

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ekologie a ochrana životního prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Tomáš Pokorný

Nové metody separace a zpracování potravinového odpadu v jednorázových obalech

New methods of separation and processing of food waste in disposable packaging

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Petra Innemanová, Ph.D.

Praha, 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím níže uvedené literatury, a že předložená tištěná verze je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval své školitelce RNDr. Petře Innemanové, Ph.D., která mi byla velkou oporou při psaní této práce. Děkuji za rychlou komunikaci a zodpovězení všech mých otázek.

Dále děkuji pánům Davidovi Kuchtovi, DiS, Ing. Radku Landovskému a Ing. Tomášovi Petránovi za poskytování přínosných informací k danému tématu.

Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého mého studia.

Abstrakt

Odpady celkově a zejména ty plastové jsou velkým problémem dnešní doby. Česká republika se řadí mezi premianty v třídění plastového odpadu, ovšem ne všechny vytríděný odpad je dále využit. Podle portálu Plastics Europe (2022) je nejpoužívanější způsob nakládání plastovým odpadem v Evropě energetické využití, až potom následuje recyklace. Právě zvýšený podíl recyklace by lépe odpovídal principům cirkulární ekonomiky, a proto jsem ve své práci zabýval nové metodě separace a přepracování potravinového odpadu v jednorázových obalech a následnému posouzení využitelnosti separovaných plastů. V současné době je využívanou metodou drcení odpadu, separace biologické složky a její energetické využití v bioplynové stanici.

V teoretické části bakalářské práce jsem se zaměřoval na obecnou charakteristiku vermikompostování, obalů, recyklace, plastových odpadů a v neposlední řadě popisuji způsoby nakládání s bioodpady v supermarketech.

Součástí práce byl experiment, který v pilotním měřítku ověřoval potenciál nově navržené metody separace bioodpadu a plastových jednorázových obalů pomocí žížal. Pokus vycházel z předpokladu, že použité žížaly budou schopny transformovat potravinový odpad v jednorázových obalech na vermikompost bez nutnosti narušení nebo drcení těchto obalů. Ty pak bude možné jednoduše oddělit a předat k recyklaci. Testy probíhaly v kompostárně společnosti Florium v Ostrově u Prachatic. Plastový obal byl oddělen pomocí vibračního síta v technickém areálu firmy Dekonta ve Slaném. Dále proběhla návštěva bioplynové stanice v Příbyšicích, kam se v současnosti sváží neprodané potraviny i s obaly ze supermarketů. Bylo zjištěno, že plastové odpady jsou drceny a následně přepracovány na alternativní palivo. Fermentační zbytek z bioodpadů se využívá jako tekuté hnojivo pro zemědělce a farmáře, který si pro ně jezdí. Následně proběhla ústní konzultace se zástupcem recyklační firmy PESL, s r.o., abych zjistil, zda je separovaný plastový obal vhodný k recyklaci.

Výsledky ukázaly, že žížaly jsou schopné proniknout do organického materiálu přes plastové obaly, ovšem tyto obaly nejsou dále vhodné k recyklaci. Jako nejlepší možnost se osvědčila svázet tyto odpady do bioplynových stanic, který je umí dále zužitkovat.

Klíčová slova: jednorázové obaly, plastové odpady, recyklace, vermikompostování

Abstract

Waste in general and plastic in particular is a big problem nowadays. The Czech Republic ranks among the winners in the sorting of plastic waste, but not all sorted waste is further used. According to the Plastics Europe portal (2022), the most used method of handling plastic waste in Europe is energy recovery, followed by recycling. It is precisely the increased share of recycling that would better correspond to the principles of the circular economy, which is why in my work I dealt with a new method of separation and processing of food waste in disposable packaging and the subsequent assessment of the usability of the separated plastics. Currently, the used method is waste crushing, separation of the biological component and its energy use in a biogas station.

In the theoretical part of my bachelor's thesis, I focused on the general characteristics of vermicomposting, packaging, recycling, plastic waste, and last but not least, I describe the methods of handling bio-waste in supermarkets.

Part of the work was an experiment that verified the potential of a newly designed method of separating biowaste and plastic disposable packaging using earthworms on a pilot scale. The experiment was based on the assumption that the earthworms used would be able to transform food waste in disposable packaging into vermicompost without the need to disturb or crush these packaging. They can then be easily separated and handed over for recycling. The tests took place in the composting plant of the Florium company in Ostrov near Prachatic. The plastic packaging was separated using a vibrating sieve in the Dekonta company's technical premises in Slané. There was also a visit to the biogas station in Příbyšice, where currently unsold food and packaging from supermarkets are collected. It has been found that plastic waste is crushed and then processed into an alternative fuel. The fermentation residue from bio-waste is used as a liquid fertilizer for the farmer and the farmer who comes to collect it. Subsequently, an oral consultation took place with a representative of the recycling company PESL, s.r.o., to find out whether the separated plastic packaging is suitable for recycling.

The results showed that earthworms are able to penetrate organic material through plastic packaging, but these packaging are no longer suitable for recycling. It has proven to be the best option to bring these wastes to biogas stations, which can further utilize them.

Keywords: disposable packaging, plastic waste, recycling, vermicomposting

OBSAH

Seznam použitých zkratk	11
Úvod	12
1 Vermikompostování	14
1.1 Systémy vermikompostování	14
1.2 Vylehčující složka a další používané materiály	15
1.3 Malé vermikompostéry	16
1.4 Velké vermikompostéry	16
1.4.1 Pásové hromady na volné ploše	16
1.4.2 Ohraničené záhony	17
1.5 Porovnání procesů kompostování a vermikompostování	17
1.6 Výhody a nevýhody vermikompostování.....	19
1.7 Používané druhy žížal v oblasti mírného pásnu	19
1.7.1 Žížala hnojní (<i>Eisenia fetida</i>).....	19
1.7.2 Žížala kalifornská (<i>Eisenia andrei</i>).....	20
2 Obal	21
2.1 Zdravotní požadavky na obaly potravin	21
2.2 Dělení a funkce obalů	22
2.2.1 Druhy obalů.....	22
2.2.2 Funkce obalů	22
3 Recyklace	24
3.1 Výhody a nevýhody recyklace	24
4 Plast jako materiál pro výrobu obalů	25
4.1 Polyethylentereftalát (PET)	25
4.2 Polypropylen (PP).....	25
4.3 Nízkohustotní polyethylen (LDPE).....	26
4.4 Vysokohustotní polyethylen (HDPE).....	26
4.5 Polystyren (PS).....	26
4.6 Polyvinylchlorid (PVC).....	26
4.7 Polyhydroxybutyrát (PHB).....	27
4.8 Polyamid (PA)	27

5	Plast jako odpad	28
5.1	Způsoby nakládání s plastovým odpadem.....	28
5.1.1	Mechanická recyklace	29
5.1.2	Chemická recyklace	29
5.1.3	Energetické využití.....	30
5.1.4	Kompostování	31
5.1.5	Skládkování.....	31
5.1.6	Tuhá alternativní paliva (TAP)	32
6	Stávající způsoby nakládání s bioodpady v supermarketech	33
7	Přehled legislativy	35
7.1	Vermikompostování	35
7.2	Obaly	35
7.3	Odpady.....	36
8	Praktická část	37
8.1	Popis pokusu.....	37
8.2	Výsledky.....	41
9	Diskuze	42
	Závěr	44
	Zdroje	45

Seznam použitých zkratek

ČR	Česká republika
EAN	European Article Number (Evropské číslo obchodní položky)
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
HDPE	High Density Polyethylene (Polyethylen s vysokou hustotou)
LC	Logistické centrum
LDPE	Low Density Polyethylene (Polyethylen s nízkou hustotou)
NIR	Near-infrared spectroscopy (Blízká infračervená spektroskopie)
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PHB	Polyhydroxidbutyrát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
RDFs	Refuse Derived Fuels (Palivo získané z odpadů)
TAP	Tuhá alternativní paliva
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů

Úvod

Potravinový odpad je dle evropské směrnice definován jako veškerá potravina, která se stala odpadem (Evropská směrnice č.178/2002). Takový odpad vzniká zejména v supermarketech, v domácnostech a v potravinářském průmyslu. Jeho zvyšující se produkce patří mezi aktuální celosvětové problémy. Ročně se vyhodí až 1/3 vyprodukovaných potravin. Dle dat Ústavu zemědělské ekonomiky a informací se v Česku se vyhodí cca 56 kg potravin na 1 obyvatele, což je méně, než je evropský průměr (web 1). Běžný spotřebitel často nakupuje i to, co nepotřebuje. Kromě samotného plýtvání nastává problém také v okamžiku, kdy se nespotřebované potraviny stanou součástí komunálního odpadu, ačkoliv se může jednat o bioodpad, který lze z velké části separovat a poté například zkompostovat nebo odložit do hnědých nádob na bioodpad.

Velký objem odpadů se týká supermarketů. V roce 2020 například společnost Lidl evidovala přes 16 tisíc tun neprodaných potravin. Tyto potraviny putují do logistických center, kde jsou dále zpracovány. Určitá část je předána do bioplynových stanic k energetickému využití, nezkažené maso se využije k výrobě krmiv, neshnilé ovoce, zelenina a pečivo se odveze do zoologických zahrad a trvanlivé potraviny s poškozenou etiketou jsou určeny pro potravinové banky. Ovoce a zelenina představují významnou část vyhozených produktů. Jednak vyžaduje rychlou spotřebu, a navíc je bohužel její prodej ovlivněn vzhledem. To se právě společnost Lidl od roku 2021 snaží změnit, kdy na svých prodejnách nabízí ne příliš čerstvé, ale stále požitelné ovoce a zeleninu v dřevěných bedýnkách. Bedýnka o hmotnosti 3 kg stojí 25 Kč a tato strategie by měla ročně zachránit až 3800 tun ovoce a zeleniny. V roce 2020 se podařilo této společnosti recyklovat přes 90 % veškerého odpadu. Zbýlých 10 % se vyhazuje do směsného komunálního odpadu. Důležitou informací je, že 64 % všech odpadů tvoří obaly, které jsou vytríděny a předány k recyklaci ze 100 % (web 2).

Cílem práce bylo popsat (zejména na příkladu Lidl, kde jsem zaměstnán) způsob nakládání s potravinovým odpadem včetně jednorázových obalů a pokusit se navrhnout inovativní metodu, která by pomohla zajistit vyšší míru recyklace jednorázových plastových obalů. Součástí práce byl pilotní test přepracování a separace potravinového odpadu v jednorázových plastových obalech pomocí žížal. Experiment vycházel z předpokladu, že biologicky nerozložitelný podíl odpadu, tedy jednorázové plastové obaly, může sloužit jako vylehčující složka („bulking“ materiál) a některé druhy odpadů a obalů (papír, ovesné vločky apod.) jako tzv. „bedding“ materiál v procesu vermikompostování. Výsledkem samotného procesu bude síťováním snadno oddělitelná směs vermikompostu a plastů vhodných pro další využití. Součástí řešení byla

návštěva bioplynové stanice v Příbyšicích u Benešova, která potravinové odpady ze supermarketů v současné době využívá pro výrobu energie a kapalného hnojiva. Výsledky byly dále konzultovány se zástupcem recyklačního průmyslu plastů s panem inženýrem Tomášem Petráněm.

