



**Rozklad vybraných biologicky rozložitelných plastů v
reálných podmínkách kompostování**

Diplomová práce

Vedoucí:
Mgr. Ing. Magdaléna Vaverková, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Michaela Svobodová

ZDE SE NACHÁZÍ ZADÁNÍ PRÁCE

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Rozklad vybraných biologicky rozložitelných plastů v reálných podmínkách kompostování vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

Diplomová práce je školním dílem a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucí diplomové práce a děkana Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně.

dne.....

podpis.....

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala za odborné vedení vedoucí diplomové práce Mgr. Ing. Magdaléně Vaverkové, Ph.D a konzultantce Bc. Ing. Adamcové, Ph.D. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Květuši Hejátkové a Ing. Lucií Krejčí ze Zemědělské a ekologické regionální agentury, o. s. a zaměstnanci centrální kompostárny ve Vícenicích u Náměště nad Oslavou panu Sedlákovi za získané informace, vstřícný přístup, podporu a za pomoc při realizaci praktického experimentu.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na plastové materiály, zejména na biologicky rozložitelné plasty a s nimi související normativní prostředí. Nedílnou součástí je stručná charakteristika procesu kompostování.

Praktická část je věnována sledování vybraných vzorků biologicky rozložitelných plastů v reálných podmínkách kompostování v kompostárně nedaleko Třebíče ve Vícenicích u Náměště nad Oslavou, vyhodnocení získaných výsledků a jejich porovnání s výsledky vědeckých prací zaměřených na tuto problematiku.

Cílem této diplomové práce je poskytnout informace o způsobu hodnocení rozkladu rozložitelných polymerních materiálů a materiálů uváděných na trh jako rozložitelné v reálných podmínkách kompostování.

Klíčová slova: odpad, biologicky rozložitelné plasty, rozložitelnost, biologická rozložitelnost, kompostování, reálné podmínky

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on problematics of biodegradable material, above all biodegradable of plastics and with relating normativ environment.

Practical part is focused on monitoring biodegradable of plastics samples in real conditions of composting near Třebíč in Vícenicích u Náměště nad Oslavou, evaluation of gained result and conclusion with result that were achieved is also published thesis.

The aim of this diploma thesis is to provide with all information regarding the manner of evaluating the decomposition of degradable polymeric materials and materiále marketed as degradable in real composting conditions.

Key words: waste, biodegradable plastics, degradation, biodegradation, composting, real conditions

Obsah

1 ÚVOD	8
2 CÍL PRÁCE	9
3 CHARAKTERISTIKA PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ SE ZAMĚŘENÍM NA BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉ PLASTY	10
3.1 Biologicky rozložitelné plasty	12
3.2 Biologicky rozložitelné polymery.....	12
3.2.1 Rozdělení polymeru podle původu	12
3.2.2 Způsoby výroby biologicky rozložitelných polymerů	17
3.2.3 Způsoby zpracování a zpracování biologicky rozložitelných polymerů	18
3.3 Biodegradace.....	19
3.4 Dopady biologických plastů na odpadové hospodářství.....	20
3.5 Případný vliv plastů na kompostování.....	21
4 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ	22
4.1 Popis procesu kompostování.....	22
4.2 Podle způsobu kompostování rozeznáváme tři základní způsoby	24
4.2.1 Domácí kompostování.....	24
4.2.2 Komunitní kompostování	25
4.2.3 Komunální kompostování.....	25
4.3 Technologie kompostování	26
4.3.1 Statické technologie kompostování	27
4.3.2 Dynamické technologie kompostování.....	27
4.4 Produkty kompostování	27
5 NORMATIVNÍ PROSTŘEDÍ SOUVISEJÍCÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝMI PLASTY	29
5.1 ČSN EN 13432 Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci - Zkušební schémata a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu	29
5.2 ČSN EN 14806 Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku	30
6 REALIZACE POKUSU V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH KOMPOSTOVÁNÍ S VYBRANÝMI VZORKY	32
6.1 Centrální kompostárna	32
6.1.1 Úvodní informace.....	32
6.1.2 Navrhované parametry	34

6.1.3 Náklady a provoz	34
6.1.4 Popis technologie Hantsch	35
6.1.5 Výhody technologie Hantsch.....	38
6.2 Popis vzorků.....	38
6.3 Popis umístění pokusu	40
6.4 Popis průběhu pokusu	40
6.5 Ukončení pokusu	43
7 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	45
7.1 Vzorky bez známek rozpadu.....	45
7.2 Vzorky se zjištěným stupně rozkladu	46
7.3 Vyhodnocení získaných výsledků.....	47
8 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ S VÝSLEDKY VĚDECKÝCH PRACÍ ZAMĚŘENÝCH NA TUTO PROBLEMATIKU.....	49
9 ZÁVĚR.....	54
10 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	56
11 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, ZKRATEK.....	60

1 ÚVOD

V současnosti se plasty používají v každém spotřebním a průmyslovém výrobku. Plasty jsou užitečný materiál a to zejména díky svým nenahraditelným vlastnostem, jako je jeho malá hmotnost, trvanlivost a nízké náklady, ale současně působí problémy při jeho odstraňování [1].

Biologicky rozložitelné plastové výrobky jsou mnohdy vnímány jako vhodné východisko řešení problematiky plastového odpadu. Ačkoliv výroba těchto plastů dosud tvoří jen malou část trhu, podle prognóz jejich průmyslová výroba v Evropě vzroste. Předpokladem tohoto materiálu je, že se může zcela rozložit za určitých podmínek v průmyslovém zařízení určenému pro kompostování [1].

V oblasti odpadového hospodářství by mohly biologicky rozložitelné plasty (dále jen BRP) do budoucna snížit množství komunálního odpadu a zároveň mohou být využity na kompostování, z něhož vzniká užitečný produkt zvaný kompost.

Tato práce je zaměřena na průzkum v oblasti biologicky rozložitelných materiálů a prokázání vlastností těchto materiálů uváděných výrobci na trh. Pokus je zaměřen především na jednorázové plastové tašky z obchodů, které jsou ve velkém objemu shromažďovány v domácnostech a následně lidstvu způsobují problém při jejich odstranění.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této závěrečné práce je charakterizovat plastový materiál, jeho druhy, složení a vlastnosti se zaměřením na BRP. Nedílnou součástí práce je popsat související normativní prostředí.

Hlavním cílem diplomové práce je provedení pokusu v reálných podmínkách kompostování s vybranými vzorky nákupních tašek, které mají být dle výrobce biologicky rozložitelné, rozložitelné či kompostovatelné. Dále bude detailně popsána vybraná průmyslová kompostárna, zejména základní informace, navrhované parametry, náklady a provoz.

Dalším bodem této závěrečné práce je vyhodnocení získaných výsledků a jejich porovnání s výsledky vědeckých prací zaměřených na tuto problematiku. Účelem porovnávání získaných výsledků s vědeckými pracemi je, zdali jsou tyto materiály vhodné nebo naopak nevhodné pro použití v procesu kompostování v průmyslových kompostárnách.

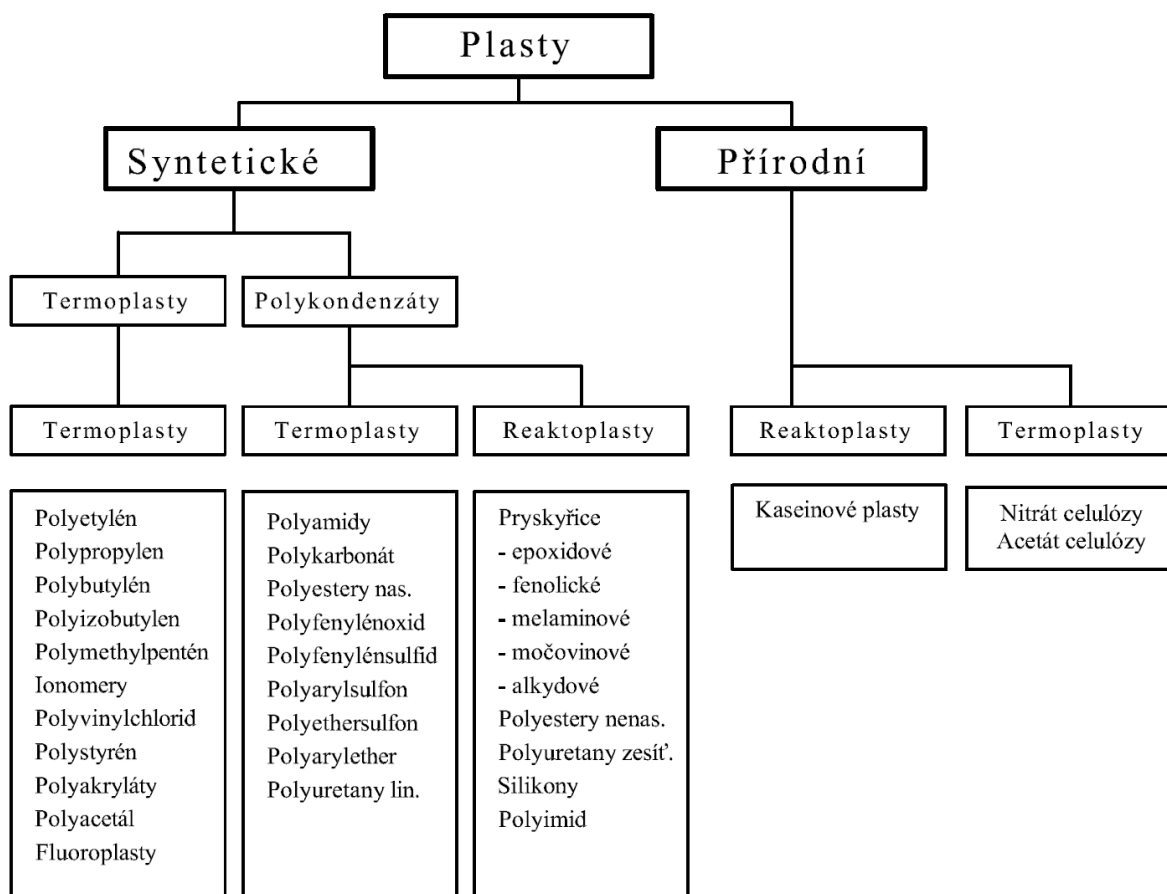
Ve spojitosti s tímto experimentem je důležité charakterizovat celý proces a fáze kompostování, především s důrazem na průběh teploty, vlhkost, pH, výskyt mikroorganismů a koncentrace kyslíku. Další součástí této diplomové práce je stručný popis druhů kompostování. Dále práce popisuje konkrétní technologii kompostování, která se používá v centrální kompostárně v Náměšti nad Oslavou, kde byl pokus proveden.

3 CHARAKTERISTIKA PLASTOVÝCH MATERIÁLŮ SE ZAMĚŘENÍM NA BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉ PLASTY

Plasty jsou známe také pod názvem plastické hmoty, zahrnující sled syntetických nebo polosyntetických polymerních materiálů. Vyznačují se zvýšenou houževnatostí, odolností proti stárnutí, pružnosti apod.

Plasty jsou materiály, které jsou obvykle tvrdé a někdy i křehké. Tyto hmoty se vyznačují odolností proti korozi a vysokou odolností proti chemickým vlivům, nízkou měrnou hmotností a dobrou tepelnou izolací. Až na výjimky hůře vedou teplo, při zvýšené teplotě je jejich struktura plastická a dobře tvarovatelná. Změna z plastického do tuhého stavu může být vratná i nevratná [2].

Na následujícím obrázku č. 1 můžeme vidět základní dělení plastů.



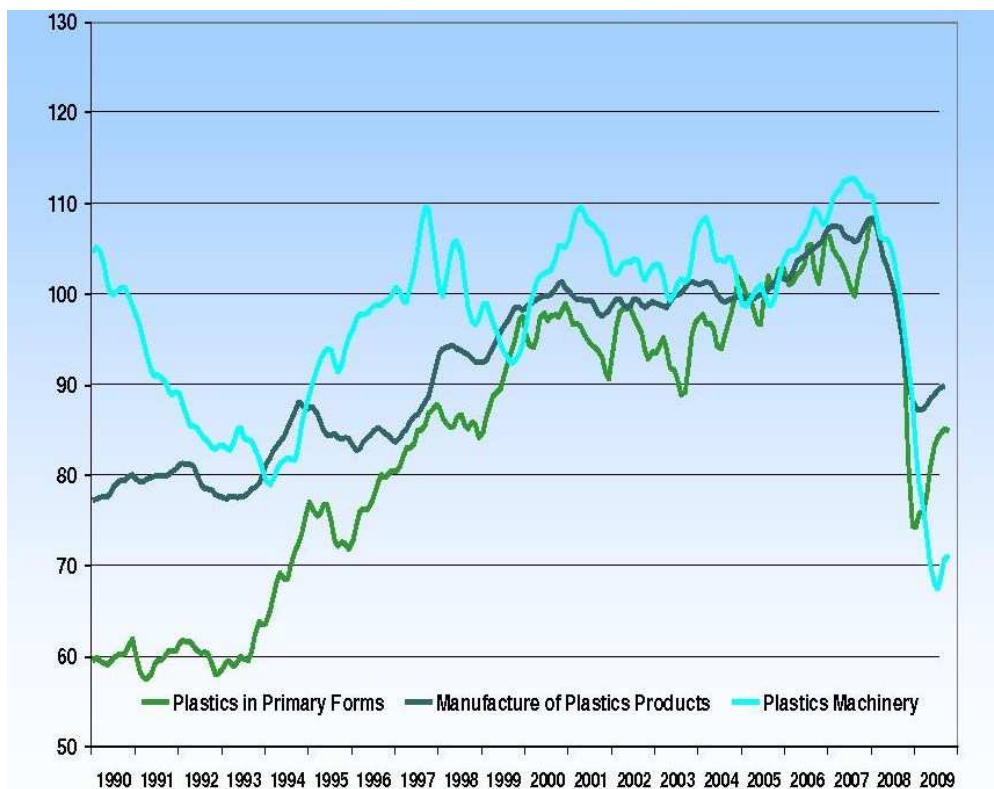
Obrázek č. 1: Základní dělení plastů [32, upraveno 37]

Plastické hmoty jsou v současnosti používány pro výrobu většiny obalů, které se vyznačují vhodnými technologickými parametry a vlastnostmi. Masivní používání plastů má nemalý podíl na úbytku fosilních zdrojů, další nevýhodou těchto materiálů je jejich dlouhá doba rozkladu. Proto jsou do plastového obalového materiálu často používány přídatné látky, díky kterým se rychle rozkládají, a můžeme je definovat souhrnným názvem plasty se zkrácenou životností. Plasty se zkrácenou životností se definují jako polymery syntetického nebo přírodního původu, jejichž organické součásti se rozkládají kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů. Organické látky v těchto plastech jsou rozloženy ze 60% v průběhu šesti měsíců [3].

Pro výrobu biologicky rozložitelných polymerů či plastů se uplatňuje řada různých výchozích materiálů a různé metody. Materiály se mohou například dělit podle zdrojů, ze kterých jsou vyráběny a to na polymery pocházející z obnovitelných zdrojů, polymery původu petrochemického a smíšené [4].

