku. Do roku 2024 by se mělo skládkovat pouze 10 % (www.mzp.cz, 2018). Každá skládka má povoleno ukládat pouze určité druhy odpadu a proces skládkování zde je řízený a přísně kontrolovaný.

Odpady se na skládkách ukládají buď do prohlubní nebo se na sebe vrší nad úroveň terénu. Ze skládek se odebírá plyn – metan a oxid uhličitý, který vzniká při rozkladu bioodpadu a dále se energeticky zpracovává. Tento plyn se mimo jiné získává i tzv. zhutňováním neboli stlačením jednotlivých vrstev odpadu za pomoci kompaktoru. Kromě uvolnění již zmíněného plynu vzniká na skládkách i více prostoru. Na zhutněném prostoru se také eliminuje vznik požárů.

Výhodou skládek je již zmíněná finanční nenáročnost, ovšem nevýhod je tu značně více. Skládkováním se zbytečně zabírá úrodná zemědělská půda i půda jako taková, což je problém hlavně v městských oblastech (Adamcová, Vaverková, 2014). Další nevýhodou jsou úniky toxických látek do půdy a vody, úniky metanu do ovzduší a následné časté požáry (Jonášová, 2018).

Problémem s nedostatečnou kapacitou skládek je dán nízkými skládkovacími poplatky (Študent, 2018). V Evropské Unii patří skládkovací poplatky České republiky k těm

nižším. Na problém nízkého poplatku upozornila českou vládu i OECD – momentální výše je 500 Kč/tuna odpadu (www.mzp.cz, 2018).

7.6.1 Degradabilita bioplastů na skládkách

Zatímco kompostovatelnost bioplastů je ošetřena normou (ČSN EN 13432:2001), degradace na skládkách nikoliv. V Plzni byla v roce 2012 zahájena studie zkoumající právě rozložitelnost bioplastových odpadů v reálných podmínkách skládky. Jako vzorky byly použity tašky z obchodních řetězců, jejichž výrobci tvrdili, že jsou biologicky odbouratelné, biologicky rozložitelné nebo kompostovatelné. Kontrolním vzorkem byl celulósový papír. Vzorky byly umístěny do kovových rámu na povrchu skládky a pohřbeny běžným komunálním odpadem. Průměrná teplota na skládce se pohybovala od 6,2 °C – 14,7°C. Po 36 měsících proběhla kontrola a bylo zjištěno, že u vzorků deklarovaných jako biologicky rozložitelné se změnila pouze barva potisku, povrch byl ale hladký a nejevil žádné známky degradace. U vzorků označených jako 100 % biologicky odbouratelné a kompostovatelné došlo k fyzikální a chemické degradaci způsobené mikrobiální aktivitou. Kontrolní vzorek – celulósový papír, se rozložil z 99 %. Z toho vyplývá, že podmínky pro degradaci byly na skládce optimální a i přesto, že výrobci své produkty označili jako biologicky rozložitelné nebo odbouratelné, neprojeví větší stupeň degradace (Vaverková, Adamcová, 2016).

Problém je v tom, že rozložitelnost bioplastů je většinou zkoumána v laboratorních podmínkách, kterých na skládkách následně není dosaženo. Kromě fyzikální a chemické struktury bioplastů hraje v jejich rozložitelnosti prostředí důležitou roli – teplota, světlo, vlhkost, přítomnost kyslíku a dalších sloučenin (Emadian, et al., 2017).

Potvrzení laboratoří o rozkladu daného materiálu podle současných standardů (ČSN EN 13432:2001) odpovídá pouze na otázku, zdaje bioplastový produkt biologicky rozložitelný, nevypovídá ale nic o tom, zda jsou materiály v prostředí skládky úspěšně degradovatelné (Adamcová, Vaverková, 2014).

7.7 Doporučený systém odděleného sběru

Bioplasty mají na trhu malé zastoupení, a proto jejich separace od konvenčních plastů není praktická ani ekonomická (Müller, et al., 2014). Od běžných plastů jsou téměř k nerozeznání, zvláště když nejsou jednotně označeny, a nejsou zavedeny sběrné nádoby, do kterých by se tento druh plastů odkládal. I kdyby spotřebitelé byli ochotní

třídít bioplasty, nemají je kam odkládat. V zařízeních na recyklaci přichází v úvahu NIR separace. Díky sensorům software rozezná až 320 tisíc bodů a pomocí vzduchových trysek odstraní z linky materiál, který neodpovídá zadaným kritériím (Šťastná, 2007). Vstupní cena je přibližně 1,5 mil. Kč, provoz a obsluha ale náročné nejsou. Poslední možností, jak separovaně sbírat bioplastový odpad, je spolu s biologickým odpadem – především potravinovým. Tato varianta je ale přijatelná pouze za předpokladu, že bioplastové výrobky budou splňovat podmínku biodegradability v anaerobním nebo aerobním prostředí. Mohly by tak být zpracovatelné v bioplynových stanicích nebo v kompostárnách.

Sběr a třídění organického odpadu ale stále není možné pro všechny obyvatele měst a kompostárny nebývají k tomuto druhu odpadu vstřícné. Jako nejvhodnější možnost, dokud nebude umožněno všem třídít bioodpad, je spalování jej spolu s komunálním odpadem. Tuto možnost preferuje například Belgie. Naopak v Rakousku zavádějí automatickou třídící linku, která by všechny bioplasty vytrídila a ponechala by k recyklaci pouze PET (www.pro-e.org, 2009).