1 Vermikompostování

Jedná se o pokročilou metodu přeměny bioodpadu pomocí žížal. Je to stabilizační a biooxidační proces přeměny organických materiálů, který využívá interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů. Na rozdíl od kompostování nezahrnuje termofilní fázi rozkladu (Dominguez et al.,1997). Obdobný proces lze provozovat v režimu vermikultury, který je zaměřený na maximální produkci žížal při současné přeměně organického odpadu na hnojivo. Cílem je produkovat vysoký počet žížal a vytvářet tzv. žížalí čaj, který slouží jako přírodní hnojivo (Monroe, 2007). Žížaly dokáží z větší míry zabezpečit aeraci, fragmentaci i překopávání, což znamená, že vermikompostování patří mezi nízkonákladové systémy zpracování odpadů. Už ve 30. letech 20. století probíhaly v USA první pokusy, jak vyšlechtit žížalu, která by zpracovávala průmyslový organický odpad. V roce 1959 se k vermikompostování používala nově vyšlechtěná žížala, ale její název nebyl definován. O 17 let později byl tento druh přivezen do Evropy. Nejprve do Itálie, kde nesla název žížala kalifornská (*Eisenia andrei*), dále pak do Francie a zbytku Evropy (Zajonc,1992). Do tehdejšího Československa se vermikompostování dostalo v roce 1985 (Kalina,1999). Nicméně tato metoda nebyla příliš propagována a zájem o ní postupně upadal. Velkého rozmachu ve světě se dočkala v novém tisíciletí, a to od roku 2004 (Abbas Abd Nayeem-Shah, 2015). Žížaly jsou základním předpokladem k vermikompostování. Vermikompost obsahuje kvalitní humus a je bohatý na živiny a enzymy. Díky tomu mají rostliny větší imunitu a jsou chráněny před různými škůdci nebo chorobami (Sinha et al, 2010).

1.1 Systémy vermikompostování

Stejně jako u kompostování, tak i u vermikompostování existují základní typy technologických systémů, přičemž každý tento způsob vermikompostování nabízí ještě několik dalších postupů:

- 1) Pro vermikompostování kuchyňských zbytků přímo v domácnostech se používají malé domácí vermikompostéry různého typu a konstrukce (Hanč a Plíva, 2013). Tento jednoduchý systém spočívá v tom, že se nejprve na patro umístí podestýlka, žížaly a pak bioodpad. Postupem času se první patro naplní a žížaly se stěhují o patro výše, kam se přidá podestýlka a nový bioodpad. Po naplnění druhého patra se přidá třetí patro a odebere první patro, které se po vyprázdnění znovu použije. Do spodního podstavce z vyšších pater prosakuje tzv. žížalí čaj, který je potřeba pravidelně odebírat (Munroe, 2007).

- 2) Velkoprodukční vermikompostování bývá prováděno pomocí jednoduchých technologických systémů, kam patří například vermireaktory s kontinuálním dávkováním odpadu a odebíráním vermikompostu nebo kompostování v dvoumodulovém vermireaktoru (Hanč a Plíva, 2013).

Důležitou součástí procesu je zajištění optimálních podmínek pro žížaly. Mezi optimální podmínky, které můžeme i upravit, patří dostatek zpracovaného biologického odpadu (ovoce, zelenina, ovesné vločky), vlhké prostředí, ideální teplota (okolo 20 °C) a optimální míra provzdušnění. (Hanč a Plíva, 2013). Dodržení těchto podmínek vede k vyšší účinnosti systému s vyšší produkcí žížal (Munroe, 2007).

1.2 Vylehčující složka a další používané materiály

Tzv. „bedding“ neboli podestýlka je materiál poskytující žížalám stabilní zázemí, které musí splňovat několik funkcí. Jelikož žížaly dýchají celým povrchem těla, musí mít vlhké prostředí. Podestýlka musí být schopná zadržovat a absorbovat vodu.

Některé materiály ovlivňují pórovitost podestýlky díky faktorům jako je velikost částic, tvar, pevnost, a textura. Za vhodnou podestýlku se považuje i materiál, který má vysoký obsah uhlíku a dusíku. Dále je důležitou součástí zakládky vermikompostu tzv. „bulking“ materiál, tedy vylehčující složka, která se využívá i při běžném kompostování. Jedná se o materiál bohatý na uhlík a dusík, který dodává vermikompostu potřebnou strukturu a objem. Patří sem například piliny, dřevěné hobliny, štěpky, listí, nasekaný plevel, sláma atd (Munroe, 2007). V tabulce 1 jsou uvedeny běžné materiály využívané jako podestýlka.

Tabulka 1: Běžné materiály využívané jako podestýlka (Munroe, 2007)

„Bedding“ materiál (podestýlka)	Nasákavost	„Bulking“ potenciál	Poměr C:N
Koňský hnůj	Středně dobrá	Dobry	22–56
Rašelina	Dobrá	Střední	58
Kukuřičná siláž	Středně dobrá	Střední	38–43
Sláma	Špatná	Středně dobrá	48–150
Papír	Středně dobrá	Střední	127–178
Noviny	Dobrá	Střední	170
Kůra	Špatná	Dobry	116–436
Piliny	Středně špatná	Středně špatný	142–750
Štěpky	Špatná	Dobry	212–1313
Listy	Středně špatná	Středně špatný	40–80

1.3 Malé vermikompostéry

Malé vermikompostéry jsou často několikastupňové nádoby, které jsou umístěny většinou ve vnitřních prostorách (byty, bytové domy, kanceláře apod.) Tyto vermikompostéry jsou označovány jako domácí. Vyrábějí se převážně v plastovém nebo dřevěném provedení. Uživatel si je může vyrobit sám nebo koupit v obchodě. Bioodpady jsou pak zpracovány v jednotlivých patrech vermikompostéru (Hanč a Plíva, 2013).



Obrázek 1: Vermikompostér od firmy Florium a jeho umístění ve skleníku při vyhodnocení pokusu (Tomáš Pokorný)

1.4 Velké vermikompostéry

Velkoformátové vermikompostování lze provozovat například v pásových hromadách na volné ploše nebo v ohraničených záhonech.

1.4.1 Pásové hromady na volné ploše

Je to nejjednodušší a klasický typ vermikompostování. Tento způsob je technicky jednoduchý a finančně nenáročný. Zde je nezbytné sledovat vlhkost a popřípadě zajistit zavlažení. Naopak není potřeba překopávat či obracet zakládky. Nejvyužívanější metodou vermikompostování na volné ploše v jednorázově založených hromadách je postup příkrmování žížal. Při tomto postupu jsou zpracované suroviny, které jsou přidávány na povrch hromady ve vrstvě. Nevýhodou tohoto způsobu je vyšší množství prováděných pracovních operací jako je nepřetržitý přísun surovin. V zimním období při mrazech zmrzne jen tenká povrchová vrstva. Žížaly uvnitř hromady přežívají, zpracovávají bioodpad a při vyšší teplotě se i množí (Hanč a Plíva, 2013).

1.4.2 Ohraničené záhony

Další variantou vermikompostování jsou ohraničené záhony, provozované většinou pod přístřeškem. Předností tohoto způsobu je ochrana hromad před povětrnostními vlivy a prodloužení vermikompostovacího procesu i v chladnějším období. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost častějšího vlhčení, protože nelze využít přirozené srážky. Mezi nejnáročnější pracovní operace patří ukončení procesu. Konkrétně oddělení žížalích jedinců od hotového vermikompostu. Může se provádět tak, že po určité době přikrmení čerstvým bioodpadem je odebrána horní část hromady čelním nakladačem a odebraná aktivní vrstva, která je nejvíce osídlená žížalami, je použita pro založení nové hromady. Druhá metoda spočívá v založení nové hromady kompostu v blízkosti zpracované metody. Žížaly přirozeně migrují za čerstvou potravou, nicméně často dochází ke ztrátě žížalích jedinců (Hanč a Plíva, 2013).

1.5 Porovnání procesů kompostování a vermikompostování

Obě metody jsou založeny na aerobním rozkladu biologicky rozložitelných organických látek a napomáhají zpětnému vrácení organické hmoty a rostlinných živin do přírodního koloběhu (Kalina, 1999). Aplikací výsledného produktu do půdy se zvyšuje její schopnost zadržovat živiny, vlhkost a je pozorována vyšší úroveň mikrobiální aktivity (Munroe, 2007). Avšak obě metody se v některých faktorech značně liší.

Vermikompost je více kvalitní, při vermikompostování dochází k větší redukci objemu než při kompostování. Dosahuje vyššího stupně přeměny organické hmoty (Hlavatá, 2004). Kompostování je proces aerobní dekompozice organických látek především pomocí mikroorganismů přítomných v substrátu. Zatímco vermikompostování zahrnuje mikroorganismy, tak i žížaly, se kterými jsou v symbióze (Klupalová, 2016). Tabulka 2 shrnuje nároky žížal na podmínky v prostředí. Tabulka 3 srovnává kvalitu kompostu a vermikompostu s ohledem na obsah živin.

Tabulka 2: Nároky žížal na podmínky v prostředí (Tesařová et al., 2010)

Faktor prostředí	Optimum	Minimum	Maximum
Teplota (°C)	19 – 22	7	33
Vlhkost (%)	78 – 82	60	90
pH	6,5 – 7,5	6	8
C:N	20:1		

Tabulka 3: Obsah živin v kompostu v hm. % v sušině (Kalina, 2004)

	Kompost	Vermikompost
Celkový dusík (N)	0,5 – 1,5	1,0 – 3,0
Celkový fosfor (P₂O₅)	0,1 – 0,8	0,2 – 3,0
Celkový draslík (K₂O)	0,3 – 0,8	0,3 – 2,0
Vápník (CaO)	1,0 – 12,0	1,0 – 12,0
Hořčík (MgO)	0,2 – 3,3	0,3 – 3,3
Organická hmota	20 – 40	30 – 55
Poměr C: N	12 – 30:1	8 – 15: 1
Hodnota pH	6,5	6,5

Z uvedených dat je patrné, že z hlediska obsahu živin je výsledný produkt vermikompostování hodnotnější než klasický kompost. Důležitým parametrem je pH. Ačkoliv žížaly jsou citlivé na změny pH, některé druhy jsou k pH relativně tolerantní a vyskytují se jak v kyselých, tak i alkalických půdách. Ideální hodnota by se měla pohybovat okolo 7 (Šimek, 2019). Samotnou činností žížal dochází k úpravě pH. Pokud je pH půdy na začátku procesu alkalické, na konci procesu může být neutrální nebo lehce kyselé (Rodríguez – Canché et al., 2010). Při velmi nízkém pH se v půdě můžou objevit škůdci a roztoči, kteří se aktivně vyvíjí v kyselém prostředí. Ovšem lze to tomu zamezit tím, že přidáme uhličitan vápenatý, který hodnotu pH zvýší. Pokud bychom chtěli pH snížit, použijeme rašelinu (Munroe, 2007).

Aby se dosáhlo hygienizace kompostu, musí proběhnout termofilní fáze, při které dojde k výraznému nárůstu teploty na 50–70 °C, která ničí patogenní organismy. Při vermikompostování jsou takovéto teploty nežádoucí, protože při teplotě nad 35 °C žížaly nepřežijí. K hygienizaci a redukci patogenů přispívají trávicí enzymy žížal a sekrece tekutin s antibakteriálními vlastnostmi. Zajonc (1992) ve své práci popisuje, že přítomnost žížal ve vermikompostu potlačuje choroboplodné organismy. Počet zárodků druhu *Salmonella enteritis* – původce střevního onemocnění se v průběhu 4-28 dní snížil až o 99 %. To bylo způsobeno zejména přítomností velkého počtu půdních bakterií.

