

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

**TECHNICKÁ FAKULTA
KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB**

Využití bioplastů při kompostování biologicky rozložitelné
frakce komunálních odpadů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí: Ing. Zdeněk Pastorek, CSc., prof. h. c.

Vypracoval: Ondřej Vosátka

Praha 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Vosátka

obor Technika a technologie zpracování odpadů

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Využití bioplastů při kompostování biologicky
rozložitelné frakce komunálních odpadů**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Literární rešerše
4. Závěr
5. Seznam literatury
6. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

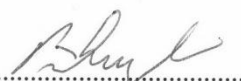
Doporučené zdroje:

- Zákon o odpadech č.185/2001Sb. v posledním znění
- Vyhl.MŽP č.341/2008Sb. o nakládání s BRO
- Zákon o hnojivech č.156/1998Sb.v posledním znění
- Sulcberger R.,(1996)Kompost,půda,hnojení,nakl.PRIRODA
- Plíva P. a kol., (2009),Kompostování v pásových hromadách na volné ploše,
nakl.ProfiPress,s.r.o., 133 str.,ISBN 978-80-86726
- <http://www.biom.cz>, <http://www.vuzt.cz>, <http://www.env.cz>
- <http://mze.cz>, <http://zeraagency.eu>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Pastorek, CSc., prof.h.c.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pastorka, CSc., prof. h. c. a použil jen pramenů citovaných v přiložené bibliografii.

V Praze, dne 9. 4. 2011

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především panu Ing. Zdeňkovi Pastorkovi, CSc., prof. h. c. za odborné vedení při psaní mé bakalářské práce a dále paní Kateřině Hodkové a panu Tomášovi Hodkovi z firmy HBA Bioplast s. r. o. za poskytnutí cenných rad a informací a všem, kteří mi pomáhali.

Ondřej Vosátka

ABSTRAKT:

Cílem práce je návrh kompostárny zpracovávající směs biologicky rozložitelného komunálního odpadu s bioplasty. Návrh vychází z údajů o množství kompostovatelných odpadů a z jejich surovinové skladby. Dále se práce zabývá analýzou bioplastů a to zejména: škrobovými polymery, PLA (kyselinou polyléčnou) a PHA (polyhydroxyalkanoáty). V práci je popsána technologie výroby těchto polymerů, schopnost jejich biologické degradace, dále jsou uvedeni jejich přední výrobci a vlastní obchodní názvy na trhu. V této práci jsou dále uvedeny české i evropské právní a technické normy v oblasti biologicky rozložitelných odpadů a jejich způsobem zpracování. Při psaní této práce bylo čerpáno z platných zákonů, odborných článků na internetu a dostupné literatury uvedené v příloženém seznamu literatury. Uvedené vzorce pro výpočet v kapitole návrhu kompostárny byly čerpány z dostupné literatury a k samotnému výpočtu byl použit program Mathcad. Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením návrhu kompostárny.

Klíčová slova: bioplast, kompostárna, PLA, PHA, škrob

SUMMARY:

The bachelor thesis is focused on design of composting plant, which could treat a mixture of biodegradable municipal waste with bioplastics content. The proposal is based on the quantity of compostable waste from the raw material composition. Furthermore the thesis analyses bioplastic in general, such as: starch polymers, PLA (polylactic acid) and PHA (polyhydroxyalkanoates). Also manufacturing technology of the polymers is described, the ability of biological degradation, their leading manufacturers and their own brand names in the market are introduced as well. The Czech and European technical and legal standards of bio-degradable wastes and composting are also presented. As sources for complete this thesis was used existing laws, technical articles on the Internet and literature mentioned in the attached list of references. The formulas for calculating the chapter of the draft composting were drawn from available literature and the calculation itself has used the program Mathcad. The work ends by technical-economic evaluation of the composting plant.

Key works: bioplastic, composting, PLA, PHA, starch

1	ÚVOD	9
2	LEGISLATIVA ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR.....	10
2.1	BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉ ODPADY	11
2.1.1	Komunální bioodpady.....	12
2.1.2	Technologie kompostování	13
2.1.2.1	Právní a technické normy kompostování	14
2.1.2.2	Technické a legislativní požadavky na kompost	16
2.1.3	Koncepce nakládání s bioodpady	19
2.1.3.1	Plán odpadového hospodářství.....	20
3	BIOPLASTY A BIODEGRADABILNÍ POLYMERY	21
3.1	VLASTNOSTI.....	21
3.2	CELOSVĚTOVÁ PRODUKCE.....	22
3.3	HISTORIE.....	23
3.4	PŘIROZENĚ SE VYSKYTUJÍCÍ POLYMERY.....	24
3.4.1	Polysacharidy	24
3.4.2	Polyterpeny.....	26
3.5	BIOPLASTY NA TRHU	28
3.5.1	Škrobové polymery.....	30
3.5.1.1	Technologie výroby	30
3.5.1.2	Vlastnosti	32
3.5.1.3	Degradace.....	33
3.5.1.4	Aplikace	33
3.5.1.5	Výrobci	34
3.5.2	Kyselina polyléčná (PLA).....	34
3.5.2.1	Technologie výroby	35
3.5.2.2	Vlastnosti	36
3.5.2.3	Degradace.....	37
3.5.2.4	Aplikace	38
3.5.2.5	Výrobci	38
3.5.3	Polyhydroxyalkanoáty (PHA)	39
3.5.3.1	Technologie výroby	39
3.5.3.2	Vlastnosti	39

3.5.3.3	Degradace.....	40
3.5.3.4	Aplikace	41
3.5.3.5	Výrobci	41
3.6	DEGRADACE BIOPLASTŮ	41
3.6.1	ZPŮSOBY DEGRADACE BIOPLASTŮ	41
3.6.2	Normy stanovující míru degradace.....	43
3.7	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES KOPOSTOVÁNÍ BIOPLASTŮ	45
4	NÁVRH KOMPOSTÁRNY.....	47
4.1	POSOUZENÍ VARIANTNÍHO ŘEŠENÍ KOMPOSTÁRNY	47
4.1.1	Způsob výroby kompostu [9]	47
4.1.2	Varianty kompostovací linky [9].....	48
4.2	OPTIMALIZACE SUROVINOVÉ SKLADBY ZAKLÁDKY	49
4.2.1	Vstupní suroviny a jejich charakteristika.....	49
4.2.2	Výpočet poměru C:N.....	50
4.2.3	Výpočet celkové vlhkosti [3]	51
4.2.4	Charakteristika výsledného kompostu	51
4.3	TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ KOMPOSTÁRNY.....	52
4.3.1	Výběrové řízení na překopávač	53
4.4	PROFIL KOMPOSTOVÉ ZAKLÁDKY	56
4.5	VÝPOČET VELIKOSTI PLOCHY KOMPOSTÁRNY	57
4.5.1	Výpočet plochy kompostárny pro dané množství surovin [3]	58
4.5.2	Kapacita odpadní jímky [3].....	61
4.6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU	64
5	ZÁVĚR	66
6	POUŽITÁ LITERATURA	68
7	SEZNAM TABULEK	73
8	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74

1 ÚVOD

Polymery z obnovitelných zdrojů nacházejí v dnešní době čím dál větší uplatnění. Bioplasty jsou předmětem intenzivního výzkumu po celém světě, protože mají potenciál řešit problematiku prakticky nerozložitelných konvenčních plastů z neobnovitelných zdrojů v mnoha oborech. V důsledku stále zvyšující se produkce konvenčních plastů, stoupá i objem nevytříděných plastů ukládaných na skládky, které zatěžují životní prostředí. Tyto ukládané plasty mnohdy představují jednorázové výrobky a obaly, které se (vzhledem ke svému účelu) rozkládají příliš dlouho.

Hlavní význam však spočívá v jejich původu – biomase. S ohledem na vyčerpatelnost neobnovitelných zdrojů se stávají bioplasty velice důležitou volbou pro budoucnost. Je však nutné hledat vhodné zdroje, které zásadním způsobem nezasahují do potravinového řetězce člověka a zvířat.

Vzhledem k tomu, že se v budoucnu může očekávat pokračující nárůst produkce bioplastů, které v současnosti slouží hlavně k výrobě jednorázových obalů ve spotřebním průmyslu, lze předpokládat i jeho rostoucí podíl v oblasti komunálních odpadů. Jeho podíl bude tedy mít rostoucí tendenci v komunálním odpadu separovaném, ale zpočátku jistě i ve smíšeném komunálním odpadu, ať z důvodu absence kontejnerů a nádob na separovaný bioodpad nebo z pouhé počáteční neznalosti obyvatel o původu materiálu a možnostech s ním nakládat.

Jedním z nejeftivnějších způsobů zpracování biologicky rozložitelných odpadů resp. odpadů z bioplastu za účelem likvidace je kompostování. Tento proces představuje mikrobiální rozklad polymeru při řízených podmínkách, za přístupu O_2 a uvolňování CO_2 . Kompostovatelnost bioplastů je schopnost (biologicky) degradovat za určitých podmínek a v určitém časovém intervalu stanovených příslušnými normami. Nejvhodnější podmínky pro kompostování bioplastů poskytují průmyslové kompostárny, kde probíhá proces kompostování za řízených podmínek

Výroba bioplastů je stále finančně náročnější než výroba plastů pocházejících z petrochemického průmyslu, to je jedním z důvodů jejich velice sporadického výskytu. Tomuto problému mohou napomoci vhodné legislativní podmínky.

2 LEGISLATIVA ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR

Základní právní normy a technické předpisy mají především za cíl: vytvořit právní rámec pro chování vlastníků movitých věcí, stanovit technické požadavky na zařízení určená pro nakládání s těmito movitými věcmi, implementovat legislativní systém EU do českého právního systému a stanovit funkce, pravomoce a podmínky činnosti správních a samosprávních orgánů tak, aby byla zabezpečena ochrana životního prostředí a právo svobodného rozhodování občanů a podnikatelských subjektů. [11]

Základní právní normou odpadového hospodářství v České republice je zákon č. 185/2001 Sb. (dále jen zákon o odpadech) ve znění pozdějších předpisů. Stanovuje především základní pravidla pro předcházení vzniku odpadů, nakládání s nimi a práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství. Tento zákon je dostatečně kompatibilní s legislativou EU a případné požadované změny jsou do tohoto zákona zapracovány formou novel. V posledním znění (zákon č.154/2010 Sb.) klade též přednost energetického využití odpadů před jejich skládkováním. Další úpravy a podrobnosti legislativy této problematiky stanovují vyhlášky [1; 6].

Hierarchie způsobů nakládání s odpady ve znění zákona č.154/2010 Sb.:

- 1) Předcházení vzniku odpadů
- 2) Příprava k opětovnému použití
- 3) Recyklace odpadů
- 4) Jiné využití odpadů, například energetické využití
- 5) Odstranění odpadů

Katalog odpadů

Příloha č. 1 vyhlášky ministerstva životního prostředí (dále MŽP) č. 381/2001 Sb. stanovuje katalog odpadů, podle kterého jsou všichni původci a oprávněné osoby povinni odpady zařazovat. Odpady rozděluje na „nebezpečný odpad“ a „ostatní odpad“. Struktura označení odpadu se skládá z šestimístného číselného označení, ve kterém první dvojčíslí udává skupinu odpadu, druhé dvojčíslí podskupinu a třetí určuje druh odpadu. Původce je podnikající osoba, při jejíž činnosti vznikají odpady, nebo podnikající osoba, jejíž výsledkem činnosti je změněna povaha nebo složení odpadů. Původcem je i obec od okamžiku, kdy nepodnikající osoba odpad odloží na určené místo. Současně se obec stává majitelem těchto odpadů. Každá osoba, která je oprávněna k nakládání s odpady podle zákona „o odpadech“. [1; 6]

2.1 BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉ ODPADY

Biologicky rozložitelný odpad (dále jen bioodpad) je jakýkoliv odpad, který je schopen aerobního nebo anaerobního rozkladu. Jeho poměrné zastoupení představuje přibližně pětinu celkové produkce odpadů ČR. Jsou to zejména odpady zemědělské, lesnické, potravinářské, papírensko - celulózářské, ze zpracování dřeva, kůží, textilního průmyslu, dále zahrnuje i biologicky rozložitelné komunální odpady (komunální bioodpady) včetně odpadů ze zeleně, čistírenské a vodárenské kaly a biologicky rozložitelný obalový odpad. [6]

Právní rámec nakládání s bioodpady tvoří zejména zákon o odpadech a dále vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. „o podrobnostech nakládání s odpady“, vyhláška č. 341/2008 Sb. „o podrobnostech nakládání s biologickými odpady“, zákon č.156/1998 Sb. o hnojivech ve znění pozdějších předpisů a v oblasti kompostování je částečně závazná norma ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“.

Vyhláška č. 341/2008 Sb. obsahuje 8 příloh:

Příloha č. 1 uvádí seznam bioodpadů a požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání bioodpadů. Uvádí zvláště seznam využitelných bioodpadů a seznam bioodpadů využitelných v malých zařízeních.

Příloha č. 2 se věnuje technologickým požadavkům na jednotlivé způsoby biologického zpracování bioodpadů a technickým požadavkům na vybavení a provoz zařízení biologického zpracování bioodpadů. V kapitole A je definován způsob biologického zpracování bioodpadů, v kapitole B jsou jmenovány základní požadavky na jednotlivá zařízení (jsou zde rozlišena malá zařízení, kompostárny a další zařízení s procesem kompostování a bioplynové stanice a další zařízení s procesem anaerobní digesce) a v kapitole C jsou stanoveny technologické požadavky na úpravu bioodpadů s tím, že pro kompostování stanovuje příslušné teplotní režimy nutné k hygienizaci v závislosti na použité technologii kompostování. Kapitola D se zabývá kontrolou způsobů biologického zpracování bioodpadů z hlediska účinnosti hygienizace.

Příloha č. 3 vyhlášky se zaměřuje na „malá“ zařízení, tedy stanovuje základní požadavky na jejich zařízení a provoz.

Příloha č. 4 vyhlášky stanovuje obsah provozního řádu zařízení k využívání bioodpadů.

Příloha č. 5 vyhlášky se věnuje hodnocení a kontrole výstupů. V části A této přílohy jsou stanoveny požadavky a kritéria pro hodnocení a kontrolu výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů. Část A obsahuje tabulku s limitními hodnotami koncentrací vybraných rizikových látek a prvků u výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů, dále uvádí znaky jakosti rekultivačního kompostu, kritéria pro kontrolu účinnosti hygieničce prováděné na základě sledování indikátorových organismů a seznam metod určených ke stanovení mikrobiologických ukazatelů. Část B této přílohy obsahuje technické normy pro testy a analytická stanovení a v části C jsou na základě roční produkce výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů stanoveny četnosti jejich kontrol.

Příloha č. 6 vyhlášky se věnuje zařazování výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů do skupin podle způsobu jejich využití. Rozdělení výstupů do jednotlivých skupin se netýká výstupů z malých zařízení, které smějí být používány jen mimo zemědělskou nebo lesní půdu k zakládání či údržbě veřejné zeleně v místě příslušných obcí. Výstupy ze zařízení k využívání bioodpadů rozděluje tato příloha do dvou skupin a třech tříd dle způsobu jejich využití.

Příloha č. 7 vyhlášky uvádí zásady zpracování plánu vzorkování výstupů ze zařízení.

V příloze č. 8 vyhlášky je stanovena podoba protokolu o vzorkování se všemi náležitostmi. [9; 12]

2.1.1 Komunální bioodpady

Komunální odpad je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.

Přímá definice komunálních bioodpadů neexistuje, lze však konstatovat, že je to podíl komunálních odpadů, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Vyskytuje se též v podobném odpadu komunálnímu, vznikajícím z činností podnikajících osob a činností z údržby zeleně, soukromých i veřejných prostranství. [2; 8]

Tab. 1 - Seznam komunálních bioodpadů dle katalogu odpadů [8]

Katalogové číslo	Název druhu odpadu
20 01 01	Papír a lepenka
20 01 08	Biologicky rozložitelný materiál z kuchyní a stravoven
20 01 10	Oděvy
20 01 11	Textilní materiály
20 01 38	Dřevo neuvedené pod 20 01 37
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
20 03 01	Směsný komunální odpad
20 03 02	Odpad z tržišť
20 03 07	Objemný odpad

Tab. 2 - Prognóza produkce tuhých komunálních odpadů (údaje v tis. t/rok) [10]

	1999	2010	2013	2020
Prognóza produkce tuhých komunálních odpadů	3 730	5 135	5 291	5 673
Z toho BRO	1 529	3 081	3 174	3 403

2.1.2 Technologie kompostování

Tato kapitola se zabývá legislativou kompostovatelných bioodpadů a legislativou samotné technologie kompostování.

Kompostování je proces probíhající za aerobních podmínek, při kterém dochází k rozkladu organických látek v kompostovaných surovinách, kde je konečným akceptorem elektronů při rozkladných reakcích kyslík. Výsledkem kompostování je především převedení nestabilních organických surovin na stabilní produkt (kompost), což doprovází snížení objemu a hmotnosti, pokles obsahu vody a potlačení nežádoucích mikroorganismů v původních surovinách. Veškeré změny způsobují mikroorganismy, které vlivem svých somatických

enzymatických systémů rozkládají vyšší organické molekuly na jednodušší sloučeniny a jednoduché prvky. [9]

Zjednodušeně lze celý proces vyjádřit obecnou rovnicí:

Organický materiál + O₂ -> kompost + CO₂ + H₂O + teplo

Je však nutno zabezpečovat optimální podmínky na rozvoj mikroorganismů a to především:

- úpravou poměru uhlíku a dusíku (C:N) v čerstvém kompostu v rozmezí 30 - 35:1
- úpravou vlhkosti
- zabezpečením minimální přítomnosti fosforu (cca 0,2% suš.)
- úpravou pH
- úpravou zrnitosti a homogenity substrátu
- provzdušňováním substrátu
- regulací teploty v průběhu kompostování [10]

Způsoby využívání odpadů jsou označovány příslušným kódem dle přílohy č. 3 k zákonu o odpadech.