Kompostování je v mnoha státech považováno za vhodnou formu využití materiálu (Song, et al., 2009). V německém městě Kassel zavedli biologicky rozložitelné obaly v jednom z místních obchodů. Účelem bylo řídit jejich separaci přímo u zdroje (domácností) a následné zpracování. Systém vyžadoval vysokou informovanost veřejnosti o označování a separaci výrobků. Výsledný kompost neprokazoval žádné rozdíly v parametrech kvality ve srovnání s konvenčním kompostem obsahujícím pouze zelený odpad a měl stejné pozitivní účinky na vlastnosti půdy a rostlin (Klauss et Bidlingmaier, 2004). Z následného průzkumu vyplynulo, že až 90 % lidí by podpořilo nahrazení konvenčních plastů kompostovatelnými. Přínosem projektu byla zvýšená separace a sběr, a snížení množství odpadu na skládkách a ve spalovnách (Song, et al., 2009). Pokud by se podařilo napodobit tento projekt v podmínkách České republiky, byl by separovaný sběr bioplastů výhodný.

7.8 Degradabilita v půdě

Rozložitelnost bioplastů v půdním prostředí se značně liší v závislosti na hlavním polymerním komponentu. Rychlost degradace je potom závislá na bakteriální biomase přítomné v půdě (nejvíce bakterií se nachází v nejurodnějších půdách). Degradace směsi PBS a škrobu byla během 28 dnů rychlejší než rychlost PLA a PBS. PBS-škrob

byl degradován z 24 % (Adhikari, 2016). Studie uvádějí, že jak PBS, tak PBS-škrob jsou degradovány půdními mikroorganismy (Teeraphatpornchai, 2003).

Některé druhy bioplastů, jako je PLA, zůstaly v půdě po dlouhou dobu. Pro degradaci PLA je zapotřebí mikrobiální napadení při vysoké teplotě (například termofilními bakteriemi při kompostování) (Sakai, et al., 2001).

Očekává se, že využití bioplastů v oblasti zemědělských do budoucnu vzroste, a proto by měl být pečlivě zkoumán vliv rozložených bioplastů na bakteriální rozmanitost v půdním prostředí.

7.9 Degradabilita ve vodním prostředí

Polymery, které degradují v půdě v za podobných podmínek degradují také v mořském prostředí (UNEP, 2015). Nicméně degradace zabere takové množství času, že v tomto případě bioplasty nejsou řešením. V žádném případě nejsou biodegradabilní plasty řešením odhazování odpadu do moří a oceánů. V dlouhodobé studii v Severním Atlantickém oceánu se ukázalo, že jeden vzorek mořské vody obsahoval ekvivalent 580 000 kusů plastů na km² (Law, 2017). Podle dalších zdrojů se odhaduje, že plasty tvoří 80 % odpadu v oceánech (European Commission, 2018).

Materiál, který by se rozložil v mořském prostředí vyžaduje mnohem více času pro rozklad než v půdě. Mořské podmínky jsou velmi proměnlivé v závislosti na geografické poloze a ročním období (Oever et al., 2017).

Celosvětově končí v oceánech 5-13 milionů tun plastů ročně (1,5-4% plastové produkce) (Jambeck et al, 2015). UNEP odhaduje škody způsobené litteringem minimálně na 8 miliard USD ročně. Kromě poškození životního prostředí ale littering způsobuje i ekonomické škody na činnostech jako je turismus, rybaření či lodní doprava (European Commission, 2018).

8. Diskuze

Aby bylo používání bioplastů výhodné bude muset společnost investovat do infrastruktury separovaného sběru odpadů, vzdělání veřejnosti a v neposlední řadě bude velmi záviset na chování jednotlivých spotřebitelů (Hermes, 2018). Z legislativního hlediska bude ale nejnultnější vytvořit regulační rámec (Beneš, 2018). Dalším krokem v oblasti bioplastů a odpadového hospodářství bude zavedení modelu cirkulární ekonomiky do praxe. Bioplasty a biologicky rozložitelné plasty v tomto modelu budou hrát zásadní roli, vezmeme-li v úvahu nynější nastavenou hierarchii nakládání s odpady. Pro fungování tohoto modelu je ale důležité nejprve odstranit bioodpad ze skládek a spaloven. Mechanické zpracování bude nahrazeno organickou recyklací. Nutná bude produkce druhotného, surového, bioplastového materiálu a podpora produkce bioplynu (www.european-bioplastics.org, 2017).

Uplatnění bioplastů je spatřováno především v obalové aplikaci v potravinářském průmyslu. Tašky na ovoce a zeleninu by měly dvojí využití – zákazníci by si měli v čem odnést potraviny a poté by tašky a sáčky sloužily ke sběru bioodpadu. Tato aplikace je velmi praktická a navíc hygienická. Stejně tak etikety, které lepíme v obchodech na ovoce a zeleniny by bylo možné kompostovat spolu se zbytky organického odpadu. Každodenní součástí moderního života jsou kávové kapsle a čajové sáčky, které končí ve směsném odpadu. Jejich organická recyklace by podpořila mikrobiologickou aktivitu v procesu kompostování (www.european-bioplastics.org, 2017).

I přesto že bioplasty budou v cirkulární ekonomice hrát bez pochyby významnou roli, tato změna nepřijde ihned. Než se společnosti podaří přeorientovat se na nový model ekonomiky, je důležité omezit alespoň produkci plastového odpadu jako takového (Kočí, 2018). Za posledních 50 let stoupla produkce plastů dvacetinásobně a v příštích dvaceti letech se počítá s jejím zdvojnásobením (www.ecostandard.org, 2017).

Evropská komise vypracovala Strategii pro plasty, zde se řeší ale především plasty na jedno použití. Zde jsou definované cíle a vize, ale konkrétní řešení, jak těchto cílů dosáhnout nikdo nemá (Jonášová, 2018). V návaznosti na tuto strategii připravilo Ministerstvo životního prostředí v čele s Mgr. Richardem Brabcem nový projekt #dostbyoplastu (www.mzp.cz, 2018).

