

Har nedbrytbar plast en plats i samhället?

HANNA ÖRNSKÄR 2018

MVEK03 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Har nedbrytbar plast en plats i samhället?

Bioplast - nedbrytningsmekanismer,
konsumentinformation och avfallshantering

Hanna Örnskar

2018



LUNDS
UNIVERSITET

Hanna Örnskär

MVEK03 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Maria Hansson, Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2018

Abstract

The purpose of this essay is to investigate if biodegradable plastics can solve the plastic littering problem. The essay discusses how bio-plastics is defined in society by different stakeholders such as the bio-plastics industry, science and municipal waste companies.

A literature study on the subject of degradation of polymers have been made to find information on how different types of plastic degrade in composts, soil or aqueous mediums by abiotic and biotic factors. Research has also been made into what types of certification schemes are available for compostable and biodegradable plastics.

The result of the scientific investigation on degradation of plastics uncovered there are several types of plastic that can biodegrade or even be composted but that the studies can not guarantee complete degradation. Also some polymers require special conditions such as high temperatures and if they are not met they do not biodegrade as planned.

Interviews with municipal waste companies in Sweden have been conducted to understand if biodegradable plastics in fact are allowed to biodegrade after use. The interviews revealed that there is no collection of compostable plastic in Sweden, instead the households are advised to sort compostable plastic as combustible waste.

Interviews with companies that sell biodegradable or compostable plastics repeatedly revealed a low knowledge of the raw material and an overbelief in how fast their material can biodegrade. Some companies wished for better regulation and clearer directives from the government concerning biodegradable plastics in Sweden.

Innehållsförteckning

Abstract 3

Innehållsförteckning 5

Inledning 8

Syfte och frågeställningar 9

Metod 10

Bakgrund 12

Plast - definition och historik 12

Råvaror för plastframställning 14

Bioplast 15

Allmänt om nedbrytning 15

Abiotisk nedbrytning 15

Biologiska nedbrytningsfaktorer 16

Förkortningar: 17

Resultat 18

Biologisk nedbrytning av polymerer 18

Komposterbarhet 18

Tillsatsers påverkan på nedbrytbarhet 18

Nationella och internationella standarder för nedbrytningstester 19

Standarder för nedbrytning av plast i kompost 20

Standarder för nedbrytning av plast i jord 21

Standarder för nedbrytning av plast i vatten 21

Certifieringslogotyper 22

Sammanställning av experimentella studier 23

Biologiskt nedbrytbara plaster 24

PHA/PHB/PHBV- Polyhydroxyalkanoater 24

PVA - Polyvinylalkohol 24

PLA - Polylaktid 25

PCL - Polycaprolactone 27

OXO-bionedbrytbar plast 28

Bioplast på marknaden 30

Svensk avfallshantering av biologiskt nedbrytbart avfall 33

Storskalig kompostering 34

Tillverkning av biogas 34

Komposterbar plast i biogasanläggningar 34

Tillsats av polymerer i rötningsprocessen 35

Insamling av nedbrytbar plast 36

Diskussion 37

Slutsats 41

Tack 42

Referenser 43

Inledning

Plast ger upphov till stora mängder avfall i världen som antingen eldas upp med skadliga luftföroreningar som följd, hamnar som skräp i naturen eller läggs på deponi (Hopewell et al. 2008). Plast baserad på råolja ger merutsläpp av växthusgas till atmosfären när de blir avfall antingen genom förbränning eller nedbrytning. (Livsmedelsverket. 2011). Att kunna ersätta dagens plaster med lättnedbrytbara varianter baserade på förnybar råvara vore därför önskvärt.

Fenomenet med mikroplastpartiklar från konventionell plast beror på att det mesta av den fossilbaserade plasten inte kan brytas ner fullständigt av nedbrytare, såsom bakterier och mikroorganismer utan istället vittrar sönder av solljus och mekanisk nötning. Dessa små plastpartiklar kan konsumeras av havslevande djur och ger störningar i ekosystemen (Moore. 2008). Exakt hur mikroplaster påverkar djur och på vilken nivå de är skadliga för människor är ännu inte känt, men forskning pågår (Norén & Magnusson. 2011), (Mattson et al. 2015).