Žížaly vylučováním výkalů a jiných sekretů obohacují vermikompost o dusík, taktéž upravují mikroklimatické podmínky vermikompostu, tím umožňují rozvoj dusíku fixujících mikroorganismů (Suthar, 2010). Při vermikompostovacím procesu, kdy organický odpad prochází skrz žíživací ústrojí žížal, je oproti klasickému kompostování přeměněno větší množství organických minerálů na více dostupných forem. Díky trávicímu enzymu žížal fosfatázy se ve vermikompostu například zvyšuje obsah dostupných forem fosforu (Suthar, 2010).

1.6 Výhody a nevýhody vermikompostování

Vermikompostování přináší řadu výhod a nevýhod. Ovšem výhod je značně více. Největší výhodou je, že si vermikompostér může pořídit každý a kdekoliv. Nevýhodou jsou počáteční náklady na založení vermikompostu. Pro lepší přehlednost jsou další výhody a nevýhody napsány v bodech:

VÝHODY

- princip a systém je jednoduchý
- nenáročný na prostor
- nezapáchá
- vermikompost je bohatý na živiny, enzymy a minerální látky
- díky worm tea chráníte rostliny před škůdci a chorobami
- vermikompost je považován je nejúčinnější organické hnojivo
- má dobré sorpční vlastnosti a zabraňuje vysychání zeminy
- účinnost v porovnání s účinností chlévského hnoje je 60–70 krát vyšší (Skleničková, 2011)

NEVÝHODY

- musí splňovat optimální podmínky (teplota, vlhkost, provzdušněnost)
- dlouhá doba pro vytvoření žízalího čaje
- nízké reakční teploty, tedy nižší účinnost hygienizace (Klupalová, 2016)

1.7 Používané druhy žížal v oblasti mírného pásma

V oblasti mírného pásma jsou nejvhodnějšími druhy žížal pro účely vermikompostování žížala kalifornská (*Eisenia andrei*) a žížala hnojní (*Eisenia foetida*). Mezi další žížaly, které se mohou použít k produkci vermikompostu patří *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae* a *Lumbricus rubellus*, avšak tyto druhy se vyskytují v jiných oblastech, zejména v Severní Americe, Asii a Africe, kde mají lepší podmínky k životu (Slejška, 1999).

1.7.1 Žížala hnojní (*Eisenia foetida*)

Je to rudohnědá a běžně se vyskytující žížala žijící po celé zeměkouli. Dorůstá do velikosti 13 cm a je vhodná k vermikompostování, protože je schopna konzumovat organické odpady. Tato žížala se řadí jako nejvhodnější druh ke zpracování bioodpadů, zejména ovoce, zeleniny,

listí a zahradního odpadu (Huang et al, 2014). Žížale hnojní se nejlépe daří při teplotě okolo 25 °C, což pro ostatní žížaly je naopak vysoká teplota. Kvůli tomu mají větší spotřebu potravy a rychleji zpracovávají bioodpad než ostatní žížaly. Rychlejší je i rozmnožování, pokud mají ideální podmínky (Munroe, 2007). Do kokonu kladou více vajíček, ze kterých se vylíhne několik juvenilů, kteří rostou rychleji. Tato mláďata měří 1,5 – 2 cm a mají průhlednou stěnu těla. Dospělce poznáme podle vyvinutého opasku. Při podráždění vylučuje z hřbetních pórů nažloutlou páchnoucí kapalinu (Zajonc, 1992). Od žížaly kalifornské se liší pouze ve zbarvení.

1.7.2 Žížala kalifornská (*Eisenia andrei*)

Je to speciálně vyšlechtěný druh z klasické žížaly hnojní. Dorůstá až do velikosti 13 cm a dožívá v průměru 2 až 4 let. Ačkoliv se jedná o hermafrodita, tak k páření je potřeba pár. Po cca třech týdnech vzniká kokon (malé žluté vajíčko) a z vajíček v kokonu se po necelém měsíci líhnou malé žížaly. V každém kokonu jsou v průměru čtyři žížaly (Martin et al., 1999). Dospělosti dosáhne po šesti týdnech. Důvod, proč se používá při vermikompostování je ten, že má větší rozmnožovací schopnosti a vyšší žravost. Vyhledává hnilící materiály a organickou hmotu, bohatou na mikrobiální život (Beneš, 2014). Ve svém ideálním prostředí dokáže zkonzumovat polovinu své váhy denně. Tělo je tvořeno cca 85 % vody, a proto neustále vyžaduje vlhké prostředí. V neposlední řadě je potřeba zajistit neustálý přísun vzduchu, jelikož dýchají celým povrchem těla. Žížaly mají tenkou pokožku, a to je důvod, proč jsou velmi citlivé na změny koncentrace iontů v půdním roztoku (Pommeresche, 2010).



Obrázek 2: Žížala kalifornská (Tomáš Pokorný)

2 Obal

„Obal je definován jako obalový prostředek nebo soubor prostředků, který chrání výrobky před poškozením a zabraňuje škodám, které by mohly nastat“ (Zákon č.477/2001). Zároveň dává zákazníkovi či jiné osobě záruku, že daný výrobek nebo produkt nebyl otevřen nebo použit.

Naopak balení je činnost spočívající v přípravě výrobků pro oběh a spotřebu pomocí obalových prostředků a funkční spojení výrobku s obalovými prostředky (Kačeňák, 1989). „Obalový prostředek je souhrnný název pro obalové materiály, obaly a pomocné obalové prostředky“ (Čurda, 1982). Obalů je celá řada, podle toho, k čemu jsou užívány, je dělíme na několik druhů. Za obalové odpady, které vznikají při výrobě odpovídají původci odpadů. To se týká fyzických, právnických osob a také obcí. Povinností pro výrobce je několik a musí se řídit zákony. Zároveň je v jejich zájmu co nejlépe seznámit spotřebitele, jak s odpadem má být naloženo např. psaním etikety (Vápenka et al., 2021).

2.1 Zdravotní požadavky na obaly potravin

Základní požadavky na obaly potravin formuluje zákon 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Vzájemné působení obalu a potravin má za důsledek, že dochází k transportu hmoty mezi obalem a balenou potravinou. Tento proces je obousměrný. Kvůli migraci a korozi obalového materiálu může docházet k uvolňování látek z obalového materiálu do potravin, a proto je důležité pro balení potravin používat kvalitní obaly. V České republice (ČR) jako součástí Evropské unie (EU) je zaveden systém kontroly kvality a zejména bezpečnosti obalových prostředků, který přicházejí do kontaktu s potravinami (Státní zdravotní ústav, nedatováno).

Bezpečnost obalů se řídí nařízením Evropského parlamentu a Rady Evropského společenství (ES) č. 1935/2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami. Toto nařízení stanovuje jednotná pravidla a požadavky pro všechny výrobce, dovozce distributory a kontrolní orgány všech členů EU, a proto se spotřebitel nemusí obávat, že by koupil potravinu, která by pro něho byla nebezpečná z důvodu toho, že byl obal nevhodný (Státní zdravotní ústav, nedatováno).

2.2 Dělení a funkce obalů

2.2.1 Druhy obalů

Prodejní – nachází se nejčastěji v místě nákupu, kde tvoří prodejní jednotku pro spotřebitele. Jedná se o jeden obal konkrétního výrobku. Do této skupiny řadíme všechny obaly, které se dostanou ke konečnému spotřebiteli a dále se jich spotřebitel vhodným způsobem zbavuje. (plechovka, skleněná láhev, krabička od cigaret atd.)

Skupinové – v místě nákupu tvoří skupinu určitého počtu prodejních jednotek, bez ohledu na to, jestli se prodává konečnému uživateli či slouží jako prostředek na doplňování výrobků během prodeje => jedná se o tzv. multipack obaly (zabalných šest PET lahví ve folii nebo celý karton sušenek atd.)

Přepravní: mají chránit produkt při přepravě, aby zboží nebylo poškozeno, zejména před povětrnostními vlivy. Dále mají usnadnit manipulaci s určitým množstvím prodejních jednotek => palety, kartonáže a kontejnery (web 3).

2.2.2 Funkce obalů

Estetická – „obal prodává.“ Má za úkol upoutat pozornost nakupujících. Nejde ani tak o ochranu výrobku, ale o marketing, aby si lidé daný produkt koupili. Důležitou roli hraje grafické zpracování, barevnost, sled informací atd. Obal může poutat pozornost tím, že například hezky voní a vypadá. Čárový kód musí být dobře čitelný a je umístěn na zadní stranu (Grafnetter, 2013).

Ochranná – obal chrání zboží před poškozením. Materiál, kvalita a provedení obalu ovlivňují trvanlivost výrobků. Současně slouží k uchování jejich barvy, chuti a následně i tvaru. Obaly se liší tím, co balíme a jakou vzdálenost zboží urazí. Na potraviny se použije jiný obal než například na kovy a železo. Při větší přepravní vzdálenosti by měl být obal pevnější a odolnější (Grafnetter, 2013).

Manipulační – jeho funkce spočívá v usnadnění manipulace se zbožím, obal by tedy měl mít tom jednoduchou možnost uchopení. Zboží musí být zabaleno důkladně, rychle a jednoduše. Pro transport zboží je důležité mít kvalitně zabalené zboží, aby se během cesty zboží nepoškodilo a nepřevrhlo. Z ekologického hlediska je vhodné přepravovat najednou co nejvíce zboží, které se odveze do určitého obchodu, proto je důležité, aby obal měl takový tvar, který nezabírá tolik místa při logistice (Grafnetter, 2013).

Informační – poskytuje důležité informace spotřebitelům, aby člověk zjistil, co v obalu je, dále poskytuje informace pro přepravce, prodejce a výrobce. Ačkoliv to není povinnost,

nacházejí se tyto informace nejčastěji na zadní straně obalu. Důvod je marketingový, aby zákazníka daný výrobek lákal ke koupi, bývá na přední straně obalu zejména logo značky, název, obrázek. Na obale by měl člověk vždy najít datum spotřeby, informaci o výrobcí, složení, skladování, návod, EAN (European Article Number). Další důležitou informací je způsob nakládání s obalem po použití zboží. Zda ho vyhodit do směsného odpadu, vytrítit do barevného kontejneru nebo odvést do sběrného dvora (Grafnetter, 2013).

3 Recyklace

Jedná se o znovuvyužití odpadu, kdy je odpad zpracován na nový výrobek, materiál nebo další účely včetně přepracování organických materiálů. Naopak za recyklaci se nepovažuje odpad, které nezahrnuje energetické využití nebo zpracování na výrobky či látky, které jsou použity jako palivo nebo zásypový materiál (Zákon č.541/2020 Sb.).