Princip této kampaně spočívá v dobrovolném uzavření dohod mezi Ministerstvem životního prostředí a jednotlivými firmami či úřady, které mají zájem se do projektu

zapojit. Iniciativa je primárně určena pro firmy působící v oblasti rychlého občerstvení, protože zde se hromadí nejvíce použitého jednorázového plastu. Může se ale přihlásit kdokoliv jiný, pokud se zaváže podporovat redukci plastových jednorázových obalů za účelem ochrany životního prostředí a snížení množství vyprodukovaného odpadu (www.dostbyloplastu.cz, 2018).

Eliminace spotřeby plastů zahrnuje nahrazení všech možných plastových nádob na vodu skleněnými džbánky či karafami, stejně tak plastové kelímky budou substituovány skleničkami a hrnky. Další kategorií jsou separátně balené ingredience – cukr, sůl, kečup apod. Vyměnit je lze za nádoby, které se dají doplnit – cukřenky, slánky. V některých kavárnách je toto opatření již běžné. Stejně tak velké nádoby na kečup či hořčici v občerstvovacím stánku v Ikee.

Výrobek, který způsobuje nejvíce zbytečného odpadu, je kelímek na kávu. Jde o kombinaci papíru a plastové fólie. Většina lidí si nedá tu práci, aby vyhodila zvlášť víčko a zvlášť kelímek, ale celý ho hodí rovnou do směsného odpadu. Ve většině případů končí tedy na skládkách. Velkou motivací by proto mohla být například sleva na nápoj, pokud si ho zákazník nechá dát do vlastního hrnku. Tuto službu poskytuje v České republice například jedna z největších sítí kaváren Starbucks. Dalším plánovaným opatřením je redukce brček. Každý zákazník určitě nepotřebuje ke svému nápoji nutně brčko, není tedy důvod ho do nápoje automaticky dávat. Stejně tak umělohmotná či dřevěná míchátky mohou být nahrazena nerezovým nádobím. Důležitým krokem vpřed by byla možnost nákupu nejen nápojů, ale i pokrmů do vlastních krabiček.

Opatření se ale musí zavést také v oblasti odpadového hospodářství. Samozřejmostí jsou koše na tříděný odpad na veřejně přístupných místech. Dále by měla vzniknout povinnost sběru bioodpadu především v jídelnách, kuchyních, fastfoodech či na veřejných akcích a festivalech. S tím vším souvisí zajištění odpovídajícího systému nakládání s odpady (Ministerstvo životního prostředí, 2018).

Tato kampaň by měla zajistit to, že se za pár let neutopíme v plastovém odpadu. Náš život se nebude točit jen okolo plastu a my budeme šetřit přírodu i místo na skládce. Ministerstvo životního prostředí slibuje firmám podporu v nápadech redukce plastové nádobí, i podporu v médiích. Firmy zároveň budou platit méně za likvidaci odpadu, což by mohla v některých případech být velká motivace vzhledem k množství

vyprodukovaného odpadu. Navíc všechno, co je ekologické, je v dnešní době mezi lidmi velmi populární a mohl by to tak být i dobrý marketingový tah, který by spousta zákazníků určitě ocenila. Cílem je, aby se do projektu zapojilo co nejvíce firem úřadů a obcí, které by spolupracovali s Ministerstvem životního prostředí.

První dohody se podepsaly již v 6. měsíci roku 2018. Mezi prvními společnostmi byly Salaterie Ugo, Cross Cafe, České dráhy, Benzina, Bageterie Boulevard, Leo express a Dudes & Barbies. O několik měsíců později se připojili firmy Starbucks, Ikea, Lidl a také Česká zemědělská univerzita v Praze. Poté následovala propagace kampaně v ulici Prahy a Brna. V září proběhla na náplavce akce „první ekologická náplavka“, kdy se poprvé na pravidelných farmářských trzích zavedly zálohované kelímky (www.dostbyloplastu.cz, 2018).

Součástí této akce byla anketa Ministerstva životního prostředí. Ze 700 oslovených návštěvníků bylo získáno 561 validních dotazníků, kdy odpovědělo 394 žen a 197 mužů. Ve výsledcích se ale neprojevil rozdíl ani mezi věkovými kategoriemi ani mezi ženami a muži.

Ukázalo se, že 47 % dotazovaných vůbec nekupuje jednorázové nápojové obaly, 66 % respondentů vůbec nepoužívá jednorázové obaly na jídlo. PET lahve nekupuje 45 % a jednorázové tašky 67 % dotazovaných. A téměř většina respondentů 97 %, by podpořila zpoplatnění nebo úplný zákaz rozdávání či prodeje jednorázových obalů.

Česká zemědělská univerzita je vůbec první vysokou školou, která podepsala dohodu s Ministerstvem životního prostředí. V praxi by to mělo vypadat tak, že se zřídí filtrační omezení na vodu a omezí se používání jednorázových plastů na univerzitních akcích. Díky tomu se ušetří stovky plastových lahví ročně. Dále chce univerzita formou soutěží motivovat studenty k tvorbě nových projektů na podporu ochrany životního prostředí.

V roli jednotlivých občanů spoléhá Ministerstvo životního prostředí především na sociální síť. Ty mají představovat největší podporu ze strany dobrovolníků. Lidé budou sdílet fotky o svých ekologických aktivitách, označovat je výstižnými hastagy a ovlivňovat tak své známé a sledující (www.mzp.cz, 2018).

Dalšími kroky ze strany Ministerstva ŽP je podpora již zmíněné připravované legislativy EU a zlepšení značení materiálů, které jsou skutečně rozložitelné.