Biologické plasty představují zhruba 0,5 % plastů vyráběných v současné době v zemích patřící do Evropské unie. Na výrobu nákupních tašek z toho připadá asi 21 %. Dále jsou používány na výrobu výplní, plniv a balících médií [5].

Následující obrázek č. 2 znázorňuje graf produkce plastových materiálů v Evropě.



Obrázek č. 2 : Produkce plastových materiálů v Evropě [33, upraveno 37]

3.1 Biologicky rozložitelné plasty

BRP jsou plasty, které podléhají biologickému rozkladu, mění tímto svoji strukturu i vlastnosti a nepředstavují tedy nadměrnou ekologickou zátěž. Jsou to plastické hmoty vyrobené z biomasy nebo přidáním příslušných aditiv, přičemž tyto plasty dosahují stejných vlastností jako ostatní plasty (tvrdost, ohebnost či pružnost) [6, 7].

3.2 Biologicky rozložitelné polymery

Biologicky rozložitelné polymery byly poprvé komerčně zavedeny v roce 1980. Z konvečních polymerů byly vyráběné jedny z prvních rozložitelných plastů, zpravidla polyolefín (polyethylen) smíchaný se škrobem nebo jinými organickými látkami. Mikroorganismy napadají a rozkládají škrob, takže produkt se při degradaci rozpadá na malé fragmenty [7, 8].

Biologicky rozložitelné polymery jsou polymery, které patří do skupiny materiálů, které mohou být rozkládány a metabolizovány živými organismy. Biopolymery se dle původu rozdělují do tří skupin. První skupinu reprezentují přirozeně vyskytující se biopolymery, zatímco druhou skupinu tvoří syntetické, člověkem uměle vytvořené, biologicky rozložitelné polymerní materiály a třetí skupinou jsou speciální biopolymery [7].

Je to souhrnný název pro nukleové kyseliny, bílkoviny, lipidy a polysacharidy. Biopolymery se sestávají z tzv. monomerů. Vznikají kondenzací monomerů a při této reakci vzniká vždy jedna molekula vody. Naopak reakcí zvanou hydrolýza se biopolymery rozkládají a molekula vody se při ní spotřebuje [7].

3.2.1 Rozdělení polymeru podle původu

Přírodní polymery

Jedná se o přirozené polymery, které jsou vytvořené v přírodě během růstu mikroorganismů. Patří mezi ně polysacharidy – celulóza, škrob, lignin, glykogen.

Škrob

Jedná se o zásobní polysacharid, který je složen ze dvou složek z amylopektinu a amylyazy. Amylopektin je bohatě větvený, proto nemůže tvořit šroubovici, jódem se zbarví červenohnědě až fialově. Amyláza je nevětvená makromolekula ve tvaru šroubovice, rozpustná ve vodě a jódem se zbarví modře. Jedná se o polymerní polysacharid, který se přirozeně vyskytuje v rostlinách [9].

Škrob je biologicky odbouratelný, termoplastický materiál. Náklady na výrobu jsou poměrně nízké, proto je škrob v petrochemickém průmyslu atraktivní alternativou pro výrobu polymerů. Tato surovina je k dispozici v hojném množství. Pro získávání škrobu se používají plodiny, jakou jsou např.: kukuřice, rýže, tapioka, brambory [3].

Největší množství škrobu je používáno v obalové technice, kde dosahuje až 75 %. Hlavní využití mají na výrobu nákupní tašky (Obrázek č. 3: Nákupní taška z rostlinného škrobu a olejů), film, pytle na odpadky, plniva do pneumatik, podnosy, tvárné výrobky (příbory, hrnce, slámky).

Jeich fólie se hojně využívají pro balení potravin, protože mají nízkou propustnost. V zemědělství uplatňují své využití mulčovací fólie. Pokud jsou v kontaktu s půdními mikroorganismy, mají schopnost degradovat až na neškodné produkty [3].



Obrázek č. 3: Nákupní taška z rostlinného škrobu a olejů [34]

Glykogen

Tento živočišný zásobní polysacharid je uložen zejména v játrech a ve svalech. Jeho struktura připomíná spíše strukturu amylopektinu a na rozdíl od něj je mnohem více větvený. S jódem se téměř nebarví a je rozpustný ve vodě [9].

Celulóza

Tento stavební polysacharid je hlavní složkou buněčných stěn a je to pravděpodobně nejrozšířenější organická látka na Zemi. Za téměř čistou celulózu jsou považována vlákna z bavlníku. Nejvýznamnějším zdrojem celulózy je dřevo, ve kterém jsou kromě celulózy obsaženy další látky jako jsou hemicelulóza, lignin, pektiny a pryskyřice. Celulóza slouží jako stavební materiál vyšších rostlin, kde má konstrukční nosnou funkci. Celulóza je vodě

nerozpustná, pro člověka nestravitelná, ale i přesto je důležitou složkou potravy. Pro svou nerozpustnost je celulóza zpravidla převedena do derivátů tak, aby byla zpracovatelná [9].

Celulózové polymery jsou vyráběny chemickou modifikací přírodních celulóz. Primární suroviny pro výrobu průmyslově používané celulózy je dřevo a bavlněná vlákna. Hlavními zástupci jsou celofán (použití pro fólie), ester derivátu (pro filmy, lisování a lití), acetát celulózy. Celulózové dřeně lze čerpat z mnoha zemědělských plodin, např.: stébla žita, pšenice, ovesa, cukrová třtina, čirok, kukuřičné stonky [3].

Celulóza nachází vhodné využití v zemědělství, ve farmacii, v potravinářském průmyslu a v kosmetice. Uplatňují se pro výrobu psacích potřeb, tenkých fólií, elektrických izolačních fólií, pouzder, světel, kontejnerů, hraček a rukojetí. Ukázka produktu na obrázku č. 4 [3].



Obrázek č. 4: Kelímek z celulózy [34]

Chitin a chitosan

Makromolekuly chitinu se nacházejí ve skořápkách hmyzu, krabů, krevet a humrů. V přirozené formě je chitin nerozpustný ve vodě, ale chitosan naopak je rozpustný. Pro výrobu umělé kůže a vstřebatelných stehů se využívají chitinová vlákna. Materiály tohoto původu jsou biokompatibilní, mají antimikrobiální účinky a schopnost absorbovat ionty těžkých kovů.

Chitosan a chitin patří mezi základní polysacharidy. Chitin je vysoce hydrofobní a tedy nerozpustný ve vodě a ve většině organických rozpouštědel.

Potenciální využití má chitosan v mnoha oborech, jako je čištění odpadních vod, biomedicína, nebo tvorba funkčních membrán. Tento polysacharid se vyznačuje vynikajícími vlastnostmi a je proto vhodný pro hojení ran. Dokáže se rychle rozložit v lidském těle, má biokompatibilní, antibakteriální a imunologické účinky.

Používají se v podobě obvazů a při podávání léků, a dalších (Obrázek č. 5: Využití chitosanu). Potenciální využití chitosanu je i jako podpůrný materiál pro tkáňové inženýrství [3].



Obrázek č. 5: Využití chitosanu [6]

Polypeptidy – bílkoviny

Bílkoviny jsou přítomny ve všech buňkách a jsou složeny z alfa-aminokyselin řady spojených navzájem peptidovou vazbou. Jedná se o vysokomolekulární látky, které jsou ve vodě rozpustné i nerozpustné a mohou vytvářet různé struktury. Vykazují velmi vysoké hodnoty relativních molekulových hmotností. Rostliny jsou schopné bílkoviny sami vytvářet z anorganických dusíkatých látek, zatímco živočichové a člověk je přijímá v potravě [9].

Polynukleotidy – RNA, DNA

Jsou to makromolekulární látky, které mají v sobě uloženou genetickou informaci a zároveň ji přenášejí. Zejména jsou polynukleotidy důležité pro průběh všech životních procesů. Nukleové kyseliny určují činnost buňky a nepřímo i celého organismu. Vyskytují se ve všech živých buňkách a virech [9].

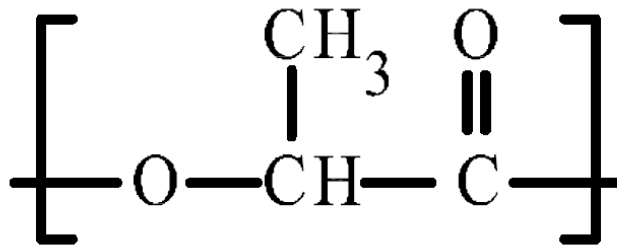
Speciální biopolymery

Jedná se o biopolymery, které se běžně nacházejí v přírodě, ale nevykazují parametry vysokomolekulárních látek a jsou syntetizovány z přírodních biomolekul (monomerů). Chemickými reakcemi jsou z nich tvořeny biodegradabilní polymery, které vykazují vlastnosti skutečných polymerů, ale nejsou produktem živých organismů [6].

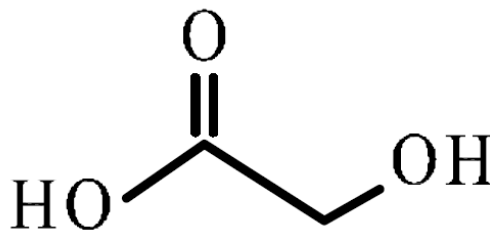
Mezi speciální biopolymery řadíme:

- kyselina polylaktidová / polymlečná (PLA)
- kyselina polyglykolová (PGA)

Příklad speciálního biopolymeru:



Obrázek č. 6: Kyseliny polymléčná (vzorec) [9, upraveno 37]



Obrázek č. 7: Kyseliny polyglykolová (vzorec) [9, upraveno 37]

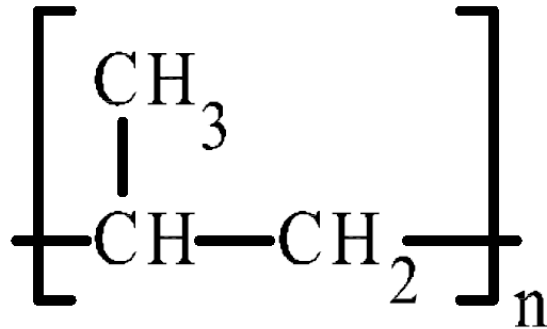
Syntetické biopolymery

Syntetické polymery jsou makromolekulární sloučeniny. Tyto plasty vznikají syntetickou úpravou polymerů a přidáním vhodných příměsí. Jako vhodnou příměs lze použít pigmenty pro obarvení polymerů či plniva, které bez zhoršení kvality zvětší objem polymerů, dále lze použít změkčovadla pro zlepšení vláčnosti a stabilizátory pro zajištění stálosti [7].

Mezi syntetické biopolymery řadíme:

- Polyetylen (PE),
- Polypropylen (PP),
- Polystyren (PS),
- Polyvinylchlorid (PVC).

Příklad syntetického biopolymeru:



Obrázek č. 8: Polypropylen [9, upraveno 37]

Polymery je možné také rozdělit dle zdrojů, ze kterých jsou vyráběny a způsobu jejich výroby na:

Polymery vyráběné z obnovitelných zdrojů:

- kyseliny polymléčná (PLA),
- poly(β-hydroxybutyrát) (PHB),
- termoplastický škrob.

Polymery vyráběné z ropy:

- poly-ε-kaprolakton (PCL),
- poly(vinylalkohol) (PVA),
- poly(esteramid) (PEA),
- poly(oxyetylen) (POE),
- alifatické polyestery na bázi diolů a dikarboxylových kyselin (Bionelle),
- aromaticko-alifatické kopolyestery (Ecoflex) [6].

3.2.2 Způsoby výroby biologicky rozložitelných polymerů

Mezi základní reakce pro výrobu polymeru řadíme polymerizaci, polyadici polykondenzaci. Při těchto reakcích dochází ke vzniku makromolekulárních látek a navzájem se liší technikou a mechanismy vzniku [26, 27].

Polymerizace

Při této reakci dochází ke spojování molekul monomerů ve větší celky do tzv. polymeru. Chemická struktura vzniklého polymeru se tak neodlišuje od složení monomeru. Pro vznik polymerizace musí monomer obsahovat minimálně dvě funkční vazby schopné této reakce. Polymerizace je základní reakcí pro výrobu plastů např. tlakovou polymerací za přítomnosti Zieglerových katalyzátorů (trialkylhliníku a chloridy titanu) se vyrábí polyethylen [26, 27].

Polyadice

Polyadice je založena na postupné adici, kdy nejprve vznikají menší celky, které se poté spojují v makromolekuly. Vytváří se polymery, v jejichž základním řetězci jsou i atomy kyslíku nebo dusíku. Polyadicí se vyrábí polyuretany, které se dále používají pro výrobu lepidel a molitanu [26, 27].

Polykondenzace

Při této polyreakce se spojují velké počty monomerů na polymer za současného odštěpení odpadního produktu, nejčastěji vody. Pro správný průběh této reakce musí monomery obsahovat nejméně dvě funkční vazby. Polykondenzací se vyrábí polyamidy, které se užívají pro výrobu textilních vláken (např. silon), obroučky brýlí a hřebeny [26, 27].

3.2.3 Způsoby zpracování a zpracování biologicky rozložitelných polymerů

Pro výrobu polymeru je materiál zpracován různými technologickými metodami na polotovár nebo finální produkt. [26, 27].

Mezi základní zpracovatelské postupy patří vstřikování, vytlačování, vyfukování a odlévání [26, 27].

Vstřikování

Je nejrozšířenější technologie výroby plastů, při které se z tlakové komory dávka roztaveného plastu vstříkne velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy a ztuhne zde v konečný výrobek. Vstřikováním lze zpracovávat termoplasty a některé reaktoplasty a kaučuky [26, 27].

Vytlačování

Při vytlačování je roztavená plastická hmota je vytlačováno kontinuálně přes profilovací zařízení do volného prostoru, kde dochází ke zchlazení vodou nebo vzduchem, následnému

ztuhnutí. Tato technologie slouží pro výrobu konečných výrobků nebo pouze k výrobě polotovarů [26, 27].

Vyfukování

Vyfukování je technologie, při které je polotovar tvarován přetlakem ve vyfukovací formě. Nejprve je polotovar zahřát na teplotu, při které je tvarovatelný a plastický a zároveň přitom ještě udržuje dostatečnou soudržnost. Poté je ve formě tvarován vzduchem [26, 27].

Odlévání

Základem této technologie je převést polymer do stavu, kdy je hmota dostatečně tekutá pro odlévání. Probíhá v prostředí atmosférického tlaku, kdy se monomer zpravidla odlévá do forem, které se musí předehřát. Pomocí rotace se polymer ve formě rovnoměrně rozštepí kolem stěn formy a vytvoří celistvý výrobek [26, 27].