3.1 Výhody a nevýhody recyklace

Recyklace je enviromentálně šetrnější a udržitelnější přístup, než využívání primárních surovin a je v souladu s principy cirkulární ekonomiky. Nezanedbatelná může být i finanční úspora. Při úspoře primární suroviny a využití suroviny druhotné může být zároveň snížena spotřeba vody, energie, papíru atd (Kuraš, 2008). Kromě šetření primárních zdrojů je zároveň omezeno nežádoucí ukládání odpadů na černé skládky, nebo do země a můžou se vytvořit nová pracovní místa v recyklačních firmách (Niaounakis, 2020). Díky recyklaci můžeme minimalizovat množství odpadů, které by jinak skončilo ve spalovně nebo na skládce. Při recyklaci je velmi důležitá cena primární a druhotné suroviny. Poptávka po druhotné surovině se odvíjí podle ceny a taky podle množství daného produktu na trhu (např. papír). Pokud se ho nedostatek, cena se samozřejmě vyšší. Ta pak může být motivační pro spotřebitele nebo právnické osoby, které místo využívání barevných kontejnerů mohou využívat systém výkupu.

Mezi nevýhody recyklace patří vysoké náklady na recyklaci některých odpadů, energetická náročnost a v neposlední řadě může dojít ke kontaminaci cizorodými látkami, které negativně ovlivňují vlastnosti materiálu (Keramitsoglou et al., 2013). Najdou se i odpůrci recyklace, kteří tvrdí, že recyklace není ekologická a šetrná k životnímu prostředí. Argumentují například tím že vše co se vytrídí, může být recyklováno (Friedman, 2009).

4 Plast jako materiál pro výrobu obalů

Plastové obaly se řadí se mezi nejpoužívanější materiály v potravinářství. Pro balení potravin můžeme plasty rozdělit na ohebné a tuhé. Tuhé obaly jsou více využívané na trhu než ty ohebné (Han, 2014). Velkou výhodou, a to je i důvod, proč je plast v obalovém průmyslu nejvíce rozšířen, je nízká cena, relativně malá měrná hmotnost a možnost technologických změn fyzikálních a chemických vlastností. Nevýhodou je ekologický dopad, který plyne z dlouhé doby rozkladu, případně z rozkladu na mikro a nanoplasty. Plastové obaly můžeme rozdělit do několika skupin. První skupinou jsou přírodní polymery, mezi které např. škrob, celulóza, polyhydroxyalkanoáty apod. Druhou skupinou jsou syntetické polymery. Zde patří např. polyetylen, polyethylentereftalát, polypropylen, polystyren a polyvinylchlorid. Poslední skupinou jsou polosyntetické polymery (Dobiáš et al. 2019).

4.1 Polyethylentereftalát (PET)

Veřejnost si tento materiál nejčastěji spojuje s plastovou láhví. Jedná se o termoplast ze skupiny polyesterů, který je dobře recyklován mechanicky. Výhodou je jeho transparentnost, dobré bariérové vlastnosti a nepropustnost O_2 a CO_2 (Robertson, 2013). Další jeho výhodou je nízká měrná hmotnost. Ohledně balení potravin se jedná o nejvýznamnější polyester. Nejčastěji se využívá při balení nápojů. Dále ho můžeme spatřit v sortimentu ovoce a zelenina např. u rajčat, jahod, malin a hroznů.

4.2 Polypropylen (PP)

Vzniká procesem polymerace propenu. Recykluje se mechanickou metodou. Je tvrdý a odolný vůči vlhkosti a teple, proto se využívá zejména v potravinářském a chemickém průmyslu. Charakterizuje se nízkou hustotou, propustností vodní páry a vysokou prodyšností, proto produkty vyrobené z PP vykazují velkou odolnost proti vlhkosti (Lapčík, 2004). PP je dobře tvarovatelný a dobře se obrábí, proto ho můžeme v potravinářství najít jako obal pro různé druhy ovoce a zeleniny (např. hroznové víno, rukola aj.), dále jako kelímky od jogurtů a mléčných nápojů. V jiných odvětvích se modifikované typy PP používají na výrobu vodovodních a kanalizačních trubek, k výrobě bazénů a také jako součástky čerpadel a ventilů.

4.3 Nízkohustotní polyethylen (LDPE)

Pro LDPE se vžil název igelit. Tento druh obalu je měkký, tvárný, odolný vůči chemickým látkám, má dobré mechanické vlastnosti a vykazuje minimální vlhkost. Dále propouští O₂ i CO₂. V potravinách se nejčastěji používá jako fólie k balení nápojů, toaletního papíru atd. (Robertson, 2013).

4.4 Vysokohustotní polyethylen (HDPE)

Řadí se také mezi termoplasty stejně jako LDPE. Oba plasty se recyklují mechanicky. Tento druh obalu je vyroben stejně jako LDPE z ethylenu, rozdíl je v tom, že při výrobě působí na každý z nich jiný tlak, a proto je HDPE odolnější. Má vyšší hustotu a charakteristickým znakem je, že je šustivý. Můžeme ho také znát pod názvem mikroten. Používá se při výrobě fólií a také jako materiál pro výrobu trubek (Selke et al.,2016).

4.5 Polystyren (PS)

Jedná se o velice lehký, křehký a čirý polymer. Je to jeden z nejsnáze recyklovatelných plastů. Recykluje se mechanickou metodou. Má malou tepelnou stabilitu a špatné bariérové vlastnosti. Má dobrou průhlednost a vysoký lesk. Bývá používán např. ve zdravotnictví a laboratořích (zkumavky, pipety atd.), dále jako obal na CD, jídelní tácy a přepravky. Ve stavebnictví jako izolant, v logistice jako ochrana zboží a podobně se využívá tzv. extrudovaný polystyren. Tento druh polystyrenu tvoří 90 % vzduch, zbytek tvoří polystyren a různá aditiva (Selke et al.,2016).

4.6 Polyvinylchlorid (PVC)

Jedná se o termoplast, který patří k nejrozšířenějším plastům. Jeho recyklace není moc jednoduchá, nejčastěji se recykluje mechanicky. Chemická recyklace se využije pro silně znečištěné PVC odpady. Je odolný vůči chemickým vlastnostem, avšak vlastnosti také závisí na obsahu změkčovadla. Vzhledem k obsahu chlóru v molekule dochází při spalování za běžných podmínek k uvolňování nebezpečných dioxinů. Tento plast se používá zejména ve stavebnictví, v nábytkářství, ale i textilním a obuvnickém průmyslu. V potravinářském průmyslu se využívá zejména ve formě obalů. To jsou neměkčené fólie, které se po zahřátí dají dobře tvarovat. Tyto fólie se používají jako balící materiál např. u červeného masa. PVC se také může objevit jako obal u mléka a mléčných výrobků (Kačeňák, 1989).

4.7 Polyhydroxybutyrát (PHB)

Jde o kyselinu polyhydroxybutylmáseľnou, přírodní polymer ze skupiny polyhydroxyalkanoátů. Ty jsou produkovány bakteriemi, pro jejichž kultivaci se mohou využívat různé odpadní produkty, jako například použitý fritovací olej. Tento druh polymeru našel největší využití při výrobě biodegradabilních plastů využitelných také jako obaly. Výhodou je, že při výrobě se nevyžadují žádná fosilní paliva (Lapčík, 2004).

4.8 Polyamid (PA)

Je to polymer, který může být jak přírodního, tak i umělého původu. Recykluje se chemickou metodou. Vyznačuje se dobrými mechanickými vlastnostmi tepelnou odolností a je pevný. PA není odolný vůči vodě, naopak je odolný vůči působení tuků. Z polyamidu se vyrábí vícevrstvé fólie, což je pečicí fólie nebo sáčky. V textilním průmyslu je využíván např. na výrobu sportovního prádla. Syntetické vlákno má totiž malou absorpci vlhkosti, a proto materiál dobře odvádí pot (Dobiáš et al., 2019).

5 Plast jako odpad

Podle hierarchie nakládání s odpady, která je definována v plánu odpadového hospodářství pro období 2015-2024 je nejlepší variantou, kdy odpad vůbec nevznikne. Tento plán je nástrojem pro řízení a realizaci dlouhodobé strategie odpadového hospodářství ČR (web 4). V případě, že je přeci jen nutné se plastového odpadu zbavit, měl by být přednostně odložen do žlutých nádob na separovaný sběr odpadů, případně přímo předán k recyklaci, pokud je to možné (týká se spíše právnických osob). Přestože je v současné době recyklován jen určitý podíl odděleně vybraných plastů a tzv. výměty stále končí na skládce odpadů, v lepším případě jako alternativní palivo, stále se jedná o environmentálně příznivější způsob nakládání s plastovým odpadem, než je odstranění skládkováním. Samotná recyklace se týká pouze určitých typů plastů a pro firmy musí být rentabilní, jinak by celý proces recyklace a třídění neměl smysl. Poptávka po recyklátu je proto mimo jiné závislá na cenách ropy (web 5). Ze žlutých kontejnerů jsou plastové odpady svezeny na třídící linku, která může být automatizovaná, případně je plastový odpad dotříděn manuálně. Nevyužitý zbytek je využíván energeticky, a to přímo nebo v podobě tzv. tuhého alternativního paliva (TAP). V horším případě je uložen na skládce odpadů. Plasty by měly být čisté, jinak musí dojít k odstranění nežádoucích příměsí (web 6). Každý druh plastů se zpracovává individuálně. Třídí se PET láhve, a to podle barev. Dále pak fólie, pěnový polystyren, HDPE (tj. láhve na kosmetiku, kečupy, kelímky) a směsné plasty (tj. směs plastů zejména z PE a PP) (web 7). Jednotlivé plasty jsou po dotřídění lisovány do balíků, které si pak odváží zpracovatelské firmy k recyklaci. V těchto firmách balíky rozeberou, rozdrťí na jemné vločky, vyperou a vytvoří na novou surovinu. Většinou produkují regranulát, což je vstupní surovina pro výrobu nových plastů např. PET láhví, vláken pro výplně do spacích pytlů nebo výrobu např. koberců, fólie, sáčky, výplně do lehčených betonů apod. Ostatní plasty mohou nahradit beton a dřevo, protože se z nich vyrábí protihlukové stěny, ploty, lavičky (web 6).

5.1 Způsoby nakládání s plastovým odpadem

V této kapitole jsou detailněji popsány jednotlivé nakládání s plastovým odpadem. Jak bylo popsáno dříve, nakládání s plastovým odpadem by mělo být co nejvíce šetrné vůči životnímu prostředí a pro firmy, který s odpadem nakládají, rentabilní. Jinak by celý tento proces neměl smysl. Nejvhodnější variantou nakládání je recyklace, kterou můžeme rozdělit na čtyři úrovně. V první řadě se může jednat o primární recyklaci, kdy se z recyklovaných odpadů stane stejná nebo vyšší kvalita materiálu. U tzv. sekundární recyklace už není materiál tolik plnohodnotný

a má omezené využití. Ve třetím případě neboli u terciární recyklace se jedná zejména o chemickou recyklaci, kdy dochází k rozkladu polymeru na původní monomery a dále k opětovné polymeraci za vzniku nového polymeru. U kvarterní recyklace se jedná o energetické využití plastů. Další variantou je kompostování, které musí splňovat řadu podmínek a poslední variantou je, že se plastový odpad jednoduše odveze na skládku, kde nenajde další využití (Matthews et al., 2021). Dále v případě plastů hovoříme o recyklaci mechanické a chemické.