Tab. 3 - Způsoby využívání odpadů dle přílohy č. 3 k zákonu o odpadech. [1]

kód	Způsob využívání odpadů
R3	Získání / Regenerace organických látek, které se nepoužívají jako rozpouštědla (včetně kompostování a dalších biologických procesů).
R10	Aplikace o půdy, která je přínosem pro zemědělství nebo zlepšuje ekologii.

2.1.2.1 Právní a technické normy kompostování

V oblasti kompostování je důležité, aby tento způsob nakládání s odpady (zbytkovými materiály) neohrožoval životní prostředí a aby byl zdravotně nezávadný vůči občanům. Výsledný produkt (kompost) musí být též zdravotně nezávadný. Zároveň musejí být zohledněny problémy České republiky v problematice biologicky rozložitelných odpadů a v souladu s nimi nakládat s těmito odpady na vysoké technické úrovni. [11]

Evidence odpadů

Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. „o podrobnostech nakládání s odpady“ stanovuje seznam odpadů, u nichž je oprávněná osoba povinna při jejich odběru a výkupu vést evidenci osob, od kterých odpad odebrala nebo vykoupila, způsob vedení této evidence, limitní hodnoty a způsoby hodnocení odpadů dle vyluhovatelnosti a seznam nebezpečných odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky.

Průběžná evidence obsahuje: množství vzniklého odpadu (název, katalogové číslo a kategorie odpadu); způsob naložení s odpadem; množství předaného odpadu k dalšímu využití nebo odstranění; množství přijatého odpadu; datum a číslo zápisu.

Průběžná evidence musí být vedena při každé jednotlivé produkci odpadů. Za jednotlivou produkci se považuje naplnění shromažďovacího nebo sběrového prostředku nebo převzetí odpadu od původce nebo oprávněné osoby nebo předání odpadu jiné oprávněné osobě.

Významným dokumentem nezbytným pro vydání stavebního povolení kompostárny je tzv. provozní řád kompostárny, na který navazuje tzv. provozní deník; oba dokumenty určuje příloha č. 1 vyhlášky č. 383/2001 Sb. [9]

Provozní řád kompostárny

Obsahuje 3 skupiny. Skupina A zahrnuje zařízení ke sběru a výkupu odpadů, která slouží i ke skladování odpadů. Skupina B zahrnuje zařízení, kde jsou uplatňovány technologie k využívání a odstraňování odpadů (tedy způsob využití R3 dle kódu přílohy č. 3 k zákonu o odpadech); obsahuje stejné kapitoly a je rozšířena o další. Do Skupiny C jsou zařazena zařízení, kde jsou platňovány technologie k využívání odpadů (R10).

Provozní řád zařízení skupiny A (včetně skladů odpadů) obsahuje 15 bodů, které zahrnují např. základní údaje o zařízení a jeho účelu, informace o technologii zpracování surovin, obsluze a charakteristice zpracovávaných odpadů o evidenci apod. Provozní řád zařízení skupiny B obsahuje navíc 6 bodů, mezi nimiž je např. energetická náročnost zařízení v přepočtu na hmotnostní jednotku přijímaných odpadů či odpady, odpadní vody a emise do ovzduší vystupující ze zařízení a jejich skutečné vlastnosti včetně popisu způsobu jejich řízení.

Provozní řád pro kompostování odpadů a pro biologické transformační procesy obsahuje mimo náplň provozního řádu pro zařízení skupiny A následující kapitoly:

Podrobná kvalitativní charakteristika odpadů umožňující jejich přijetí do zařízení; suroviny, včetně případných biopreparátů a biostimulátorů, které jsou v technologii R10 používány; způsob sledování a řízení kvality biologických procesů a účinnosti technologie (včetně hodnocení zdravotního rizika). [9]

Provozní deník kompostárny

Příloha č. 1 vyhlášky č. 383/2001 Sb. stanovuje provozní deník. V provozním deníku musejí být zaznamenány všechny skutečnosti charakteristické pro provoz zařízení, např. jména obsluhy, spotřeba energií, vody, množství přijatých odpadů, záznamy o směru a síle větru, množství srážek. Dále zahrnuje další údaje z monitorování provozu zařízení včetně výsledků monitorování provozu zařízení ve zkušebním i trvalém provozu, dále záznamy o školení pracovníků zařízení, o kontrolách zařízení apod. Dohromady obsahuje 12 kapitol, kromě kterých je požadováno vedení evidence kompostárny podle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“. Podle této normy musí být o každé zakládce vedena evidence obsahující údaje nezbytné pro kontrolu dodržení této normy a minimálně musí obsahovat:

- a) údaje o stanovišti zakládky
- b) výsledky rozborů surovin
- c) množství použitých surovin
- d) údaje o technologii
- e) výsledky vstupní kontroly

Z těchto požadavků vyplývá i evidence teplot v průběhu zrání, data překopávek a údaje o kompletaci a vyskladňování jednotlivých zakládek.

Podle § 4 vyhlášky 383/2001 Sb. musí být kompostárna řádně označena informační tabulí čitelnou z volně přístupného prostranství. Obsahuje název zařízení, druhy zpracovávaných odpadů podle katalogového čísla, název firmy (sídlo), příslušný správní úřad a provozní dobu.[9]

2.1.2.2 Technické a legislativní požadavky na kompost

Výroba kompostů je regulována dvěma základními zákonnými normami:

1. Zákonem o hnojivech č. 156/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů.
2. Zákonem o odpadech č. 185/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Dále se řídí vyhláškou č. 474/2000 Sb. „o stanovení požadavků na hnojiva“ a některými závaznými body normy ČSN 465735 "Průmyslové komposty".

Režimem zákona o odpadech se musí řídit všichni výrobci kompostů, pokud alespoň jedna složka vyráběného kompostu je definována vlastníkem jako odpad. Zvlášť přísný režim platí pro zpracování nebezpečných odpadů. [11]

Na průmyslové komposty se vztahuje zákon č.156/1998 Sb. o hnojivech ve znění pozdějších předpisů. Je tedy považován za hnojivo se všemi právními důsledky. Kompost však není podle přílohy č. 3 vyhlášky č. 474/2000 Sb. „statkové hnojivo“. Statkovým hnojivem je podle tohoto zákona hnůj, hnojůvka, močůvka, kejda, sláma jakož i jiné zbytky rostlinného původu vznikající zejména v zemědělské prvovýrobě, nejsou-li dále upravovány. Výroba kompostu se zákonem o hnojivech řídí v případě, kdy je kompost vyráběn a uváděn na trh. To znamená, že se v plné míře vztahuje na výrobu a distribuci průmyslového kompostu a v některých případech i faremních a komunitních kompostů, pokud jsou uváděny na trh. [9]

Registrace kompostu

Vývozci a dovozci smějí uvádět na trh pouze hnojiva, která jsou registrována podle zákona o hnojivech. To neplatí, pokud jde o hnojivo splňující podmínky tohoto zákona, které odpovídá typu hnojiva uvedeného ve vyhlášce č. 474/2000 Sb., o kterém vyhláška stanoví, že je hnojivem ES a které je slovy „hnojivo ES“ označeno. Registrace kompostu se provádí na základě registračního řízení ÚKZÚZ dle zákona o hnojivech ve znění pozdějších předpisů. [9]

Aplikace kompostu

Je zakázáno použití hnojiv, které by mohly vnést do půdy rizikové prvky nebo látky v množství větším než stanoví vyhláška 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Požadavek chrání před kontaminací půdy a tím i potravního řetězce. Nesmí dojít k přímému vniknutí hnojiva do povrchových vod a sousední pozemky.

Podle ustanovení § 9 zákona o hnojivech nesmí být kompost používán na zemědělské nebo lesní půdě, pokud způsob jeho využití neumožňuje rovnoměrné pokrytí pozemku, jeho použití může vést ke vzniku škody na těchto pozemcích, sousedících pozemcích, popřípadě i v jeho širším okolí, dále na půdě přesycené vodou, pokryté vrstvou sněhu a vyšší než 5 cm nebo promrzlé do hloubky více než 8 cm. Subjekty, hospodařící na zemědělských nebo lesních pozemcích jsou povinny soustavně a řádně vést evidenci o aplikaci kompostu a všech dalších vstupů do půdy.

Podmínky použití kompostu na zemědělské půdě: [10]

- musí se dodržet období zákazu hnojení
- omezení aplikace hnojiv s ohledem na půdní a klimatické podmínky
- maximální limit organického hnojení 170 kgN / ha
- omezení aplikace hnojiv na svažitých půdách
- omezení aplikace hnojiv v blízkosti vodních toků, rybníků a nádrží
- omezení aplikace hnojiv na podmáčených, zaplavených, promrzlých a sněhem pokrytých půdách

Jakostní požadavky na kompost

Způsob výroby kompostu na kompostárně je usměrněn platnou ČSN 465735. Závaznost této normy je jen v některých bodech. Podle této normy musí být průmyslový kompost hnědá, šedočerná až černá homogenní hmota, drobtovitá až hrudkovité struktury bez nerozpojitelných částic. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek. Závazný je požadavek ČSN na nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v kompostovatelných odpadech. Další ustanovení ČSN jsou závazné pouze při výrobě registrovaného průmyslového kompostu. Jde zejména o požadované jakostní znaky s výjimkou znaku homogenity. [10]

Tab. 4 – Požadavek na jakost kompostu dle normy ČSN 46 5735 [10]

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	od zjištěné hodnoty spalitelných látek od jejího dvojnásobku, avšak min. 40 a max. 65
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 25
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min 0,6
Poměr C : N	max. 30 : 1
Hodnota pH	od 6 do 8,5
Nerozložitelné příměsi v %	Max. 2
Homogenita celku v % relativních	± 30

Požadavky na nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v kompostech uváděných do oběhu jsou uvedeny v tabulce v příloze č. 1 k vyhlášce č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva ve znění pozdějších předpisů. Z této vyhlášky vyplývá, že registrované komposty musí splňovat požadavky podle třídy I.

Tab. 5 - Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku kompostu podle třídy [10]

látka	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Třída I.	10	2	100	100	1,0	5	50	100	300
Třída II.	20	4	300	400	1,5	20	70	300	600

Tab. 6 - Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku suroviny [10]

látka	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Třída I.	50	13	1000	1200	10	25	200	500	3000

Skladování kompostu

Vyhláška č. 274/1998 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv ve smyslu pozdějších změn určuje podmínky skladování hnojiv a statkových hnojiv. Tuhá hnojiva se skladují ve skladech jako volně ložená nebo balená. Volně ložená hnojiva se skladují v hromadách označených názvem hnojiva do max. výše 6 m a od sebe navzájem min. 2 m. Existuje možnost jejich skladování i v odděleních nebo v zásobnících označených názvem hnojiva, kde hromady mohou dosáhnout nejvýše po horní hranu přepážky. Balená hnojiva do hmotnosti 50 kg se skladují v pytlích uložených na sebe do výše max. 1,5 m nebo paletách do max. výše 3,5 m. [9]

2.1.3 Koncepce nakládání s bioodpady

Dopad bioodpadů na životní prostředí je výrazně negativní - mohou způsobovat tvorbu skleníkových plynů, kyselých výluhů při hydrologických procesech a případně ohrožovat zdraví lidí a zvířat výskytem patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů. Ukládáním bioodpadů na skládkách, vzniká za anaerobních podmínek skládkový plyn, tedy plyn s hlavním podílem metanu. Relativní účinnost metanu je přibližně dvacetkrát vyšší ve srovnání s oxidem uhličitým, následkem je výrazný vliv na antropogenní skleníkový efekt a

následné změny klimatu. Emise skleníkových plynů v odpadovém hospodářství představují téměř 5 % celkového množství produkovaných skleníkových plynů všech resortů ČR. [6]

2.1.3.1 Plán odpadového hospodářství

Plán odpadového hospodářství je dán nařízením vlády ČR 197/2003 Sb. Česká republika se vstupem do EU zavázala k postupnému omezování skládkování komunálních bioodpadů. Evropská směrnice Rady EU 1999/31/EC „o skládkování odpadů“ požaduje po členských státech, aby stanovily vnitrostátní strategii za účelem provádění omezení bioodpadů ukládaných na skládku. Tato strategie by měla obsahovat opatření zaměřená na dosažení cílů zejména pomocí recyklace, kompostování, výroby bioplynu, tedy pomocí materiálového a energetického využití. Cílem je snížení maximálního množství komunálních bioodpadů ukládaných na skládky způsobem, aby podíl této složky činil v roce 2006 nejvíce 75% hmotnostních, v roce 2009 nejvíce 50 % hmotnostních a výhledově v roce 2016 nejvíce 35% hmotnostních z celkového množství komunálního bioodpadu vzniklého v roce 1995. Členské státy, které v průběhu roku 1995 ukládaly na skládku více než 80 % komunálních odpadů, což je případ ČR, mohou odložit splnění cíle maximálně o 4 roky. Pro ČR jsou tedy tyto závazné roky 2010, 2013 a 2020. Další cíl plánu je zvýšit materiálové využití komunálních odpadů na 50 % do roku 2010 ve srovnání s rokem 2000. Současná situace však napovídá, že dosažení těchto cílů plánu odpadového hospodářství ČR není dosud uspokojivě plněno, zvláště špatná situace je v případě ukládání komunálního bioodpadu na skládku, kde navzdory stanovenému cíli dochází dokonce k nárůstu množství tohoto odpadu ukládaného na skládku.[2; 4; 5; 6; 7]

Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady mj. stanovuje seznam odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky všech skupin katalogu a využívat k jejich rekultivaci. Patří mezi ně i kompostovatelné odpady s výjimkou kompostovatelných komunálních bioodpadů (skupiny 20 00 00 dle katalogu odpadů), pro které je harmonogram postupného omezování jejich ukládání na skládky stanoven v bodě 1 přílohy č. 9 vyhlášky s výjimkou odpadů ukládaných do skládek již provozovaných se zavedenou výrobou bioplynu v souladu s provozním řádem skládek.

3 BIOPLASTY A BIODEGRADABILNÍ POLYMERY

Pojem bioplast je mnohdy chápán nejednotně. Základní podstatou definic však zůstává fakt, že pocházejí z biomasy. Ačkoli pocházejí výlučně z biomasy, mohou být v průběhu technologie výroby směřovány s dalšími biologicky rozložitelnými polymery (BRP), často na bázi ropy, přísadami (aditivy) a plastifikátory za účelem získání požadovaných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. Výsledné produkty mohou tedy pocházet z větší či menší části z obnovitelného zdroje. Vedle těchto plastů existují plasty se schopností biologického rozkladu či oxo-biodegradovatelné plasty, což jsou plasty na bázi ropy s obsahem aditiv (např. d2w), které umožňují rychlý rozklad polymeru. Bioplasty mohou vykazovat podobné vlastnosti jako konvenční polymery, tedy plasty vyrobené pomocí petrochemického průmyslu, popř. mohou disponovat specifickými vlastnostmi jako je např. prodyšnost. Tato práce se zabývá především biologicky rozložitelnými plasty z obnovitelných zdrojů.

3.1 VLASTNOSTI

Většina bioplastů je schopna biologické degradace. Některé plasty původem z biomasy však nedisponují vlastností biologické degradability, protože se svou chemickou strukturou prakticky neliší od plastů stejného typu na bázi ropy, např. Polyamid 11, nízký či vysokohustotní polyetylen od brazilské společnosti Braskem.

Existují různá kritéria podmiňující vlastní asociaci posuzovaného polymeru s pojmem bioplast. Jinými slovy, podmínky, které by měly polymery splňovat, aby byl považován za bioplast. [35]

Obecné vlastnosti bioplastů:

- jsou biologicky rozložitelné
- jsou vyrobeny z obnovitelných surovin
- jejich výroba je ekologicky (ekonomicky) šetrná

další kritéria pro posuzování bioplastů:

- doba, za kterou jsou schopny již nepotřebné plasty se navrátit do životního prostředí
- doba obnovy zdroje, ze kterého polymery pocházejí (rostliny)
- množství odpadů a znečištění vzniklých při jejich výrobě

Míru ekologické šetrnosti dobře ilustruje tzv. LCA (Life Cycle Assessment) tedy hodnocení životního cyklu materiálu. Tento ukazatel hodnotí celý koloběh „života“ polymeru, včetně procesu výroby až po jeho rozklad, veškeré materiálové vstupy i výstupy a celkový dopad na životní prostředí apod.

3.2 CELOSVĚTOVÁ PRODUKCE

Současná celková produkce všech plastů se pohybuje nad hranicí 250 miliónů tun za rok. Celková produkce bioplastů je na rychlém vzestupu. V roce 2006 činila celková roční produkce téměř 200 tisíc tun a v současnosti se pohybuje již kolem 1 miliónu tun za rok. Na rok 2012 je odhadován nárůst o téměř 500 tisíc tun (viz. tab. 3). Navzdory těmto skutečnostem se v současnosti bioplasty na celkovém plastikařském průmyslu podílí sotva z 1 %.

Tab. 7 - Celosvětová roční produkce plastů [13]

Rok	1950	1976	1989	2002	2006
Produkce plastů (v mil. tun)	1,5	50	100	200	245

Tab. 8 - Celková roční produkce bioplastů [t . 10³] [14]

Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kompostovatelné bioplasty (v tis. tun)	185	258	258	409	423	619	748
Nekompostovatelné bioplasty	5	18	18	25	145	345	695
Bioplasty celkem	190	276	276	434	568	964	1 443

3.3 HISTORIE

Již v dávné historii lidstva byly využívány materiály jako: jantar, škrob, šelak, slonovina či tzv. gutaperča (guma, jejíž původ je ve šťávě stromů) pro svoje specifické vlastnosti. Američtí indiáni vyvíjeli a zdokonalovali svou techniku ve výrobě náradí a lžic ze zvířecích rohů dávno před příchodem Evropanů. Stopy lepidel připravených z pšeničného škrobu byly nalezeny na egyptských papyrech datovaných kolem roku 3 500 př. n. l. Rovněž staré čínské písemnosti se dochovaly na materiálech vyrobených pomocí škrobu. Přírodní polymery byly využívány ve starověkém Římě a dále ve středověku. V Evropě byl po dlouhou dobu využíván škrob jako základní surovina pro výrobu pudrů, zásypů, úpravu textilií a měl další technické použití a dále např. lisovaná rohovina byla používána pro výrobu šperků a tabatěrek.