3.3 Biodegradace

Jedná se o zvláštní druh degradace, při níž dochází k rozložení polymerů působením biologických činitelů. Známa je biodegradace mikroorganismy, hmyzem a hlodavci. Plísňe se nejčastěji podílejí na biodegradaci plastů se zkrácenou životností a jejich podmínkou růstu je vysoká vzdušná vlhkost. Vyjma výše uvedených podmínek hrají významnou roli i další faktory, jakou jsou kombinace materiálů, mikroklima, stupeň stáří plastů a podobně. Rozklad samotného polymeru způsobují metabolity produkované bakteriemi a plísněmi. Enzymy jako je například peptidáza jsou schopny štěpit polyamidovou vazbu a dokonce vazbu esterovou [28].

Během mikrobiální degradace plastů se zkrácenou životností dochází k následujícím chemickým pochodům. V počáteční fázi dochází k dehydrogenaci polymerů a adici vody, za vzniku alkoholů, které jsou oxidovány na mastné kyseliny. Poté dochází k adici 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. Celulóza a některé termoplasty jsou přes pyruvát a acetylkoenzym-A převáděny do trikarboxylového cyklu a vznikají tak kyselina citronová, jantarová, fumarová, jablečná atd. V další fázi dochází k redukci dvojnásobné vazby, kde mohou vyvolat aktinomycety a některé bakterie štěpení amidové i esterové vazby [28].

Mikroorganismy při povrchové erozi začínají biologicky degradovatelný polymer (dále jen BDP) enzymaticky konzumovat z povrchu směrem dovnitř, což podnítlí v počáteční stadiu pomalou redukci molekulové hmotnosti výhradně v důsledku enzymatické reakce. BDP se při vnitřním narušení začne rozkládat po celém jeho průřezu, protože skrz polymer do amorfních oblastí může proniknout voda a způsobuje hydrolytické reakce, které snižují velikost polymeru. Jelikož je štěpen hlavní polymerní řetězce, což v počáteční fázi zapříčiňuje rychlý pokles molekulové hmotnosti. Na povrch polymerů dokáží prostoupit oligomery o nízké molekulové hmotnosti a následně jsou mikroorganismy konzumovány [30].

Pouze u polymeru, který má hydrolyzovatelné funkční skupiny se může vyskytovat vnitřní eroze. Může tedy probíhat u PLA [30].

3.4 Dopady biologických plastů na odpadové hospodářství

Nepřehitě rostoucí nároky na kvalitu výstupních produktů recyklace plastů zvyšují požadavky na kvalitu dotřídění a pro další zajištění čistoty vstupujících druhotných surovin do procesu recyklace. Na dotřídřovacích linkách mohou nastat velké obtíže při identifikaci materiálu, když BRP budou odděleně sbírány spolu s jinou komoditou jako jsou např. plasty. Je to způsobeno tím, že BRP dosahují obdobného vzhledu a zakládáních vlastností, které mají tradiční plasty, ale nelze je však s nimi recyklovat dohromady [38].

Jeich separování od běžných plastů (PP, PE, PS, polyethylentereftalát (dále jen PET)) a možná i znečištění materiálové recyklace dílčích plastů může výrazně zkomplikovat celý stávající systém recyklace v Evropě. Ukázkovým příkladem může být recyklace PET, kdy už jen 0,1 % PLA může znatelně ohrozit recyklaci PET, přičemž láhve z PLA a z PET mají obdobné vlastnosti a je obtížné je oddělit na dotřídřovacích linkách [38].

Sběr biologicky rozložitelného odpadu (dále jen BRO) společně s BRP za účelem kompostování není zcela vhodný, protože některé bioplasty nejsou kompostovatelné. Do budoucna se předpokládá, že v ČR bude zavedena povinnost odděleného sběru rostlinných bioodpadů, kam není však možné bioodpady odkládat [38].

Jednou z alternativ může být domácí kompostování BRP (tj. sběr BRO do pytlíků z BRP). Nicméně lidé musí být srozuměni tím, že konečný produkt budou používat na svém pozemku, což se nedá vždy předpokládat [38].

Předpokladem zavedení samostatného sběru BRP je kvalita a dostatečné množství sbíraného odpadu, dostatečnou infrastrukturu pro zajištění jeho následující úpravy rozřídění a recyklace. Z hlediska zabezpečení dostatečných kapacit pro úpravu a zpracování BRP, může

být velkou nevýhodou jejich rozmanitost. V současnosti existuje na 300 druhů BRP s rozdílným způsobem rozkladu a skladbou materiálů, z nichž jsou vyrobeny [38].

Jestliže se budou výrobky z materiálu BRP ve větším množství vyskytovat v recyklačních systémech, bude nutné navrhnout vhodný systém značení a zvolit doporučený způsob nakládání s jednotlivými kategoriemi BRP tak, aby se zamezilo vnesení nežádoucích příměsí do systému recyklace plastů [38].

3.5 Případný vliv plastů na kompostování

Hlavním problémem u plastů v kompostovací základce je nízká schopnost rozložitelnosti, materiál zůstává vcelku, což má za následek zpomalení procesu kompostování. Při konečném zpracování kompostu především vyrobeného ze samotně shromažďované travní hmoty, může kompost obsahovat zejména plasty a kovy, kdy je obtížné tyto znečišťující látky z něj odstranit [30].

Ve větším množství mohou plasty ovlivňovat proudění vzduchu v kompostované základce, kde se budou vytvářet mrtvé oblasti, které jsou původem nepříjemného zápachu a budou znamenat přinejmenším větší potřebu překopávání [29].

Pokud je na kompostárnu svážen biologický odpad z odděleného sběru, který může obsahovat plastové sáčky a ve větším množství může být u přesívače kompostu síto ucpáváno a bude nutné pořídit větrný drtič [29].

4 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování je proces rozkladu organické hmoty aerobními mikroorganismy za dostatečného přístupu vzduchu. Podmínky kompostování se dají technologicky zajistit různými způsoby. Produktem kompostování je kompost, který se využívá jako registrované hnojivo na zemědělskou půdu dle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech [10].

Při kompostování hraje důležitou roli poměr uhlíku a dusíku (C:N), přístup kyslíku, skladba surovinového materiálu, přítomnost mikroorganismů, teplota a vlhkost kompostu [10].

Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, kompostování definuje jako systém sběru a shromažďování rostlinných zbytků z údržby veřejné zeleně a zahrad na území obce, jejich úprava a následné zpracování na zelený kompost [10].

Podmínky, které urychlují proces kompostování lze shrnout do několika bodů:

- výběr vhodného surovinového složení zakládky kompostu
 - výběr vstupních surovin,
 - příprava vhodných surovin,
- sledování procesních podmínek
 - měření fyzikálně-chemických vlastností (teplota, stupeň provzdušnění, tlak apod.),
- použití zařízení zajišťující vhodné procesní podmínky
 - úprava vlhkosti kompostu,
 - provzdušňování a promíchávání kompostu – překopávání,
 - přikrývání kompostu speciální plachtou [11].

4.1 Popis procesu kompostování

1 fáze – Fáze rozkladu

Neboli také označována jako fáze mezofilní se vyznačuje rychlým nárůstem teploty, následně relativně rychlým poklesem teploty. Dochází ke zvýšení teploty na 20 – 45 °C vlivem působením mikroorganismů a zároveň dochází k rozvoji mezofilních bakterií a plísní za rozkladu lehce rozložitelných látek (škrob, cukry, bílkoviny, hemicelulóza a některé lipidy) na látky jednodušší (monosacharidy, aminokyseliny, alifatické alkaloidy, organické kyseliny – octovou, propinovou aj., CO² a další sloučeniny). Mikroorganismy nejsou schopny odbourávat

organické kyseliny, proto rychle roste zastoupení těchto kyselina a dochází k poklesu pH [10, 12].

Při teplotách 20 – 30 °C nastává vrchol aktivity mezofilních mikroorganismů a vlivem činnosti zvýší teplotu na 45 °C, při níž nastupují termofilní organismy. Mohou také zvýšit teplotu až na 80 °C. V této etapě se především uplatňují tyčinkové bakterie a mikromycety, které rozkládají celulózu. Při tvorbě hrají důležitou roli termofilní houby. Potenciální vzestup teploty nad 70 °C je nutno zredukovat z důvodu hynutí vhodných organismů a tím se prodlužuje doba zrání [12].

2 fáze – Fáze přeměny

Jinak nazývaná jako fáze termofilní, kde probíhá biologická oxidace, z které se uvolňuje teplo a tímto se zvyšuje teplota na 45 - 70 °C. Při této teplotě přežívají pouze termofilní bakterie, aktinomycety a některé druhy hub. Jsou zde odbourávány organické látky, které jsou obtížně odbouratelné (např. celulóza, lignin) a současně vznikají organické látky humusové charakteru, které jsou stabilní. Odstraňují se přitom patogenní mikroorganismy a rozkládají se tu plevelná semena, pokud se zde udrží požadovaná teplota na nezbytnou dostačující dlouhou dobu. Kompost má na pohled drobtovitou strukturu a lehce voní po lesní půdě. Ke konci druhé fáze lze už kompost použít jako hnojivo [10].

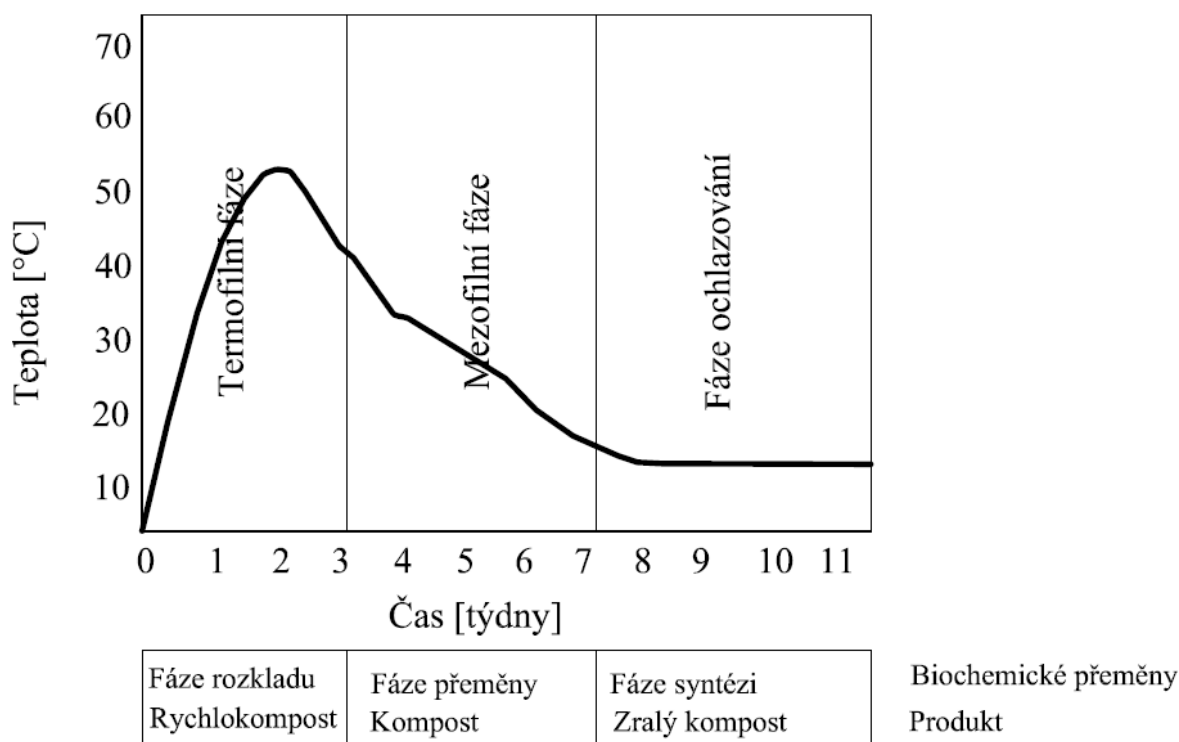
3 fáze – Fáze syntézy

Označována také jako etapa dozrávání. V této fázi klesá teplota na hodnotu okolí, dochází k tvorbě vazeb mezi anorganickými a organickými a k tvorbě stabilního, kvalitního humusu. Kompost se už nezahřívá a již zde nepozorujeme téměř žádný úbytek hmotnosti a kompostovaná hmota je zcela homogenní a bez zápachu [10, 12].

Ve vyzrálém kompostu se nalézají kokovité bakterie, které jsou představitelé autochtonních mikroflóry, dále hmyz, roztoči, žížaly, malí živočichové a další organismy [12].

Od začátku kompostování může dojít až k celkovému snížení hmotnosti o 40 %. Dochází k velkému poklesu objemu, protože se materiál zhutňuje [12].

Průběh fází kompostování vidíme na následujícím grafu (Obrázek č. 9: Fáze a teplotní charakteristika kompostování).



Obrázek č. 9: Fáze a teplotní charakteristika kompostování [31, upraveno 37]

4.2 Podle způsobu kompostování rozeznáváme tři základní způsoby

4.2.1 Domácí kompostování

Pod pojmem domácí kompostování se rozumí kompostování biologicky rozložitelných odpadů při používání kompostu u rodinných domů a zahrad. Vyrábí se kompost z biologického odpadů produkovaný přímo z domácnosti nebo na zahradě. Obvykle realizováno v malém kompostéru o rozměrech 1 m×1 m×1 m, který může být vyroben z pletiva, dřeva, z plastu nebo lze kompostovat na zahradě na hromadě. Jedná se o tradiční metodu, při níž se odpad zpracovává přímo u zdroje a není nutná žádná další manipulace, zpracovatel získává pro svoji potřebu kvalitní hnojivo - kompost [11, 13].

Uzavřený kompostér je vhodný pro sběr kuchyňského odpadu a odpadu z údržby domácí okrasné zeleně. Odpad z kuchyně má vhodné složení a jsou tak zaručeny dobré podmínky pro kompostování. V uzavřeném kompostéru je dosaženo kvalitní hygienizace a kompost je chráněn. Materiál v kompostéru se musí hlídat, aby bylo dosaženo dostatečné vlhkosti a provzdušnění [11].

Jedná se o nejjednodušší způsob zpracování biologicky rozložitelného odpadu přímo v místě vzniku. Z hlediska legislativy je považováno za předcházení vzniku odpadu [11, 13].

4.2.2 Komunitní kompostování

Společné neboli komunální kompostování je mezistupeň mezi domácím a komunitním kompostování. Prosazuje se tam, kde je určitá komunita občanů, kteří nemají možnost domácího kompostování (panelový dům se dvorem nebo se zahradou, zahrádkářská nebo chatová oblast apod.). Při účelně zvolené poloze kompostišť se jedná o levný a jednoduchý způsob zpracování biologického odpadu. Systém je závislý na intenzitě třídění, velikosti komunity, množstvím kompostovatelných rostlinných zbytků. Rovněž se od tohoto odvíjí i potřebná plocha pro kompostování. Kompostovat lze v boxech nebo volně na hromádách, které jsou nejrůznějšího tvaru a materiálu [11].

Je systém sběru a shromažďování rostlinných zbytků z údržby zeleně a zahrad území obce, jejich úprava a následné zpracování na zelený kompost [11].