5.1.1 Mechanická recyklace

Metoda, díky které dostaneme plastový recyklát zejména pro plasty PET a PE. Mechanická recyklace je vhodná pro tzv. termoplasty, což jsou druhy plastu, které lze za určitých teplot tvarovat a měnit jejich strukturu. Patří mezi ně například PET, PE nebo polystyren. Při ohřívání se plast taví a dá se tvarovat např. lisováním, ohýbáním nebo tažením. Při ochlazování plast ztuhne (Biron, 2012). Mechanická recyklace zahrnuje drcení, mletí, praní, sušení a nakonec regranulaci, což je závěrečný stupeň recyklace plastů. Mechanická cesta je značně omezená, protože každým recyklačním procesem se kvalita materiálu snižuje. Nevýhodou je, že tyto vytríděné recykláty nelze znovu využít jako produkt ve styku s potravinami, až na jednu výjimku a tím jsou PET láhve (web 8). Tzv. recyklace bottle to bottle, kdy ze starých lahví vzniká materiál pro výrobu nových nápojových lahví. Zde jsou vysoké nároky na čistotu vstupní suroviny, vysoká teplota a tlak. Tato recyklace se využívá zejména pro bezbarvé a čiré láhve. PE se zpracovávají na granulát, ze kterého jsou vyrobeny nové obalové folie, avšak už se nepoužívají v potravinářství. Pokud se stane, že se PET a PE smísí, tak nejsou vhodné k mechanické recyklaci, protože jsou tyto polymery obtížně mísitelné a výsledný polymer nemá potřebné vlastnosti (Bartl, 2014).

5.1.2 Chemická recyklace

Jde o další alternativu recyklace. Pokud plastové materiály není možné recyklovat mechanicky, například vzhledem kvůli velké kontaminaci nebo rozmanitosti materiálu, může být plast recyklován chemicky. Chemická recyklace je také cesta pro recyklaci tzv. reaktoplastů, které nelze recyklovat mechanicky. Reaktoplasty jsou opakem termoplastů, které působením tepla a tlaku lze vytvrdit. Po vytvrzení tento plast získává mnoho vlastností např. nelze roztavit nebo rozpustit (Běhálek, 2015). Chemická recyklace je založena na chemickém rozkladu polymeru na produkty o nižší molární hmotnosti. Takto lze získat oligomerní nebo monomerní produkty, které jsou vhodné na výrobu nového polymerního materiálu. Výhodou této recyklace jsou nižší nároky na čistotu vstupní suroviny než u mechanické. Naopak nevýhodou jsou vysoké investiční

náklady na technologická zařízení a nízká výtěžnost produktů. Pomocí tzv. chemolýzy lze získat některá paliva, jako například syntetická nafta. Technologické procesy chemické recyklace mohou obsahovat i krakování a pyrolýzu, které pomáhají ke vzniku určitých paliv (Kruliš, 2019).

5.1.3 Energetické využití

Je to jedna z možností, jak z plastového odpadu vytvořit zdroj energie, avšak také záleží na technických a ekonomických faktorech. Energetické využití plastového odpadu zahrnuje spalování, zplyňování a zkapalňování (Kuraš, 1994).

Ke spalování plastového odpadu dochází v zařízeních pro energetické využití odpadů (ZEVO), nebo může být přeměněn na tzv. TAP (tuhá alternativní paliva) a využívány například v cementárnách.

Spalování

Je to jeden ze způsobů odstraňování nebo energetického využívání odpadů metodou termické destrukce. V souladu s hierarchií nakládání s odpady je spalování při současné produkci elektrické nebo tepelné energie zařazeno do materiálového využití odpadu (Chudárek et al., 2013). Z chemického hlediska je spalování vysokoteplotní oxidace. Cílem je snížit množství organických kontaminantů a omezit celkové množství odpadů (Kuraš, 2014). Spalováním se využívá vysoké spalné teplo plastů. Velkým rizikem při spalování plastů s obsahem chlóru je vznik toxických polychlorovaných aromatických sloučenin (Kepák, 2005). Při spalování se musí dodržet několik podmínek. První podmínkou je dostatek tepla. Aby se dosáhlo zápalné teploty, tak by počáteční teplota měla být minimálně 250 °C. Dále by se měla dodržovat teplota hoření, která činí 800–1000 °C a pak dostatek spalovacího vzduchu.

Zplyňování

Organické materiály se termochemickým procesem přemění na plynné palivo. V principu se jedná o reakci uhlíkatých materiálů se vzduchem, vodní parou a oxidem uhličitým při teplotách 500-1800 °C, které se přeměňují na hořlavé plyny tepelným štěpením a nedokonalým spalováním. Na zplyňování se používají zařízení jako jsou šachtové a rotační pece nebo trubkové a fluidní reaktory. Oproti spalování má zplyňování tu výhodu, že má menší objem plynů a menší objem odpadní vody (Kuraš, 2014).

Pyrolýza

Jedná se o termochemický proces, kde působí teplo, které rozkládá organické látky bez přístupu kyslíku. Rozklad probíhá z původních makromolekul na malé molekuly. Se zvyšující se teplotou

a délkou reakční doby dochází ke vzniku stabilnějších produktů. Produktem pyrolýzy jsou např. vodík, metan, plynový olej a benzín. Výhodou oproti spalování je, že nevypouští tolik škodlivých emisí do atmosféry a nemá negativní vliv na ostatní složky životního prostředí (Kuraš, 1994).

5.1.4 Kompostování

Další možností, jak se zbavit plastových odpadů je jeho biologický rozklad v případě biologicky rozložitelných biopolymerů. Biologicky rozložitelné plasty bývají vyrobené často z kukuřice, obilí, brambor nebo z cukrové třtiny, ale jejich biologický rozklad v přírodě je pomalý. Nutno podotknout, že takový to plast musí splňovat několik podmínek, které jsou často v domácích podmínkách nedosažitelné. Mezi podmínky se řadí vysoká teplota, tlak, kyslík a světlo. Problém je v tom, že takový to odpad se nerozloží na zahradním kompostu nýbrž v průmyslovém kompostu, který tyto podmínky splňovat může. Další nevýhodou je nekontrolovaný rozpad na mikroplasty a nanoplasty. Tyto zbytky pak celý kompost znehodnotí (Rujnić-Sokele et al., 2017).

Tento druh odpadu můžeme nazvat jako bioplasty, kterých je kolem 300 druhů (Karasová, 2022). Ovšem na trhu netvoří ani 1 % všech plastových materiálů. Je hodně žádaný v kavárnách, restauracích, nebo i v zoologických zahradách. V současné době není bioplast alternativní náhradou za konvenční plasty, protože nemají takové parametry, aby vytlačil plasty z trhu. Dalším důvodem je jejich vyšší cena. Materiály z bioplastu jako je bio-PET nebo bio-PE můžeme vyhodit do žlutého kontejneru, protože jsou chemicky totožné jako obyčejné plasty. Biodegradovatelný a kompostovatelný bioplast by se měl házet spíše do černé popelnice na směsný odpad. Důvod je ten, že má jiné vlastnosti než konvenční plast a způsobil by problémy během recyklace (web 9).

5.1.5 Skládání

Skládání patří k levnějším a nejvyužívanějším způsobům, jak nakládat s odpadem. Podle hierarchie nakládání s odpady se jedná o ten nejhorší způsob, jak se zbavit odpadů, a to včetně plastových. Skládku definujeme jako zařízení pro odstranění odpadů pomocí jejich řízeného povrchového nebo podpovrchového ukládání (Zákon č.541/2020 Sb.). Dále je důležitý tvar terénu, kde by měla být např. jáma nebo prohlubeň. Důležité je zmínit, že skládky podléhají přísné legislativě a kontrolám. Skládka má určitá pravidla a řídí se zákonem o odpadech 541/2020 Sb. Motivací, jak snížit množství plastového odpadu a využít ho jako nový materiál, je zvyšování poplatků za uložení odpadů na skládku. Plast a jiné využitelné odpady (papír, sklo,

kovy atd.) mohou být na skládku uloženy pouze pokud není jejich využití technicky nebo ekonomické možné (Matoušková, 2014).

5.1.6 Tuhá alternativní paliva (TAP)

Jedná se o upravený a vytríděný odpad. Tato certifikovaná paliva přináší řadu výhod např. vyšší výhřevnost, snadnou manipulaci a logistiku, která je upravena dle potřebných tvarů a velikostí (Vaškevič, 2019).

TAP musí splňovat určité podmínky, aby se právě jednalo o tuhá paliva. Patří sem:

- původ
- tvar částic a jejich velikost
- obsah vody
- obsah popela
- výhřevnost
- chemické vlastnosti
- kód třídy

TAP z anglického RDFs (Refuse Derived Fuels) jsou odpadní granule, které se vyznačují snadnou manipulovatelností a jednoduchým dávkováním, proto je zde důležitá zrnitost. Dále by granule měly být sypké, nelepivé, bezpečné a mít vhodný rozměr pro spalování (web 10).

TAP má vysokou výhřevnost, jelikož obsahuje malý podíl vody. Zároveň musí splňovat velmi přísné emisní limity, protože uvolňuje vysoký podíl chloru a inertních plynů během spalování. Existuje více možností uspořádání, jedná se o spalování na roštu, zplyňování nebo spalování ve fluidním kotli. Dále se TAP spalují v kotlích na uhlí nebo v cementárenských pecích. Právě cementárny mají o TAP největší zájem kvůli jejich výhřevnosti a využití popela. Dále nemusí tolik investovat na úpravy. Pro výrobu TAP se jeví jako výhodně zejména ty druhy plastů, které zbydou po dotřídění, protože se hůře recyklují a poptávka po nich není tak velká. Výroba TAP oproti spalování směsného komunálního odpadu je výhodná. Výhodou TAP je možnost jeho dlouhodobého skladování. Při úpravě lisováním do briket nebo pelet je i snadná manipulace a doprava (Kolářová, 2009).

6 Stávající způsoby nakládání s bioodpady v supermarketech

Plýtvání potravinami je velkým problémem, a proto je důležité hledat vhodná řešení k jeho zamezení. Jak bylo zmíněno v úvodu, ročně se vyhodí až 1/3 vyprodukovaných potravin. Cílem trvale udržitelného rozvoje je do roku 2030 snížit plýtvání potravin na polovinu. Plýtvání potravinami lze snížit u každého článku potravinového řetězce, zejména při zpracování, skladování, distribuci a způsobu vaření v domácnosti (Ojha et al., 2020). V EU se nejvíce plýtvá v domácnostech a to kolem 50 %. V maloobchodech a velkoobchodech to je 5 % (Stenmarck et al., 2016). Supermarkety se nachází u konce potravinového dodavatelského řetězce a shromažďují velké množství potravin, které prodávají lidem. Jsou potenciálně správným cílem pro omezení množství produkovaného odpadu, i když v porovnání s jinými fázemi potravinového dodavatelského řetězce mají malý podíl na plýtvání. Hlavní příčinou plýtvání potravinami je krátká trvanlivost u rychle kazících se potravin, mezi které patří pečivo, ovoce a zelenina a zároveň se řadí mezi skupinu s největším množstvím odpadu (Eriksson et al., 2016).