V roce 1838 byla poprvé izolována a chemicky formulována celulóza francouzským chemikem Anselmem Payenem. Do komerční sféry začaly biopolymery zasahovat především v druhé polovině 19. století, kdy se americký vynálezce John Wesley Hyatt pokoušel najít náhradu za slonovinu při výrobě kulečnickových koulí. V roce 1869 jím byl patentován derivát celulózy, jímž byly koule povlakovány. Tento materiál byl naneštěstí vysoce hořlavý a tak Hyatt pokračoval ve výzkumu a rok na to vyvinul celuloid. Tento termoplast na bázi celulózy se začal brzy průmyslově vyrábět a byl využíván především k výrobě fotografických a filmových svitků.

Na začátku 20. století se dramaticky změnil směr, kterým se plasty do té doby ubíraly. Hlavní příčinou bylo rozpoznání ropy jako zdroje s vysokým potenciálem pro výrobu plastů a následný prudký vzestup výroby plastů na bázi ropy (zejména v období 2. světové války), který pokračuje do současnosti. A tak např. kyselina polyléčná (PLA), která byla poprvé vyrobena kolem roku 1890 a dnes je jedním z předních biopolymerních materiálů, byla lehce nahrazena plasty na bázi ropy.

Ve 20. letech minulého století experimentoval Henry Ford s využitím sojových bobů v automobilovém průmyslu. Výsledkem byly autodílny jako např. volanty, přístrojové desky a panely vyrobené z polymeru na bázi sojových bobů. V roce 1941 byl představen prototyp tzv. „plastového automobilu“ s karoserií kompletně zhotovenou z tohoto materiálu. Nicméně z důvodu probíhající 2. světové války jeho sériová výroba zahájena nebyla.

V roce 1950 vyvinuli dva Kanadáné Harry Wasylyk a Larry Hansen rozložitelný odpadkový pytel z nízkohustotního polyetyleny (LDPE).

Masová výroba plastů z ropy vedla k odstavení přírodních polymerů do ústraní. Jedním z mála přírodních polymerů, který se dokázal udržet, byl např. celofán používaný jako balicí materiál. V současnosti v celkové výrobě plastů tvoří podíl přírodních plastů přibližně 1 %. Z důvodu minimalizace nabývajících objemu plastového odpadu existují snahy k využití přírodních polymerů a jejich výroba je na značném vzestupu každým rokem. [15; 16]

3.4 PŘÍROZENĚ SE VYSKYTUJÍCÍ POLYMERY

Přírodní polymery byly prvními makromolekulárními látkami využívané v technické praxi. Z chemického hlediska mají přírodní makromolekulární látky složitější strukturu molekul a odlišnou stavbu polymerního řetězce.

Přírodní polymery lze rozdělit na [17]:

- Polysacharidy (celulóza, škrob)
- Polyterpeny (přírodní kaučuk)
- Bílkoviny
- Nukleonové kyseliny

Bílkoviny a nukleonové kyseliny v plastikářském průmyslu mnoho uplatnění nenacházejí, proto se tato část práce zabývá polysacharidy a polyterpeny, které uplatnění v průmyslu mají.

3.4.1 Polysacharidy

Polysacharidy (dříve nazývané karbohydráty) jsou tvořeny monosacharidovými jednotkami, navzájem spojeny glykosidickou vazbou. Pokud se molekula polysacharidu skládá pouze z jednoho druhu monosacharidové jednotky, nazývá se homopolysacharid, v opačném případě se jedná o heteropolysacharid. Polysacharidy jsou polymerní cukry, často nerozpustné ve vodě a nemají sladkou chuť. [18]

Polysacharidy jako celulóza a škrob mohou být též nazývány „agro-polymery“.

Celulóza

Celulóza je nejrozšířenějším biopolymerem na zemském povrchu. Tvoří základní stavební hmotu mnoha rostlinných tkání. Její trvalá periodická produkce na Zemi představuje 180 miliard tun za rok. Je známa již více než 170 let, obecně je však využívána nejméně 5 tisíc let. Až do roku 1992 nebyl známý způsob její chemické syntetizace. Lze ji však získat z

vlastních přirozených zdrojů, jako je např. bavlna, len (99 %), dřevo z lesních stromů (40 – 50 %) a sláma. Celulóza je základní surovinou pro mnoho technických výrobků.

Struktura celulózy je tvořena nerozvětvenými řetězci přibližně 500 jednotek D-glukózy. Jednotlivé makromolekuly jsou dlouhé, přímé a nitkovité. Jsou spojeny ve svazečky obsahující krystalickou formu s malým amorfním podílem. Tyto svazečky svým postupným uspořádáním vytvářejí vyšší struktury – tzv. mikrofibrily, které dohromady tvoří tzv. fibrily. Tato vlákna se vyznačují vysokou pevností v tahu. Tímto způsobem se vytvářejí buněčné stěny rostlin a dřevin. [15; 17; 18; 19]

Škrob

Škrob je polysacharid, přirozeně se vyskytující ve většině rostlin, avšak jen z mála rostlin jej lze prakticky získat. Rostliny, které jsou schopny syntetizovat škrob, jej ukládají jako zásobní látku energie. Je to jejich výsledný produkt fotosyntézy, jehož vznik provází tři fáze: 1. vznik škrobu v listech, 2. rozklad na sacharidy a transport, 3. zpětná syntéza a tvorba škrobových zrn. Tato zrna nejsou chemicky nebo fyzikálně vázaná na jinou složku. Jsou tedy volná a relativně snadno získatelná.

Škroby se liší podle svého chemického složení, zejména podle různého podílu makromolekul amyulózy a amylopektinu. Tyto polysacharidy jsou tvořeny glukózovými řetězci o délce 200 až 2000 molekul glukózy. Amylóza má lineární a amylopektin rozvětvenou strukturu řetězce. Podíl těchto dvou složek určuje jejich odlišné vlastnosti chemické, fyzikálně chemické a koloidně chemické. Cílem pěstování rostlin pro využití škrobu by mělo být získání škrobových zrn s vysokým podílem jedné složky (amyulózy nebo amylopektinu) s vhodnou fyzikální strukturou zrna a malým rozdílem ve velikosti jednotlivých zrn. Podíl amyložní frakce představuje u obilnin a brambor asi 24 %, u dřeňových hrachů až 84 %. [20]

Amylóza je v horké vodě rozpustný polysacharid, avšak amylopektin je ve vodě téměř nerozpustný. Ve studené vodě se tedy škrob nerozpouští a vzniká suspenze - tzv. škrobové mléko. Po zahřátí se utvoří škrobová disperse - tzv. škrobový maz. Při hydrataci dochází k narušení vodíkových můstků. Amylóza difunduje do roztoku a dochází k nevratnému mazovatění škrobu. Disperse škrobu ve vodě je nestabilní, z důvodu retrogradace (vzniku sraženin).

Škrobová zrna mají různou velikost a strukturu, podle toho, z které rostliny pocházejí. Škrob obsažený v semenech je se výrazně liší od škrobu obsaženém v hlízách zejména obsahem vody. Též se škrobová zrna jednotlivých plodin liší tvarem a velikostí. Zrna kukuřičného škrobu jsou hranatá s dutinkou, zrna bramborového škrobu jsou oválného (lasturovitého) tvaru, kdežto zrna pšeničného škrobu mají tvar kulovitý s deformacemi. Protože se hlízy nacházejí v prostředí s převahou vody, jsou zrna tohoto škrobu veliká, polydispersní a nakypřelá. Voda je tedy schopna procházet hlízou směrem dovnitř i ven. Naopak škrob v zrnech (kukuřice, pšenice) je uložen na opačném místě rostliny, kde obsah vody činí nejvýše 20 %. Tento škrob je většinou monodisperzní, drobný, vstup vody dovnitř zrna jde velmi obtížně. [21; 22; 23]

Hlavní plodiny poskytující škrob jsou kukuřice, brambory, pšenice a tritikále. Šlechtění plodin jako kukuřice, pšenice, hrách nebo brambory se zaměřuje na vyšlechtění nových odrůd pro průmyslové využití.

3.4.2 Polyterpeny

Izoterpenoidy jsou rozsáhlou skupinou organických látek, často rostlinného původu. Obsahují 2 a více izoprenových jednotek. Dělí se na terpenoidy a steroidy. Polyterpeny spadají do skupiny terpenoidů. Jejich nejčastějšími zástupci jsou kaučuk a gutaperča.

Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuky patří mezi elastomery. Vyznačují se velkou pružností, se schopností účinkem vnější síly se deformovat a poté vrátit se do původního tvaru. Kaučuky jsou základní surovinou pro výrobu pryží, které se vyznačují řídkou trojrozměrnou polymerní sítí. Pryže lze získat pomocí technologie vulkanizace, která je zpravidla mechanicky odolnější oproti kaučuku.

Je obsažen v některých rostlinách ve formě mlékovité šťávy, která se nazývá latex. Pro využití v praxi má hospodářský význam zejména strom Kaučukovník brazilský (*Hevea brasiliensis* z čeledi Euphorbiaceae; pryžcovité) pěstovaný na plantážích v Jižní Americe. Latex obsahují speciální trubkovité buňky, které jsou umístěny ve spodní vrstvě kůry stromu po celém jeho povrchu včetně kořenů a větví. Získává se technologií čepování. Tato technologie spočívá v provedení šikmého zářezu do kůry stromu (zasahující největší počet

šikmo uložených latexových buněk), pod který se umístí nádobka, do níž odtéká latex za pomoci výtlačného tlaku.

Během několika hodin klidového stavu se přírodní latex samovolně vysráží. Pro účel uchování po delší dobu v rovnoměrném stavu disperse je nutné ho stabilizovat. K tomuto účelu slouží nejčastěji amoniak.

Působením různých chemických činidel vznikají produkty nazývané thermopreny, které jsou podobné balatě, šelaku či ebonitu. Podle použitého činidla a délky jeho působení vznikají deriváty kaučuku používané pro účely nátěrové, tiskařské nebo impregnační až ke hmotám termoplastickým určeným k tváření za zvýšených teplot. Na principu cyklizovaného přírodního kaučuku jsou založeny některé druhy pojiv pryže s kovy. [24]

Gutaperča

Jiným podobným přírodním materiálem, jenž má dávné využití, je gutaperča. Zdrojem tohoto materiálu je především strom druhu *Paladium gutta* původem z jihovýchodní Asie.

Stejně jako kaučuk je gutaperča polyterpen, polymer isoprenu - (trans-1,4-polyizoprén). Avšak na rozdíl od kaučuku, který je izomerem cis, je gutaperča izomerem trans, v důsledku čehož je gutaperča mnohem méně elastická.

Z důvodu výborných izolačních vlastností (relativní permitivita ϵ_r je 3 až 4,9, např. ϵ_r pro papír je 3,5) nachází uplatnění v izolaci kabelů, zejména podmořských. Dále je využívána např. při výrobě nepromokavých látek. Používá se rovněž jako výplň kořenových kanálů zubů. Tento materiál lze formovat při teplotách okolo 50 °C. [25; 26]

Balata

Je tvrdý gumový materiál získaný sušením mléčné šťávy ze stromů Guayany (druh *Manilkara bidentata*), kterou lze získat technologií čepování. Má podobné vlastnosti jako Gutaperča, je tedy nepružný, pevný, odolávající vodě a po zahřátí měkne. Je používán jako levnější varianta Gutaperči, např. pro výrobu golfových míčků a strojních pásů. [27]

Šelak

Tento vysoce viskózní materiál je získáván z výměšků červce lakového. Používá jej jako ochranu vlastních larev. Působením světla šelak tvrdne, proto se musí uchovávat ve tmě. Jeho bod varu je 80 – 120 °C. V minulosti se používal pro výrobu gramofonových desek. [28]

3.5 BIOPLASTY NA TRHU

Tato kapitola pojednává o jednotlivých bioplastech dostupných zejména na trhu. Zabývá se technologií jejich výroby, jejich vlastnostmi, aplikacemi v praxi a jejich hlavními výrobci.

Nejrozšířenějšími bioplasty současnosti jsou nesporně škrobové plasty a kyselina polymléčná (PLA). Škrobové plasty byly průkopníky na trhu a spolu s PLA tvoří největší podíl v celkové světové produkci bioplastů. Vysoká produktivita PLA je zapříčiněna zejména výrobní kapacitou společnosti Cargill Dow. Existují však ještě další bioplasty, které zatím nejsou vyráběny v tak širokém měřítku, přesto se s nimi můžeme setkat. Jedná se hlavně o polyhydroxyalkanoáty (PHA). Další bioplasty jsou též komerčně vyráběny, ale v mnohem menším měřítku (PUR). Ostatní bioplasty jsou spíše ve fázi výzkumu a není jasné kdy nebo jestli budou komerčně využívány.

Způsob výroby bioplastů lze rozdělit [37]:

- Extrakce z biomasy (např. škrob, celulóza)
- Syntéza monomerů získaných z biomasy (např. kyselina polymléčná)
- Přímá produkce mikroorganismy či plodinami (např. polyhydroxyalkanoáty)

Jednotlivé kategorie biopolymerů v komerční sféře lze rozdělit:

- polysacharidy – tyto polymery vychází z modifikovaných přírodních polymerů
- polyestery – jejich monomery jsou produkovány zejména technologií fermentace surovin z obnovitelných zdrojů.

Tab. 9 – BRP pocházející výlučně z obnovitelných zdrojů (bioplasty) [38]

Kategorie polymeru	Druh bioplastu
Polysacharidy	Škrobové polymery
	Polymery na bázi celulózy
Polyestery	Kyselina polymléčná (PLA)
	Polyhydroxyalkanoáty (PHA)

Polymery z obnovitelného zdroje, bez schopnosti biodegradace jsou např.: [38; 39; 40]

Další polymer pocházející z obnovitelného zdroje, avšak bez schopnosti biologické degradace je např. Nylon 11. Tento polyamid je vyráběn z ricínového oleje (ze semen skočce obecného) pod obchodním názvem Rilsan[®] francouzskou společností Acrema. Vyznačuje se vysokým bodem tání (až 190 °C) a dobrými mechanickými vlastostmi. Jinými případy jsou LDPE a HDPE (resp. nízko a vysoko hustotní polyetylen) od brazilské společnosti Braskem, jejichž půvo je v cukrové třtině. Chemické složení i fyzikální vlastnosti jsou identické s PE pocházející z ropy, tudíž nejsou biologicky rozložitelné, avšak dobře recyklovatelné. Braskem vyrábí též PP (polypropylen) původem z biomasy (zatím pouze v laboratorním měřítku).

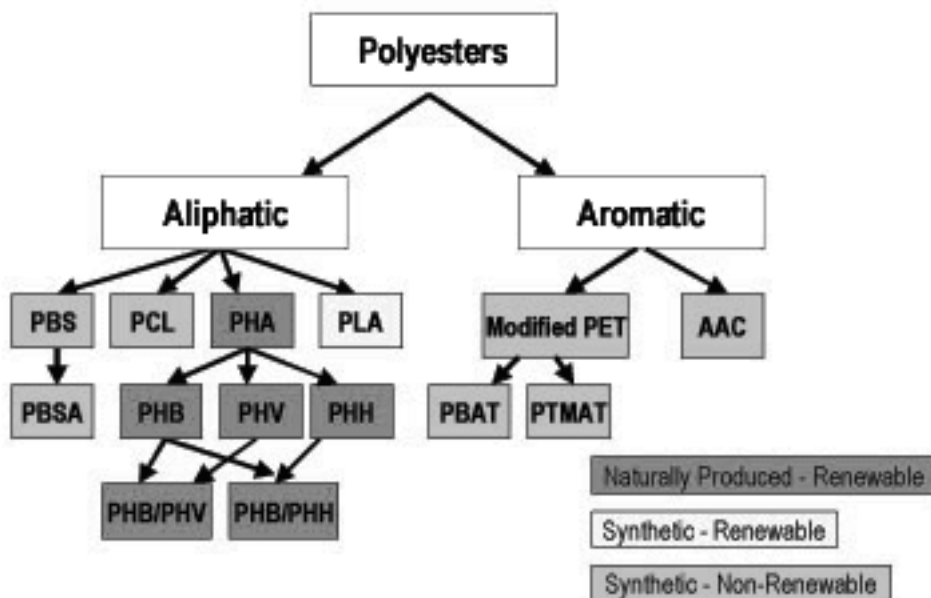
Polymery pocházející částečně z obnovitelného zdroje jsou např.:

Polytrimetylenetereftalát (PTT), polybutylenetereftalát (PBT), polybutylen sukcionát (PBS) a některé polyuretany (PUR).

Polymery na bázi ropy se schopností biodegradace jsou např.:

Polykaprolakton (PCL) - tento syntetický alifatický polyester má nízkou teplotu tání a je velmi dobře zpracovatelný. Vzhledem k jeho vysoké ceně je často využíván ve směsích s kukuřičným škrobem, čímž se snižuje výsledná cena.

Obr. 1 - Biologicky rozložitelné polyestery z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů [30]



3.5.1 Škrobové polymery

Polymery na bázi škrobu jsou v současnosti nejrozšířenějším druhem biopolymeru. Jedná se o materiál, vycházející z modifikace přírodního škrobu. Z důvodu jeho nízké ceny je lákavou alternativou plastů na bázi ropy. Směšováním (tzv. blending) s jinými polymery lze získat plasty různých mechanických vlastností. Lze získat ohebné plasty podobné polyetylenům (PE) nebo neohebné jako jsou např. polystyreny (PS). Škrob může být směšován s konvenčními plasty i ve své nativní formě, které získají schopnost dezintegrace.

Většina produkce škrobových polymerů (75 %) je cílena na výrobu obalového materiálu. Dále se z nich vyrábí sáčky a nákupní tašky či zemědělské fólie, se schopností biologického rozkladu. Používají se hlavně k jednoúčelovým výrobkům s krátkou životností. Největšími výrobci na trhu jsou Novamont (IT), National Starch (USA), Biotec (GE) a Rodenburg (NL).