Obec pak stanoví obecně závaznou vyhláškou systém komunitního kompostování. Úprava a kompostování zelených zbytků musí být provozovány tak, aby nedošlo k narušení složek životního prostředí nad míru stanovenou zvláštními právními předpisy. Podle velikosti komunity se ke kompostování využívají kompostéry umístěné před obytnými domy nebo velkoobjemné kontejnery umístěné na vhodném sběrném místě v obci, které se následně sváží do blízké kompostárny [11, 13].

4.2.3 Komunální kompostování

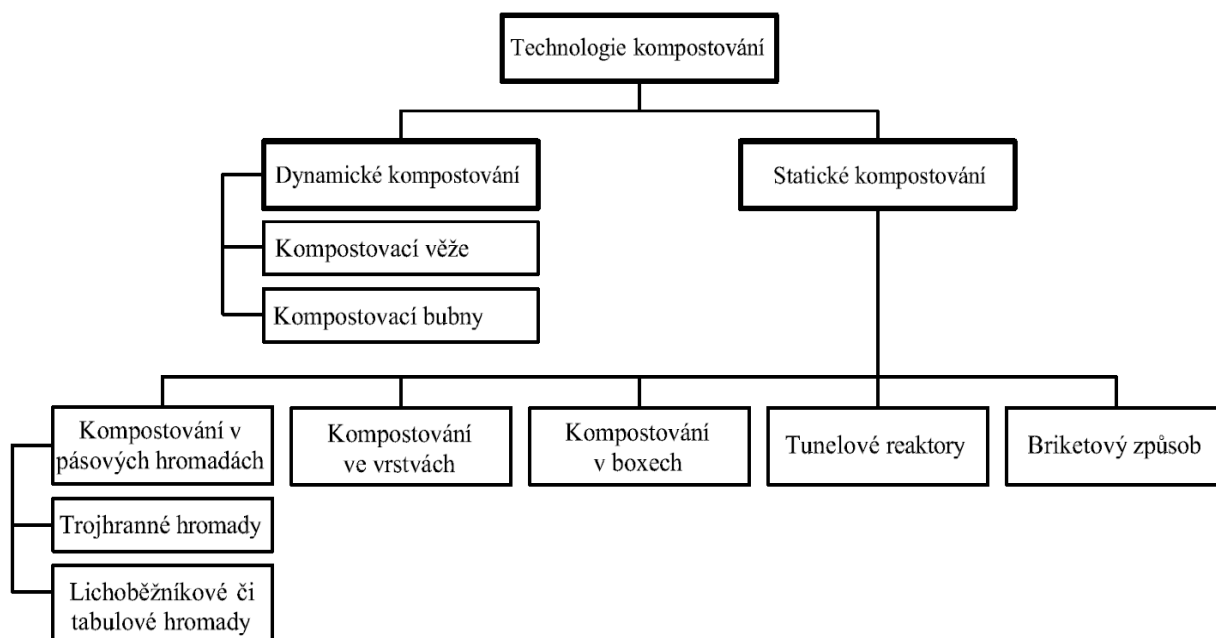
Při komunálním kompostování se zpracovává biologický odpad sbíraný z větší oblasti než je tomu u komunitního kompostování a hodně často bývá založeno na komerční bázi. Pro zavedení systému tříděného sběru biologického odpadu je nutno nastavit vhodné sběrné nádoby a svozové parametry. Tento biologický odpad pochází z obecních zařízení (úřady, školy, apod.), z údržby obecní zeleně a tento odpad lze materiálově využít v rámci komunálního kompostování. Bioodpad je poté svezem do centrální kompostárny, kde je provozovatelem obec nebo soukromý subjekt, který je k provozování kompostárny pověřen. Provozovatelem kompostárny pak nese veškeré náklady, které z provozu plynou. Při úspěšném provozu a za vhodně nastavených podmínek však mohou být vyváženy nebo překročeny příjmy plynoucí z poplatků za využití odpadu a z případného prodeje kompostu [11].

Provzdušňování lze uskutečnit ve větší míře pomocí mechanického překopávání překopávači. Další provzdušňování může být realizováno nuceně, kdy je výměna vzduchu kompostovatelného materiálu zajištěna vháněním či odsáváním vzduchu [11].

Jelikož je zavedení komunálního kompostování pod záštitou obce, odpadá povinnost obce platit poplatek za zpracování biologického odpadu jiné společností, ale naopak vznikají náklady zejména na vybudování vhodného zařízení a náklady na provoz celého systému sběru a zpracování biologického odpadu. Jedná se však o jednoznačně o nejlevnější technologii ve srovnání s ostatními (mechanicko – biologická úprava, bioplynová stanice apod.) [11].

4.3 Technologie kompostování

V současné době jsou v praxi využívány rozdílné technologie kompostování viz obrázek č. 9. Typ substrátu, místo kompostování a složení mikroorganismů udává technologii kompostování. Typ kompostování specifikuje jeho průběh a rozděluje jej jejich využívaná technika, kterými jsou zabezpečovány optimální podmínky kompostování pro činnost potřebných mikroorganismů. V praxi jsou většinou více využívány tzv. statické způsoby kompostování, než způsoby dynamické (Obrázek č. 10: Technologie kompostování) [31].



Obrázek č. 10: Technologie kompostování [31, upraveno 37]

4.3.1 Statické technologie kompostování

Statické technologie kompostování se uplatňují v polních podmínkách. Zakládka kompostu je zpravidla zakládána v blízkosti vzniku odpadu a ke kompostování jsou využívány posklizňové zbytky různých plodin. Pro kompostovanou zakládku je třeba vytvořit rovný a zpevněný povrch s velkým prostorem pro prodlužování kompostu dle potřeby. Profil zakládky může být lichoběžníkový nebo trojúhelníkový [31].

4.3.2 Dynamické technologie kompostování

U těchto technologií kompostování se využívá kontinuální nebo cyklický způsob pohybu kompostovaného materiálu za současného provzdušňování. Tento pohyb zajišťují bioreaktory ve tvaru bubnů nebo věží. Jedná se o intenzivní kompostování a označuje se jako rychlý a krátkodobý způsob kompostování. Je vhodný pro dekontaminaci odpadu v co nejkratší době [31].

4.4 Produkty kompostování

Konečným produktem kompostování je kompost, který by měl dosahovat určitých kvalitativních parametrů dle využití (Tabulka č. 1: Kvalitativní parametry průmyslových kompostů). Podle stupně biochemické rozložitelnosti a finálního zpracování lze rozlišit čtyři základní druhy kompostu:

1. Surový kompost vzniká bez mechanické úpravy odpadů pro kompostování a bez rozkladu nebo dezinfekce.
2. Čerstvý kompost kompostované materiály jsou v počátečním stupni biochemického rozkladu a zcela po dezinfekci.
3. Vyzrálý kompost je plně rozložen a konečný produkt je po úplné dezinfekci.
4. Speciální kompost je po ukončení procesu dále upravován (přidáním minerálních látek), zpracováván, tříděn [11].

Tabulka č. 1: Kvalitativní parametry průmyslových kompostů [10, upraveno 37]

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost (% hm.)	40-60
Spalitelné látky (% sušiny)	min. 25
Celkový dusík (% sušiny)	min. 0,60
Poměr C:N	max. 30:1
Hodnota pH	6 - 8,5
Nerzložitelné příměsi (%)	max. 2,0
Homogenita celku (% rel.)	630

5 NORMATIVNÍ PROSTŘEDÍ SOUVISEJÍCÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝMI PLASTY

V souvislosti s biologicky rozložitelnými plasty a plastovými obalovými materiály byly pro Českou republiku vydány uvedené následující normy.

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

5.1 ČSN EN 13432 Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci - Zkušební schémata a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu

Tato technická evropská norma (dále jen EN) stanovuje požadavky na obaly využitelné ke kompostování, biodegradaci, dále zkušební schéma a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu. Stanovuje požadavky na obaly, tak aby byl obal považován za využitelný. Tyto požadavky rozvádí s ohledem na organické využití. Nedílnou součástí normy jsou postupy a požadavky pro stanovení kompostovatelnosti a možnosti úpravy obalů a obalových materiálů.

Tato norma obsahuje normativní odkazy, termíny a definice pro účely této normy, specifické požadavky na organicky využitelný odpad. Dále metodické uspořádání zkušebního schématu, doporučené laboratorní zkoušky biodegradability, stanovení rozpadu obalu, obalového materiálu a posouzení jakosti výsledného pokusu.

Podle této normy má obal funkci ochrannou, slouží k vnitřnímu uložení, k manipulaci a k prezentaci výrobků. Jedno z využití použitelného obalu během jeho celého životního cyklu

volitelného z několika možností je právě organické užití. Celý systém by se měl optimalizovat, tak aby se šetřily zdroje a co nejvíce zredukovalo množství odpadů.

Tyto požadavky a postupy stanovuje podle čtyř charakteristik:

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

Jestliže je obal složen z různorodých součástí, z nichž některé jsou kompostovatelné a jiné ne, sám obal jako celek kompostovatelný není. Nicméně, je-li možné součástí před zneškodněním snadno ručně oddělit, lze tyto kompostovatelné součásti, jakmile jsou oddělené od nekompostovatelných, považovat za způsobilé ke kompostování a mohou být jako takové zpracovány.

Tahle evropská norma začleňuje kompostovatelnost obalu samotného, ale nespadá do nařízení, která mohou platit v souvislosti s kompostovatelností jakýkoli pozůstatků náplní.

Norma zde také uvádí postupy pro získání informací o zpracování obalů v řízených provozech pro úpravu odpadu, ale nebere v úvahu obalový odpad, který může skončit mimo jakoukoliv kontrolu v okolním prostředí, např. jako zahozený obal [14].

5. 2 ČSN EN 14806 Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku

Tato EN obsahuje normativní odkazy, termíny a definice pro účely této normy, popisuje podstatu zkoušek, zkušební postupy, sledování procesu kompostování, chemické analýzy a výpočet stupně rozkladu.

Tato EN lze uplatnit a provádět úspěšně v každé univerzální laboratoři, proto nevyžaduje žádné speciální bioreaktory. Je potřeba aplikovat homogenní, standardní, syntetický odpad. Syntetický odpad tvoří složky, které jsou nezávadné, suché, čisté a lze snadno uchovat v laboratoři, aniž by došlo k nějakému problému v souvislosti se zdravotními problémy nebo s jejich zápachem. Pro správné provedení zkoušky, musí být syntetický odpad konstantního složení a je zbaven jakéhokoliv nežádoucího obalového materiálu, tak aby po ukončení zkoušky nebyl nesprávně identifikován jako zkoušený materiál a změnil by tak konečný výsledek. Množství syntetického odpadu je velmi nízké (kolem 3 dm³) a rovněž bioreaktory jsou malé.

Při celkovém zjednodušení zkušebního postupu je navíc výrazně zredukováno množství zkušebních vzorků zkoušeného materiálu.

Při této laboratorní metodě se používá syntetický odpad a je zaměřená na modelování prostředí nacházející se v průmyslovém kompostování. Předem lze posoudit z hlediska rozpadu obalové materiály vystavené tomuto vlivu prostředí. Záporný výsledek nicméně neznamená, že se testovaný materiál v podmínkách průmyslového kompostování nebude rozkládat.

Tyto zkušební metody nezahrnuje otázky ochrany životního prostředí a ekotoxicity, není zaměřena na stanovení biologické biodegradability obalových materiálů při podmínkách kompostování. Pro ujištění kompostovatelnosti jsou nezbytné následující zkoušky [15].

6 REALIZACE POKUSU V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH KOMPOSTOVÁNÍ S VYBRANÝMI VZORKY

V praktické části diplomové práce bude popsána realizace pokusu, vyhodnocení získaných výsledků a porovnání těchto výsledků s ostatními vědeckými pracemi podobného charakteru.

Cílem experimentu bylo zjistit, zda jsou vzorky biologicky rozložitelné v reálných podmínkách kompostování v průmyslové kompostárně. K pokusu byly použité vybrané vzorky nákupních tašek, na kterých je od výrobců uvedeno, že jsou částečně nebo zcela rozložitelné. U sledovaných vzorků bylo monitorováno jeho materiálové chování, prokazovalo se zda jsou uvedené informace na jednotlivých vzorcích pravdivé a rovněž se určovali vlastnosti dílčích materiálů.

Při konání samotného pokusu se vycházelo z dosavadních informací, znalostí a zkušeností s komunálním kompostováním.

V průběhu pokusu byl pomocí speciálního softwaru technologie Hantsch pravidelně pořizován záznam vývoje teploty a procento provzdušnění kyslíkem dané kompostovací zakládky.

6.1 Centrální kompostárna

6.1.1 Úvodní informace

Kompostárna je zařízení na zpracování biologicky rozložitelného komunálního odpadu aerobním procesem pro tvorbu kompostu provozována v souladu se souhlasem k provozování zařízení a provozním řádem, schváleným krajským úřadem příslušné oblasti [13].



Obrázek č. 11: Mapa kompostárny [21]

Kompostárna se nachází nedaleko Třebíče u Náměště nad Oslavou v obci Vícenice (Obrázek č. 11: Mapa kompostárny). Pro výstavbu kompostárny byl vytvořena projekt a výstavba byla zahájena v roce 2002 a v témže roce byli zástupci dotčených obcí seznámeni s možným využitím kompostárny. Kompostárna byla uvedena do provozu v roce 2006, je k dispozici pro obce v regionech Náměšťsko a Chvojnice [13].

Provozovatelem je společnost CMC Náměšť, a.s. Společnost Zemědělská ekologická regionální agentura (dále jen ZERA) byla partnerem projektu pro výstavbu kompostárny. Nezisková organizace ZERA kompostárnu využívá jako model pro ostatní projekty kompostáren [13, 16].

Pro snížení celkových nákladů a větší využití prostoru v centrální kompostárně ve Vícenicích u Náměště nad Oslavou proběhla rekonstrukce (Obrázek č. 12: Rekonstrukce kompostárny), kde byla zabudována technologie řízeného aerobního procesu od francouzské firmy Hantsch. Rekonstrukce obnášela zabudování provzdušňovací potrubí do zpevněné plochy kompostárny, vybudování nosné zdi ventilátorů, zázemí pro monitoring a kontrolu procesu kompostování prostřednictvím speciální softwaru, který zabezpečuje průběžnou teplotu a obsah vzduchu v kompostovací zkládce. Celý proces se integruje pomocí získaných údajů z monitoringu a řídí provzdušňování zkládky ventilátory [17, 18].