Je nutné podotknout, že co se týká nakládání s odpady, praktiky jednotlivých obchodních řetězců se liší a není vždy jednoduché najít všechny informace, protože některé řetězce odmítají sdílet svoje data. Mezi odpadem z řetězců představuje největší podíl ovoce a zelenina. Jedná se přibližně o 30–40 % z celkového množství odpadů. Důvodem, proč supermarkety třídí a zpracovávají odpady je v první řadě úspora financí, protože za vývoz vytríděného odpadu zaplatí méně než za vývoz komunálního odpadu. Dalším důvodem je ohleduplnost vůči životnímu prostředí. Např. společnost Lidl všechny odpady, které vzniknou na prodejnách, sváží do logistických center, kde se dále třídí a zpracovávají. Před obchodem je většinou jeden odpadkový koš, kam zákazníci vyhazují převážně úctenky nebo prázdné PET láhve. Co se týče bioodpadů, zde se klade důraz na kvalitu sortimentu, tudíž pokud je ovoce a zelenina před datem spotřeby, špatně vypadá nebo je lehce nahnílá, automaticky putuje zpět do logistického centra, kam se vyhodí do kontejneru na ovoce a zeleninu. V logistickém centru (LC) také probíhá namátková kontrola ovoce a zeleniny tak, že z každé palety jsou kontrolovány tři kartony s daným produktem. Většinou to bývá karton nahoře, uprostřed a dole. Pokud je zjištěno, že produkt je nahnílý nebo plesnivý, putuje celá paleta na oddělení likvidace. Tento odpad je pak odvážen do bioplynových stanic, kde se dál zpracovává. Před samotným procesem fermentace je odpad spolu s jednorázovými obaly podrcen a plastová drť je předem oddělena (podle ústního sdělení Jaroslava Bušínského). Z principu věci zde vzniká riziko kontaminace vsádky fermentoru plastovými úlomky, případně mikroplasty.

Další řetězec Globus poskytuje neprodaný sortiment neziskovým organizacím, záchranným stanicím nebo zoologickým zahradám. Tato spolupráce probíhá na základě ústní dohody, tudíž se nepodepisuje žádná smlouva. Organizace mají předem domluvené dny, kdy si pro dané ovoce a zeleninu přijedou a na vlastní náklady odvezou. Pokud jsou tyto sortimenty zabalené v obalech, tak je na dané organizaci, jak s nimi naloží. Z celkového množství dodaného ovoce a zeleniny zbude okolo 5-10 %, které není vhodné pro odběr. Tohle zboží je společně s obalem vyhozeno do kontejneru (podle ústního sdělení Anežky Bártové).

Společnost Tesco má zase odlišnou strategii než předchozí řetězce. Cílem je ovoce a zeleninu prodat za každou cenu, tudíž se tak mění ceny podle jeho stávající kvality. Ovoce a zelenina je roztríděna dle kvality a podle toho i oceněna. Pokud je zboží otlučené, lehce nahnilé nebo vypadá neatraktivně, tak se jeho cena snižuje. Díky této strategii skončí v kontejneru okolo 20 % odpadu. Tento odpad se dál nevyužívá (podle ústního sdělení Luboše Svobody).

Některá alternativní řešení pro nakládání s potravinovým odpadem ze supermarketů jsou zatím ve stádiu výzkumu. Jednou z možností je proces zvaný biokonverze, což je přeměna odpadu na krmivo pomocí hmyzu. *Hermetia illucens* je druh hmyzu, který získává svou pozornost díky přeměně organického odpadu za vzniku hodnotného krmiva pro zvířata. Tento druh hmyzu je ideální pro průmyslový chov díky krátkému životnímu cyklu, snížení organické odpadní biomasy až o 60 % a jeho přeměně na biomasu s vysokým obsahem bílkovin (Sheppard et al., 1994). Výhodou chovu hmyzu ve srovnání s živočišnou výrobou je menší vypuštění skleníkových plynů (Van Zanten et al., 2015). Ačkoliv tento koncept není veřejnosti tolik známý, může zlepšit a optimalizovat udržitelnost potravinového systému (Jurgilevich et al., 2016).

7 Přehled legislativy

V následujícím přehledu jsou vyjmenovány legislativní nástroje, které určují pravidla a regulují činnosti spojené s nakládáním s odpady, obaly a dále ty, které se týkají využívání metody vermikompostování při recyklaci bioodpadů.

7.1 Vermikompostování

S vermikompostováním souvisí zejména zákon **č.156/1998 Sb.**, o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). Tento zákon definuje několik pojmů, uvádí hnojiva do oběhu a registruje hnojiva. Druhý zákon je **č.334/1992 Sb.**, o ochraně zemědělského půdního fondu. Definuje zemědělský půdní fond a zásadu ochrany zemědělské půdy. Zde jsou uvedeny další zákony a vyhlášky spojené s vermikompostováním.

- Zákon č. **254/2001 Sb.**, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí **č. 273/2021 Sb.**, o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí **13/1994 Sb.**, kterou upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. **474/2000 Sb.**, o stanovení požadavků na hnojiva.
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. **275/1998 Sb.**, o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. **274/1998 Sb.**, o skladování a způsobu používání hnojiv
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. **273/1998 Sb.**, o odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv

7.2 Obaly

Obaly jsou nedílnou součástí veškerého zboží. Ať už se jedná o potravinové či nepotravinové zboží. Problematiku obalů upravuje zákon č.**477/2001 Sb.**, zákon o obalech a o změně některých zákonů. Účelem zákona je chránit životní prostředí předcházením vzniku odpadů z obalů. Dále definuje práva a povinnosti pro právnické i fyzické osoby, který s obaly podnikají, uvádění obalů na trh, stanovení poplatků a ochranná opatření. Dalšími vyhláškami jsou:

- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č.**30/2021 Sb.**, o provedení některých ustanovení zákona o obalech
- Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č.**116/2002 Sb.**, o způsobu označování vratných zálohovaných obalů

7.3 Odpady

Stěžejním legislativním předpisem v oboru nakládání s odpady je zákon č. **541/2020 Sb.**, o odpadech. Účelem je zajistit, aby odpad nevznikal a pokud vznikne, tak v minimálním množství, dále zajištění čistého životního prostředí, trvale udržitelného rozvoje, využívání zdrojů a zdraví lidí. Definiuje odpadové hospodářství a jeho hierarchii, nakládání s odpady, pravidla pro předcházení vzniku odpadu, práva, povinnosti a působnost orgánů veřejné správy. K tomuto zákonu se váže vyhláška:

- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č.**8/2021 Sb.**, o katalogu a posuzování vlastností odpadů

8 Praktická část

8.1 Popis pokusu

Cílem praktické části bylo ověřit potenciál metody vermikompostování přepracovat vybraný potravinový odpad v jednorázových obalech na dvě využitelné složky: hnojivo (vermikompost) a plastový odpad vhodný k recyklaci. Pilotní test vycházel z předpokladu, že žížaly jsou schopné proniknout do obalů potravin bez předchozího podrcení a organický materiál (odpadní potraviny a papírové obaly) přeměnit na vermikompost, zatímco nerozložitelný odpad (zejména plastový) poslouží jako vylehčující složka zakládky a zabraňuje sesedání. Papírové obaly a některé druhy potravin (např. ovesné vločky) pak mohou posloužit jako tzv. „bedding“ neboli podestýlka. Po přesítování vzniklého produktu bude k dispozici kvalitní organické hnojivo a plastový odpad vhodný k další recyklaci. Pro případnou praktickou využitelnost metody je také důležité ověřit časovou náročnost procesu. Výhodou takového přístupu oproti stávající praxi (energetické využití v ZEVO nebo v bioplynové stanici) je možnost recyklace veškerých složek odpadu, a to jak biomasy včetně papíru, tak obalových plastů. V případě příznivého výsledku by se jednalo o vhodné téma pro navazující diplomovou práci.

Potravinový odpad byl odebrán v červnu roku 2021 v logistickém centru Lidl v obci Brandýs nad Labem. Je zde provozováno překladiště odpadu z prodejen Lidl ze Severních Čech, Východních Čech a část Prahy. Odtud je potravinový odpad i s jednorázovými obaly převážen do bioplynové stanice k energetickému využití.

Samotný pokus probíhal po dobu 15 měsíců v kryté hale vermikompostárny FLOURIUM, s.r.o. v Ostrově u Prachatic. Byly použity nástavky komerčního vermikompostéru Florium o celkovém objemu 240 l. Ve dvou vermikompostérech byl odpad vhodně zkombinován tak, aby obsahoval i dostatek tzv. bedding materiálu s vyšší nasákavostí (např. maliny, pečivo a papír). Detailní popis obsahu jednotlivých vermikompostérů je popsán v Tabulce 4. Jako „bedding“ materiál bylo do vermikompostéru 1 přidáno pečivo v papírových obalech o hmotnosti 3,8 kg a do vermikompostéru 2 odpadní mulčovací kůra o hmotnosti 3 kg. Násada žížal byla přidána v množství 1,7 kg (kompostér 1) a 2,6 kg (kompostér 2).

Tabulka 4: Složení zakládky jednotlivých vermikompostérů

Biodpad	Hmotnost [g]	Počet kusů	Materiál obalu
Obsah 1.vermikompostéru			
Jablka	2000	1	PP
Maliny	200	10	R-PET
Borůvky	125	2	R-PET
Jahody	250	2	R-PET
Ředkvičky	200	7	R-PET
Obsah 2.vermikompostéru			
Salát	125	10	PP
Brambory	1000 a 2500	2	Rašlový pytel (z PP)
Bylinky	330	12	PP

Na obrázcích č. 4 a 5 je zdokumentován stav materiálu v jednotlivých vermikompostérech po osmi až patnácti měsících.



Obrázek 3: Potravinový odpad po odběru ve skladu společnosti Lidl (Tomáš Pokorný)



Obrázek 4: Částečná konverze potravinového odpadu v obalech na vermikompost po osmi měsících pokusu (Tomáš Pokorný)



Obrázek 5: Obsah vermikompostéru č.1 a 2 po ukončení pokusu (Tomáš Pokorný)

Po ukončení procesu vermikompostování byl materiál převezen a rozprostřen na plachtu v provozní hale společnosti Dekonta ve Slaném. Žížaly byly částečně odděleny tím, že byl na okraj hromady umístěn zdroj čerstvé potravy (podrcené ovoce a zelenina) a po dalších dvou týdnech byl tento materiál s žížalami odstraněn a zbylý produkt byl přesítován pomocí vibračního síta Bioscreen MIKRO (viz. obrázek č. 6). Oddělené složky byly následně zváženy v laboratoři firmy Dekonta v Dřetovicích a stanoven obsah sušiny vzniklého vermikompostu (3 paralelní měření za každé varianty).



Obrázek 6: Proces sítování produktu vermikompostování (Tomáš Pokorný)



Obrázek 7: Nadsítná frakce obsahovala jednorázové plastové obaly (Tomáš Pokorný)



Obrázek 8: Podsítnou frakci tvořil vzniklý vermikompost (Tomáš Pokorný)

V mezidobí se uskutečnila návštěva a konzultace v bioplynové stanici Příbyšice u Benešova, kde je v současné době potravinový odpad ze supermarketů přebírán a zpracováván.

Dále byla ze strany Pražských služeb přislíbena možnost otestování vyřídění přesítované plastové směsi na nově zakoupené automatické třídící lince na plasty, která pracuje na principu NIR-spektrometrie.

Pro získání informace, zda je separovaný materiál vhodný k recyklaci jsem oslovil tyto firmy, které se zabývají recyklací plastů: EF Recycling s.r.o., SOLLAU CZ s.r.o., EKO MB s.r.o., OK Plastic s.r.o., PESL spol. s r.o., BOCO PARDUBICE machines, s.r.o., ECO-F a.s., Reкупlast s.r.o., RETEK s.r.o., Plocek ReSources.