V roce 2005 se na celkové produkci blendů na bázi škrobu podílely kopolymery na bázi ropy zhruba z 50 %. Je však odhadováno (společností Novamont), že v důsledku zdokonalování techniky a výzkumu, bude do roku 2020 možné vyrábět polymery stejných vlastností ze 100 % podílem škrobu. [38; 41]

Jsou rozeznávány tři hlavní skupiny škrobových plastů (primární proces):

- čistě škrobové plasty
- částečně fermentované škrobové plasty
- plasty na bázi modifikovaného škrobu

3.5.1.1 Technologie výroby

Čistě škrobové polymery nejsou žádným způsobem chemicky ani biologicky upravovány v primárním procesu. Stejně jako u částečně fermentovaných škrobů, jsou tyto polymery většinou předurčeny k technologii extruze (resp. k modifikaci) a/nebo jsou směšovány v tzv. blendy, za účelem získání termoplastu. Termoplasty na bázi čistého škrobu (např. od Biotecu) jsou limitovány v aplikacích kvůli své hydrofilitě a mechanickým vlastnostem.

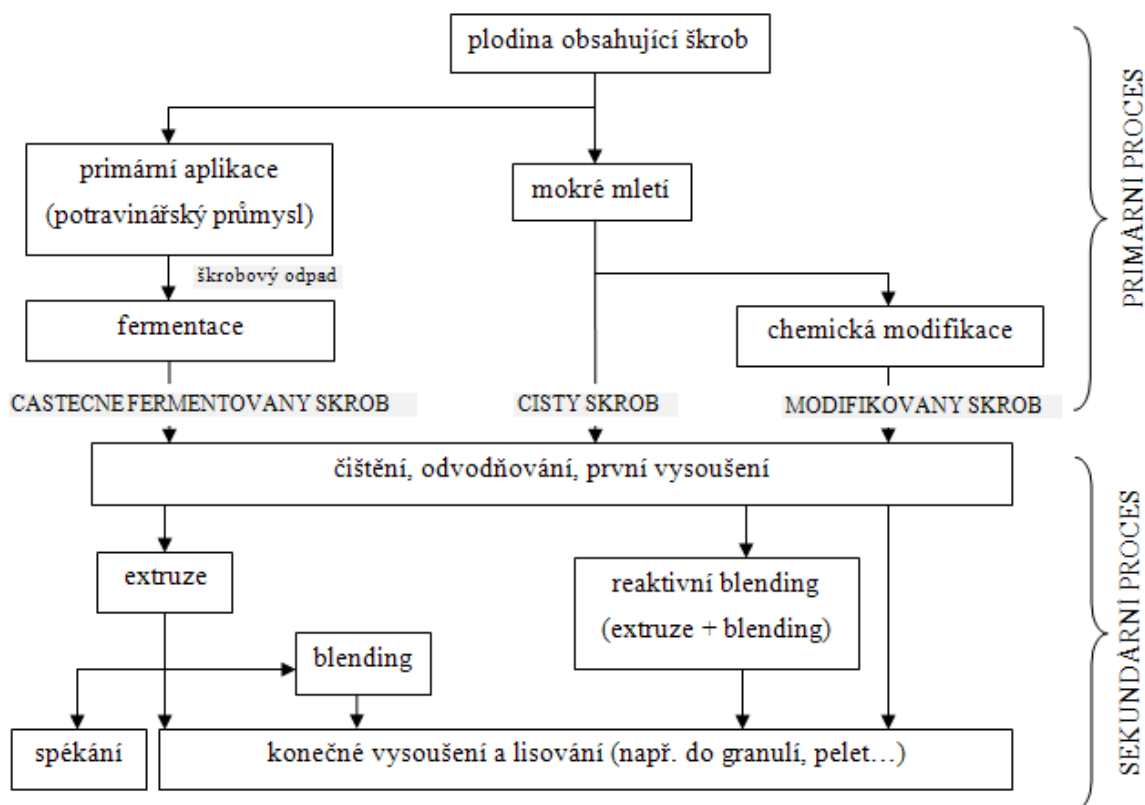
Podstata blendů spočívá ve směšování (blending) škrobového termoplastu s dalšími polymery. Může probíhat po extruzi nebo přímo při extruzi - tzv. reaktivní blending. Škrobové polymery získané technologií reaktivního blendingu jsou však méně rozšířeny.

Termoplastické blendy na bázi škrobu jsou nejrozšířenějšími škrobovými polymery (např. Novamont).

Modifikovaný škrob je chemicky, fyzikálně či jiným způsobem upravený škrob, který se vyznačuje specifickými nebo zlepšenými vlastnostmi oproti škrobu přírodnímu. Většinou má zachovánu alespoň jednu původní charakteristickou vlastnost. Účelem modifikačního procesu je tedy některou původní vlastnost zvýraznit, jinou potlačit nebo vytvořit vlastnost novou.

Částečně fermentované škroby jsou vyráběny zejména fermentací bramborového odpadu (společnost Rodenburg) z potravinářského průmyslu. Tento odpad z brambor se skládá hlavně ze škrobu (72 % sušiny) a dále z proteinů (12 % sušiny), tuků a olejů (3 % sušiny), anorganické části (10 % sušiny) a celulózy (3 % sušiny). Bramborový odpad je skladován v silážních zásobnících přibližně po dobu dvou týdnů za účelem stabilizace a částečné fermentace. Při tomto procesu dojde k přeměně menší části škrobu na kyselinu mléčnou pomocí přirozeně se vyskytujících bakterií mléčného kvašení (*Lactobacillus*). Dále je materiál zpracován technologií extruze a postupným vysoušením pro získání termoplastických vlastností. Částečně fermentované škrobové plasty jsou určeny pro mechanicky méně náročné aplikace a nejsou tolik rozšířeny. [38; 41]

Obr. 2 – technologie výroby polymerů na bázi škrobu [38]



Nejčastěji používaným typem škrobu je kukuřičný škrob. Prvním krokem je extrakce škrobu. To je docíleno technologií mechanického mokrého mletí kukuřice. Škrobová jádra jsou napřed máčena v ředěném kyselinovém roztoku, čímž dojde k jejich změkčení. Dále je z jader odstraněn olej a jemnějším mletím jsou z nich oddělena vlákna. Následuje separace (v centrifuze) částic o nižší hustotě než má škrob. Nakonec je škrob vypírán a sušen popř. lisován.

technologie extruze

Extruze je proces, při kterém se zvlhčený materiál bohatý na škroby, bílkoviny a vlákninu přemění v lehce plynoucí plastickou hmotu. Působením vlhkosti, tlaku, teploty a mechanické síly na škrobový materiál dochází k želatinaci škrobových složek. Plastická hmota při výstupu z extrudéru prochází expanzní tryskou, kde ztrácí vlivem poklesu tlaku vodu. Vlivem několikanásobné expanze se získá pórovitá křehká struktura produktu. Extrudát je mikrobiologicky čistý. Charakteristické vlastnosti extrudovaných výrobků jsou závislé na vlastnostech výchozího materiálu. [42]

3.5.1.2 Vlastnosti

Škrobové polymery jsou částečně krystalické, avšak mnohem méně než celulóza. Hustota škrobových polymerů je vyšší než je tomu u většiny bioplastů a konvenčních termoplastů. Fólie z termoplastických škrobů a blendů jsou velice průhledné. Mají nízkou odolnost vůči rozpouštědlům a olejům, avšak blendy na bázi škrobu a PCL nikoli. Kvalita mechanických vlastností blendů závisí především na jeho ropné polymerové složce. Škrobové polymery jsou snadno zpracovatelné, avšak snadněji podléhají rozkladu. Jsou náchylné na vlhkost a proto je nelze použít v mnoha aplikacích. Jejich bariérní schopnosti vůči kyslíku jsou dobré a jsou přirozeně antistatické. Sami o sobě jsou dobře biologicky rozložitelné, ovšem u blendů s příliš vysokým podílem kopolymeru (např. na ropné bázi) může být tato vlastnost zhoršena, v důsledku vzájemných interakcí na molekulární úrovni. [38; 41]

Tab. 9 – Vlastnosti škrobových plastů [38]

Obch. název	Mater-Bi®	Mater-Bi®	Mater-Bi®	Bioplast®	Cornpol®
Složení	Škrob (>85%) / ko-polyester	Škrob / PCL	Škrob / acetát / celulózy	Škrob / acetát / celulózy	Modifikovaný škrob
Hustota (g / cm ³)	1,3	1,23	1,35	1,21	1,2
Pevnost v tahu (MPa)	25	31	26	38 - 44	30
Teplota tání (° C)	110	64	-	-	-

Komentář: Hodnoty byly určeny na základě ASTM metod.

3.5.1.3 Degradace

Biodegradace škrobových polymerů je výsledkem působení enzymů na glukózové řetězce, které jsou dále biologicky rozložitelné. Škrobové polymery podléhají zejména hydrolýze, z důvodu malé odolnosti vůči vlhkosti. S vyšší teplotou probíhá proces degradace rychleji.

3.5.1.4 Aplikace

Hlavní aplikace škrobových polymerů spočívají v obalovém materiálu a ve výrobě zemědělských fólií. V zemědělském sektoru to jsou hlavně „škrob-PCL“ blendy, ze kterých se vyrábějí mulčovací fólie, květináče a kapsle s pomalu se uvolňujícími agrochemikáliemi. Dále jsou tyto blendy používány k výrobě sáčků a pytlů určených na sběr bioodpadu, ochranných vrstev papírů, kartonů a bavlny. Dalšími aplikacemi výrobky ze škrobových plastů jsou: balicí fólie, nákupní tašky, struny, brčka, nádobí, pásy, technické fólie a tácky.

Vysoké uplatnění nacházejí tyto polymery též jako výplň pneumatik (např. pro Ford Fiesta a některé typy vozů od BMW). Umožňují různé výhody, např.: redukce hluku, nižší váha pneumatiky, nižší spotřeba paliva a CO₂ emise a nižší spotřeba energie pro výrobu pneumatik. Je odhadováno, že roční množství takto využitého škrobového polymeru se bude v roce 2020 pohybovat kolem 250 tisíc tun.[38]

3.5.1.5 Výrobci

Jeden z předních světových výrobců a průkopníků v oblasti škrobových bioplastů je italská společnost Novamont. Tato společnost, která zahájila vlastní výzkum v roce 1989, si dala za cíl vyvinout materiál z přírodního zdroje, se schopností se uplatnit v běžné praxi jako běžné plasty a který byl schopen biologického rozkladu kompostováním. Vlastní více než 60 patentů v oblasti škrobových polymerů a to zejména v oblasti blendů. V roce 2001 Novamont odkoupil technologii výroby fólií od německé společnosti Biotec včetně patentu výroby škrobového termoplastu. Jejím nejrozšířenějším produktem je Mater-Bi[®]. Tento materiál je tvořen směsí kukuřičného škrobu a PCL. Je plně kompostovatelný dle normy EN 13432. Největší odběratel této směsi v České republice je společnost HBABio, spol. s.r.o., která produkuje kompostovací pytle a nádoby z tohoto materiálu.[43; 44]

Rodenburg Biopolymers (Nizozemsko) je jediná společnost, jenž produkuje částečně fermentované škroby. Obchodním názvem produktu je Solanyl[®] a je ve formě granulí. Zaměřuje se na výrobu příslušenství k zahradničení.

Německá společnost Biotec nabízí škrobové termoplasty. Vlastní mnoho patentů v oblasti technologie extruze, blendů a modifikovaných škrobů. Jejimi produkty jsou termoplastický škrob Bioplast[®].

BIOP Biopolymer Technologies (Německo) vyrábí čistý granulátový škrob a blendy z bramborového škrobu pod obchodním názvem BIOPar[®]. Tento produkt se produkce 150 000 tun 2006 [38]

3.5.2 Kyselina polymléčná (PLA)

Získání polymerů na bázi PLA bylo v minulosti ekonomicky velice nákladné. PLA byla poprvé syntetizována před 150 lety, ale díky své nestabilitě ve vlhkém prostředí nenacházela do 60. let minulého století uplatnění. Především díky společnostem Cargill, Dupont a Coors Brewing, které na konci 80. let intenzivně pracovaly na výzkumu, který měl za cíl najít technicky a finančně efektivní způsob výroby PLA, má dnes tento materiál velký potenciál se uplatnit na trhu. Od roku 1994 probíhá jeho průmyslová výroba společností Cargill Dow (nyní její dceřinou společností NatureWorks).

PLA je lineární alifatický polyester, který je získán polymerizací kyseliny mléčné, pochází tedy z obnovitelného zdroje. Kyselina mléčná je nejjednodušší hydroxykarboxylová kyselina

s asymetrickým atomem uhlíku. Může být získána anaerobní fermentací uhlíkatých substrátů (např. glukózy, laktózy nebo škrobu a melasy) mikroorganismy či některými druhy hub. Kyselina mléčná získaná fermentací obsahuje dva optické monomery L (+) a D (-), jejichž vzájemný podíl může být předurčen v závislosti na použitých mikroorganismech.

Variabilita surovin, pro výrobu kyseliny mléčné je značná. V budoucnu se předpokládá s možností využití hydrolyzy lignocelulózy, tedy travní a dřevěné biomasy získané jako vhodného zdroje. Tuto hmotu obsahuje např. dřevo, sláma, obilí a odpad ze zemědělství. [38]

3.5.2.1 Technologie výroby

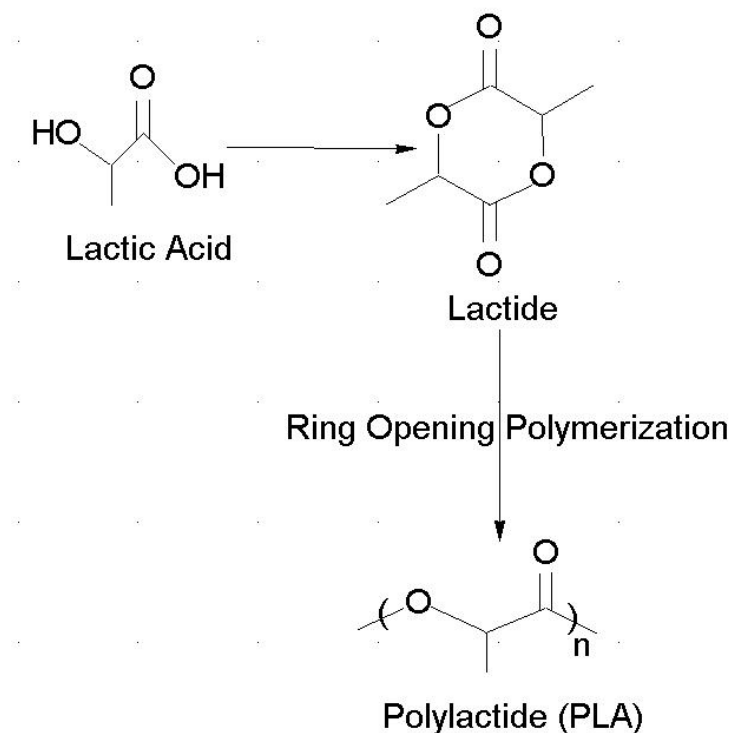
Prvním krokem je extrakce škrobu z biomasy. To je docíleno nejčastěji technologií mechanického mokrého mletí kukuřice. Škrob je následně přeměněn na cukr pomocí enzymatické nebo kyselé hydrolyzy. Dále cukr prochází procesem fermentace docílené mikroorganismy z rodu *Lactobacillus*, při které vznikne kyselina mléčná. Fermentace může být uskutečněna v kontinuálním či dávkovém procesu. Kyselina mléčná musí být odseparována z fermentátu a před vlastním procesem polymerace musí být vyčištěna.

K přeměně kyseliny mléčné na PLA s vysokou molekulární hmotností existují dvě hlavní cesty.

První (nepřímá) cesta vyvinutá společností Cargill je kontinuální proces polymerizace za otevřeného kruhu laktidu (ring-opening polymerisation, ROP). Kondenzací vodného roztoku PLA vznikne „prepolymer“ s nízkou molekulární hmotností. Dále je prepolymer depolymerizován za zvýšení teploty a snížení tlaku procesu polykondenzace, čímž vzniká směs isomerních monomerů laktidu (D a L).

V druhém způsobu (přímá cesta) je kyselina mléčná konvertována rovnou na PLA o vysoké molekulové hmotnosti. [38]

Obr. 3 – Technologie výroby PLA [45]



3.5.2.2 Vlastnosti

Kyselina polymlečná (PLA) je čirý materiál, jehož vlastnosti jsou podobné vlastnostem běžných syntetických termoplastů (např. mechanická pevnost, pružnost a tepelná stabilita). V mnoha aplikacích je tento biopolymer schopen nahradit konvenční termoplasty.

Tab. 10 – Vlastnosti polymerů na bázi PLA [38; 46]

Obchodní název	Ingeo™ Biopolymer 3001D	Biomer® L9000
Hustota (g / cm ³)	1,24	1,25
Pevnost v tahu (MPa)	62	70
Teplota tání (° C)	200	-

Komentář: Hodnoty byly určeny na základě ASTM metod.

Hustota PLA činí 1,25 g/cm³ a ve srovnání s PET, jehož hustota je 1,34 g/cm³ je o něco nižší, naopak vyšší než hustota polystyrenu (1,05 g/cm³) a mnoha dalších konvenčních plastů, jejichž hustota se většinou pohybuje v rozmezí 0,8 – 1,1 g/cm³. Je to průhledný materiál s vysokým leskem a minimálním zákalem, který je značně ovlivněn použitím aditiv. Čím nižší je stupeň krystalinity tím je materiál transparentnější a má více amorfni strukturu. Krystalinitu určuje též poměr isomerních monomerů (D a L). PLA se může vyskytovat ve 3

izomerních formách a to: poly-L-mléčná, poly-D-mléčná kyselina (částečně krystalické formy) a poly- meso-mléčná (resp. D, L-mléčná) kyselina, která je amorfní. Molekulární hmotnost, molekulová struktura a míra krystalinity záleží především na podmínkách, při kterých probíhá její polymerizace. S vyšší molekulovou hmotností narůstá i mechanická pevnost. V porovnání s polymery na bázi škrobu má nižší propustnost vlhkosti. Plasty na bázi PLA jsou však mnohem více hygroskopické (schopnost absorpce vody) v porovnání s konvenčními termoplasty (např. polypropylen).