9. Závěr

Bioplast dominuje dnešním inovacím a vývoji plastických hmot. Hlavní předností plastových výrobků na bázi bio oproti konvenčním plastům je úspora fosilních zdrojů. Užitím biomasy k výrobě recyklovatelných plastů by se snížila jak závislost na těchto fosilních zdrojích, tak emise CO₂. Je odhadováno, že produkcí plastů a spalováním plastového odpadu se do ovzduší dostane přibližně 400 milionů tun CO₂ ročně (Ibid, 2012). Největší výzvou pro další generaci lidstva, je snížení momentálních hodnot skleníkových plynů v atmosféře (450 ppm CO₂) o 80 %, na hodnoty z roku 1990 (Barker, et al., 2007).

Podle Evropské Komise, rostoucí podíl biodegradabilních plastů na trhu přináší jak nová rizika, tak příležitosti. Ve chvíli, kdy chybí jasné označení, a adekvátní způsob sběru tohoto typu odpadu, by mohlo dojít především ke zhoršení mechanické recyklace. Na druhou stranu, biodegradabilní plasty mohou hrát důležitou roli v určitých aplikacích (European Commission, 2018). Nejvíce se přikláním ke kompostovatelným pytlům, které by sloužily ke sběru bioodpadu. Tento způsob by byl mnohem hygieničtější a pro spotřebitele jednodušší. Vysoká cena je ale hlavní bariérou, které brání rozvoji trhu s biodegradabilními plasty. Vývoj trhu určují spotřebitelé svými preferencemi (Ashter, 2016).

Za velmi důležitý krok považuji zavedení jednotné legislativy, která bude zároveň podporovat cirkulární systém. To potvrzuje i Francios de Bie – předseda EUBP, i přestože to nebude jednoduchý úkol a může zabrat i několik let (www.european-bioplastics.org, 2018). S myšlenkou více udržitelné ekonomiky vznikla „life cycle initiative“ (volný překlad: iniciativa životního cyklu), jejímž cílem je globálně sdílet získaných znalosti v oblasti cirkulární ekonomiky k dosažení udržitelnější společnosti. Iniciativa se dále zaměřuje na tvorbu a užívání informací získaných o životním cyklu založených na vědeckých poznatcích, které jsou dále sdíleny s firmami, orgány státní správy a veřejnou společností jako základ pro udržitelnou spotřebu a výrobu (www.lifecycleinitiative.org, 2018). Zda je v konkrétní aplikaci bioplast účinným řešením či ne, prokáže právě tato analýza životního cyklu (LCA). Ve Spojených Státech Amerických byla vypracována studie, která porovnává tašky z konvenčních plastů, kompostovatelné a degradovatelné spolu v porovnání s papírovou alternativou. Ukazuje například množství skleníkových plynů uvolněných do životního prostředí

v procesu degradace, které jsou u kompostovatelných plastů větší než u tradičních jednorázových plastů. Skleníkové plyny mají velký dopad na globální oteplování. Studie také ukázala, že recyklovatelné tašky spotřebovávají při výrobě 2,5krát méně fosilních surovin než odbouratelné plasty. Stejně tak spotřeba energie byla nejmenší u recyklovatelných plastů. Nahrazení konvenčních plastů bioplasty se tedy ukazuje jako kontraproduktivní (Overcash, 2007). Osobně bych preferovala již zmíněnou Hydal technologii využívající k výrobě biopolymerů odpadní oleje a podporující uzavřený systém toku materiálů.

Tématem uzavřeného systému se zabývá i Evropská Komise, která v roce 2015 přijala EU „Action Plan for circular economy“. Zde jsou plasty označeny za klíčovou prioritu. Komise se zároveň zavázala, že připraví strategii, které bude řešit problematiku plastů v celém hodnotovém řetězci včetně jejich životního cyklu. Poté, v roce 2017 potvrdila, že bude usilovat, aby do roku 2030 bylo možné všechny plasty recyklovat. Ve srovnání s ostatními materiály, typu papír, sklo či kov je recyklace plastů nevyužitá (European Commission, 2018).

I přesto, že na první pohled se bioplast mohl zdát jako zázrak, který spasí planetu od tun odpadu, po hlubším zkoumání dané problematiky zjistíme, že tomu tak úplně není. Nevyřeší ani problém litteringu (odhazování odpadů do volné přírody). Littering nikdy nebude akceptovatelný pro žádný druh odpadu v jakémkoliv prostředí ať už se jedná o zemi nebo o vodní část planety (Oever, et al., 2017). Co se ale jeví jako další nevýhoda, je zábor půdy pro rostliny určené k výrobě bioplastů a s tím spojená vyšší spotřeba pesticidů a herbicidů a vyčerpání živin z půdy (Beneš, 2018).

Z mého pohledu mají bioplasty smysl pouze tehdy, bude-li je upravovat jednotná legislativa a budou-li fungovat v uzavřených systémech, kde neztratí svoji hodnotu. V mnoha případech stále zůstávají lepší variantou syntetické plasty, které se po skončení jejich životnosti dají recyklovat.