Obrázek č. 12: Rekonstrukce kompostárny [21]

6.1.2 Navrhované parametry

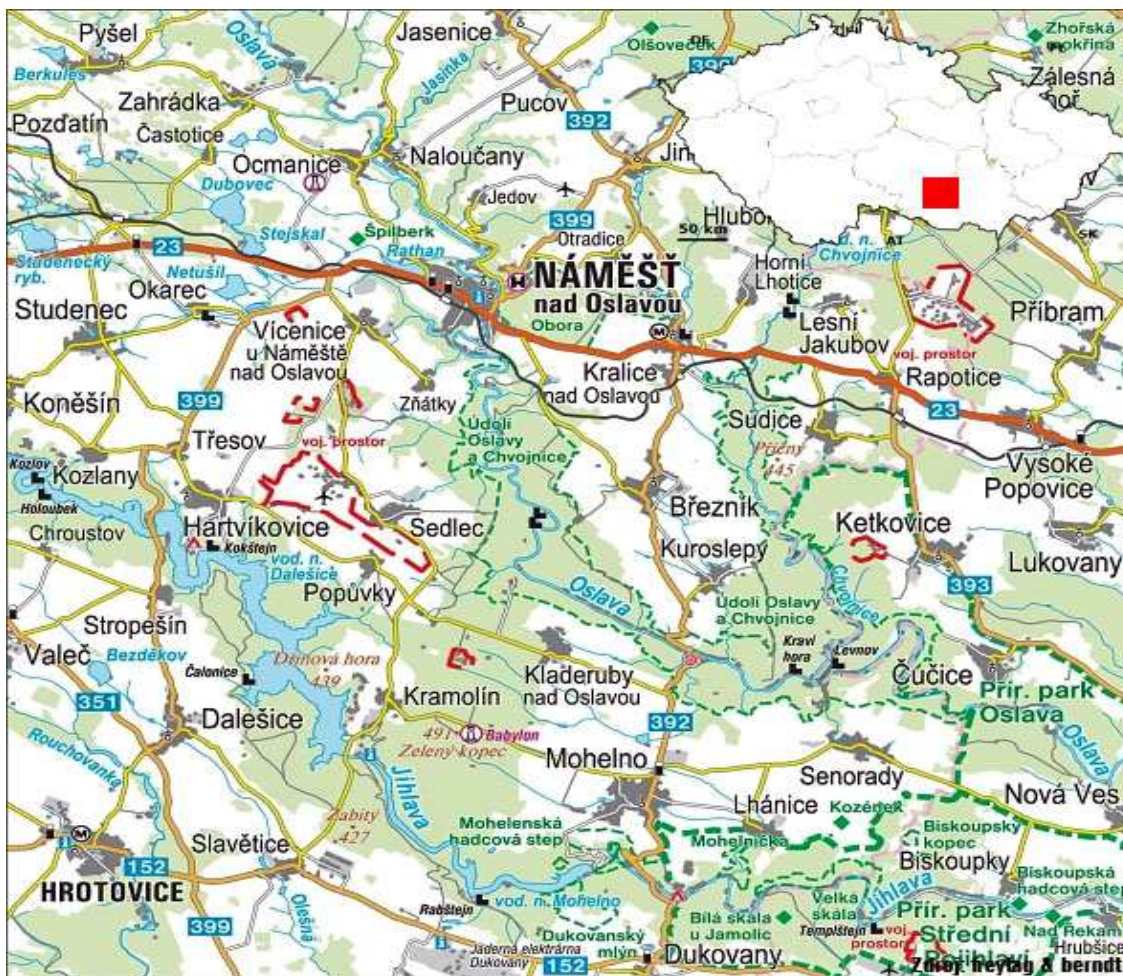
Kompostárna je schopná přijmout 3 000 000 kg zpracovaného biologicky rozložitelného odpadu za rok. Dle rozhovoru s paní Ing. Hejátkovou byla kompostárna dimenzována na maximální množství bioodpadu, které bylo zájmové území schopno vyprodukovat [2].

Při používání prvotní technologie kompostování na volné ploše byla kompostárna schopna zpracovat 1 000 000 kg ročně, při aplikaci současné technologie firmy Hantsch – kompostování aerobním procesem navýšila kapacitu na 2 500 000 kg za rok [17, 16].

6.1.3 Náklady a provoz

Financování kompostárny bylo zajištěno z 50 % z vlastních zdrojů společnosti CMC Náměšť a.s. a z 50 % Agenturou Sapard opatření 2.2 s názvem Kompostování bioodpadu, ekologická výchova – poradenství. Rozpočet na výstavbu kompostárny činil 3 900 000 Kč, z toho dotace činila 1 900 000 Kč. Výkupní cena 1 000 kg bioodpadu pro obce z mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice byla 395 Kč, prodejní cena kompostu 420 Kč.

Kompostárna je pro místní obyvatelé otevřena v provozní době od 7:00 do 15:00 v pracovních dnech v týdnu, kdy mohou navázat vytrídění biologický odpad zdarma do 1 000 kg za rok [13, 16].



Obrázek č. 13: Mapa mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice [13]

6.1.4 Popis technologie Hantsch

Základní činností kompostárny je kontrolované mikrobiální kompostování, kde je konečným produktem kompost, který je využit jako plnohodnotné hnojivo především místními obyvateli z mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice (Obrázek č. 13: Mapa mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice). Jedná se o registrovaný kompost dle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech. Kompostárna poskytuje pro obce z mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice mnoho dalších služeb v podobě pronájmu kontejneru, prodeje kompostu, uložení bioodpadu [13].

Vlastní technologický postup kompostování je prováděn jako kompostování na volné ploše v pásových zakládkách (Příloha č. 7: Kompostování pomocí technologie Hantsch). Aby byl zajištěn základní předpoklad procesu kompostování je potřeba při přípravě vstupní suroviny kvalitně nadrtit a namíchat, poměr C:N 30 - 35:1. Suroviny jsou ukládány do zakládek o rozměrech: základka 6,2 m; výška 2,4 m; délka 15 m. Podmínky pro aerobní rozklad jsou zajištěny vháněním vzduchu ventilátory do kanálků, které jsou umístěny pod zakládkami. Každá základka kompostování má tři speciálně upravené větrací kanálky, které zajišťují

optimalizaci přívodu vzduchu dle monitorovaných podmínek v zakládce. Celý proces kompostování je počítačově řízen, a tudíž automaticky zajišťuje přísun vzduchu podle potřeby kyslíku a průběhu teplot. Díky důkladnému monitoringu je množství emisí plynů limitováno [17].

První horká (intenzivní) fáze – tato první fáze je specifická pro vhánění vzduchu prostřednictvím centrifugálního dmýchala (ventilátoru) přes potrubní systém do trysek, který je uložen v podlaze ve vodohospodářsky zabezpečené ploše [17].

Pomocí centrální řídicí jednotky (centrální řídicí jednotka má 8 modulů) probíhá řízení větracího procesu. Prostřednictvím sond (pomocí jednotlivých rozvodových skříněk pro sondy) jsou sbírány informace a díky nim můžeme celý proces ovládat automaticky zapínáním vypínáním jednotlivých ventilátorů (podle přítomnosti kyslíku a výše teploty zakládky) [17].

Od začátku průběhu do konce kompostovacího procesu jsou kontrolovány základní parametry - množství kyslíku, teplota a vlhkost. Indikují aktivitu mikroorganismů a jejich výkonnost, intenzitu rozkladu a účinnost technologie (hygienizace zakládek). V počátcích musí zakládka kompostovacího procesu projít teplotami nad 45 °C po dobu 5 dnů, v případě přítomnosti patogenních mikroorganismů 55 °C po dobu 21 dní. Provzdušnění je potřeba pokud teplota přesáhne 65 °C. Pro řízení kompostovacího procesu a pro monitoring průběhu teplot v zakládkách je využívána řídicí soustava, která je součástí celé technologie [17].

Druhá pasivní fáze (dozrávání) – je zajištěna na volné ploše kompostárny, kde kompostovaná zakládka dozrává. Čerstvý kompost je nezbytné aspoň jedenkrát přeházet [17].

System rozvodu vzduchu a trysky

Tento systém byl speciálně vyvinut pro kompostování. V celém profilu zakládky biologicky rozložitelného odpadu je trvalý přívod vzduchu (při minimálních ztrátách). Do stávající záchytné jímky je odváděna odpadní voda pomocí sběrnice odpadní vody. Celý systém se sestává ze dvou až tří větracích ramp podél směru hromady, připojen na utěsněný odtok, který současně plní funkci sifonu pro průsakovou odpadní vodu. Tento kanalizační systém je napojen v místě dané kompostárny. Kromě sběru odpadní vody umožňuje odvodní drážka se sifonem regulovat tlak bez ohledu na stupeň plnění [17].

V betonovém bednění je zalita soustava potrubí a jenom trysky jsou uloženy volně (Příloha č. 10: Trysky technologie firmy Hantsch). Počet a velikost trysek pro běžný metr je určen počtem 819 PEHD trysek, průměr na 0,02 m, výška 0,0075 m. Trysky jsou umístěny pod úrovní terénu ve žlabu s hloubkou cca 0,015-0,02 m. PVC trubky jsou zality v betonové ploše či v betonovém kanálu, znatelná je pouze horní plocha trysek [17].

Větrací podlaha

Větrací podlaha musí být přizpůsobená rozdílnému pH (průměr 4 - 8) a rozdílným teplotám (teplota kompostu okolo 70 °C, teplota okolí zařízení) [17].

Zařízení musí mít sklon od 1 - 1,5 % min, nejvyšší bod je na straně ventilátorů. Podlaha může být z asfaltu či betonu, v obou případech nicméně musí být PVC trubky uloženy v kanálu z betonu [17].

Centrifugální dmýchadlo pro větrání

Externí centrifugální dmýchadlo je složeno z ventilátoru (Příloha č. 9: Ventilátor technologie firmy Hantsch), turbíny, nerez stojanu, mřížkou na sání, uzávěrem na odvodušňování, stojánkem, vyvýšením pro stojánek (Příloha č. 9: Ventilátor technologie firmy Hantsch). Na zadní straně stěny je umístěno dmýchadlo, které je připojeno na vzduchové potrubí a podlahou přivádí čerstvý vzduch pod kompostované hromady. Tímto je pod hromadami zajištěn stejnosměrný rozvod vzduchu a to zabezpečí optimální zásobování kompostu kyslíkem. Zohledňují se kompostovací vlastnosti produktu, ztráty při kompostování.

Počet kanálů, počet trysek a parametry rozvodu vzduchu umožňují držet rozdíl v zásobování kyslíkem mezi zadním a předním koncem zakládky v rozmezí 5 % a tím docílí stejnoměrného přívodu kyslíku [17].

Sondy

Jedná se o provedení, které bylo speciálně vyvinuto pro kompostování. Toto provedení není závislé na extrapolaci. Odpadají chyby měření ovlivněné tlakovými a teplotními podmínkami okolí např. při mrazu. Sondy jsou vybaveny čidly teploty a vzduchu, kalibračním portem, stojanem pro sondy [17].

Optimalizace monitoringu

Sledování vzduchu, který sjednocuje všechny parametry, je uzpůsoben pro kteroukoliv konkrétní surovinovou skladbu biologické odpadu podle platné definice uvedené v provozním řádu kompostárny [17].

Software

Software shromažďuje veškeré informace do jednotlivých skupin, které formátuje a analyzuje. Pomocí softwaru (Příloha č. 11: Speciální software technologie firmy Hantsch) umožňuje

jednoduchý a rychlý decentrální přístup k počítači např. sledování ze sídla vedení společnosti, prostřednictvím počítače doma nebo v kanceláři [17].

Plachta pro přikrytí kompostu

Pro přikrytí kompostu se může použít speciální plachta, odolná proti povětrnostním podmínkám a některým chemickým procesům. Zajištěna je podmínka hygienizačního procesu, kdy je homogenní teplota 70 °C po dobu jedné hodiny. Tato položka obsahuje 152 m² plachty, zařízení pro průchod sondy (3 ks) a mechanismy zatížení (20 ks) [17].

6.1.5 Výhody technologie Hantsch

Kompostování na volné ploše v pásových hromadách technologií řízeného procesu francouzské firmy Hantsch zajišťuje v kompostárně v Náměšti nad Oslavou, naplnění kapacity kompostárny zpracovaného odpadu a to pouze na jedné třetině vodohospodářsky zabezpečené plochy, což snižuje nároky na velikost plochy dané kompostárnou. Tato technologie vytváří vhodné podmínky pro zvýšení intenzity kompostovacího procesu a tím i jeho urychlení, zaručuje vyšší ochranu životního prostředí minimalizací emisního zatížení ovzduší, vody a půdy a dostatečnou hygienizaci kompostovaného materiálu. Dále zabezpečuje nízké provozní a personální náklady kompostárny [21].

6.2 Popis vzorků

Pro tento pokus byly použité čtyři vybrané vzorky nákupních tašek (Obrázek č. 14: Vzorky č. 1-4), které jsou dostupné v obchodních sítích v zemích Evropské unie (dále jen EU). Tyto tašky slouží jako náhrada za klasické igelitové tašky, které tvoří značnou část komunálního odpadu. První vzorek nákupní tašky je vyroben na bázi škrobu a má být kompostovatelná. Další taška je vyrobena z materiálu bioflex-219F, dle údajů výrobce se má rozložit v kompostu do 90 dní. Třetí vzorek je taška 100% rozložitelná, vyrobena z vysokohustotního polyetylenu a aditiv Tottaly Degradable Plastic Additives (TDPA). Poslední vzorek nákupní tašky je podle výrobce rozložitelný do 24 měsíců a je vyroben z kyslíko-biologicky odbouratelné přísady.

Před provedením pokusu byly tašky vloženy do síťového pouzdra a nafoceny. Jejich složení, typy materiálů s popisem vlastností, které jsou součástí potisku jednotlivých vzorků, jsou uvedeny v tabulce č. 1.



Obrázek č. 14: Vzorky č. 1-4 [37]

Tabulka č. 2: Typy a vlastností vzorků [35, upraveno 37]

Vzorek č.	Typ	Popis
1	na bázi škrobu	kompostovatelná
2	bioflex-219F	v kompostu se do 90dní rozloží
3	PE-HD + TDPA aditivum	100 % rozložitelné
4	kyslíko-biologicky odbouratelná přísada	rozloží se do 24 měsíců

6.3 Popis umístění pokusu

Pro přehled rozložitelnosti tašek byly všechny vybrané vzorky před vložením do kompostovací zakládky umístěny do síťového pouzdra (Příloha č. 13: První kontrola pokusu ze dne 4.8.2014). Vzorky nákupních tašek byly umístěny do kompostovací zakládky v kompostárně ve Vicenicích u Náměště nad Oslavou. Tuto kompostárnu jsem vybrala s návazností na mou bakalářskou práci, kdy mi bylo sděleno od pracovníka kompostárny pana Sedláka, že mají problém s přítomností plastů ve vytríděném biologicky rozložitelném odpadu. Kompostovací zakládka je v pásových hromadách na volné ploše, řízena pomocí technologie Hantsch. Pro lepší orientaci umístění vzorků v zakládce kompostu, jsem s pomocí pracovníka kompostárny pana Sedláka vložila dřevěné kůly viz příloha č. 12.