K získání lepších mechanických vlastností může být PLA ko-polymerizována s dalšími cyklickými monomery, jako je např. PCL nebo může tvořit blendy s dalšími bioplasty, jako např. PLA / PHA (či PLA / škrob). Tyto materiály mají při vyšší odolnosti a životnosti zachovánu schopnost biologického rozkladu. Blendy PLA a přírodních vláken se vyznačují vyšší životností, tepelnou odolností a nižší cenou za jednotku hmotnosti. Umožňují využití PLA i v oblastech, kde samotné PLA není vhodné použít.

Přísady se uplatňují stejným způsobem jako u konvenčních plastů. Přísady používané pro získání požadovaných vlastností PLA zlepšují odolnost plastu vůči prostředí (např. vliv kyslíku, vlhkosti, UV záření a tepla), zahrnují též antistatické přísady a biologicky rozložitelné pigmenty a nátěry. PLA může být zpracována mírně upravenými strojními linkami pro zpracování plastů. [38; 41]

3.5.2.3 Degradace

Polymery z PLA mají relativně nízkou teplotu skelného přechodu (kolem 60 °C) a mají tendenci rychle degradovat ve vlhkém prostředí, což narůstá i s teplotou prostředí. Jsou odolné proti mikroorganismům přirozeně se vyskytujících v půdě. Polymer musí být nejdříve hydrolyzován za vyšších teplot (> 58 °C), za účelem redukce vlastní molekulární hmotnosti. To je důvodem proč se polymery na bázi PLA nemohou rozložit v zahradních kompostech. V běžných přírodních podmínkách či v podmínkách zahradního kompostu tedy polymer na bázi PLA vykazuje stabilitu. K docílení biologického rozkladu je nutné jej vystavit řízenému procesu kompostování, který umožňují průmyslové či menší kompostárny. Při teplotě 4 °C a relativní vlhkosti 100 % probíhá proces rozkladu 10 let. Při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 20 % je doba trvání rozkladu 5 let. Při zvýšení teploty na 60 °C a stejné relativní vlhkosti se proces zkrátí pouze na 2,5 měsíce. [38]

3.5.2.4 Aplikace

PLA plasty představují dobrou pachovou bariéru. Jsou vysoce odolné vůči tukům a olejům, nachází tedy uplatnění v obalech na oleje. Též se využívá jako obalový materiál (se zkrácenou životností) pro suché výrobky a výrobky v potravinářském průmyslu. Důvodem jsou jeho vlastnosti jako průhlednost, dostačující mechanické vlastnosti a odolnost proti vlhkosti pro balení potravin. Méně vhodné jsou však pro balení sycených nápojů z důvodu horší schopnosti tvořit bariéru vůči kyslíku, oxidu uhličitému a vodě. Jejich paropropustnost nachází uplatnění např. ve výrobě kompostovacích pytlů, kdy se obsah tašky vysouší a následně se pytel může rozložit v kopostu společně s jeho obsahem.

Polymery na bázi PLA jsou využívány nejen v potravinářském sektoru. V automobilovém průmyslu např. japonská společnost Toyota používá PLA blendy na výrobu automobilového interiéru včetně čalounění a koberečků. Sama provádí výzkum v oblasti PLA a nanokompozitů, které mj. zlepšují tepelnou odolnost materiálu.

V odvětví elektrotechniky např. společnost Fujitsu vyrábí počítačové klávesnice na bázi PLA. Japonská společnost Sony v minulosti vyráběla walkmany, které byly z 85 % vyrobeny z PLA. Společnost Sanyo Electric společně s Mitsui Chemicals vyvinuly první kompaktní disky z PLA (včetně jejich obalů). Na výrobu jednoho disku se spotřebuje údajně asi 85 zrn kukuřice. [38]

3.5.2.5 Výrobci

Největším výrobcem PLA je americká společnost NatureWorks, jejíž mateřskou společností je Cargill. Uvádí na trh produkt pod obchodním názvem IngeoTM. Tento materiál je biologicky rozložitelný a zcela kompostovatelný. Jeho základní surovinou pro výrobu je dextróza (cukr) získaný z kukuřice určené převážně pro průmyslové účely. Společnost má v plánu využívat zdroje bohaté na celulózu (např. dřeviny). Produkt IngeoTM je vyráběn nejméně v deseti variantách, přičemž každá nachází jiné využití, resp. je určena k jinému technologickému zpracování (liší se tedy i svými vlastnostmi). Jednotlivé varianty jsou určeny např. pro výrobu balících fólií, lahví na vodu, pro výrobu elektroniky, oblečení, kartónů či jednorázového nádobí. [46]

3.5.3 Polyhydroxyalkanoáty (PHA)

PHA je skupina alifatických polyesterů, produkovaných přímou cestou. Hlavními zástupci PHA polymerů jsou: poly(3-hydroxybutyrát) - resp. PHB, poly(3-hydroxybutyrát-ko-3-hydroxyvalerát) - resp. PHBV a poly(3-hydroxyhexanoát) - tedy PHH. Jsou známy jako mikrobiální polyestery, či bakteriální plasty. V komerční sféře byly poprvé rozšířeny společností Zeneca Bio products pod obchodním názvem Biopol[®] (PHBV) v polovině 70. let. Nejdříve byl tento bioplast produkován pouze mikroorganismy (později geneticky upravenými), následně byly k výrobě využity geneticky upravená sója a řepka olejka a později i druh rákosu „switchgrass“ s vysokými výnosy. Genetická úprava spočívala v přenesení bakteriálních genů do rostliny. Zbytek rostlin po výrobě PHA je využíván jako krmivo či jako biopalivo. V roce 1996 byl produkt Biopol[®] odkoupen společností Monsanto, která pokračovala ve výzkumu produkce PHA geneticky upravenými plodinami a v malém měřítku vyráběla tento ko-polymer (Biopol[®]). V roce 2001 byl odkoupen Biopol[®] společností zabývající se biotechnologií, jejíž název je Metabolix. Firma Metabolix vkládá naděje především do transgenní sóji a řepky olejné, které by měly produkovat PHB s vysokým hektarovým výnosem. [35; 38]

3.5.3.1 Technologie výroby

Výroba PHA bakteriální cestou zahrnuje 3 hlavní kroky: fermentace, izolace a čištění. Výroba probíhá ve velkém fermentoru, kde jsou v závislosti na druhu mikroorganismů nastaveny vhodné podmínky (teplota, živiny, pH prostředí atd.) pro kultivaci specifických bakterií tak, aby bylo dosaženo maximální produkce polymeru. V okamžiku této nejvyšší produkce je polymer z bakterií extrahován a následně čištěn. Dále musí být polymer z čištěného produktu izolován. Celý tento proces je ekonomicky velice náročný. [35]

3.5.3.2 Vlastnosti

PHA má semikrystalickou strukturu, stupeň krystalinity se pohybuje mezi 40 a 80 %. Mezi jejich vlastností patří kromě biologické rozložitelnosti a biokompatibility (jsou tolerovány v živých organismech) chiralita (asymetrie prostorového rozložení molekuly, která je důležitá v některých oblastech vědy). Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny jsou díky svým vlastnostem PHB, resp. PHBV a PHH.

Tab. 11 – Vlastnosti polymerů na bázi PHA (PHB,PHH) [38]

Obch. název	Mirel TM P1004	Biomer [®] P266	Biopol [®]	Nodax [®]
Složení	PHB	PHB	PHB	PHB-ko-PHH
Hustota (g / cm ³)	1,3	1,25	1,23 - 1,26	1,07 – 1,25
Pevnost v tahu (MPa)	24	24 - 27	-	10 - 20
Teplota tání (° C)	160 - 165	-	140 - 180	-

Komentář: Hodnoty byly určeny na základě ASTM metod.

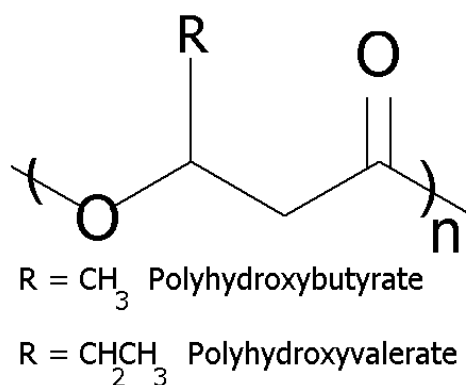
PHB je alifatický polyester, jehož stavební jednotkou je kyselina 3-hydroxybutanová. PHB je dobře zpracovatelný hydrofobní polyester svými vlastnostmi blízký konvenčním termoplastům (např. PP, PE). Je vysoce krystalický (téměř 80%) s vysokou teplotou tání (173 - 180 °C) v porovnání s ostatními polyestery. Teplota skelného přechodu je kolem 5 °C. Je vysoce odolný vůči organickým rozpouštědlům, avšak v některých aplikacích, z důvodu své křehkosti a vysoké tuhosti, je jeho použití omezeno. PHBV mají díky obsahu hydroxyvalerátu (HV) odlišné vlastnosti. Změny vlastností materiálu lze dosáhnout změnou obsahu HV. Při zvýšení obsahu HV dojde ke zvýšení rázové pevnosti a snížení teploty tání a teploty skelného přechodu, krystalinity, odolnosti vůči vlhkosti a pevnosti v tahu. Pro účel snížení krystalizace a změny mechanických vlastností mohou PHA vytvářet blendy s jinými polymery např. polysacharidy, polyvinyl alkohol, polykaprolakton nebo polyvinylchlorid.

[34; 35]

3.5.3.3 Degradace

PHA (resp. PHB a PHBV) jsou plně biologicky rozložitelné polymery. V závislosti na složení trvá jejich rozklad v řádech dnů až měsíců. PHA se rozkládají během kompostování. Optimální teploty pro nejběžnější PHA polyestery jsou kolem 60 °C při vlhkosti 55%. Kompletní rozložitelnost se za různých podmínek udává na dobu 1 – 6 měsíců. Jiné zdroje uvádějí rozklad dokonce do 20 dnů. Jsou-li vystaveny přírodním podmínkám, podléhají přirozeně se vyskytujícím mikroorganismům a dále podléhají enzymatické či chemické hydrolýze a nakonec se rozloží na oxid uhličitý a vodu. Mezi hlavní faktory ovlivňující rychlost degradace patří struktura vzorku, tloušťka materiálu, teplota a pH.

Obr. 4 - Molekula PHA, resp. PHB a PHBV [33]



3.5.3.4 Aplikace

V současnosti nachází PHA využití především jako speciální biodegradabilní a biokompatibilní materiál, ne však jako náhrada syntetických polymerů, jak bylo původně zamýšleno. Uplatnění na trhu je spíše sporadické. V roce 1990 použila německá firma Wella obaly z Biopolu pro nový šampón. Využití bakterií bude v dlouhodobém horizontu spíše v oblasti syntézy speciálních kopolymerů, případně v oblasti výzkumu. [35]

3.5.3.5 Výrobci

Metabolix je společnost, zabývající se především výzkumem v oblasti bioplastů. Na trh v současnosti uvádí produkt pod obchodním názvem Mirel[®], skrze svoji dceřinou společnost Telles. Splňuje normy kompostovatelnosti. [47]

3.6 DEGRADACE BIOPLASTŮ

Degradaci polymeru lze chápat jako změnu vlastností způsobenou fyzikálními, chemickými či biologickými vlivy způsobujícími rozpad vazeb řetězce polymeru.

3.6.1 ZPŮSOBY DEGRADACE BIOPLASTŮ

Základní vlivy způsobující degradaci polymerů jsou: fyzikální, biologické a chemické.

Každá degradační reakce probíhá tímto způsobem:

1. Expozice povrchu polymeru světelnému záření, teplotě, chladu, chemickým sloučeninám nebo mikroorganismům
2. Narušení povrchu polymeru a difúze prostředí dovnitř polymeru
3. Reakce prostředí a polymeru
4. Difúze reakčních produktů na povrch polymeru

5. Uvolňování reakčních produktů z povrchu polymeru do prostředí
6. Rozklad polymeru

Chemodegradace

Chemodegradace je proces, který využívá prostředí jako zdroj chemicky účinných látek indukujících degradaci plastu, většinou v kombinaci s nějakým dalším vlivem (fyzikálním, biologickým). Chemodegradace je účinná především u plastických hmot, které mají ve svém řetězci zavedeny funkční skupiny. Zatímco polyetylén je díky svojí jednoduché stavbě z etylénových jednotek relativně odolný vůči chemickým vlivům, je v případě přítomnosti hydroxylových skupin odolnost plastické hmoty s těmito skupinami snížena. Obecně lze říci, že čím více je na molekule polymeru funkčních skupin tím snadněji u nich může probíhat degradace. [52]

Fotodegradace

Fotodegradace je skupinou fyzikálních procesů uplatňujících se při degradaci plastů se zkrácenou životností. Zdrojem světelného záření majícího vliv na degradační procesy je sluneční svit. Světelné záření dopadající na ozařovaný plast může být jeho povrchem odraženo, rozptýleno, propuštěno nebo absorbováno. Fotochemické změny probíhají tehdy je-li absorbováno světelné záření o určité vlnové délce. Například karbonylová skupina C=O absorbuje záření o vlnové délce 187 nm a v rozmezí délek od 280 nm do 320 nm. Vazba C-C pak absorbuje záření o vlnové délce 195 nm a 230 nm až 250 nm. V polymerech, které obsahují výše uvedené skupiny, budou při ozařování těmito vlnovými délkami indukovány fotochemické reakce. Absorpcí světelného záření se zvětší obsah energie makromolekuly, která se dostává do vyššího energetického stavu. Největší část absorbované energie se spotřebuje na převod elektronového systému do vyššího kvantového stavu. Zbytek této energie je využit na tvorbu volných radikálů v makromolekulách indukujících rozklad některých plastů. [52]

Termická degradace

Teplota má na polymery vliv chemický a fyzikální. Tyto vlivy se podílejí na rozrušování chemických vazeb a na změně konformace molekul. Obecně platí, že k roztržení molekuly dojde v místě nejslabší vazby. Se zvyšujícím se stupněm teploty se zvyšuje stupeň

desintegrace molekuly plastu se zkrácenou životností. Sloučeniny obsahující aktivní skupiny odštěpují při zahřívání nízkomolekulární produkty. [52]

Biodegradace

O samotné biodegradabilitě nerozhoduje původ polymeru, nýbrž jeho chemické složení. Biodegradace probíhá, pokud je možno zužitkovat produkty z degradací předchozích pomocí mikroorganismů jako zdroj ulíku nebo energie. Základní podmínkou biodegradace je tedy rozklad řetězce polymeru na netoxický, ve vodě rozpustný a přijatelný substrát pro další zpracování mikroorganismy. Nejčastěji se na biodegradaci plastů se zkrácenou životností podílejí plísňe. Podmínkou jejich růstu je vysoká vzdušná vlhkost. Kromě výše uvedených podmínek hrají důležitou roli i další faktory, jako jsou kombinace materiálů, stupeň stáří plastů, mikroklima a podobně. Metabolity produkované plísněmi a bakteriemi způsobují degradaci samotného polymeru. U biodegradabilních polymerů se uplatňuje také enzymaticky katalyzované štěpení umožněné heteroatomy jiných prvků v řetězci polymeru. Enzymy (např. peptidáza) mohou štěpit polyamidovou vazbu a dokonce i vazbu esterovou. Při mikrobiální degradaci plastů se zkrácenou životností dochází k těmto chemickým pochodům:

1. dehydrogenace polymerů a adice vody, vznik alkoholů, které jsou oxidovány na mastné kyseliny,
2. adice volného kyslíku za vzniku hydroxyperoxidu, který se rozpadá a produkty reagují za vzniku alkoholů a dalších sloučenin, které jsou odbourávány až na octovou nebo propionovou kyselinu,
3. celulóza a některé termoplasty jsou přes pyruvát a acetylkoenzym-A převáděny do trikarboxylového cyklu. Vznikají tak kyselina citronová, jantarová, fumarová, jablečná atd.,
4. redukci dvojnásobné vazby mohou vyvolat aktinomycety a některé bakterie štěpení amidové i esterové vazby. [52]

3.6.2 Normy stanovující míru degradace

S příchodem BRP byly standardizačními organizacemi ISO (International organization for standardization), ASTM (American Society for Testing and Materials) a CEN (Comité Européen de Normalisation) vyvinuty celé řady biodegradabilních testů určených pro různá prostředí a pro různé podmínky. Zejména stanovení biodegradability ve vodě a v půdě za aerobních či anaerobních podmínek. Musela být vyvinuta metodika k určení míry rozložitelnosti plastu za daných podmínek. Předmět určený k testování má

podobu vzorku zkoumaného plastu nebo jím je obalový materiál. Míra rozložitelnosti je zjišťována nepřímo pomocí měření produkce oxidu uhličitého nebo spotřeby kyslíku. Pod zmíněné testy spadá i stanovení aerobní rozložitelnosti vzorku v kompostu. Odlišnosti jednotlivých standardů spočívají zejména v teplotě, při které je test prováděn nebo použitím inertním materiálu.

Biodegradabilita

Míru biodegradability stanovuje norma ČSN ISO 14855 - Stanovení úplné aerobní biodegradability za řízených podmínek kompostování - Metoda stanovení uvolněného oxidu uhličitého se skládá ze dvou částí. První část nese název "obecná metoda" a v druhé části "gravimetrické stanovení uvolněného oxidu uhličitého v laboratorním měřítku"

Dezintegrace

Míru dezintegrace stanovuje norma ISO 16929 „Stanovení stupně rozkladu plastů za definovaných podmínek kompostování v řízeném zkušebním testu“.

Kompostovatelnost

Za kompostovatelné se mohou označit ty BRP, které jsou schopny v daném časovém úseku podlehnout v prostředí kompostu do míry dané mezinárodními popř. národními normami. Může se jednat o BRP rostlinného, bakteriálního původu, ale i polymery na bázi ropy. Výhodou kompostování BRP na bázi petrochemického průmyslu je návrat živin do ekosystému.