8.2 Výsledky

V první části experimentu se podařilo ověřit, že žížaly jsou schopné proniknout k potravě skrz obaly a bioodpad zkonsumovat. Tento přístup jim usnadňují i otvory v obalech, které tam jsou z důvodu, aby se některé druhy bioodpadů v obalech nezapařily a neztratily kvalitu.

Při průběžné kontrole po osmi měsících procesu již byla značná část odpadních potravin konvertována na vermikompost. Z důvodu přerušení studia byl ale pokus vyhodnocen až po 15 měsících. Po této době bylo vytěženo 0,86 kg odpadního plastu a 3,38 kg vermikompostu (obsah sušiny $73,1 \pm 1,0$ %) z vermikompostéru č. 1 a 0,75 kg odpadního plastu a 5,95 kg vermikompostu (obsah sušiny $62,8 \pm 3,9$ %) z vermikompostéru č. 2. Obsah sušiny byl vypočítán ze tří paralelních měření.

Kvalita odděleného plastu je zdokumentována na obrázku č. 5 a mohla být posouzena pouze subjektivně. Přislíbená možnost objektivního posouzení pomocí NIR čidla v automatické třídící lince společnosti Pražské služby bohužel nemohla být využita, protože nově zakoupenou linku pro technické problémy se nepodařilo uvést do provozu do termínu odevzdání této práce. Z oslovených recyklačních firem odpověděla pouze jedna, a to firma PESL, s r.o. Uskutečnila se proto alespoň ústní konzultace se zástupcem této firmy s panem inženýrem Tomášem Petráněm a bylo zjištěno, že plast separovaný metodou vermikompostování není vhodný k mechanické recyklaci a recyklační firmy by o takový produkt pravděpodobně neměly zájem.

Během návštěvy bioplynové stanice v Příbyšicích u Benešova a na základě diskuse s operátorem stanice a vlastního pozorování bylo zjištěno, že rozdrčený plastový odpad ze zpracovaných odpadních potravin je následně předán k přepracování na alternativní palivo, zatímco fermentační zbytek z této bioplynové stanice je hojně využíván místními zemědělci jako tekuté hnojivo. Technologie oddělení plastové drti a bioodpadu je v tomto zařízení údajně vysoce inovativní a zabraňuje kontaminaci biologické složky úlomků plastů.

9 Diskuze

Během pilotního testu se potvrdil předpoklad, že odpadní potraviny, zejména pak ovoce a zelenina zabalené v jednorázových plastových obalech nijak neomezují život žížal ve vermikompostu. Pro účely vermikompostování není nutné tyto jednorázové obaly odstraňovat, ani předem narušovat. Pokud se vloží bioodpad i s obalem do vermikompostu, žížaly jej přemění na vermikompost beze zbytku. Umožňují to např. otvory v obalech, které tam jsou z důvodu, aby se daný produkt nezkazil nebo nezapařil. Dalším důvodem je, že obal po určité době začne degradovat, případně působením vlhkosti zkřehne a naruší se. Jak přítomnost plastů ovlivňuje proces vermikompostování studoval například Saéz et al. (2022). Konkrétně se zabývali účinky zemědělského plastového odpadu na proces vermikompostování. Během své práce zjistili, že přítomnost plastových odpadů ve vermikompostu neomezuje zpracování bioodpadu, ovšem bylo vyzorováno zpomalení degradačního procesu. Během pokusu, a i po jeho skončení vermikompost nevykazoval žádné významné rozdíly ve složení. Vermikompostováním potravinového odpadu se také zabývá řada studií, např. Majlessi et al. (2012). Využití žížal k separaci organické složky potravinových odpadů ze supermarketů od plastových obalů ale dosud nebylo v literatuře popsáno.

Za pomoci vibračního síta se podařilo oddělit plastové obaly od vzniklého vermikompostu, avšak technologie sítování není natolik kvalitní, aby byl všechn vermikompost od obalů oddělen, tudíž určité množství organické hmoty a nečistot zůstalo v obalech.

Ačkoliv bylo slíbeno otestování vyřídění přesítované plastové směsi na nové automatické lince na plasty, která pracuje na principu NIR – spektrometrie, muselo být od tohoto experimentu opuštěno. Podnik Pražské služby plánoval zprovoznění nově zakoupené automatické třídící linky během měsíce ledna 2023. Bohužel se do termínů odevzdání této práce z technických důvodů nepodařilo linku zprovoznit a test uskutečnit.

Jako náhradní řešení bylo zvoleno ověření možnosti, zda odseparovaný plastový materiál je vhodný k recyklaci, na základě osobní konzultace s jednatelem firmy PESL spol s r.o. panem Petráněm. Ostatní oslovené firmy na dotaz nereagovaly. Firma se zabývá výkupem a recyklací plastového odpadu, prodejem plastových drtí a regranulátu. Podle tohoto specialisty není vzniklý směsný materiál se zbytky organického znečištění vhodný k recyklaci, protože neexistuje technologie, která by takový to materiál separovala a zajistila potřebnou čistotu pro výrobu regranulátu. V případě vývoje a následné instalace takové technologie by její provoz byl pravděpodobně ekonomicky neudržitelný. Na základě posouzení fotografií odseparovaného plastového odpadu bylo doporučeno využití jako TAP (tuhé alternativní palivo). Tento způsob je

využíván také např. ve Švédsku, kde potravinový odpad přemění na organické hnojivo a energii, ze kterého vyrobí bioplyn. Zbytkový odpad je využit a přeměněn na TAP (Myrin et al., 2014).

Vhodnost energetického využití biosložky, využití fermentačního zbytku jako hnojiva a předání oddělených plastů na výrobu TAP potvrdila návštěva a konzultace v odpadářské bioplynové stanici Příbyšice u Benešova, kde jsem měl možnost výhody tohoto přístupu prodiskutovat osobně s technologem. Proces probíhá v termofilních podmínkách (52 °C) a za den přijmou maximálně 60 tun odpadů. Během diskuze bylo řečeno, že se do bioplynové stanice sváží bioodpady ze supermarketů i s obaly. Než dojde k výrobě bioplynu, musí dojít k hygienizaci, pomletí a následné separaci, která oddělí odpad od nežádoucích příměsí, jako jsou obaly. Ke konci exkurze jsem byl informován, že pro organické hnojivo si jezdí místní farmáři a zemědělci, který si ho nabírají sami do cisteren. Nicméně by bylo zajímavým tématem výzkumu sledování množství mikroplastů v disegátu takovéto bioplynové stanice.

Druhá uvažovaná alternativní metoda, která ale v rámci řešení práce nebyla prakticky ověřena, je zkrmování potravinového odpadu v obalech hmyzem. V ČR se zkrmováním biologického odpadu za účelem produkce bílkovin pro výživu zvířat zabývá firma LarvaLoop, s.r.o. Využívá larvy hmyzu Black soldier fly (*Hermetia Illucens*), s českým názvem bráněnka, které jsou velmi univerzálními degradery bioodpadu (web 11). Je ale pravděpodobné, že metoda bude mít stejné limity, jako vermikompostování. Výhodou by mohla být kratší doba potřebná pro konverzi odpadu na žádoucí produkt. Stádium larev bráněnek trvá 18-36 dní za optimálních podmínek (Tomberlin et al., 2009). To je i doba, kdy požívají odpad, pak jsou nahrazeny larvami novými. Přes 100 tisíc larev je schopno denně zkonsumovat přes 5 kg potravinového odpadu (Kalová, 2015). Oproti tomu ve vermikompostu 0,5 kg žížal zkonsumuje přibližně 0,25 kg bioodpadu denně, přičemž počet žížal se zdvojnásobí až za tři měsíce (Hanc a Plíva, 2013). Pro vermikompostování je totiž dalším limitujícím faktorem poměrně dlouhá doba potřebná na zpracování odpadu. Plně provozní zařízení by tedy muselo mít dostatečnou kapacitu. Ta je ale v případě vermikompostáren limitována 1 000 t odpadu ročně, jak vyplývá z vyhlášky č. 273/2021, o podrobnostech nakládání s odpady.

Z výsledků práce vyplývá, že nejvhodnější možností pro nakládání s potravinovým odpadem v jednorázových obalech ze supermarketů je pravděpodobně stávající způsob energetického a částečně i materiálového využití v bioplynové stanici. Je nutné, aby se jednalo o tzv. odpadářskou stanici, která díky přítomnosti hygienizační jednotky umožňuje zpracování veškerých potravinových odpadů, tedy i vedlejších živočišných produktů, což v případě vermikompostárny bylo velmi problematické.

Závěr

Produkce potravinového odpadu neustále stoupá, proto je v dnešní době důležité najít pro tento druh odpadu další využití. Každý obchodní řetězec nakládá s potravinovým odpadem jiným způsobem. Některé se ho snaží prodat za sníženou cenu. Jiný přenechá ovoce a zeleninu neziskovým organizacím, zoologickým zahradám apod. pro zvířata, avšak organizace si musí zajistit dopravu na vlastní náklady. Jiný supermarket naopak dbá na kvalitu sortimentu natolik, že pokud je zboží vadné, raději zvolí jeho rychlé odstranění do kontejneru na odpad.

Pro ověření možnosti přepracování potravinového odpadu v jednorázových obalech pomocí žížal byl uskutečněn pilotní test v délce trvání 15 měsíců. Organický podíl byl beze zbytku přeměn na vermikompost a ten byl poté pomocí vibračního síta částečně odseparován od plastového obalu. Vzhledem k technickým komplikacím se nepodařilo otestovat třídění vzniklého plastového odpadu na automatické lince pracující na principu NIR – spektrometrie. Při osobní konzultaci se zástupcem recyklační firmy ale bylo zjištěno, že plastové obaly oddělené od bioodpadu pomocí vermikompostování a následného sítování nesplňují požadavky na kvalitu pro recyklaci a budou vhodné pouze na výrobu TAP. To se přitom vyrábí z odděleného obalového materiálu při stávajícím způsobu využití v bioplynových stanicích, takže by metoda vermikompostování nepřinesla potřebnou přidanou hodnotu do zpracování odpadů ze supermarketů tímto způsobem. To se potvrdilo i během návštěvy v odpadářské bioplynové stanici, která odpady ze supermarketů zpracovává. Bylo zjištěno, že disponují inovativní technologií, která podrtí a následně odděluje jednorázové obaly od potravin takovým způsobem, že kontaminace vsádky reaktoru plastovým odpadem je minimální. Zatímco podrcené obaly slouží k výrobě TAP, biologická složka je využita k produkci energie a hnojiva pro lokální zemědělce.