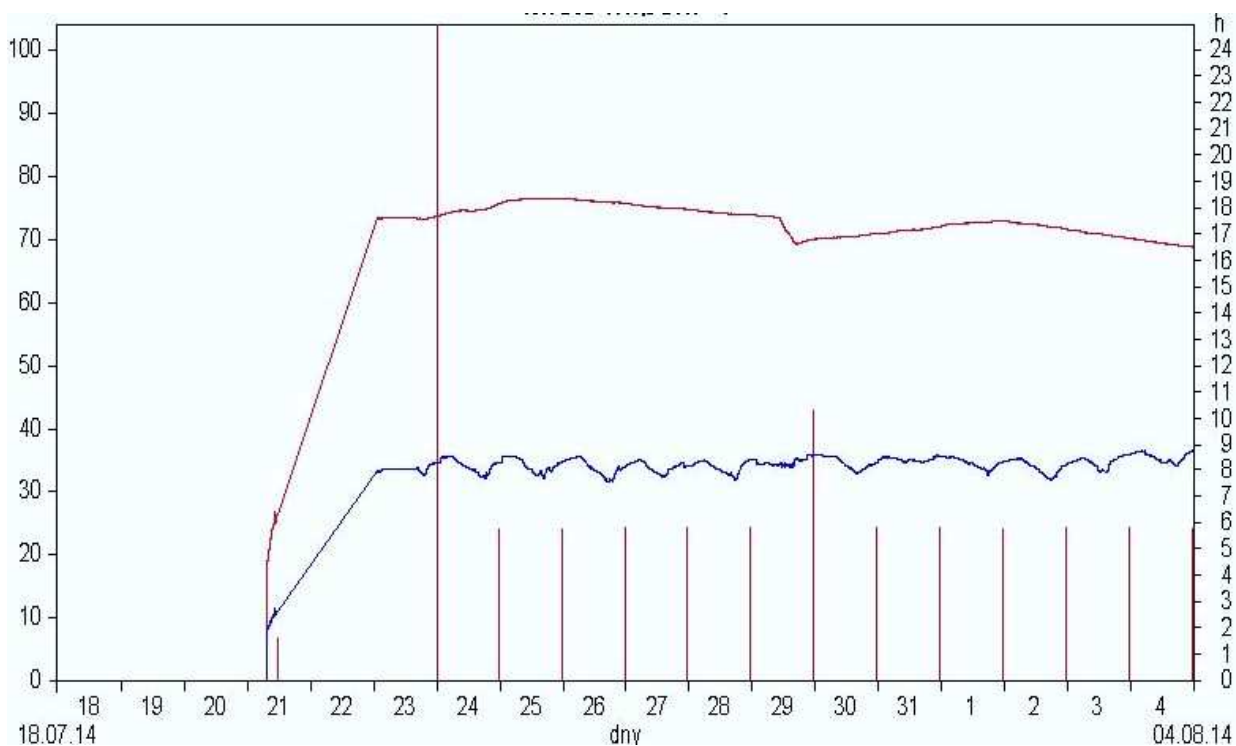
6.4 Popis průběhu pokusu

Pokus byl založen dne 18.7.2014 v kompostárně Náměšť nad Oslavou nedaleko Třebíče (Příloha č. 16: Ukončení pokusu). Tašky byly vloženy do síťové kapsy, která byla vyrobena přeložením sítě s oky o rozměrech 1×1 mm. Síťové pouzdra byly zajištěny po okrajích kovovými kancelářskými svorkami tak, aby se zamezilo eventuálnímu úniku menších frakcí materiálu. Do kompostovací zakládky jsem vložila čtyři vzorky nákupních tašek v síťové kapse u kterých výrobce udává, že jsou biologicky rozložitelné a chci tímto prokázat, že jsou informace uvedené na vzorcích pravdivé nebo pouhým obchodním tahem. V zakládce na kompostárně byly uloženy po dobu dvanácti týdnů, po tuto dobu jsem vzorky průběžně kontrolovala, vždy zdokumentovala a vizuálně posoudila jejich momentální stupeň rozloženosti. Kontrolu vzorku jsem vždy prováděla při překopávání kompostu (Tabulka č. 3: Časový harmonogram pokusu). Vzorky byly v zakládce situovány ve výšce 1 m, kdy celková výška zakládky byla 3 m. Provzdušňování pomocí trysek pod kompostovaným materiálem bylo prováděno kontinuálně dle potřeby. Monitoring vývoje teploty byl zabezpečován průběžně prostřednictvím speciálního softwaru firmy Hantsch.

Průběh vývoje teploty a procento provzdušnění kyslíkem v zakládce kompostu je vidět v grafech na obrázcích č. 15, 16, 17.

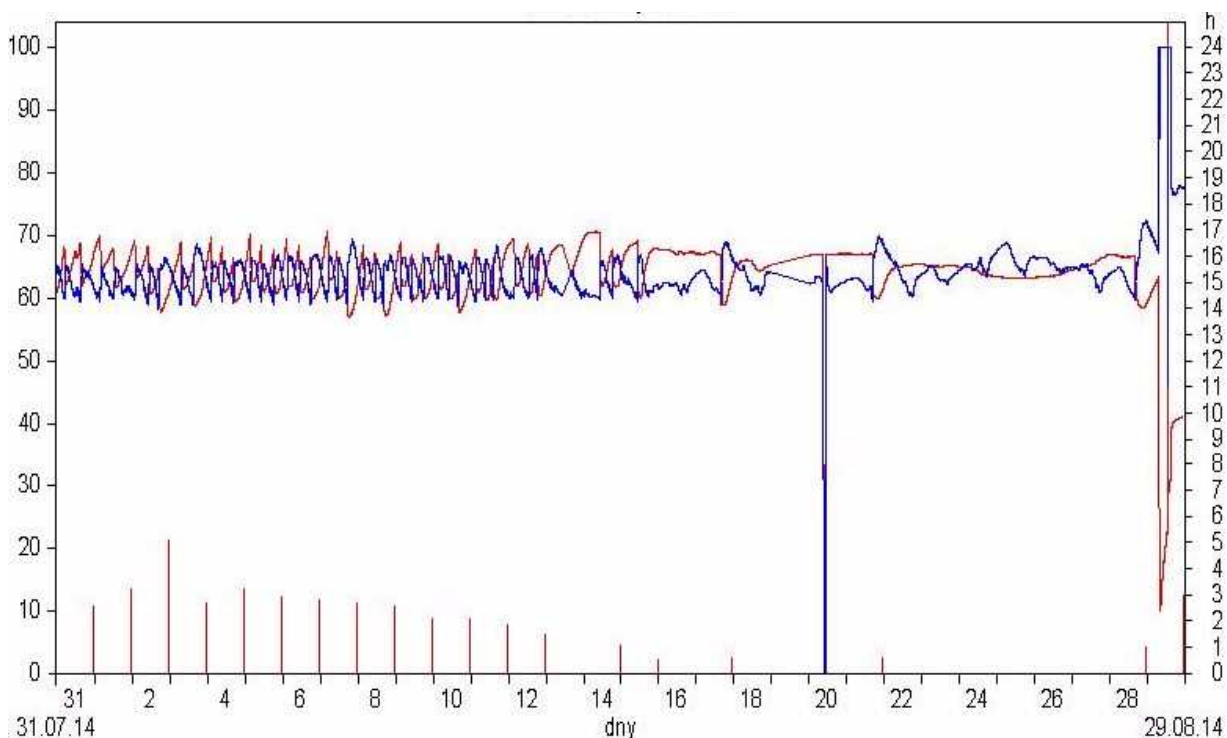
Tabulka č. 3: Časový harmonogram pokusu [37]

Datum	Den	Činnost
18.7.2014	0	založení pokusu
4.8.2014	17	kontrola
29.8.2014	42	kontrola
26.9.2014	70	kontrola
10.10.2014	84	ukončení pokusu



Obrázek č. 15: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v základce kompostu (modrá křivka) od 18.7.-4.8.2014 [36]

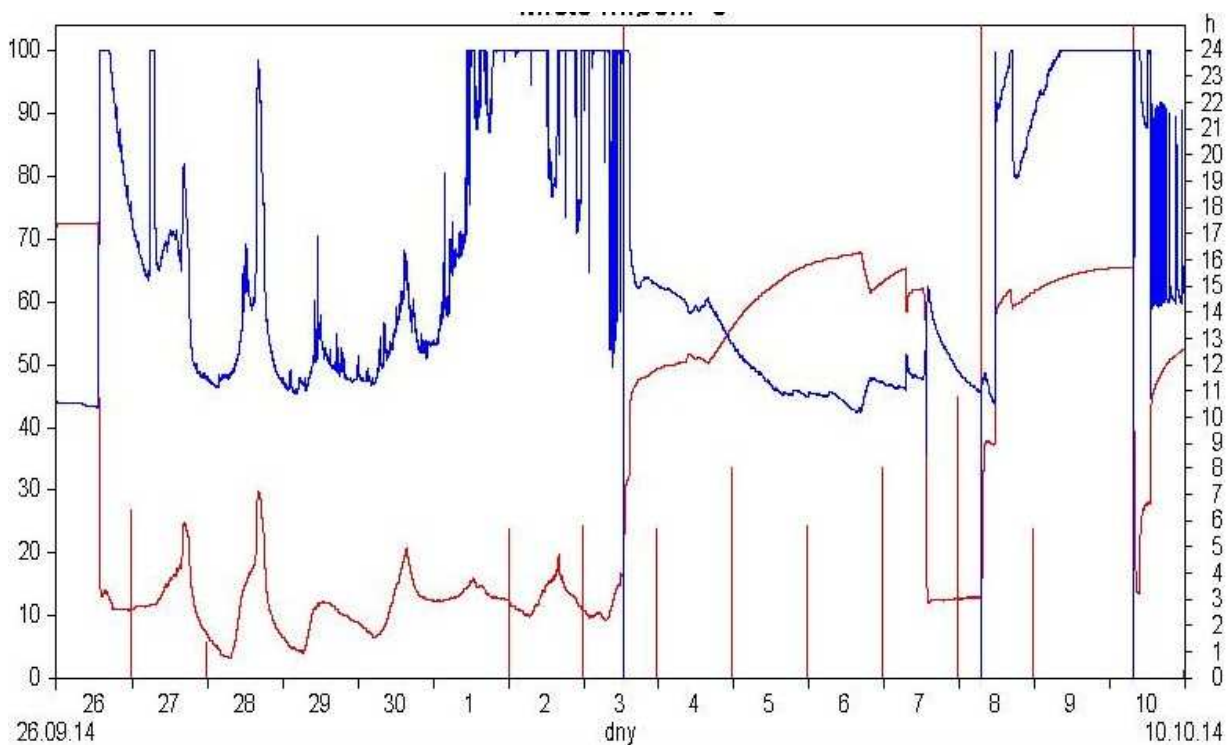
Na tomto grafu červená křivka znázorňuje vývoj teploty v prvních týdnech průběhu pokusu. Modrá křivka znázorňuje procento provzdušnění kyslíkem a červená křivka udává vývoj teploty. Modré čáry je doba chodu ventilátoru za den.



Obrázek č. 16: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v základce kompostu (modrá křivka) od 31.7.-29.8.2014 [36]

Na tomto grafu červená křivka znázorňuje vývoj teploty v období 2-6 týdne průběhu pokusu. Modrá křivka znázorňuje procento provzdušnění kyslíkem a červená křivka udává vývoj teploty. Modré čáry je doba chodu ventilátoru za den.

Dle Ing. Lucie Krejčí je nejlepší průběh procesu u tohoto grafu, kdy křivka provzdušnění má výborný průběh, ale ideální by bylo kdyby křivka teploty byla relativně rovná. Doba provzdušňování se má postupně snižovat, jak dochází ke stabilizaci odpadu.



Obrázek č. 17: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v zakládce kompostu (modrá křivka) od 26.9.-10.10.2014 [36]

Na tomto grafu červená křivka znázorňuje vývoj teploty v 6-12 týdnu pokusu. Modrá křivka znázorňuje procento provzdušnění kyslíkem a červená křivka udává vývoj teploty. Modré čáry znázorňují dobu chodu ventilátoru za den.

Tabulka č. 4: Měsíční teploty a srážky za sledované období [24, upraveno 37]

Kraj: Vysočina	červenec	srpen	září	říjen
úhrn srážek (mm)	90	104	112	34
teplota vzduchu (°C)	18,9	15,4	13,6	9,6

6.5 Ukončení pokusu

Pokus byl ukončen 10. 10. 2014 po 12 týdnech průmyslového kompostování v centrální kompostárně v Náměšti nad Oslavou.

Po ukončení experimentu byly vzorky vyjmuty z kompostovací zakládky a nafoceny. Poté byly vzorky odvezeny z kompostárny a opatrně vyčištěny, umyty, tak aby nedošlo ke ztrátě jemných frakcí testovaného materiálu a znovu vyfoceny. Poněvadž byly síťové

pouzdra vzorků při vyjmutí částečně poškozeny traktorem s čelním nakladačem, nebylo možné vymýt některé vzorky tak, aniž by nedošlo k úniku menších frakcí materiálu.

Jelikož byly vzorky v průběhu pokusu přemísťovány z jedné zakládky do druhé, nebyla možnost provést fytotoxicitu přítomnosti těžkých kovů v daném kompostu.

7 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

7.1 Vzorky bez známek rozpadu

Vzorek č. 3 tašky, která byla vyrobena z materiálu PE-HD + TDPA aditivum a při experimentu nejevil známky rozpadu či změny pevnosti materiálu v průběhu kompostování a ani na jeho konci (Obrázek č. 18 Vzorek č. 3 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj). Při pohledu na vzorek bylo poznat známky změny barvy potisku, která ale byla zanedbatelná.

Na základě pokusu se potvrdilo, že tento vzorek není 100 % rozložitelný, jak udává výrobce. Ze získaných výsledku je tato taška nevhodná pro kompostování v centrální kompostárně.



Obrázek č. 18: Vzorek č. 3 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj [37]

Vzorek č. 4 tašky také nejevil známky rozpadu a ani známky zbarvení potisku během pokusu, stejně tak i na jeho konci (Obrázek č. 19: Vzorek č. 4 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj). Tento testovaný vzorek tašky je vyroben kyslíko-biologicky odbouratelné přísady, dle údajů na potisku se měl výrobek rozložit do 24 měsíců.

Vzhledem k tomu, že vybraný vzorek ani po ukončení pokusu nevykazoval žádné známky rozpadu a materiál zůstal soudržný, nemůže být tato taška doporučena k průmyslovému kompostování.



Obrázek č. 19: Vzorek č. 4 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj [37]

7.2 Vzorky se zjištěným stupně rozkladu

Vzorek č. 1 je taška vyrobená z materiálu na bázi škrobu a na potisku tohoto výrobku je uvedeno, že je kompostovatelná. Tato taška během procesu kompostování podlehla znatelné degradaci již při druhé kontrole, při ukončení pokusu byl testovaný materiál zcela rozložen na nejjemnější frakce a může být tedy doporučena pro kompostování v průmyslové kompostárně (Obrázek č. 20: Vzorek č. 1 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj).



Obrázek č. 20: Vzorek č. 1 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj [37]

Vzorek č. 2 vykazoval již po pár týdnech změny barvy, známky rozkladu a nesoudržnosti materiálu. Došlo zde k postupné degradaci a na konci pokusu testovaný vzorek vykazoval velký stupeň rozkladu (Obrázek č. 21: Vzorek č. 2 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj). Tato taška byla vyrobena z materiálu bioflex-219F a má se dle výrobce rozložit v kompostu za 90 dní.