Míru kompostovatelnosti stanovuje norma ČSN EN 13432 „Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci“. Tato evropská norma stanovuje požadavky a postupy pro určení kompostovatelnosti a možnosti anaerobní úpravy obalů a obalových materiálů pomocí čtyř následujících charakteristik:

- 1) biodegradabilita
- 2) rozpad v průběhu biologické úpravy
- 3) ovlivnění procesu biologické úpravy
- 4) účinnost na jakost výsledného kompostu

Podle této normy jsou obaly kompostovatelné, pouze pokud jsou uznány kompostovatelnými všechny jeho části, ze kterých se skládá.

3.7 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES KOPOSTOVÁNÍ BIOPLASTŮ

Vliv fyzikálních a chemických podmínek na rozklad polymerů v kompostu

Kompostovatelnost plastů nezávisí jen na chemických a fyzikálních podmínkách, ale i na počtu a druhu degradačních mikroorganismů přítomných v kompostu. Míra kompostovatelnosti tedy závisí na fyzikálních, chemických a nutričních podmínkách panujících v kompostu. Optimalizace těchto podmínek lze dosáhnout především úpravou vlhkosti, poměru C : N, teploty, pH, zrnitosti, homogenity substrátu a mírou jeho provzdušnění.

Vlhkost v kompostu

Míra vlhkosti v kompostu má velký význam pro růst mikroorganismů, jejichž extracelulární enzymy se podílejí na rozklad polymerních řetězců a pro abiotickou hydrolyzu. Nejvýznamněji se však vlhkost kompostu podílí na rozkladu polymerů, pro které je hydrolyza hlavním rozkladným mechanismem (např. PLA). Difundující voda do makromolekul umožňuje též snadnější přístup extracelulárních rozkladných enzymů, zvýší se aktivní povrch polymeru a tím se zrychlí proces rozkladu. [49; 50]

Obsah živin a pH

Podíl živin v kompostu má přímý vliv na vývoj mikrobiálních společenstev, nepřímo tedy ovlivňuje rozklad kompostovatelných polymerů. Během rozkladného procesu PLA mikroorganismy produkují ve formě metabolitu kyselinu mléčnou. Následný pokles hodnoty pH může vést k poklesu mikrobiální činnosti a tím i k inhibici degradačního procesu. Kyselé prostředí může působit i jako katalyzátor abiotické hydrolyzy polymerů. Nastaví-li se vhodné podmínky, jsou i tyto kyselé metabolity odbourány, proto je nutné nastavit správné nutriční a kyslíkové poměry. [49; 51]

Teplota

V případě tepelného rozkladu se vazby molekul rozpadají z důvodu růstu vnitřní energie. Teplota značně vypovídá o metabolické aktivitě mikrobiálních společenstev v kompostu a má přímý vliv na krystalinitu polymeru. Faktory degradace na sebe často

navazují a navzájem se ovlivňují. Pomocí zvýšené teploty se urychlí (popř. vůbec umožní) hydrolýza následovaná biodegradací a též se zintenzivní difuze vody do makromolekul polymeru. Plasty, které mají nízkou teplotu skelného přechodu např. PLA a PCL jsou snadněji kompostovatelné z důvodu přítomnosti těchto změn již při teplotách dosahovaných v termofilní fázi procesu kompostování. [49; 50]

Velikost a tvar částic

Rychlost a míru degradace ovlivňuje též velikost a tvar částic BRP. Rychleji se rozkládající plasty např. PCL a PBSA jsou v kompostu dezintegrovány na malé části již během termofilní fáze s celkově velkým aktivním povrchem a jejich původní tvar ztrácí na významu. Jinak je tomu u kompostování plastů např. PBS a PLA, které si zachovají svůj tvar i po termofilní fázi, tedy zde je tvar frakce na proces kompostování výrazně podstatnější. [49; 50]

Kyslík

Enzymatická biologická oxidace v kompostu probíhá, pokud je koncentrace kyslíku větší než 6 %. Pokud je koncentrace kyslíku nižší, změní se mechanismus enzymatické hydrolýzy a zužitkování mono a oligomerů jako důsledek přizpůsobení se na mikroaerobní popř. anaerobní prostředí mikroorganismy. Některé BRP např. PCL a PLA jsou dobře degradovatelné jen při aerobních podmínkách. Na odolnost vůči kyslíku má vliv propustnost polymeru pro kyslík, závisí především na chemickém složení polymeru, difuzi a rozpustnosti kyslíku v polymeru. [49; 50]

4 NÁVRH KOMPOSTÁRNY

V této kapitole se práce zabývá návrhem kompostárny, na zpracování komunálních bioodpadů s podílem bioplastů. Návrh vychází z charakteristiky vstupních surovin, z posouzení variantního řešení kompostárny a z použité techniky. Na závěr je návrh technicko-ekonomicky zhodnocen. Toto zhodnocení vychází z přibližných nákladů na techniku a výpočtu nákladů realizace kompostárny a přibližné ceny kompostu a jeho množství.

4.1 POSOUZENÍ VARIANTNÍHO ŘEŠENÍ KOMPOSTÁRNY

4.1.1 Způsob výroby kompostu [9]

A) Kompostování na volné ploše

1) Kompostování v plošných hromadách

Jedná se o nejstarší technologii kompostování. V minulosti byla využívána zejména pro nedostatečnost technických prostředků. V současnosti se používá ve velkých kompostárnách u městských aglomerací, kde se zpracovává zejména BRKO. Plošné hromady dosahují výšky až 5 m. Tyto hromady překopávají překopávače se speciálním mechanickým ústrojím.

2) Kompostování v pásových hromadách

Kompostované suroviny jsou zakládány do pásových hromad trojúhelníkového či lichoběžníkového průřezu na vodohospodářsky zabezpečených plochách se specifickými požadavky. Profil zakládky a její velikost (zejména šířka) úzce souvisí s použitou mechanizací. Délka hromad je omezena rozlohou plochy. Kompostování v pásových hromadách je ideální technologií pro provozování řízeného kompostování a umožňuje tedy vysoký stupeň mechanizace.

B) Kompostování v uzavřeném resp. polouzavřeném zařízení (intenzivní kompostovací technologie)

1) Kompostování v bioreaktorech

Kompostování v uzavřených bioreaktorech resp. fermentorech, v nichž je proces kompostování urychlován optimalizací aerace, vlhkosti a řízením teploty. Tyto reaktory mohou být z kovu či betonu. Umožňují vysoký stupeň řízení procesu kompostování.

2) Kompostování v boxech nebo žlabech

Využití již nepoužívaných silážních žlabů, které většinou zároveň tvoří vodohospodářsky zabezpečenou plochu. Kompostovací boxy jsou především vhodným zařízením pro místa, kde kompostování probíhá na veřejném prostranství a kde je nutné kompost zabezpečit před znehodnocením např. směsným odpadem. Jedná se o boxy, které mají perforované dno pro odvod zbytkové vody a lepší odvětrání. Pro minimalizaci vlivu venkovní teploty jsou boxy opatřené tepelnou izolací. Mají uzamykatelné čelní dveře a víka.

C) Kompostování ve vacích (AgBag kompostování)

Tato technologie spočívá v plnění polyetylenových vaků smíšeným organickým odpadem pomocí speciálního lisu. Při plnění se vkládá do prostoru vaku provzdušňovací hadice, kterou je zajišťováno nezbytné provzdušňování hmoty. Po naplnění se vak uzavře těsnicím páskem, který zabraňuje úniku tekutiny. Provzdušňování je řízeno monitorovací jednotkou, aby se dodržela optimální teplota při zrání kompostu. Po použití je vak recyklován. [53]

D) Vermikompostování

Kompostování pomocí žížal *Eisenia foetida* aj., které mají schopnost přeměňovat organickou hmotu na hnojivo s relativně vysokým podílem humusových látek a s obsahem regulátorů růstu pro rostliny (např. auxin). Představuje alternativu ke klasickému kompostování [22]

4.1.2 Varianty kompostovací linky [9]

1) Kompostovací linka s kolovým traktorem

Tato varianta je méně finančně náročná, avšak její výkonnost není nejvyšší. K zajištění jednotlivých operací je využit mobilní energetický prostředek (nejčastěji kolový traktor, popř. univerzální čelní nakladač či nosič nářadí) a připojitelný adaptér pro specifické operace technologie kompostování. Adaptér musí být schopen agregace s energetickým prostředkem. Tato agregace je též zprostředkována např. vývodovým hřídelem traktoru.

2) Kompostovací linka tvořená jednoúčelovými stroji

Po finanční stránce nejnáročnější varianta (pořizovací ceny strojů), avšak nejvýkonnější. Jednotlivé operace technologie kompostování vykonávají jednoúčelové stroje specializované na konkrétní činnosti. Tyto stroje mohou být např. samojízdné překopávače.

3) *Kompostovací linka kombinovaná*

Jedná se o kombinaci obou variant předchozích. Význam v praxi této varianty spočívá ve využití energetického mobilního prostředku na určitý počet jednotlivých operací procesu kompostování a jednoúčelových strojů na část zbývajících.

Pro tuto práci byla vybrána varianta: kompostování v plošných hromadách - na volné ploše s kompostovací linkou kolového traktoru jako energetického prostředku.

4.2 OPTIMALIZACE SUROVINOVÉ SKLADBY ZAKLÁDKY

Kompostárna je situována do příměstské zástavby. Slouží k využití komunálních bioodpadů a to: odpadů z údržby zeleně a volných ploch a kuchyňských bioodpadů.

4.2.1 Vstupní suroviny a jejich charakteristika

Vstupními surovinami jsou: tráva, listí a kuchyňský bioodpad. Do kuchyňského bioodpadu jsou zahrnuty bioplasty s maximálním podílem 5 %. Vyskytují se v převážné formě jednorázových obalů a sáčků na potraviny.

Tab. 12 - Celkové parametry jednotlivých složek surovinové skladby

	hmotnost	organické látky		dusík		vlhkost		P ₂ O ₂	
	[t]	[% suš.]	[t]	[% suš.]	[t]	[% suš.]	[t]	[% suš.]	[t]
tráva	1 250	80	1 000	1,5	18,75	55	687,5	0,6	7,5
listí	105	87	91,4	1	1,05	40	42	0,2	0,21
kuchyňský bioodpad ¹⁾	1 050	78	819	1,2	12,6	70	735	0,5	5,25
celkem	2 405	79,4	1910,4	1,35	32,4	60,9	1464,5	0,41	9,97

1) max 5 % podíl této složky komunálního bioodpadu tvoří bioplasty

Tab. 13 - Celkový objem kompostovaných odpadů

	hmotnost [t]	objem [m ³]	objemová hmotnost [kg · m ³]
tráva	1 250	4 167	300
listí	105	1400	75
kuchyňský bioodpad	1 050	1 400	750

Výpočet obsahu uhlíku v sušině v surovinách [3]

$$\%C = 0,51 \cdot (\%OL) + 0,48 \quad /1.1/$$

%C - obsah uhlíku

%OL - obsah organických látek

Obsah uhlíku v trávě:

$$C_1 = 0,51 \cdot 80 + 0,48 = 41,28 \%$$

Obsah uhlíku v listí:

$$C_2 = 0,51 \cdot 87 + 0,48 = 44,85 \%$$

Obsah uhlíku v kuchyňském bioodpadu:

$$C_3 = 0,51 \cdot 78 + 0,48 = 40,26 \%$$

4.2.2 Výpočet poměru C:N

Při výpočtu je třeba zohlednit procentické zastoupení uhlíku a dusíku u každé suroviny a zároveň jejich vlhkost. [3]

$$C : N = \frac{\sum_{i=1}^n \% C_i \cdot M_i \cdot (1 - \%VL_i)}{\sum_{i=1}^n \% N_i \cdot M_i \cdot (1 - \%VL_i)} \quad /1.2/$$

C_i, N_i - procentické obsahy uhlíku a dusíku v i-té surovině [%]

M_i - množství i-té suroviny [t]

VL_i - vlhkost [%]

$$C : N = \frac{[C_1 \cdot M_1 \cdot (1 - \%VL_1)] + [C_2 \cdot M_2 \cdot (1 - \%VL_2)] + [C_3 \cdot M_3 \cdot (1 - \%VL_3)]}{[N_1 \cdot M_1 \cdot (1 - \%VL_1)] + [N_2 \cdot M_2 \cdot (1 - \%VL_2)] + [N_3 \cdot M_3 \cdot (1 - \%VL_3)]}$$

$$C : N = \frac{[41,28 \cdot 1250 \cdot (1 - 0,55)] + [44,85 \cdot 102 \cdot (1 - 0,4)] + [39 \cdot 1050 \cdot (1 - 0,7)]}{[1,5 \cdot 1250 \cdot (1 - 0,55)] + [1 \cdot 102 \cdot (1 - 0,4)] + [1,2 \cdot 1050 \cdot (1 - 0,7)]}$$

$$C : N = 30,3$$

Celkový poměr směsi je C : N = 30,3 : 1.

4.2.3 Výpočet celkové vlhkosti [3]

$$V_c = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot VL_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \cdot 100 [\%] \quad /1.3/$$

V_c - celková vlhkost surovin [%]

M_i - množství i-té suroviny [t]

VL_i - příslušná vlhkost i-té suroviny [%]

$$V_c = \frac{M_1 \cdot VL_1 + M_2 \cdot VL_2 + M_3 \cdot VL_3}{M_1 + M_2 + M_3} \cdot 100$$

$$V_c = \frac{1250 \cdot 0,55 + 105 \cdot 0,4 + 1050 \cdot 0,7}{1250 + 105 + 1050} \cdot 100 = 60,89 \%$$

Celková vlhkost surovin činí 60,89 %.

4.2.4 Charakteristika výsledného kompostu

Výpočet předpokládaného množství a kvality vyzrálého kompostu. Výpočet spočívá v odečtení hmotností připadající na ztráty. U kompostů z biodegradabilních odpadů dosahují hmotnostní ztráty v průběhu zrání zakládky 30 – 50 % celkové hmotnosti zakládky. Nižší

hodnoty ztrát lze očekávat u zakládek s vyšším podílem zeminy, bahna, smetků apod., naproti tomu u zakládek s převahou travní hmoty, listí, odpadů ze zeleniny, BRKO apod. je potřeba uvažovat s vyššími hodnotami. Z celkového množství ztrát připadají $\frac{3}{4}$ na ztráty vody a $\frac{1}{4}$ na ztrátu organických látek. Ztráty dusíku a fosforu jsou zanedbatelné. [3; 54]

Tab. 14 - Celková hmotnost ztrát při odhadovaném 40 % ztrátovém podílu

	hmotnost [t]	voda [t]	organické látky [t]	dusík
celkové množství kompostovaného materiálu	2 405	1 464.5	1 910,4	32,4
ztráty 40%	962	721.5	240.5	zanedbány
celkový vyzrálý kompost	1 443	743	1 670	32,4

4.3 TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ KOMPOSTÁRNY

Správný a efektivní chod kompostárny zajišťují stroje a ostatní technické vybavení. Pomocí těchto strojů lze vhodným způsobem upravit vstupní materiál (drtič) a dále příznivě ovlivňovat podmínky, za kterých proces kompostování probíhá (překopávač). V konečné fázi lze upravit výsledný kompost za účelem expedice (prosévací zařízení). Aby byl možný správný a co nejefektivnější provoz kompostárny, je při výběru nutné brát ohled na vlastnosti konfiguraci strojů. [9; 54]

K provozu kompostárny bylo vybráno následující zařízení:

Energetický prostředek

Byl vybrán kolový traktor typu DORADO F 75, který má výkon 72 kW a čtyřválcový motor Zetor 1104. Hmotnost činí 2 305 kg.

Cena zařízení: 1 400 000 Kč

Drtič

Bylo vybráno zařízení od společnosti PEZZOLATO, typ S 7000 G. Jedná se o stroj poháněný vývodovým hřídelem kolového traktoru. Pracovním ústrojím je podávací válec o 64 kladivech. Jeho výkonnost drcení materiálu je 20 m³/h a hmotnost je 1 600 kilogramů. [9]

Cena zařízení: 18 600 €, tedy 465 000 Kč (při kurzu 25 Kč / €).

Prosévací zařízení

Rotační rošt Easystar od německé společnosti KOMPTECH. Výkonnost zařízení je 150 m³/h a má vlastní elektrický pohon. Zrnitost výstupního materiálu je 0 – 10 mm a 25 a více mm.

Cena zařízení: 60 000 Kč. [9]

Překopávač kompostu

Výběr překopávače kompostu je uskutečněn pomocí výběrového řízení v následující kapitole.

4.3.1 Výběrové řízení na překopávač

V této kapitole jsou představeny překopávače kompostu, které jsou závislé na energetickém prostředí. Z níže uvedeného seznamu překopávačů bude jeden vybrán pomocí výběrového řízení. Volba překopávačů navazuje na variantu kompostárny.

Do výběrového řízení byly zařazeny překopávače, které splňují základní požadavky. Byla určena maximální výše pořizovací ceny, která tvoří s maximální teoretickou výkonností překopávače rámec výběrového řízení, od kterého se odvíjí výpočty.

Podmínky výběrového řízení:

- Překopávače kompostu musí být schopny agregace s energetickým prostředkem, což vyplývá z variantního řešení kompostárny.
- Maximální pořizovací cena nesmí přesáhnout 30 000 €.