10. Seznam použité literatury

- About plastics, *Plastic Europe* [online]. 2017 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family>.
- About the Life Cycle Initiative, *Life Cycle Initiative*© [online]. 2018 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.lifecycleinitiative.org/about/about-lci/>.
- ACCINELLI C. et al., 2012. Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere* [online]. **89**(2), 136-143 [cit. 2018-12-11]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.028>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351200639X>.
- ADAMCOVÁ D. et VAVERKOVÁ M., 2014. Degradation of biodegradable/degradable plastics in municipal solid-waste landfill. *Polish Journal of Environmental Studies* [online]. **23**(4), 1071–1078 [cit. 2018-10-09]. ISSN 12301485. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/infodroje.czu.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=0437cb30-bba8-42ea-8ed6-cd55f00233e7%40pdc-v-sessmgr06>.
- ADAMCOVÁ D. et VAVERKOVÁ M. D., 2016. New Polymer Behavior Under the Landfill Conditions. *Waste and Biomass Valorization* [online]. **7**(6), 1459–1467 [cit. 2018-12-09]. DOI: 10.1007/s12649-016-9542-0. ISSN 1877265X. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9542-0>.
- ADHIKARI D. et al., 2016. Degradation of Bioplastics in Soil and Their Degradation Effects on Environmental Microorganisms. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* [online]. 23-34 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/296477621_Degradation_of_Bioplastics_in_bafsSoil_and_Their_Degradation_Effects_on_Environmental_Microorganisms.
- ÁLVAREZ-CHÁVEZ C. R. et al., 2012. Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *Journal of Cleaner Production* [online]. **23**(1), 47-56 [cit. 2018-10-15]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.003. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://www.sciencedirect-com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S095965261100374X>.
- Anaerobní technologie, *BIOPROFIT* ©2007 [online]. 2007 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm.
- ASHTER S. A. et Al., 2016. Commercial Application of Bioplastics. Introduction to Bioplastics Engineering. Boston: Elsevier, s. 227-246. ISBN 9780323393966. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323393966/introduction-to-bioplastics-engineering>.

- AVEROUS L., 2007. Biodegradable polymers (biopolymers). Biodeg.net [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.biodeg.net/biopolymer.html>.
- BARKER T., et al., 2007 *Technical Summary*. In *Climate change 2007: Mitigation* [online]. [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/technical-summary-in-emclimate-change-2007-mitigationem>.
- BENEŠ H., 2018. Biologicky rozložitelné plasty: Mýty, sny a skutečnost. Ústav makromolekulární chemie AV ČR. Seminář „Trendy v nakládání s odpady“ [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/hp.sqw?k=4606&td=19&cu=9>
- BERÁNKOVÁ A., 2013. Chitosan. *Material Times* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://www.materialtimes.com/materialy/prirodnimaterialy/chitosan.html>.
- Bio-based plastics: Feedstocks, Production and the UK Market, *British Plastics Federation* © Copyright 2019 [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Biobased_plastics_Feedstocks_Production_and_the_UK_Market.aspx.
- Biobased Plastics, *European Bioplastics* [online]. 2018 [cit. 2018-09-13]. Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biobased/>.
- Biodegradable Plastics & MARINE LITTER Misconceptions, concerns and impacts on Marine environments [online], 2015. Nairobi: Copyright © United Nations Environment Programme (UNEP) [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7468/-Biodegradable_Plastics_and_Marine_Litter_Misconceptions,_concerns_and_impacts_on_marine_environments-2015BiodegradablePlasticsAndMarineLitter.pdf.pdf?sequence=3.
- Biodegradable plastics, *European bioplastics* [online]. 2018 [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/biodegradable/>.
- Biodegradable plastics and the circular economy in Europe, *European bioplastics* [online]. 2017 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://docs.european-bioplastics.org/publications/Discussion_paper_Biodegradable_plastics_to_the_Circular_Economy_in_Europe.pdf
- Biologicky rozložitelné plasty: jsou pro životní prostředí lepší? *Future energia* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: http://www.futureenergia.org/ww/cz/pub/futureenergia/chats/bio_plastics.htm.
- Bioplastics – Industry standards & labels, *European Bioplastics* [online]. 2016 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_standards.pdf.

- Bioplastics in automotive market – clear benefits and strong performance, *European Bioplastics* [online]. 2015 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EuBP_fs_automotive.pdf.
- Bioplastics in Circular Economy: The need to focus on waste reduction and prevention to avoid false solution. *ECOS* [online]. 2017 [cit. 2019-03-15] Dostupné z: <http://ecostandard.org/joint-position-paper-bioplastics-in-a-circular-economy/>
- Bioplastics market data. *European bioplastics* [online]. 2018 [cit. 2018-09-15]. Dostupné z: https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2016/02/Report_Bioplastics-Market-Data_2018.pdf.
- BLANER P. et VRBOVÁ M., 2015 Biodegradabilní plasty v procesech nakládání s odpady. *Odpadové fórum* [online]. [cit. 2018-11-05]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2017/prispevky/167.pdf>
- Certified – the Compostability of ecoflex®, *BASF SE © 2019* [online]. 2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://products.basf.com/en/ecoflex.industry~plastics_rubber%7Cperformance_ polymers.html.
- Co je ZEVO, ČEZ, a. s. *Copyright 2019* [online]. [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html#vyuziti>
- COMANIȚĂ E.-D. et al., 2015. CHALLENGES AND OPORTUNITIES IN GREEN PLASTICS: AN ASSESSMENT USING THE ELECTRE DECISION-AID METHOD. *Environmental Engineering* [online]. **14**(3), 689-702 [cit. 2018-10-02]. DOI: 10.30638/eemj.2015.077. ISSN 15829596. Dostupné z: http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol14/no3/full/25_967_Comanita_14.pdf.
- ČSN EN 13432 (770153) *Obaly – Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci – Zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu*, 2001. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN EN 16575 (659801) *A Produkty z biologického materiálu – Slovník*, 2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- ČSN EN ISO 14855 (640512) *N Stanovení úplné aerobní biodegradability a rozkladu plastů za řízených podmínek kompostování – Metoda stanovení uvolněného oxidu uhličitého*, 2005. Praha: Český normalizační institut. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- DEGLI I., 2011. *Presentations from ISO technical committees covering biotechnology-related issues. TC 61: International Standard for BioTechnology* [online]. [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://businessdocbox.com/Biotech_and_Biomedical/65949897-Presentations-from-iso-technical-committees-covering-biotechnology-related-issues-tc-61-plastics.html.