Jelikož se tato taška během mého experimentu téměř rozložila, lze předpokládat, že bude vhodná ke kompostování v průmyslové kompostárně.



Obrázek č. 21: Vzorek č. 2 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj [37]

7.3 Vyhodnocení získaných výsledků

Vyhodnocení experimentu spočívá ve stanovení stupně rozkladu pro jednotlivé zkoumané polymerové materiály.

Jestliže polymer dosáhne 90 % a více stupně rozkladu v prostředí kompostové zakládky, lze ho považovat za biologicky rozložitelný, což v praxi znamená, že po vystavení průběhu kompostování po období 12 týdnů nesmí projít více než 10 % testovaného polymerního materiálu sítem pro frakci $a > 2$ mm. U jednotlivých vzorků dochází k vizuálnímu porovnání počátečního stavu oproti konečnému stavu [22].

Na rozdíl od laboratorních podmínek, může být reálné prostředí ovlivňováno řadou faktorů, které nelze ovlivnit jako: atmosférické srážky, teplota vzduchu, aj. a některé jsou méně

snadno ovlivnitelné, jako například, vlhkost kompostové zakládky, pH prostředí, aj. Rychlost a proces rozkladu mohou výrazně tyto faktory ovlivnit. Při vyhodnocení experimentu je nutné přihlídnout k vlhkosti a teplotám kompostové zakládky, která je ovlivňovaná atmosférickými srážkami. Údaje o teplotě a vlhkosti kompostové zakládky jsou významné k potvrzení průběhu procesu kompostování. Je vhodné pokus zopakovat, pro ověření získaných výsledků [22].

Vzorky č. 1 a 2 se zcela rozložily v reálných podmínkách kompostování. Vzorky č. 3 a 4 se materiálově nezměnili. Pouze vzorek č. 3 ztratil barvu. Fotografie vybraných vzorku po ukončení jsou uvedeny v příloze č. 16.

Stupeň rozkladu vzorků mohla ovlivnit vlhkost kompostu, kdy při letních dnech může docházet k vysušování kompostu.

Manažerka kompostárny Ing. Lucie Krejčí mi sdělila, že na kompostárně mají problém se základkami založených na ventilací technologie Hantsch. Zakládky nemají dobrou materiálovou strukturu, protože mají příliš mnoho suchého materiálu a v téže době také na kompostárnu dováželi kaly z nedaleké čistírny odpadních vod, která sídlí v Domašově. Bohužel, tato směs odpadu byla málo strukturní a zakládky se nedali dostatečně provzdušnit. Ventilace technologie Hantsch nemá tak velkou sílu, aby provzdušnila, tak vysokou zakládku kompostu. Po několika málo pokusech s kaly, zrušila firma CMC Náměšť s čistírnou odpadních vod smlouvu a kaly se už sem nenaváží.

Podle pracovníka kompostárny pana Sedláka musí složitě namíchávat vstupní suroviny do kompostu, tak aby nebyla počáteční směs nadměrně suchá.

8 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ S VÝSLEDKY VĚDECKÝCH PRACÍ ZAMĚŘENÝCH NA TUTO PROBLEMATIKU

Vzorky č. 1 a 2 se zcela rozložily v reálných podmínkách kompostování. Vzorky č. 3 a 4 nevykazovali žádné vizuální známky rozkladu v prostředí průmyslového kompostování. Tyto vzorky byly vizuálně celistvé a pevné. Pouze vzorek č. 3 vykazoval lehkou změnu barvy, která je z hlediska rozložitelnosti materiálu zanedbatelná.

Podobný pokus byl proveden v reálných podmínkách kompostování, proběhl v roce 2011 v Centrální kompostárně Brno a.s. Tento výzkum byl také zaměřen na ověření stupně rozkladu BRP materiálu, které se používají jako nákupní tašky v zemích EU a označovaných jako kompostovatelné, rozložitelné v řízených podmínkách kompostování. Byly použity stejné vzorky jako centrální kompostárně v Náměšti nad Oslavou. Tyto vzorky byly v průběhu celého experimentu kontrolovány a vizuálně sledovány po dobu 13 týdnů. Autoři výzkumu zjistili, že zkoumané vzorky se částečně nebo zcela rozložily. Vzorky z HDPE se při jejich experimentu rovněž nerozložily [23].

Oba experimenty probíhaly přibližně stejnou dobu a dosáhly stejných výsledků. I když výzkumy probíhaly v podobném prostředí, mohou se výsledky lišit, protože byla použita jiná technologie kompostování a na proces kompostování může působit řada vnějších faktorů, které nelze ovlivnit jako: atmosférické srážky, teplota vzduchu, aj.

Další pokus byl prováděn studentem Mendelovy univerzity Janem Zlochem v roce 2012, kdy po dobu 12 týdnů v prostředí domácího kompostování, bylo testováno 9 vzorků, kde výrobce deklaruje, že jsou rozložitelné či kompostovatelné. Jedná se o plastové nákupní tašky a jednorázové kompostovatelné nádoby (kelímky a tácky). Byly použity dva domácí kompostéry, které byly ze dřeva o rozměrech 160×130×100 cm a druhý 105×100×80 cm. Domácí kompost byl složen z velké části z posečené trávy, z králíčího hnoje, biologického odpadu z kuchyně (slupky z ovoce, káva, sáčky z čaju aj.) a dále byly použity části rostlin, srst či peří hospodářských zvířat a dřevěný popel [7].

Vzorek č. 1 se v domácím kompostéru pouze částečně rozložil. Výrobek uvedený pod vzorkem č. 2 se nerozložil do 90 dní, tak jak uvádí výrobce. V této práci bylo dosaženo odlišných výsledků. V prostředí domácího kompostování zkoumaný materiál se pouze částečně nebo vůbec nerozložil, protože nebylo dosaženo takových teplot, tak jako v prostředí průmyslového kompostování [7].

K dalšímu srovnání získaných výsledku byl použit pokus založený slečnou Bc. Veronikou Klapsiovou. Kompostová zakládka byla založena 20. července roku 2012

u stěny rodinného domu v Mostech u Jablunkova a v téže den byly do kompostovací zakládky vloženy zkoumané vzorky. Byly použity dva plastové kompostéry, které byly vyrobeny z recyklovaného plastu. Kompostovaný materiál se skládal z koňského hnoje, zeminy a trávy smíchané s pilinami v poměru 1:3. Pomocí digitálního teploměru byla sledována teplota jak ve středu, tak po okrajích kompostéru. Aby byl zajištěn dostatečný přístup vzduchu a došlo rovnoměrnému rozkladu materiálu, byl kompost pravidelně překopáván. Pro udržování optimální vlhkosti byl kompost dle potřeby zvlhčován [25].

Během prvních několika kontrol vzorky č. 1, 2, 3 nevykazovaly vizuální změnu. Po 8 týdnech u vzorku č. 2 byly viděny vizuální známky rozpadu v místě přeložení tašky, kdy se testovaný materiál rozpadl na velké fragmenty. Při kontrole 23. 09. 2012 bylo u vzorků č. 1 a 2 zpozorován znatelný rozklad, kdy se testovaný materiál rozpadl na velké části. Vzorek č. 3 nevykazoval stále žádné známky rozpadu, materiál byl pořád stejně pevný a soudržný a barvy zůstaly nezměněny jako před vložením do kompostu. Po ukončení pokusu byl proveden výpočet hmotnostního úbytku, kdy u vzorku č. 1 byl 0 % hmotnostní úbytek a tento vzorek vykazoval drobné změny struktury, kdy zkoumaný materiál ztratil pevnost, a okrajové segmenty vykazovaly vizuální známky rozpadu. U vzorku č. 2 byl negativní stupeň rozkladu, ale i přesto jevil známky rozpadu. Dle autorky nebyl rozpad natolik významný, že by se zkoumané vzorky daly doporučit pro domácí kompostování, ale k úplnému rozpadu by mohlo dojít v prostředí řízených podmínek a proto by vzorky doporučila pro průmyslové kompostování. Vzorek č. 3 nejevil známky rozpadu ani během procesu kompostování a ani po ukončení výzkumu, proto tašky nemohou být doporučeny ke kompostování [25].

Pro další porovnání získaných výsledky byla použita diplomová práce slečny Bc. Adély Haraštové, kde bylo testováno 5 vzorků nákupní tašky stejného materiálu, ale v pěti nádobách. Vstupními surovinami byla směs posečené trávy a hoblin v objemovém poměru 3:1, v průběhu pokusu byly nádoby doplňovány čerstvě posečenou trávou a kompostovaný materiál byl vždy promíchán. Výzkum byl založen 9. 5. 2011 v areálu Mendelovy univerzity v Černých polích. V nádobách bylo simulováno prostředí v kompostované hromadě a kontroly probíhaly v týdenních intervalech. Pravidelně byla sledována teplota, obsah kyslíku, pH, vlhkost a elektrická vodivost [6].

Do konce pokusu zůstala teplota měřené biomasy na hodnotách okolí pokusných nádob nebo i níže. Tudíž tyto dosažené teploty nesplnily předepsané limity hygienizace kompostované biomasy, kdy je požadováno po dobu minimálně 5 dní udržení teploty 45 °C a výše. Během procesu kompostování byla koncentrace kyslíku uvnitř nádoby ze začátku nízká a v dalších týdnech měla vzestupný charakter. Dle autorky tato skutečnost dokládá intenzivní proces

rozkladu biomasy už od prvního týdne průběhu pokusu. Vzorek č. 3 také nevykazoval žádné známky rozpadu ani po 10 měsících kompostování. Ani jedna taška nejevila známky vizuálních změn. U vzorků, které byly v nádobách déle ponechány, byl zaznamenán zanedbatelný úbytek hmotnosti. U tašek, které byly ponechány v procesu kompostování do konce března 2012, byl naměřen úbytek hmotnosti v průměru 0,4 g. Výrobce garantuje úplný rozklad až po 3 letech, vzhledem ke krátkému časovému horizontu však nelze ověřit tuto informaci. Ze získaných výsledku při tomto pokusu vypnul, že kompostování menšího objemu biologicky rozložitelného materiálu nezajišťuje hygienizaci biomasy a proto nelze v podmínkách domácí kompostéry kompostovat jiný materiál či odpad než čistě rostlinného původu [6].

Ve stejnou dobu probíhal pokus s vybranými vzorky v laboratorních podmínkách, který byl založen slečnou Bc. Dagmar Dostálovou. Výzkum probíhal pomocí dvou reaktorů z inertního materiálu, který neovlivní jak proces kompostování, tak výsledek pokusu. Tyto reaktory byly perforovány, tak aby byla umožněna výměna s okolím vzduchem a bylo možné materiál dostatečně provzdušnit. Pro lepší manipulaci a aby nedocházelo k nadměrnému vysušování kompostovacího materiálu, byla schránka uzavřena víkem. Tento experiment probíhal při teplotě 68 °C. Jako vstupní suroviny do kompostovací zakládky byly použity piliny, kompost, škrob, sacharóza, řepkový olej, močovina a biologicky rozložitelný komunální odpad. Po ukončení výzkumu byly reaktory a kompostovaným materiálem a testovanými vzorky vysušeny do konstantní hmotnosti. Kompost byl zvážen a hmotnost zaznamenána. Následující tabulka uvádí hodnoty testovaných vzorků před započítáním pokusu, po započítání pokusu a jejich stupeň rozkladu.

Tabulka č. 5: Výsledky pokusu Bc. Dagmar Dostálové při teplotě 68 °C [upraveno 37]

Číslo reaktoru	Číslo vzorku	Původní hmotnost vzorku [g]	Hmotnost vzorku po [g]	Stupeň rozkladu [%]
1	1	7,7	0	100
	2	6,37	0,0312	99,5
	3	2,73	2,69	1,5
	4	2,44	2,44	0
2	1	7,28	0,0341	99,5
	2	6,35	0,0096	99,9
	3	2,72	2,61	4
	4	2,44	2,39	2

V laboratorních podmínkách se vzorek č. 1 v reaktoru č. 1 zcela rozložil, kdežto v reaktoru č. 2 vzorek dosáhl stupně rozkladu 99,5 %. Vzorek č. 2 dosáhl téměř stejných výsledků v obouch reaktorech. U vzorku č. 3 a č. 4 došlo k zanedbatelnému rozkladu.

Další experiment byl založen Bc. Lucií Spěšnou v laboratorních podmínkách, kdy teplota v reaktorech byla 48 °C. K pokusu bylo použito 8 reaktorů s kompostovanou hmotou. V následující tabulce uvádím hodnoty testovaných vzorků slečnou Lucií Spěšnou před započítím pokusu, po započítí pokusu a jejich stupeň rozkladu.

Tabulka č. 6: Výsledky pokusu Bc. Lucie Spěšné při teplotě 48 °C [upraveno 37]

Číslo reaktoru	Číslo vzorku	Původní hmotnost vzorku [g]	Hmotnost vzorku po [g]	Stupeň rozkladu [%]
1	2	6,35	0	100
2	2	6,36	2,95	53,6
3	1	7,72	1,44	81,3
4	1	7,72	1,43	81,5
5	4	2,43	2,83	-16,5
6	4	2,19	2,38	-8,7
7	3	2,7	2,84	-5,2
8	3	2,71	2,97	-9,6

V laboratorních podmínkách při teplotě 48 °C se vzorek č. 2 v prvním reaktoru plně rozložil a tím dosáhl největšího stupně rozkladu, ale v druhém reaktoru se rozložil jen částečně. Vzorek č. 1 dosáhl stejných výsledků, kdy v reaktoru č. 3 dosáhl 81,3 % stupně rozkladu, v reaktoru č. 4 dosáhl 81,5 % stupně rozkladu. Materiál těchto dvou vzorků ztratil své počáteční vlastnosti, nyní byl méně pevný a byl jemnější. U vzorku č. 3 bylo dosaženo záporných výsledků a zkoumaný materiál se tedy nerozložil. Nejhorších výsledku dosáhl vzorek č. 4, kdy se testovaný materiál vůbec nerozložil. Vzorky č. 3 a č. 4 měli větší hmotnost po ukončení pokus než byla původní hmotnost. Což mohla být pravděpodobně způsobeno ulpěním kompostovaného materiálu na povrch zkoumaného vzorku i přes důkladné vyčištění. Při vizuálním posouzení bylo znatelné, že nedošlo k žádnému rozpadu těchto vzorků, zůstaly celistvé a vykazovaly téže vlastnosti. Barevnost ani pevnost se v průběhu pokusu nezměnila.

Z porovnání získaných výsledků s vědeckými pracemi vyplývá, že zkoumané vzorky č. 1 a 2 můžou být vhodné pro kompostování v reálných podmínkách, ale nemohou být

doporučeny pro domácí kompostování a řízený rozklad v laboratorních podmínkách. Vzorke
č. 3 a 4 nejsou vhodné pro žádný způsob kompostování.