Výběrového řízení se zúčastní 3 překopávače:

- | | | |
|---|---|--------------------------------|
| A | - | Překopávač kompostu CMC-ST-250 |
| B | - | Překopávač kompostu PRT 2500 |

C - Překopávač kompostu NPK 250

Tab. 15 – Parametry překopávačů bez vlastního pohonu [9]

		A)	B)	C)
Výrobce		Compost Systems GmbH, Rakousko	Pezzolato, Itálie	Ostratický, s. r. o., Týnec u Břeclavi
Dodavatel pro ČR		Agrointeg, s. r. o., Brno	SOME, s. r. o. Jindřichův hradec	Ostratický, s. r. o., Týnec u Břeclavi
Typ		ST 250	PRT 2500	NPK 250
Pracovní prostor [mm]	Šířka	2 500	2 500	2 500
	Výška	1 400	1 200	1 200
Přepravní rozměry stroje [mm]	Šířka	4 100	-	-
	délka	1 970	-	-
	výška	3 600	-	-
Hmotnost (kg)		3 800	2 500	700
Výkonnost stroje [m ³ / h]		1000 m ³ /hod teoreticky ca. 500 m ³ /hod v praxi	700	600
Způsob připojení		tažený	tažený	nesený zadní / přední
Požadovaný příkon [kW]		35-70 PS	37,5	>60
Cena [€]		20 500	12 900	7 619
Poznámka		hmotnost je uvedena bez betonového závaží	Poháněn vývodovým hřídelem traktoru s výstupními otáčkami 540 min ⁻¹	-

Obr. 5 – Překopávače ve výběrovém řízení (v pořadí: A, B, C) [9]



Kritéria výběrového řízení a jejich váha

1. Pořizovací cena [€] – váha kritéria je 30 %.

Prvního kritérium zahrnuje následující výpočet:

$$K_1 = \frac{(30000 - \text{cena})}{300} \cdot 0,3 \quad /1.4/$$

K_1	-	hodnota 1. kritéria	[%]
30000	-	maximální pořizovací cena	[€]
Cena	-	cena hodnoceného překopávače	[€]
300	-	1 % maximální pořizovací ceny	[€]
0,3	-	váha 1. kritéria	[-]

2. Výkonnost [m^3 / h] – váha kritéria je 70 %

Druhé kritérium zahrnuje výpočet:

$$K_2 = \frac{\text{výkonnost}}{10} \cdot 0,7 \quad /1.5/$$

K_2	-	hodnota 2. kritéria	[%]
výkonnost	-	výkonnost hodnoceného překopávače	[m^3 / h]
10	-	1 % stanoveného maximálního teor. výkonu překopávače	[m^3 / h]
0,7	-	váha 2. kritéria (vydělena 100)	[-]

Výsledné hodnoty se získají sečtením hodnot obou kritérií, tedy

$$K = K_1 + K_2 \quad /1.6/$$

Výpočet 1. kritéria:

$$K_{1A} = \frac{(30000 - 7619)}{300} \cdot 0,3 = 22,38 \%$$

$$K_{1B} = \frac{(30000 - 12900)}{300} \cdot 0,3 = 17,1 \%$$

$$K_{1C} = \frac{(30000 - 20500)}{300} \cdot 0,3 = 9,5 \%$$

Výpočet 2. kritéria:

$$K_{2A} = \frac{600}{10} \cdot 0,7 = 42 \%$$

$$K_{2B} = \frac{700}{10} \cdot 0,7 = 49 \%$$

$$K_{2C} = \frac{750}{10} \cdot 0,7 = 52,5 \%$$

Hodnocení výběrového řízení

$$K_A = K_{1A} + K_{2A} = 22,38 + 42 = 64,38 \%$$

$$K_B = K_{1B} + K_{2B} = 17,1 + 49 = 66,1 \%$$

$$K_C = K_{1C} + K_{2C} = 9,5 + 52,5 = 62 \%$$

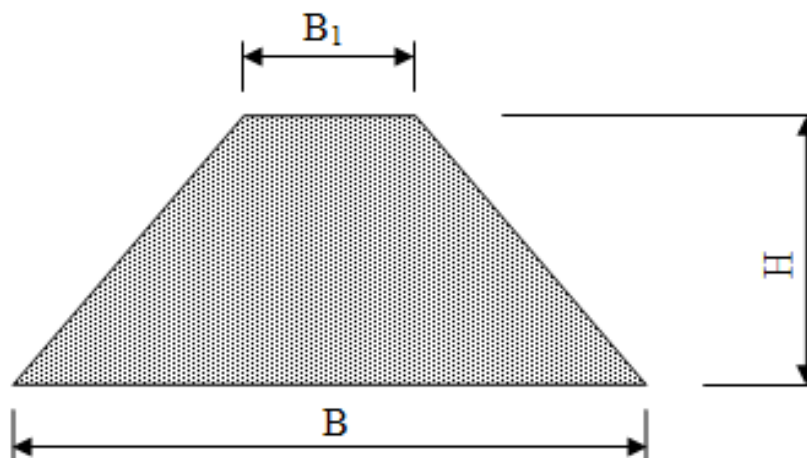
Závěr výběrového řízení

Nejúspěšnější v tomto výběrovém řízení, se získanými 66,1 procenty, je překopávač kompostu NPK 250 od firmy Ostratický s. r. o..

4.4 PROFIL KOMPOSTOVÉ ZAKLÁDKY

Používaná kompostovací technologie a využívané mechanizační prostředky, zejména překopávač, určují průřezové rozměry trojúhelníkové nebo lichoběžníkové pásové zakládky, v tomto případě byl zvolen lichoběžníkový průřez, lze tedy výpočtem zjistit plochu průřezu.

Obr 6. Průřez lichoběžníkové zakládky [3]



Výpočet plochy lichoběžníkového průřezu zakládky [3]:

$$S_L = \frac{(B + B_1)}{2} \cdot H \quad /1.7/$$

S_L	- obsah lichoběžníkového průřezu zakládky	$[m^2]$
B	- šířka základny pásové hromady zakládky (pracovní záběr překopávače)	$[m]$
B_1	- horní šířka pásové hromady	$[m]$
H	- výška pásové hromady	$[m]$

$$S_L = \frac{(2,5 + 0,5)}{2} \cdot 1,2 = 1,8 \text{ m}^2$$

4.5 VÝPOČET VELIKOSTI PLOCHY KOMPOSTÁRNY

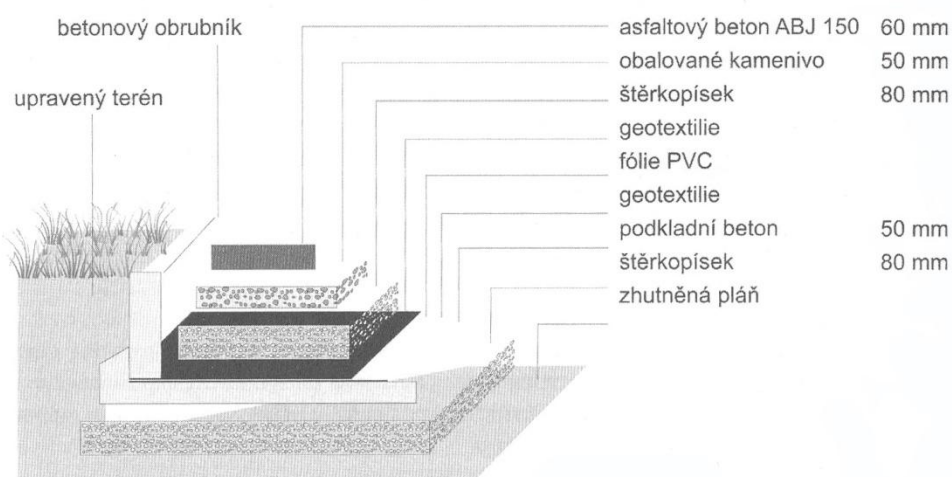
Potřebná velikost plochy pro kompostárnu vychází z celkového objemu kompostovaných odpadů, z profilu kompostové zakládky, ze způsobu rozmístění zakládek na výrobní ploše a z doby zrání kompostů. Při výpočtech je třeba zohlednit objemovou redukci materiálu, která umožňuje sloučit dvě zakládky stejného stáří a složení, nebo dvou po sobě časově návazných partií do jedné hromady dostatečné výšky z důvodu využití plochy.

Zabezpečení plochy kompostárny

Konstrukce výrobní plochy musí být dostatečně pevná z důvodu pojezdu vozidel a mechanismů. Musí odolávat korozním účinkům výluhu kompostu, účinkům smršťování konstrukce a nestejněměrnému promrzání.

Povrch výrobní plochy musí být rovný a hladký s minimálním spádem 2 % směrem k jímce. Výrobní plochy jsou omezeny úrovní okolního terénu s obrubníky o minimální výšce 40 cm nad okolní terén. Obrubníky je nutné založit do nezámrazné hloubky, nebo zajistit jejich štěrkopískové podloží. [3; 9; 54]

Obr. 7 - Vodohospodářsky zabezpečená plocha [9]



4.5.1 Výpočet plochy kompostárny pro dané množství surovin [3]

Celkové množství kompostovaného materiálu za rok:

$$M_c = M_1 + M_2 + M_3 \quad /1.8/$$

$$M_c = 1250 + 105 + 1050 = 2405 \text{ kg}$$

Celkový objem kompostovaného materiálu za rok:

$$V_c = V_1 + V_2 + V_3 \quad /1.9/$$

$$V_c = 4167 + 1400 + 1400 = 6967 \text{ m}^3$$

Objemová hmotnost směsi kompostové zakládky:

$$\rho_c = \frac{M_c}{V_c} \quad /1.10/$$

$$\rho_c = \frac{2405}{6967} = 0,345 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$$

Objem kompostu připadající na 1 m² kompostovací plochy:

$$P = \frac{S_L \cdot L}{B \cdot L} = \frac{S_L}{B} \quad /1.11/$$

$$P = \frac{S_L}{B} = \frac{1,8}{2,5} = 0,72 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$$

Potřebná velikost kompostovací plochy:

$$S_k = \frac{M_c}{\rho_c} \cdot \frac{T}{52} \cdot \frac{1}{P} \quad /1.2/$$

T - délka komponovacího cyklu v týdnech (běžně 10 – 12 týdnů)

52 - je počet týdnů v roce

Za předpokladu provedení 3 komponovacích cyklů za rok:

$$S_k = \frac{M_c}{\rho_c} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{P}$$

$$S_k = \frac{2405}{0,345} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{0,72} = 3225 \text{ m}^2$$

Vypočítaná hodnota reprezentuje pouze plochu, která je pokryta hromadami. Zvolíme-li však počet hromad n, vypočítáme jejich potřebnou délku L:

Počet hromad volím n = 12

$$L = \frac{S_k}{B \cdot n} \quad /1.13/$$

$$L = \frac{3225}{2,5 \cdot 12} = 107,5 \text{ m}$$

Z důvodu prostoru pro otáčení technických prostředků tuto délku hromad je nutno zvětšit přibližně o 5 metrů na každou stranu:

$$L_c = L + 10 \quad /1.14/$$

$$L_c = 107,5 + 10 = 117,5 \text{ m}$$

Zahrnutí potřebné plochy mezer mezi hromadami a minimální šířky 0,2 m na každý okraj plochy:

$$B_c = n \cdot B + (n - 1) \cdot B_2 + 2 \cdot 2 \quad /1.15/$$

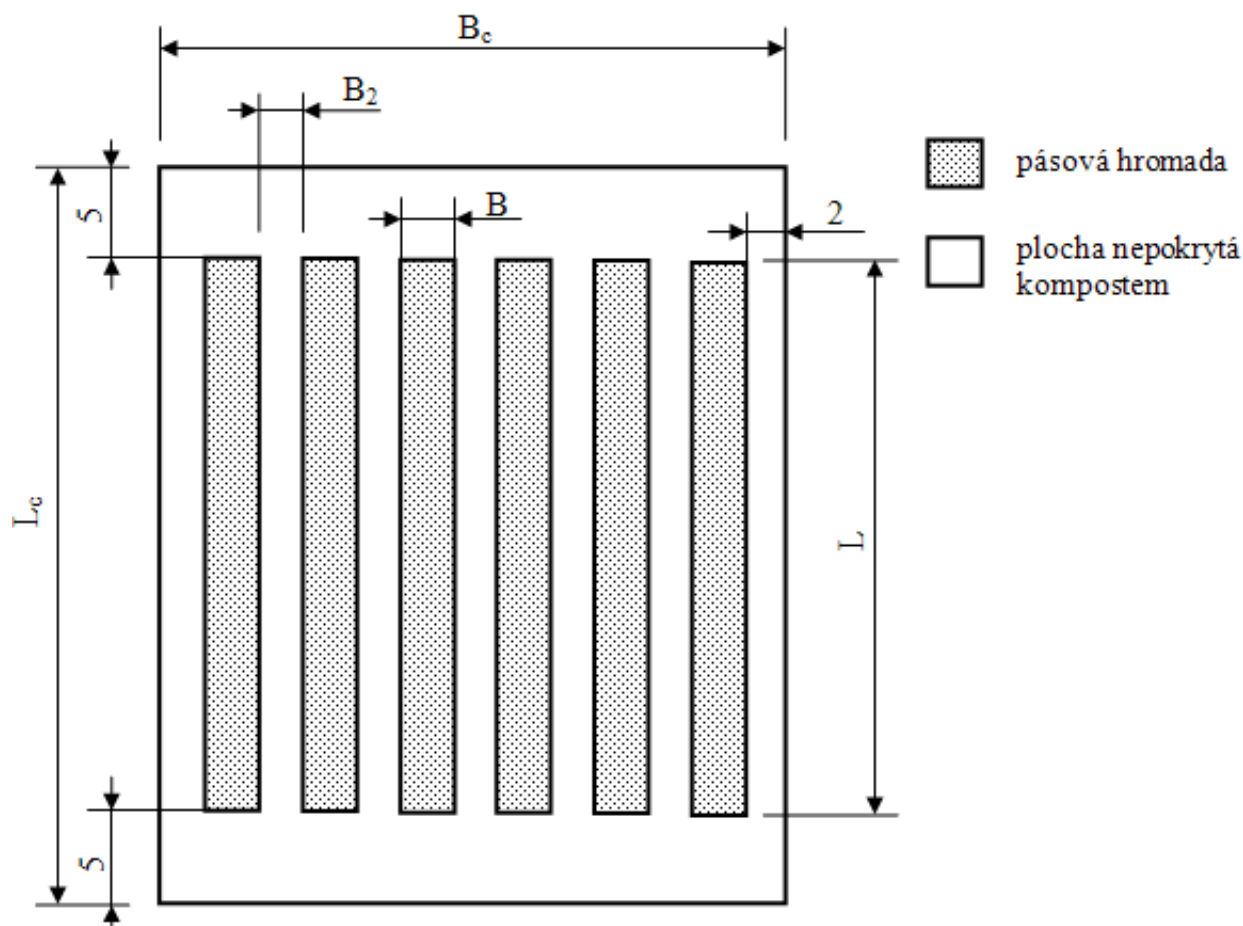
$$B_c = 12 \cdot 2,5 + (12 - 1) \cdot 2 + 4 = 56 \text{ m}$$

Pozn. Pro traktorové překopávače $B_2 = 2$

Délka jednotlivých pásových hromad činí 117,5 m.

Uvedený výpočet neuvažuje redukci objemu (hmotnostní ztráty a sesedání hromad) a je proto pouze orientační. Předpokládaná redukce objemu činí 30 – 45 %. Z tohoto faktu vyplývá možnost kompostovat až o 30 – 45 % více odpadů, nebo možnost zmenšení plochy kompostárny o 30 – 45%. [3]

Obr. 8 Rozměry potřebné plochy pro kompostárnu a způsob rozmístění pásových hromad [3]



Vypočítané rozměry potřebné plochy:

$$L_c = 117,5 \text{ m} ; B_c = 56 \text{ m} ; S_c = 6580 \text{ m}^2$$

4.5.2 Kapacita odpadní jímky [3]

Jímka zřizovaná na kompostárně jako příslušenství kompostovací plochy má zachytit odpadní vodu, prosakující z kompostu a současně srážkové vody.

Dispozičně může být řešena jako:

- nadzemní
- se záchytnou vanou

Hladina v užitém prostoru zemní jímky nesmí přesahovat výšku nejnižšího místa na výrobní ploše. Do jímky odtékají výluhy z kompostu a dešťové vody z výrobních a manipulačních

ploch, které nejsou zaplněny kompostem. Objem jímky musí být dimenzován na zachycení 15 minutového přívalového deště a dešťových srážek za 1-3 měsíce. Tekutina z jímky se využívá ke zvlhčování kompostu.

Při výpočtu objemu jímky se vychází ze stavu, kdy je výrobní plocha kompostem zaplněna s výjimkou manipulačních ploch. Uskladněný kompost zachytí 75 % srážkové vody, přičemž dojde až k 40 % odparu. Odpar na manipulační ploše lze uvažovat do 30 %.

Výpočet kapacity jímky

1) Výpočet odtoku ze zaplněných a manipulačních ploch:

Odtok do jímky ze zaplněné plochy:

$$Q_z = S_z \cdot H_r \cdot (1 - H_z) \cdot (1 - H_{Ez}) \quad /1.16/$$

S_z	-	rozloha zpevněných ploch zaplněných kompostem	[m ²]
H_r	-	průměrný roční úhrn srážek	[m]
H_z	-	podíl srážek zachycených v kompostu	[%]
H_{Ez}	-	odpar z ploch zaplněných kompostem	[%]

$$Q_z = 3225 \cdot 0,5266 \cdot (1 - 0,75) \cdot (1 - 0,4) = 254,74 \text{ m}^3$$

Odtok do jímky z manipulační plochy:

$$Q_m = S_m \cdot H_r \cdot (1 - H_{Em}) \quad /1.17/$$

S_m	-	rozloha zpevněné manipulační plochy	[m ²]
H_{Em}	-	odpar z manipulační plochy	[%]

$$Q_m = 3356 \cdot 0,266 \cdot (1 - 0,3) = 1237 \text{ m}^3$$

Celkový předpokládaný odtok do jímky za rok:

$$Q = Q_z + Q_m \quad /1.18/$$

$$Q = 254,74 + 1237 = 1492 \text{ m}^3$$

2) Stanovení odtoku ze zaplněných a manipulačních ploch za 2 měsíce:

$$Q_{2m} = \frac{2}{12} \cdot Q \quad /1.19/$$

$$Q_{2m} = \frac{2}{12} \cdot 1492 = 248,64 \text{ m}^3$$

3) Výpočet objemu vody z 15 minutového přívalového deště:

Odtok přívalového deště ze zaplněné plochy:

$$Q_{dz} = 0,9 \cdot S_z \cdot q_d \cdot \varphi \cdot (1 - H_z) \quad /1.20/$$

q_d - specifická intenzita 15 min deště [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$]

φ - součinitel odtoku z výrobní plochy – pro sklon 1 - 5 % má hodnotu 0,8

koef. 0,9 převod hodnoty q_d [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$], tzn. 15 min = 900 sekund a převod z litrů na m^3

S_z - rozloha zpevněných ploch zaplněných kompostem [ha]

$$Q_{dz} = 0,9 \cdot 0,3225 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,75) = 11,61 \text{ m}^3$$

Odtok přívalového deště z manipulační plochy:

$$Q_{dm} = 0,9 \cdot S_m \cdot q_d \cdot \varphi \quad /1.21/$$

S_m - rozloha zpevněných ploch zaplněných kompostem [ha]

$$Q_{dm} = 0,9 \cdot 0,3356 \cdot 200 \cdot 0,8 = 48,33 \text{ m}^3$$

Celkový odtok přívalového deště

$$Q_d = Q_{dz} + Q_{dm} \quad /1.22/$$

$$Q_d = 11,61 + 48,33 = 59,94 \text{ m}^3$$

4) Stanovení potřebné kapacity jímky:

$$V_v = Q_{2m} + Q_d \quad /1.23/$$

$$V_v = 248,64 + 59,94 = 308,58 \text{ m}^3$$

Pro dešťové vody související s vlastním provozem kompostárny na zpevněné ploše bude v lokalitě použita jímka o kapacitě 309 m³ se signalizací hladiny pro objem 248,64 m³.