Zdroje

- ABBASI, S. A.; NAYEEM-SHAH, M.; ABBASI, Tasneem. Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 93: 103-114 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.024>
- BARTL, Andreas. Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enables. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [online]. 2014, 32(9_suppl), 3-18 s. ISSN 0734-242X. Dostupné z: doi.org/10.1177/0734242X14541986
- BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Verze knihy: 15. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80- 88058-66-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- BENEŠ, J. *Využití biologicky rozložitelných odpadů při výrobě rekultivačních substrátů*. Slon.diamo.cz [online]. 2014. Dostupné z: <https://slon.diamo.cz/hpvt/2014/Z/Z%2004.pdf>
- BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites*. William Andrew. 2012. 1035 s. ISBN 978-1-4557-7898-0
- CHUDÁREK, T. a kol. *Odpadové hospodářství v praxi*, Brno: Masarykova univerzita, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, 2013. 157 s. Recetox. ISBN 978-80-210-6601-4
- ČURDA, D. *Balení potravin*. Praha: SNTL, 1982. 432 s. ISBN 04-832-82
- DOBIÁŠ, Jaroslav; VOTAVOVÁ, Lenka; VÁPENKA, Lukáš. *Balení potravin*. Praha: VŠCHT, 2019. 311 s. ISBN 978-80-7592-052-2
- DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil biology and biochemistry*, 1997, 29.3-4: 743-746 s. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00276-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00276-3)
- ERIKSSON, Mattias; STRID, Ingrid; HANSSON, Per-Anders. Food waste reduction in supermarkets–Net costs and benefits of reduced storage temperature. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 107: 73-81 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.022>
- EUROPE, Plastics. *Plastics – the Facts 2022* [online]. 2022. Dostupné z: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
- EVROPSKÁ SMĚRNICE Č.178/2002. *Nářízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002*. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32002R0178>

- FRIEDMAN, Lauri S. *Garbage and recycling*. Farmington Hills: Greenhaven Press, 2009. Introducing issues with opposing view points. 152 s. ISBN 978-0-7377-4337-1
- GRAFNETTER, A. *Funkce obalů* [online]. 2013. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/farhani/funkce-obal>
- HAN, Jung H. *Innovations in food packaging*. Second edition. Amsterdam: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2014. 624 s. ISBN 978-0-12-394601-0
- HANČ, A. a PLÍVA, P. *Vermikompostování bioodpadů. Certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013, 1-36 s.
- HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004. 174 s. ISBN 80-248-0737-8
- HUANG, K., WEI, Y., LI, F., FU, X., CHEN, X. *Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes*. *Bioresource technology* 2014, 170: 45-52 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.058>
- JURGILEVICH, Alexandra, et al. Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 2016, 8.1: 69 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su8010069>
- KAČEŇÁK, I. *Obaly a obalová technika*. Bratislava: SVŠT, 1989. 179 s. ISBN 80-227-0301-X.
- KALINA, M. *Kompostování a péče o půdu*. 2. upr. vyd. Praha: Grada, 2004. Česká zahrada. 116 s. ISBN 80-247-0907-4
- KALINA, M. *Kompostování a péče o půdu*. Praha: Grada, 1999. Česká zahrada. 110 s. ISBN 80-7169-697-8
- KALOVÁ, Markéta, *Možnosti využití vybraných bezobratlých v odpadovém hospodářství*. 2015
- KARASOVÁ, J. *Kompostovatelné krabičky na zahradní kompost nepatří. K rozkladu potřebují speciální podmínky* [online]. 23.7.2022. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/kompostovatelne-krabicky-kompost-kam-patri-popelnice-kontejner_2207231310_ako
- KEPÁK F.: *Průmyslové odpady 1. část*, FŽP UJEP Ústí nad Labem, 2005
- KERAMITSOGLOU, Kiriaki M.; TSAGARAKIS, Konstantinos P. Public participation in designing a recycling scheme towards maximum public acceptance. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, 70: 55-67 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.015>
- KLUBALOVÁ, Kateřina. *Komunitní vermikompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu*. 2016

- KOLÁŘOVÁ, M.,: *Tuhé alternativní palivo s biomasou*. Biom.cz [online]. 3.8.2009. Dostupné z: <https://biom.cz/czt/odborne-clanky/tuhe-alternativni-palivo-s-biomasou>. ISSN: 1801-2655
- KRULIŠ, Z. *Recyklace plastového odpadu*. Vesmír [online]. Praha, 9. 12. 2019. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2019/cislo-12/recyklace-plastoveho-odpadu.html>
- KURAŠ, M. *Odpadové hospodářství*. Chrudim: Ekomonitor, 2008. 143 s. ISBN 978-80-86832-34-0
- KURAŠ, M. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. 344 s. ISBN 978-80-86832-80-7.
- KURAŠ, M. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*, VŠCHT Praha, 1994. 241 s. ISBN 80-85087-32-4
- LAPČÍK L., RAAB M. *Nauka o materiálech II*. Vydání 2., rozš. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004. 133 s. ISBN 80-7318-229-7
- MAJLESSI, Monireh, et al. Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 2012, 9: 1-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-25>
- MARTIN, J. P., BLACK, J. H., & HAWTHORNE, R. M. *Earthworm Biology and Production*. Circular 455, Gainesville: University of Florida, 1999. Dostupné z: http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/11/91/00001/In04700_old.pdf
- MATOUŠKOVÁ, H. *SKLÁDKOVÁNÍ. Recyklohraní* [Online]. Praha, 24.3.2014. Dostupné z: <https://www.recyklohrani.cz/cs/shares/category/4>
- MATTHEWS, Chris; MORAN, Fintan; JAISWAL, Amit K. A review on European Union's strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety. *Journal of cleaner production*, 2021, 283: 125263. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125263>
- MUNROE, Glenn. *Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture*. Organic Agriculture Centre of Canada, 2007, 39: 40 s. Dostupné z: https://www.wormfarmingsecrets.com/downloads/Vermiculture_FarmersManual_gm.pdf
- MYRIN, Eva Svensson; PERSSON, Per-Erik; JANSSON, Stina. The influence of food waste on dioxin formation during incineration of refuse-derived fuels. *Fuel*, 2014, 132: 165-169 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.083>
- NIAOUNAKIS, Michael. Flexible plastic packaging and recycling. *Recycling of Flexible Plastic Packaging*, 2020, 1: 1-20 s.

- OJHA, Shikha; BUBLER, Sara; SCHLÜTER, Oliver K. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste Management*, 2020, 118: 600-609 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.010>
- POMMERESCHE, R. *Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy*. Olomouc: Bioinstitut, 2010. 23 s. ISBN 978-80-87371-02-2
- ROBERTSON, Gordon L. *Food packaging: principles and practice. 3rd ed.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. 696 s. ISBN 978-1-4398-6241-4
- RODRÍGUEZ-CANCHÉ, L. G., et al. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource technology*, 2010, 101.10: 3548-3553 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.001>
- RUJNIĆ-SOKELE, Maja; PILIPOVIĆ, Ana. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research*, 2017, 35.2: 132-140 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0734242X16683272>
- SÁEZ, José A., et al. The Effects of Agricultural Plastic Waste on the Vermicompost Process and Health Status of *Eisenia fetida*. *Agronomy*, 2022, 12.10: 2547. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102547>
- SELKE, Susan E. M., and John D. CULTER. *Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations*. 2016. 467 s. ISBN 978-1-56990-443-5
- SHEPPARD, D. Craig, et al. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource technology*, 1994, 50.3: 275-279 s. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)
- ŠIMEK, Miloslav. *Živá půda*. Praha: Academia, 2019. 796 s. ISBN 978-80-200-2976-8.
- SINHA, Rajiv K., et al. Earthworms—the environmental engineers: review of vermiculture technologies for environmental management and resource development. *International Journal of Global Environmental Issues*, 2010, 10.3-4: 265-292 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1504/IJGENVI.2010.037271>
- SKLENIČKOVÁ, Alena. *Zpracování biologicky rozložitelného odpadu vermikompostováním*. 2011.
- SLEJŠKA, A. Vermikompostování. *Regena*, 1999, 5.99: 19 s. ISSN 1212-2289
- STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. *Bezpečnost a zdravotní nezávadnost potravinářských obalů, právní předpisy a úřední kontrola* [online]. NZIP. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/837-bezpecnost-a-zdravotni-nezavadnost-potravinarskych-obalu-pravni-predpisy-a-uredni-kontrola>

- STENMARCK, Åsa, et al. *Estimates of European food waste levels*. IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016. 80 s. ISBN 978-91-88319-01-2
- SUTHAR, Surindra. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering*, 2010, 36.8: 1028-1036 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.015>
- TESAŘOVÁ, M., Filip, Z., SZOSTKOVÁ, M., MORSCHECK, G. *Biologické zpracování odpadů*. Mendelova univerzita v Brně, 2010. 128 s. ISBN 978-80-7375-420-4
- TOMBERLIN, Jeffery K.; ADLER, Peter H.; MYERS, Heidi M. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental entomology*, 2009, 38.3: 930-934 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- VAN ZANTEN, Hannah HE, et al. From environmental nuisance to environmental opportunity: housefly larvae convert waste to livestock feed. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 102: 362-369 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.106>
- VÁPENKA, L., DOBIÁŠ, J. *Legislativní úprava požadavků na obaly a obalové materiály* [online]. 18.5.2021. Dostupné z: <https://www.enviprofi.cz/33/legislativni-uprava-pozadavku-na-obaly-a-obalove-materialy-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EstVtRjpnQxZorWEZ5EqNTuw9PBWuC7BmQ/?query=Legislativn%ED%20%FAprava%20po%BEadavk%F9%20na%20obaly%20a%20obalov%E9%20materi%Elly&serp=1>
- VÁŠKEVIČ, Štěpán. FAQ: *třídění a recyklace plastů v ČR* [online]. 2019. Dostupné z: <https://zajmej.se/faq-trideni-a-recyklace-plastu-v-cr/>
- ZAJONC, I. *Chov žížal a výroba vermikompostu*. 1. vyd. Povoda: ANIMAPRESS, 1992. 59 s. ISBN 80-85567-07-5.
- ZÁKON č.156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156>
- ZÁKON č.334/1992 Sb., Zákon české národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu. In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-334>
- ZÁKON č.477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>
- ZÁKON č.541/2020 Sb. Zákon o odpadech. In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541?text=z%C3%A1kon+o+odpadech>

Webové stránky

- web 1: <https://www.narodniportal.cz/cesi-plytvaji-potravinami-vyrazne-mene-nez-je-prumer-eu/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 2: <https://spolecnost.lidl.cz/pro-novinare/tiskove-zpravy/lidl-na-cestech-minimalizaci-odpadu-zaznamenal-velky-uspech-ziskal-certifikaci-din> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 3: <https://www.samosebou.cz/2020/10/23/co-je-obal-jake-jsou-druhy-a-funkce-obalu/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 4: https://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 5: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 6: <https://www.samosebou.cz/2020/03/31/jaka-je-cesta-plastoveho-odpadu/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 7: <https://www.jaktridit.cz/cz/trideni/dotridovani/ostatni-dotridovaci-linky/dotridovani-plastu/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 8: <https://www.samosebou.cz/2022/02/28/recyklace-plastu/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 9: <https://www.czechsight.cz/reseni-plastove-krize-je-jeste-velmi-daleko-rika-petra-innemanova/> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 10: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-15358-838301-231895.html> [online]. [cit. 2023.05.08].
- web 11: <https://cc.cz/tag/larvaloop/> [online]. [cit. 2023.05.08].

Ústní sdělení

BÁRTOVÁ, Anežka, zaměstnankyně obchodu Globus [ústní sdělení]. Praha, 9.5.2023.

BUŠÍNSKÝ, Jaroslav, manažer oddělení likvidace Lidl [ústní sdělení]. Brandýs nad Labem, 3.2.2023.

SVOBODA, Luboš, zaměstnanec obchodu Tesco [ústní sdělení]. Brandýs nad Labem, 3.4.2023.