- DOHNAL R., 2018. Radomír Dohnal: Bioplasty nejsou bio. Možná jsou horší než ty konvenční. *Ekolist.cz* [online]. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/radomir-dohnal-bioplasty-nejso-bio-mozna-jsou-horsi-nez-ty-konvencni>.
- EMADIAN S. M. et al., 2017 Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management* [online]. (59), 526-536 [cit. 2018-09-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1630561X>.
- EN 13432 Certified Bioplastics, *European Bioplastics* [online]. 2015 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_En_13432.pdf.
- EU waste legislation recognises benefits of bioplastics, *European Bioplastics* [online]. 2018 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/eu-waste-legislation-recognises-benefits-of-bioplastics/>.
- Fact sheet on bioplastics, *PRO EUROPE Packaging Recovery Organisation Europe s.p.r.l.*, [online]. 2009 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.pro-e.org/files/Factsheet_on_bioplastics_230309.pdf
- EUROPEAN COMMISSION, 2018. *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy* [online]. In: Brusel [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN>.
- GÓMEZ E. F. et MICHEL C., 2013. Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation. *Polymer degradation and stability* [online]. **98**(12), 2583-2591 [cit. 2018-12-10]. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.018. ISSN 01413910. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391013003066>.
- HABART J., 2003. Mater-Bi, biodegradabilní plast nejen na výrobu sáčků pro sběr BRKO. *Biom.cz* [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/mater-bi-biodegradabilni-plast-nejen-na-vyrobu-sacku-pro-sber-brko>.
- HÁJEK M., 2014. Mikrovlnná recyklace odpadních PET lahví. *Odpady* [online]. [cit. 2018-09-18]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/mikrovlenna-recyklace-odpadnich-pet-lahvi/>.
- HALLEY P. et AVÉROUS L., 2014. Starch Polymers: From the Field to Industrial Products: From Green Engineering to Green Application. *STARCH POLYMERS From Genetic Engineering to Green Applications*. s. 3-12. ISBN 978-0-444-53730-0.
- HERMES J., 2018. Biodegradable Plastics: Yes or No? *Environmental LEADER* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.environmentalleader.com/2018/02/biodegradable-plastics-yes-no/>

HODEK T., 2004. Kompostovatelné plasty při nakládání s biologicky rozložitelným odpadem. *Odpady* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/kompostovatelné-plasty-pri-nakladani-s-biologicky-rozlozitelnym-odpadem/>.

How much oil is used to make plastics, *US Energy Information Administration* [online]. 2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=34&t=6>.

CHANDRA R. et RUSTGI R., 1998. Biodegradable polymers (biopolymers). *Progress in Polymer Science* [online]. **23**(7), 1273-1335 [cit. 2018-10-02]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00039-7). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670097000397?via%3Dihub>.

CHUA J. M., 2011. Benetton gets greener with biodegradable hangers and organic cotton. *Ecouterre* [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/ecouterre/benetton-gets-greener-with-biodegradable-hangers-organic-cotton-garments/>.

IGNATYEV I. A. et al., 2014. Recycling of Polymers: A Review. *ChemSusChem* [online]. **7**(6) [cit. 2018-10-20]. DOI: DOI: 10.1002/cssc.201300898. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/262151364_Recycling_of_Polymers_A_Review.

Introduction to strategy, *Toyota – North American Environmental Report 2018* [online]. 2018 [cit. 2019-01-10]. Dostupné z: <https://www.toyota.com/usa/environmentreport/strategy.html#environmental-challenge-2050>.

JAMBEC J. R. et al., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* [online]. **347**, 768-771 [cit. 2018-11-23]. DOI: 10.1126/science.1260352. Dostupné z: https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/Calendar_2011_03_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71__2_.pdf.

JONÁŠOVÁ S., 2018. Češi umí vyrobit bioplast z fritovacího oleje. Rozloží se v kompostu i oceánu. *Zajímejse.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://zajimej.se/hyda/>.

JONÁŠOVÁ S., 2018. Nařízení o zákazu některých plastových výrobků Evropskou komisí má řešení v Česku. Bioplast z fritovacího oleje. *Institut cirkulární ekonomiky*. [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://incien.org/tag/bioplasty/>

JONÁŠOVÁ S., 2018. *Zero Waste (konference)*. NTK Praha.

Journal of Cleaner Production [online], 2012. **23**(1) [cit. 2018-10-15]. ISSN 09596526.

- KALE G. et al., 2007. Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Science Direct* [online]. **26**, 1049–1061 [cit. 2019-04-11]. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2007.07.006. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/250389074/Biodegradability-of-Polylactide-Bottles-in-Real-and-Simulated-Composting-Conditions-Kale-Et-Al-2007>.
- KLAUSS M. et BIDLINGMAIER W., 2004. Biodegradable polymer packaging – Practical experiences of the model project Kassel. *Biodegradable and residual waste management*. [online]. **18-19**, 382–388 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265926032_THE_KASSEL_PROJECT_USE_AND_RECOVERY_OF_BIODEGRADABLE_POLYMER_PACKAGING
- KOČÍ V., 2018. Oběhové hospodářství – nový přístup k udržitelnému hospodaření. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Seminář „Trendy v nakládání s odpady“ [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/hp.sqw?k=4606&td=19&cu=9>
- KOUTNÝ M. et al., 2006 *Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives* [online]. **64**(8), 1243-1252 [cit. 2018-10-29]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.060>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653506000439>.
- KOUTNÝ M. et al., 2006. *Acquired biodegradability of polyethylenes containing pro-oxidant additives* [online]. 1495-1503 [cit. 2018-09-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.10.007>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391005004611>.
- KRÁSA O., 2016. Větší množství bioplastů v odpadech může ohrozit recyklaci. *Odpady*. (7), 25-28.
- LAW K. L., 2017. Plastics in the Marine Environment. *Annual review of marine science* [online]. (9), 205-229 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-marine-010816-060409>.
- LUCAS N. et al., 2008. Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques – A review. *Chemosphere* [online]. (73), 429–442 [cit. 2018-10-8]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653508008333>.
- Maan BioBased Products B.V* © Copyright 2019 [online], 2019 [cit. 2018-09-23]. Dostupné z: <https://growcoon.com>.
- Marine Litter, *European Bioplastics* [online]. 2016 [cit. 2018-10-06]. Dostupné z: https://docs.european-bioplastics.org/publications/pp/EUBP_PP_Marine_litter.pdf.