4.6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU

Tato kapitola by měla nastínit výhodnost celkové investice a její návratnost.

Přibližná cena 1 m² vodohospodářsky zabezpečené plochy stojí 3 000 Kč (do ceny je zahrnuta i cena odpadní jímky). Celková plocha o 6 580 m² bude tedy stát 19 740 000 Kč.

Prodejní cena kompostu je 500 Kč / t. Celková roční produkce kompostu je 1 443 tun a celkový roční zisk z prodeje kompostu je tedy 721 500 Kč. Cena za 1 t přijatého komunálního bioodpadu je 200 Kč. Protože roční příjem komunálních bioodpadů činí 2 405 t, roční zisk z tohoto příjmu je 481 000 Kč.

Tab. 16 – Celkové náklady a příjmy kompostárny

Položka	Částka [Kč]
CELKOVÉ NÁKLADY	
Vodohospodářsky zabezpečená plocha	19 740 000
Enegetický prostředek	1 400 000
Drtič	465 000
Překopávač	190 500
Prosévací zařízení	60 000
Celkem	21 855 500
ROČNÍ PŘÍJMY	
Roční prodej kompostu	721 500
Roční zisk z příjmu bioodpadu	481 000
Celkem	1 202 500

Teorerická návratnost investice:

$$\frac{21\,855\,500}{1\,202\,500} = 18,2 \quad \text{Doba návratnosti investice je přes 18 let.}$$

Do hodnocení nejsou započítány náklady na roční spotřebu pohonných hmot strojů, cena energetických nákladů kompostárny a mzdy zaměstnanců, náklady na údržbu, cena stavebního projektu a zisk z případného pronajímání strojů. Výpočet je tedy orientační.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout kompostárnu pro zpracování komunálního bioodpadu s podílem bioplastů. K objasnění vhodnosti využití jednotlivých druhů bioplastů technologií kompostování měla posloužit analýza bioplastů. Hlavními zástupci bioplastů v této práci jsou PLA (kyselina mléčná), PHA (polyhydroxyalkanoáty) a škrobové polymery.

Ačkoli se bioplasty i v současnosti vyskytují na trhu spíše sporadicky, jejich celosvětová výroba strmě stoupá. V budoucnu lze očekávat jejich výskyt v každodenním životě a tedy i jejich zvýšený podíl v komunálních odpadech. Proto je vhodné se zabývat jejich následným zpracováním, ať formou recyklace či materiálového využití kompostováním.

Návrh kompostárny vycházel především z množství komunálních bioodpadů a jejich surovinové skladby. Dále vycházel z některých platných právních a technických norem (ČSN 465735 "Průmyslové komposty"). Způsob kompostování a použitá technika byly určeny posouzením variantního řešení kompostárny. Jednotlivé kroky návrhu kompostárny se řídily zejména odbornými příručkami a postupy zkušených odborníků uvedených v dostupné literatuře. Charakteristika surovin byla určena umístěním v příměstské zástavbě navrhované kompostárny. Maximální podíl bioplastů obsažených ve vstupních komunálních odpadech, jmenovitě ve složce kuchyňského bioodpadu, byl určen na základě trendu výskytu bioplastů v globálním měřítku a to na 5 %.

Navržená kompostárna vyhovuje účelu kompostování bioplastů, které splňují normy kompostovatelnosti, včetně ČSN EN 13432 „Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci“. Avšak nezbytné je dosažení optimálních podmínek v kompostu.

Doba rozkladu bioplastů může trvat dny, týdny i roky. Při procesu kompostování je důležité dosáhnout vhodných podmínek, které umožní jejich degradaci v řádu týdnů. Odolnost bioplastů vůči přítomným působícím faktorům se může lišit v závislosti na jejich chemickém složení. Důležitými faktory jsou teplota a vlhkost. Např. při kompostování biopolymerů na bázi PLA je důležité dosáhnout alespoň teploty 58 °C (teplota skelného přechodu PLA), při které dochází ke změnám struktury polymeru a značně se tak urychluje vlastní proces biodegradace. Při rozkladu PLA v kompostu též vzniká hydrolytickou cestou kyselina mléčná, a proto je důležité sledovat i hodnotu pH kompostu. Rychlost biologického rozkladu závisí také na vlhkosti prostředí. Nejnížší odolnost vůči vlhkosti vykazují škrobové polymery. Zvýšením teploty se opět rozklad urychlí. Bioplasty skupiny PHA mají vůči vlhkosti nejvyšší odolnost v porovnání s předchozími, avšak v prostředí kompostu může dojít k jejich úplnému

rozkladu rychleji než u PLA. Především záleží na složení daného polymeru ve smyslu přidaných aditiv, která mohou ovlivňovat náchylnost polymeru k prostředí kompostu. Neméně důležitá je vhodná příprava surovin např. drcením, protože schopnost (resp. rychlost) polymeru degradovat závisí i na jeho vlastních rozměrech.

Návratnost investice návrhu kompostárny se jeví velice nepříznivě. Této situaci by však mohla napomoci možnost čerpání státních dotací a výrazně tak zkrátit návratnost investic. Velice přínosné by též bylo nastavení vhodných legislativních podmínek pro výrobu bioplastů, jako tomu bylo učiněno např. v Německu. Mohlo by to vést ke snížení plastického odpadu a zároveň by to byl přínos pro kompostování ve formě vstupních surovin.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech
- [2] MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. *Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologického odpadu*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 180 s. ISBN 978-80-213-1747-5
- [3] ZEMANEK Pavel a kol. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vydání. Praha: VÚZT, v. v. i. 2010. 114 s. ISBN 978-80-86884-52-3
- [4] Evropská směrnice Rady EU 1999/31/EC
- [5] Nařízení vlády 197/2003 Sb.
- [6] VÁŇA, J., HANČ, A., HABART, J. *Pevné odpady 2009*. Praha. 2009. 191 s. ISBN 978-80-213-1992-9
- [7] STEJSKAL, B. Návrh zemního bioreaktoru pro zpracování zbytkového BRKO. Biom.cz [online]. 2009-06-15 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/navrh-zemniho-bioreaktoru-pro-zpracovani-zbytkoveho-brko>>. ISSN: 1801-2655.
- [8] ALTMAN, V., VACULÍK, P., MIMRA, M. *Technika pro zpracování komunálního odpadu* 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2010. 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2
- [9] PLÍVA, P. a kol. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše* 1. vydání. Praha: Profi Press, s.r.o., 2009. 136 s. ISBN 978-80-867226-32-8
- [10] VÁŇA, J. *Koncepce nakládání s komunálními bioodpady v České republice*. Biom.cz [online]. 2002-01-09 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/koncepce-nakladani-s-komunalnimi-bioodpady-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] PASTOREK, Z. *Legislativa bioodpadů - kompostování v praxi*. Biom.cz [online]. 2004-04-19 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/legislativa-bioodpadu-kompostovani-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- [12] Vyhláška č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady
- [13] *The global plastics industry: continued growth* [online]. [cit. 2011-03-24].

- Dostupné z WWW: <<http://www.plastinum.com/plastinum/Plastic-Industry-Recycling/The-global-plastics-industry-continued-growth>>
- [14] *Global Production Capacity of Bioplastics* [online]. [cit. 2011-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://european-bioplastics.org/index.php?id=1080#Labeling>>
- [15] *History of bioplastics*. [online]. [cit. 2011-03-24] Dostupné z WWW: <http://greenplastics.com/wiki/History_of_bioplastics>
- [16] *History of plastics*. [online]. [cit. 2011-03-24] Dostupné z WWW: <<http://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=670&navItemNumber=1117>>
- [17] HOSTAČNÁ, P. *Srovnání fyzikálně – chemických vlastností vybraných derivátů celulózy*. Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2010
- [18] Celulóza [online]. [cit. 2011-03-24] Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Celul%C3%B3za>>
- [19] Cellulose [online]. [cit. 2011-03-24] Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>>
- [20] *Starch Based Bioplastics* [online]. [cit. 2011-03-24] Dostupné z WWW: <<http://bioplasticsonline.net/2010/06/starch-based-bioplastics/>>
- [21] *Škrob* [online]. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW: <<http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/index.php?n1=1&n2=7&n3=0&n4=0&poloha=0>>
- [22] SLEJŠKA, A. *Vermikompostování*. [online]. [cit. 2011-04-11] Dostupné z WWW: <http://stary.biom.cz/clen/as/a_regena99.html>
- [23] AVEROUS, L. *Agro-polymers and Starch-based biomaterials* [online]. 2007. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW: <<http://www.biodeg.net/biomaterial.html>>
- [24] Ducháček V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 057. ISBN 80-7080-617-6

- [25] *Permitivita* [online]. 12. 1. 2011. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/Permitivita>>
- [26] *Gutta-percha* [online]. 9. 4. 2011. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW:
< <http://en.wikipedia.org/wiki/Gutta-percha>>
- [27] *Balata* [online]. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW:
< <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/49876/balata>>
- [28] *Šelak* [online]. [cit. 2011-03-30] Dostupné z WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0elak>>
- [29] CHROMCOVÁ D., NÁHLÍK J., ŠAŠEK V., RODA J., BROŽEK J. *Biologicky rozložitelné polymery* [online]. [cit. 2011-04-2] Dostupné z WWW:
< <http://www.imc.cas.cz/sympo/06polcs/pos.htm>>
- [30] *Biodegradable Plastics - Developments and Environmental Impacts* [online]. 2002 [cit. 2011-04-2] Dostupné z WWW:
<<http://www.environment.gov.au/archive/settlements/publications/waste/degradables/biodegradable/chapter3.html>>
- [31] *LCA of biodegradable multilayer film from biopolymers* [online]. [cit. 2011-04-2] Dostupné z WWW:
< http://www.gid.uji.es/docs/articles/Garrain_07_01.pdf>
- [32] *Bioplastics Manufacturers & Suppliers- Companies & Makers of Biodegradable Plastics* [online]. 15. 6. 2010. [cit. 2011-04-3] Dostupné z WWW:
<<http://bioplasticsonline.info/2010/07/bioplastics-manufacturers-suppliers-companies-makers-of-biodegradable-plastics/>>
- [33] *Polyhydroxyalkanoates (PHA) Bioplastic Overview* [online]. 27. 6. 2010. [cit. 2011-04-2] Dostupné z WWW:
<<http://bioplasticsonline.net/2010/06/polyhydroxyalkanoate-pha-bioplastic-overview/>>
- [34] AVEROUS L., *Biodegradable polyesters (PLA, PHA, PCL ...)*. [online]. 2007. [cit. 2011-04-3] Dostupné z WWW:

- < <http://www.biodeg.net/bioplastic.html#biomaterial> >
- [35] *POLYHYDROXYALKANOÁTY – Přírodně odbouratelné plasty*. [online]. 13.7.2007. [cit. 2011-04-3] Dostupné z WWW: <<http://www.gate2biotech.cz/polyhydroxyalkanoaty-prorozene-odbouratelne-plasty/>> ISSN: 1802-2685.
- [35] *Green plastics*. [online]. [cit. 2011-03-23] Dostupné z WWW: <<http://greenplastics.com/wiki/Bioplastics>>
- [36] *Life cycle assessment* [online]. [cit. 2011-03-18] Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Life_cycle_assessment>
- [37] *Bioplastics overview* [online]. [cit. 2011-03-18] Dostupné z WWW: <<http://bioplasticsonline.net/bioplastics-overview/>>
- [38] *Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe* [online]. Spain. 2005. [cit. 2011-03-18] Dostupné z WWW: <<http://www.biodeg.net/fichiers/Feasibility%20of%20Production%20of%20Bio-based%20Polymers%20in%20Europe.pdf>> ISBN: 92-79-01230-4
- [39] *For extreme applications, demand Rilsan® polyamides*. [online]. [cit. 2011-03-22] Dostupné z WWW: <<http://www.arkema-inc.com/index.cfm?pag=109>>
- [40] *Timeline* [online]. [cit. 2011-03-22] Dostupné z WWW: <http://www.braskem.com.br/plasticoverde/EN_TimeLime.html>
- [41] AVEROUS, L., *Biodegradable polyesters (PLA, PHA, PCL ...)*. [online]. 2007. [cit. 2011-04-3] Dostupné z WWW: <<http://www.biodeg.net/biomaterial.html>>
- [42] KŘIVKA, M., *Extruzní technologie a výrobky se neustále rozšiřují* [online]. 8.9.2000. [cit. 2011-04-10] Dostupné z WWW: <http://www.agroweb.cz/Extruzni-technologie-a-vyrobky-se-neustale-rozsiruji__s46x1146.html>
- [43] *WHAT IS MATER-BI®* [online]. [cit. 2011-04-9] Dostupné z WWW: <<http://www.novamont.com/default.asp?id=504>>
- [44] *Časté otázky* [online]. [cit. 2011-04-9] Dostupné z WWW:

- < http://www.hbabio.cz/index.php?id=caste_otazky >
- [45] *Polylactic acid synthesis – Ring opening polymerization of lactide* [online]. 17.6.2010 [cit. 2011-04-12] Dostupné z WWW:
<<http://bioplasticsonline.net/2010/06/polylactic-acid-synthesis-%E2%80%93-ring-opening-polymerization-of-lactide/>>
- [46] *Technical resources* [online]. [cit. 2011-04-7] Dostupné z WWW:
<<http://www.natureworksllc.com/Technical-Resources.aspx>>
- [47] *Metabolix* [online]. [cit. 2011-04-10] Dostupné z WWW:
<<http://greenplastics.com/wiki/Metabolix>>
- [48] FILIP J., *Sledování aerobního rozkladu polymerních směsí na bázi PCL/PHB a na bázi PL*. Diplomová práce. 2009. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
- [49] KALE, G., KIJCHAVENGUL, T., AURAS, R., RUBINO, M., SELKE, S. E., SINGH, S. P. *Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview*. 2007. 255 - 277 s.
- [50] SHAH, A., A., HASAN, F., HAMEED, A., AHMED, S. *Biological degradation of plastics: A comprehensive review*. 2008. 246 – 265 s.
- [51] TAKEHANA, T., INOUE, S., TAKEI, R., ITO, H., MATSUI, H., HONMA, M. *Purification and properties of extracellular carboxyl proteases of Acid-tolerant bacteria, isolated from kompost*. 1999. 1927 – 1933 s.
- [52] HONZÍK, R. *Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace*. *Biom.cz* [online]. 2004-08-18 [cit. 2011-04-6]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>>. ISSN: 1801-2655.
- [53] *Kompostování ve vaku*. [online]. 24.4.2003 [cit. 2011-04-14] Dostupné z WWW:
<[http://odpady.ihned.cz/index.php?p=E00000_detail&article\[id\]=12677180&article\[area_id\]=10024740](http://odpady.ihned.cz/index.php?p=E00000_detail&article[id]=12677180&article[area_id]=10024740)>
- [54] KOTOULOVÁ, Z., VÁŇA, J. *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*. Praha, Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem. 2001. 70 s. ISBN 80-7212-201-0

7 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Seznam komunálních bioodpadů dle katalogu odpadů

Tab. 2 Prognóza produkce tuhých komunálních odpadů (údaje v tis. t/rok)

Tab. 3 Způsoby využívání odpadů dle přílohy č. 3 k zákonu o odpadech

Tab. 4 Požadavek na jakost kompostu dle normy ČSN 46 5735

Tab. 5 Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku kompostu podle třídy

Tab. 6 Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku suroviny

Tab. 7 Celosvětová roční produkce plastů

Tab. 8 Celková roční produkce bioplastů

Tab. 9 BRP pocházející výlučně z obnovitelných zdrojů (bioplasty)

Tab. 10 Vlastnosti škrobových plastů

Tab. 11 Vlastnosti polymerů na bázi PLA

Tab. 12 Vlastnosti polymerů na bázi PHA (PHB,PHH)

Tab. 13 Celkové parametry jednotlivých složek surovinové skladby

Tab. 14 Celkový objem kompostovaných odpadů

Tab. 15 Celková hmotnost ztrát při odhadovaném 40 % ztrátovém podílu

Tab. 16 Parametry překopávačů bez vlastního pohonu

Tab. 17 Celkové náklady a příjmy kompostárny

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Biologicky rozložitelné polyestery z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů

Obrázek 2: Technologie výroby polymerů na bázi škrobu

Obrázek 3: Technologie výroby PLA

Obrázek 4: Molekula PHA, resp. PHB a PHBV

Obrázek 5: Překopávače ve výběrovém řízení (v pořadí: A, B, C)

Obrázek 6: Vodohospodářsky zabezpečená plocha

Obrázek 7: Rozměry potřebné plochy pro kompostárnu a způsob rozmístění pásových hromad