9 ZÁVĚR

Záměrem této závěrečné práce bylo ověřit, zda jsou vybrané vzorky, dle informací uváděných od výrobce na obalu rozložitelné či kompostovatelné v reálných podmínkách kompostování. Tyto výrobky jsou uváděné na trh na území Evropské unie. Charakterizovat proces kompostování, BRP a popsat související normativní prostředí. Pro průkaznost získaných výsledků, byly závěry zkoumání porovnány s výsledky vědeckých prací zaměřených na tuto problematiku. Další účelem porovnávání získaných výsledků s vědeckými pracemi je, zdali jsou tyto materiály vhodné nebo naopak nevhodné pro použití kompostování v průmyslových kompostárnách nebo pro jiný způsob kompostování.

Pokus s vybranými vzorky byl proveden v reálných podmínkách v kompostárně v Náměšti nad Oslavou. Zde byly vloženy do kompostovací zakládky ve výšce 1 m v síťových kapsách a ponechány po dobu 12 týdnů, pravidelně kontrolovány a zdokumentovány. Po vyjmutí z kompostu byly vzorky umyty a byl zhodnocen jejich rozklad.

Některé BRP materiály použité při experimentu jeví již po 10 týdnech známky rozkladu. Vzorky č. 1 a 2 se zcela rozložily v reálných podmínkách kompostování, kde první vzorek byl vyroben na bázi škrobu a druhý z materiálu bioflex-219F a jsou proto vhodné pro průmyslové kompostování. Vzorky č. 3 a 4 nevykazovaly žádné vizuální známky rozkladu a nedoporučila bych je pro jakékoliv kompostování. Pouze vzorek č. 3 vykazoval zanedbatelnou změnu barvy. Tyto vzorky byly vyrobeny z materiálu PE-HD + TDPA aditivum a z kyslíko-biologicky odbouratelné přísady.

Na základě pokusu bylo zjištěno, že vzhledem k dosaženým teplotám během procesu průmyslového kompostování pomocí francouzské technologie Hantsch, zajišťuje dostatečnou hygienizaci kompostovaného materiálu. Díky tomu je možné v podmínkách kompostování zpracovávat i jiné odpady než rostlinného původu, z údržby zeleně nebo biologický odpad ze zahrad a kuchyní.

Nevýhodou biologicky rozložitelných plastů je, že jsou pouze za určitých podmínek rozložitelné. V procesu kompostování se mohou tedy některé zcela rozložit, jiné však nikoliv. Z vědeckých prací vyplývá, že biologicky rozložitelné plasty jsou pro domácí kompostování nevhodné a jsou většinou rozložitelné v průmyslových kompostárnách, kde je dosaženo lepších podmínek.

Z těchto důvodů by bylo vhodné sjednotit podmínky pro výrobce a vytvořit garantované lhůty, čímž výrobce bude povinen zaručit, že biologicky rozložitelný plast bude plně rozložen.

Podle výsledků vědeckých prací se můžeme domnívat, že informace uvedené výrobcem na testovaných vzorcích o jejich rozložitelnosti, mohou být marketingovým tahem na zákazníky.

Biologicky rozložitelné plasty mají potenciál v případě tašek na biologický odpad, se kterými mohou být společně vloženy do kompostu a tímto si vytváří své místo na trhu. Lze však předpokládat, že do budoucna bude nutné prodloužit dobu kompostování nebo změnit způsob kompostování, tak aby se materiál z biologicky rozložitelného plastu plně rozložil. Nebo používat takový biologicky rozložitelný plast, který se v těchto podmínkách rozloží a nebude prodlužovat dobu kompostování.

10 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

[1] *Europa: Životní prostředí: Co s plastovým odpadem?* Nová zelená kniha zahajuje celoevropskou diskusi, online. Brusel 2013 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.europa.eu/rapid/press-release_IP-13-201_cs.htm>

[2] SPĚŠNÁ, L., 2013: *Vývoj biodegradabilních plastů na českém trhu*. Bakalářská práce, Brno

[3] HARAŠTOVÁ, A., 2013: *Biodegradabilní obalové plasty*. Bakalářská práce, Brno

[4] RAAB CSc., M. p. (nedatováno), *Podivuhodná historie igelitu*, Vesmír (Leden 2013), str. 59

[5] *Třídění odpadu*. (nedatováno). online [cit. 2014-12-28]., Dostupné z [trideniodpadu.cz](http://www.trideniodpadu.cz): <<http://www.trideniodpadu.cz/#!bioplasty/c1x5m>>

[6] HARAŠTOVÁ, A., 2012: *Ověření stupně degradace biologicky rozložitelných obalů v čase*. Diplomová práce

[7] ZLOCH, J., 2011: *Biodegradabilní plasty a plastové odpady, jejich úprava, zhodnocení, odstranění*. Bakalářská práce

[8] RUDIK, E., 2008: *Compostable Polymer Materiále*. 1.vyd. Elsevier, Oxford, 211s., ISBN 978-0-08-045371-2.

[9] RŮŽIČKOVÁ, K. KOTLÍK, B., 2004: *Chemie II v kostce*, 3.vydání, ISBN 80-7200-761-0.

[10] FILIP, Jiří a kol., 2002: *Odpadové hospodářství*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 84 s. ISBN 80-7157-608-5.

[11] HŘEBÍČEK, J. a kol. *Projektování nakládání s bioodpady v obcích* 1. vyd. Brno: Littera, 2010. 54 s. ISBN 978-80-85763-56-0.

[12] KOLÁŘOVÁ, Ž., 2006: *Kompostování čistírenských kalů*. Diplomová práce, Brno

- [13] SVOBODOVÁ, M., 2013: *Zavedení pilotního projektu sběru biologicky rozložitelných odpadů ve městě Náměšť nad Oslavou a v přilehlých obcích*. Bakalářská práce
- [14] ČSN EN 13432. (2001), *Obaly - Požadavky na obaly využitelné ke kompostování a biodegradaci - Zkušební schémata a kritéria hodnocení pro konečné přijetí obalu*.
- [15] ČSN EN 14806. (2006), *Obaly - Předběžné hodnocení rozpadu obalových materiálů v modelových podmínkách kompostování v laboratorním měřítku*.
- [16] kol. autorů, 2008: *Pilotní projekt: Řešení bioodpadu v regionu*. 1 vyd. Náměšť nad Oslavou, ISBN 80-903548-8-2
- [17] KŘÍŽOVÁ, O., 2012: *Technologie řízeného aerobního procesu firmy Hantsch*
- [18] KŘÍŽOVÁ, O., 2012: *Hantsch - Mechanické a biologické zpracování tuhých odpadů, koncepce a realizace*
- [19] MELICHARKOVÁ, P. , 2008: *Polymery s řízenou životností*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín
- [20] *Zelená kniha, Evropská strategie pro řešení problematiky plastového odpadu v životním prostředí*. online [cit. 2015-01-28], Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/green_paper/green_paper_cs.pdf>
- [21] CMC Náměšť a.s., online [cit. 2014-12-10], Dostupné z: <<http://www.cmcnamest.cz/kompostarna.php>>
- [22] VAVERKOVÁ, M. ADAMCOVMÁ, D., 2014, *Metodika pro hodnocení rozkladu rozložitelných polymerních materiálů v reálných podmínkách kompostování*, 1.vydání, ISBN 978-80-7509-095-9
- [23] VAVERKOVÁ, M. ADAMCOVMÁ, D., 2013: *Evaluation of biodegradability of plastics bags in composting conditions*, Environmental Protection engineering

[24] ČESKÝ HYDROMETEROLOGICKÝ ÚSTAV, Databáze online [cit. 2015-04-26].
Dostupné z: <<http://www.chmi.cz/>>

[25] KLAPSIOVÁ, V., 2013: *Hodnocení rozkladu biologicky rozložitelných materiálů*.
Diplomová práce

[26] DUCHÁČEK, V., 2006: *Polymery – výroby, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd.
Vysoká škola chemicko - technologická v Praze, Praha, 276s., [s. 39-272] , ISBN 80-7080-617-
6

[27] KROISOVÁ, D., 2009: Biodegradovatelné polymery –úvod do problematiky, Technická
univerzita v Liberci, Liberec, 78s., [s. 10-49]

[28] HONZÍK, R., *Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace*. Biom.cz, online.
2004-08-18 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>>. ISSN: 1801-2655.

[29] SLEJŠKA, Antonín: *Přijdou kompostárny rozvojem domovního a komunitního kompostování o práci?*. Biom.cz, online [cit. 2015-03-31]. Dostupné z www:
<<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prijdou-kompostarny-rozvojem-domovniho-a-komunitniho-kompostovani-o-praci>>. ISSN: 1801-2655.

[30] kol.autorů, 2007: *Kompostování přebytečné travní hmoty*, 1. vyd., Náměšť nad Oslavou,
ISBN 80-903548-6-6, online [cit. 2015-03-31]. Dostupné z www:
<http://eagri.cz/public/web/file/26930/Kompostovani_prebytecne_travni_biomasy.pdf>

[30] KALE, Gaurav, Thitisilp KIJCHAVENGKUL, Rafael AURAS, Maria RUBINO, Susan E.
SELKE a Sher Paul SINGH. Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview.
Macromolecular Bioscience. vol. 7, issue 3, s. 255-277. DOI: 10.1002/mabi.200600168.
Dostupné z: <<http://doi.wiley.com/10.1002/mabi.200600168>>

[31] TESAŘOVÁ, M., ZDENĚK, F., MONIKA SZOSTKOVÁ A GERT MORSCHECK. *Biologické zpracování odpadů*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. 129 s. ISBN 978-80-7375-420-4

[32] PAZDERA, 2008, online [cit. 2015-01-04], Dostupné z www: <<http://pazderalev.webnode.cz/vyuka/technicke-materialy/plasty/>>

[33] Eurostat / *PlasticsEurope Market Research Group*, online [cit. 2015-04-04], Dostupné z: <http://www.docstoc.com/docs/127407974/European-Plastics-Industry-_EU27_---Monitoring>

[34] DLUHOŠ, J., 2014, *Ekologicky šetrné obaly pro gastronomii*, online [cit. 2015-02-04], Dostupné z www: <<http://www.bio-info.cz/zpravy/ekologicky-setrne-obaly-pro-gastronomii>>

[35] *Potisk jednotlivých vzorků*

[36] *Ing. Lucie Krejčí*

[37] *Autorka*

[38] VANĚK, T., 2013, *Výzkum říká: Degradovatelné plasty příliš nedegradují*, online [cit. 2015-04-12]. Dostupné z www: <<http://odpady-online.cz/vyzkum-rika-degradovatelné-plasty-prilis-nedegraduji/>>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, ZKRATEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Základní dělení plastů.....	10
Obrázek č. 2 : Produkce plastových materiálů v Evropě.....	11
Obrázek č. 3: Nákupní taška z rostlinného škrobu a olejů.....	13
Obrázek č. 4: Kelímek z celulózy	14
Obrázek č. 5: Využití chitosanu.....	15
Obrázek č. 6: Kyseliny polymléčná (vzorec).....	16
Obrázek č. 7: Kyseliny polyglykolová (vzorec)	16
Obrázek č. 8: Polypropylen.....	17
Obrázek č. 9: Fáze a teplotní charakteristika kompostování	24
Obrázek č. 10: Technologie kompostování	26
Obrázek č. 11: Mapa kompostárny	33
Obrázek č. 12: Rekonstrukce kompostárny	34
Obrázek č. 13: Mapa mikroregionu Náměšťsko a Chvojnice.....	35
Obrázek č. 14: Vzorky č. 1-4	39
Obrázek č. 15: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v základce kompostu (modrá křivka) od 18.7.-4.8.2014	41
Obrázek č. 16: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v základce kompostu (modrá křivka) od 31.7.-29.8.2014	42
Obrázek č. 17: Graf vývoje teploty (červená křivka) a procento provzdušnění kyslíkem v základce kompostu (modrá křivka) od 26.9.-10.10.2014	43
Obrázek č. 18: Vzorek č. 3 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj.....	45
Obrázek č. 19: Vzorek č. 4 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj.....	46
Obrázek č. 20: Vzorek č. 1 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj.....	46
Obrázek č. 21: Vzorek č. 2 před vložením do kompostu a následně po vytažení z něj.....	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Kvalitativní parametry průmyslových kompostů.....	28
Tabulka č. 2: Typy a vlastností vzorků.....	39
Tabulka č. 3: Časový harmonogram pokusu.....	41
Tabulka č. 4: Měsíční teploty a srážky za sledované období.....	43
Tabulka č. 5: Výsledky pokusu Bc. Dagmar Dostálové při teplotě 68 °C.....	51

Tabulka č. 6: Výsledky pokusu Bc. Lucie Spěšné při teplotě 48 °C 52

SEZNAM ZKRATEK

BRP Biologicky rozložitelné plasty

BRO Biologicky rozložitelný odpad

ČR Česká republika

EU Evropská unie

KO Komunální odpad

MŽP Ministerstvo životního prostředí

POH Plán odpadového hospodářství

SKO Směsný komunální odpad

VOK Velkoobjemový kontejner

ZERA Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s.

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Kompostárna ve Vicenicích u Náměště nad Oslavou.....	64
Příloha č. 2: Váha na kompostárně ve Vicenicích u Náměště nad Oslavou	64
Příloha č. 3: Traktor s čelním nakladačem.....	65
Příloha č. 4: Překopávač kompostu.....	65
Příloha č. 5: Přesívač kompostu.....	66
Příloha č. 6: Štěpkovač	66
Příloha č. 7: Kompostování pomocí technologie Hantsch.....	67
Příloha č. 8: Technologie firmy Hantsch	67
Příloha č. 9: Ventilátor technologie firmy Hantsch.....	68
Příloha č. 10: Trysky technologie firmy Hantsch	68
Příloha č. 11: Speciální software technologie firmy Hantsch.....	69
Příloha č. 12: Založení pokusu na kompostárně v Náměšti nad Oslavou.....	69
Příloha č. 13: První kontrola pokusu ze dne 4.8.2014	70
Příloha č. 14: Druhá kontrola pokusu ze dne 29.8.2014.....	70
Příloha č. 15: Třetí kontrola pokusu ze dne 26.9.2014	71
Příloha č. 16: Ukončení pokusu	72

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Kompostárna ve Vicenicích u Náměště nad Oslavou [37]



Příloha č. 2: Váha na kompostárně ve Vicenicích u Náměště nad Oslavou [37]



Příloha č. 3: Traktor s čelním nakladačem [37]



Příloha č. 4: Překopávač kompostu [37]



Příloha č. 5: Přesívač kompostu [37]



Příloha č. 6: Štěpkovač [37]



Příloha č. 7: Kompostování pomocí technologie Hantsch [37]



Příloha č. 8: Technologie firmy Hantsch [37]



Příloha č. 9: Ventilátor technologie firmy Hantsch [37]



Příloha č. 10: Trysky technologie firmy Hantsch [37]



Příloha č. 11: Speciální software technologie firmy Hantsch [37]



Příloha č. 12: Založení pokusu na kompostárně v Náměšti nad Oslavou [37]



Příloha č. 13: První kontrola pokusu ze dne 4.8.2014 [37]



Příloha č. 14: Druhá kontrola pokusu ze dne 29.8.2014 [37]



Příloha č. 15: Třetí kontrola pokusu ze dne 26.9.2014 [37]



Příloha č. 16: Ukončení pokusu [37]