- MASSARDIER-NAGEOTTE V. et al., 2006. Aerobic and anaerobic biodegradability of polymer films and physico-chemical characterization. *Polymer Degradation and Stability* [online]. **91**(3), 620-627 [cit. 2018-10-8]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.029>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391005003964?via%3Dihub>.
- Ministerstvo životního prostředí © 2008–2019 [online] Kampaně Dost bylo plastu., 2018 [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kampan_dost_bylo_plastu.
- Ministerstvo životního prostředí © 2008–2019 [online]. 2018 Ministr Brabec: Spolu s Komisí říkáme NE jednorázovým plastům. Česká republika má jasnou pozici k omezení jednorázových plastů, [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_smernice_dostbyloplastu_pozice_CR.
- MLEZIVA J. et KÁLAL J., 1986. *Základy makromolekulární chemie: celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty vysokých škol technických oborů 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- MLEZIVA J., 1993. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-901570-4-1.
- MUŽÍK O. et KÁRA J., 2009. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>.
- MUŽÍK O. et SLEJŠKA A., 2003. Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>.
- MÜLLER G. et al., 2014. End-of-life Solution for Fibre and Bio-based Packaging Materials in Europe. *Packaging and Technology and Science*. [online]. (27), 1-15 [cit. 2018-10-8]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.893/abstract>.
- MYNÁŘOVÁ L., 2018. *Zero Waste (konference)*. NTK Praha.
- MÝTY vs. FAKTA o skládkování, Ministerstvo životního prostředí © 2008–2019 [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160505_zakon_odpady/\\$FILE/Myty_vs_fakta_fin.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160505_zakon_odpady/$FILE/Myty_vs_fakta_fin.pdf).
- NAIDOO R., 2017. Anaerobic digestion technology turns plastic waste into energy. *Infrastructure news* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://infrastructurenews.co.za/2017/07/13/anaerobic-digestion-technology-turns-plastic-waste-to-energy/>.
- Národní technologická platforma pro bioplyn, 2017. *Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: <https://www.czba.cz>.

- NEHASILOVÁ D., 2012. *Jsou bioplasty opravdu alternativou?* [online]. [cit. 2018-11-7]. Dostupné z: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=118744&ids=146>.
- O projektu, 2018. *Zálohujeme.cz* [online]. 2019 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.zalohujeme.cz/#o-projektu>.
- Obaly, *Ministerstvo životního prostředí © 2008–2019* [online]. 2018 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/obaly>.
- OBRUČA S., 2007. Čisté technologie jako výzva I. *Inovace* [online]. [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.jic.cz/magazin/ciste-technologie-jako-vyzva-pro-podnikatele/>.
- OBRUČA S., 2007. Polyhydroxyalkanoáty – přirozeně odbouratelné plasty. *Agris* [online]. [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <http://www.agris.cz/clanek/155286/polyhydroxyalkanoaty-prirozene-odbouratelne-plasty>.
- OEVER van den M. et al., 2017. *Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://edepot.wur.nl/408350>.
- Operating test for BioScraper at biogasplant in Bilecik successfully completed! *Botres Global* [online]. 2018 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.botres.com/operating-tests-bio-scraper-biogas-plant-bilecik-successfully-completed/>.
- Our Technology, *NAFIGATE a.s. © Copyright 2019* [online]. 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.nafigate.com/en/>.
- OVERCHASH M., 2007. Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags – Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://plastics.americanchemistry.com/Life-Cycle-Assessment-for-Three-Types-of-Grocery-Bags.pdf>.
- PERVAIZ M., 1998. Biodegradable Polymers. *Progress in Polymer Science* [online]. (23), 1273-1335 [cit. 2018-12-9]. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00039-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00039-7). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670097000397?via%3Dihub>.
- PHILP J. C., et al., 2013. Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology* [online]. **31**(2), 65-67 [cit. 2018-09-10]. DOI: 10.1016/j.tibtech.2012.11.009. ISSN 01677799. Dostupné z: PHILP, J. C., R. J., RITCHIE a K. GUY. Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology* [online]. 2013, 31(2), 65-67 [cit. 2019-04-10]. DOI: 10.1016/j.tibtech.2012.11.009. ISSN 01677799. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0167779912002041>.

- PIEMONTE V. et GIRONI, F., 2011. Land-use change emissions: How green are the bioplastics? *Environmental Progress* [online]. **30**(4), 685-691 [cit. 2019-04-10]. DOI: 10.1002/ep.10518. ISSN 19447442. Dostupné z: <https://onlinelibrary-wiley-com.infozdroje.czu.cz/doi/full/10.1002/ep.10518?sid=EBSCO%3Aedb>.
- Plastics' Contribution to the Circular Economy, *Plastic Europe* [online]. 2019 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.plasticseurope.org/en/focus-areas/circular-economy>.
- Plasty na jedno použití: nová pravidla EU omezí množství odpadků v mořích, *Evropská komise* [online]. 2018 [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/czech-republic/news/plasty_na_jedno_pouziti_cs.
- Polymer degradation and stability* [online], 2013. **98**(12) [cit. 2018-12-10]. ISSN 01413910.
- Polymer Degradation and Stability* [online]. 2000, **68**(1), 1-7 [cit. 2018-09-13]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(99\)00182-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(99)00182-2). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391099001822?via%3Dihub>.
- ROSSI V. et al., 2015. Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. *Journal of Cleaner Production* [online]. (86), 132-145 [cit. 2019-04-10]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.049>. Dostupné z: https://quantis-intl.com/wp-content/uploads/2017/02/life_cycle_assessment_of_end-of-life_options_for_t.pdf.
- ROUDNIK E., 2008. *Compostable Polymer Materials* [online]. 209 s. ISBN 978-0-08-045371-2. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080453712/compostable-polymer-materials#book-info>.
- SAKAI K. et al., 2001. Isolation of a thermophilic poly-l-lactide degrading bacterium from compost and its enzymatic characterization. *Journal of Bioscience and Bioengineering* [online]. **92**(3), 298-300 [cit. 2018-10-15]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80266-8](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80266-8). Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172301802668?via%3Dihub>.
- SCHNABEL W., 1981. *Polymer Degradation, Principles and Practical Applications* [online]. München: Akademie-Verlag [cit. 2018-09-04]. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbpc.19830870933>. 227 s.
- SOMLEVA N. M. et al., 2013. PHA Bioplastics, Biochemicals, and Energy from Crops. *Plant Biotechnology Journal* [online]. 233-252 [cit. 2019-04-11]. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.12039>. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbi.12039>.

- SONG J. H. et al., 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* [online]. 2127-2139 [cit. 2019-04-11]. DOI: 10.1098/rstb.2008.0289. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873018/#RSTB20080289C41>
- ŠTASTNÁ J., 2016. Recyklace bioplastů z pohledu zpracovatele. *Odpady*. (7), 31.
- ŠTUDENT V., 2018. Plasty – zkáza nebo výzva pro budoucnost? *EurActiv Network* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://euractiv.cz/section/obehove-hospodarstvi/press_release/plasty-zkaza-nebo-vyzva-pro-budoucnost/.
- TEERAPHATPORNCHAI T. a et al., 2003. Isolation and characterization of a bacterium that degrades various polyester-based biodegradable plastics. *Biotechnology Letters* [online]. **25**(1), 23-28 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021713711160>.
- Trends in Biotechnology* [online], 2013. **31**(2) [cit. 2018-09-10]. ISSN 01677799.
- Types of plastics, *Plastic Europe* [online]. 2017 [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family>.
- VÁŇA J., 1998. *Bioplyn z rostlinné biomasy: Phytomass for biogas: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Rostlinná výroba – Svazek 95, Svazek 98, Studijní informace*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 8086153924.
- VANĚK T., LIPAVSKÝ J. et VRBOVÁ M., 2013. Výzkum říká: Degradovatelné plasty příliš neodegradují. *Odpady*. **23**(10), 22-23.
- VONDRÁČKOVÁ N., 2018. Resinex: Bioplasty jako významný trend současnosti. *Plastic portal* [online]. [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/resinex-bioplasty-jako-vyznamny-trend-soucasnosti/c/5075/>.
- VÖRÖS F., 2012. *Bioplasty – nový problém pro odpadáře/ III* [online]. [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/bioplasty-novy-problem-pro-odpadare-iii/>.
- VÖRÖS F., 2013 *Bioplasty – nový problém pro hospodáře/V*. *Odpady* [online]. [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/bioplasty-novy-problem-pro-odpadare-v/>.
- Vyhláška č. 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady), v platném znění*

WEBER M., *Global review of biodegradable plastics testing and standards* [online]. Berlin: DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <http://www.co2-sachverstaendiger.de/pdf/Lecture%20Biodegradable%20Plastics%20Conference%2026.10.2001.pdf>.

YAGI H. et al., 2009. Anaerobic Biodegradation Tests of Poly (lactic acid) under Mesophilic and Thermophilic Conditions Using a New Evaluation System for Methane Fermentation in Anaerobic Sludge. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. (10), 3824-3835 [cit. 2018-09-10]. DOI: doi:10.3390/ijms10093824. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/38044547_Anaerobic_Biodegradation_Tests_of_Polylactic_acid_under_Mesophilic_and_Thermophilic_Conditions_Using_a_New_Evaluation_System_for_Methane_Fermentation_in_Anaerobic_Sludge

Zákon č. 185/2001 Sb. O odpadech a změně některých dalších zákonů., v platném znění

Zpravodaj: Naše téma: Dost bylo plastu [online], 2018. Ministerstvo životního prostředí, (1) [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravodaj_brezen_2018/\\$FILE/mzp_Zpravodaj_1_brezen2018.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zpravodaj_brezen_2018/$FILE/mzp_Zpravodaj_1_brezen2018.pdf).

11. Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek 1: Globální produkce bioplastů** (European Bioplastics: Bioplastics market data [online] [cit. 2018-09-15] Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/market/>). 3
- Obrázek 2: Rozdělení "bio-based" a "biodegradable" plastů** (European Bioplastics: What are bioplastics? [online] [cit. 2018-09-15] Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>). 7
- Obrázek 3: Biodegradabilní polymery** (Averous L. 2007 Biodegradable polymers (biopolymers). *Biodeg.net* [online] [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.biodeg.net/biopolymer.html>). 10
- Obrázek 4: Symboly kompostovatelných produktů** (British Plastics Federation 2019[online] [cit. 2019-04-11] Dostupné z: https://products.basf.com/en/ecoflex.industry~plastics_rubber%7Cperformance_polymers.html) 19
- Tabulka 1:Výhřevnost (bio)plastů** (ROSSI V. et al., Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. [online] [cit. 2019-04-10] Dostupné z: https://quantis-intl.com/wp-content/uploads/2017/02/life_cycle_assessment_of_end-of-life_options_for_t.pdf) 31