Bioplast definieras i denna uppsats som sådan plast som är baserad på biologiskt förnyelsebar råvara eller som är biologiskt nedbrytbar. Biologiskt nedbrytbar plast anges ibland i samhällsdebatten som lösningen på problem med plastskräp och mikroplast i ekosystemen.

Dock finns det komplicerande faktorer som kan försvåra introducerandet av bioplast i stor skala. Det finns en konflikt i att faktorer som är positiva under pågående användning, till exempel hur bra antimikrobiella och vattenhållande egenskaper materialet har, vilket i sin tur är negativa för materialets nedbrytningshastighet efter användning. Det finns också olika nedbrytningstyper - de som är komposterbara, de som är biologiskt nedbrytbara men endast under vissa förhållanden samt de som knappast alls bryts ner. Därtill finns kompositer som har inblandning av antingen fossil plast, organiskt material eller mineraler.

En annan försvårande faktor är att återvinningssystemen i Sverige ska hantera dessa olika typer av plast utan att de ställer till med problem i återvinningskedjan. Nedbrytbar plast kan försämra kvalitén på återvunnen plast (Ny teknik. 2017). Vem som ansvarar för märkning- och certifieringssystem för att skilja olika plasttyper åt är också viktigt att reda ut.

Syfte och frågeställningar

Syftet är att undersöka forskningsläget kring olika bioplasters nedbrytningskapacitet samt att titta närmare på vilka förändringar som skulle behöva göras i avfallshanteringssystemen i Sverige för att ersätta konventionell plast med biologiskt nedbrytbar plast

Följande frågeställningar kommer tas upp:

- Till vilken grad kan polymerer som utger sig för att vara komposterbara faktiskt brytas ner?
- Kan nedbrytbar plast eliminera problemet med mikrokräp?
- Vilken kapacitet har återvinningsanläggningar i Sverige att ta hand om komposterbar plast?

Metod

Studien har genomförts som en litteraturstudie för att kartlägga forskningen kring nedbrytbar plast samt en undersökning av utbudet i Sverige och kapaciteten för omhändertagande på anläggningar i landet. Marknadsinventering och avfallshantering har undersökts med hjälp av mejlkontakt och telefonintervjuer med berörda personer i Sverige.

Sökningar av artiklar har gjorts i den vetenskapliga databasen Web of Science - Core Collection under perioden februari – augusti 2018. Följande sökord har använts i Web of Science: *bioplastic* (639), *biodegradable plastic* (467). *Biodegradable polymer* gav över 5000 träffar, dock var de flesta var inriktade på medicin och designade nanopartiklar för läkemedel vilket inte riktigt var det jag var ute efter. För att avgränsa sökningen valde jag två ord samt AND, till exempel *Biodegradable AND bioplastic* (188), *biodegradability AND bioplastic* (63) *biodegradability AND composites* (1782) Då sökningen på kompositter gav många träffar provade jag att avgränsa på ämnesområdet i vänstermenyn: Material Science and Biomaterials (210).

Då jag var intresserad av att hitta artiklar där experiment simulerade nedbrytning i naturliga miljöer hade genomförts, användes ordet *soil och in situ*. Sökningar gjordes på *soil AND bioplastic* (54). *In situ AND bioplastic AND degrad** (5) gav däremot inga relevanta resultat. *In situ* har varierande betydelse inom olika discipliner såsom kemi och biologi och verkar vara dåligt att använda som sökord.

Specifika produktnamn som *Mater-bi* (119). För avgränsning gjordes sökningen på *Mater-bi AND biodegradation* (37). *PLA AND biodegradation* (651) gav flera intressanta resultat. Standardbeteckningar söktes till exempel *EN13432* (3).

I Lunds universitets bibliotekskatalog Lovisa har böcker sökts med följande ord: *bioplast* (3), *nedbrytning plast* (7), *biodegradation plastic* (2), *degradation plastic* (12), *degradation polymer* (84). När ordet polymer användes fanns fler resultat men även många av kursboks-karaktär som i allmänhet avhandlar ämnet polymerteknologi vilket gjorde det mindre intressant som sökord. *Nedbrytning* (160) gav flera intressanta resultat däremot inte *Green plastic* (17) och *decomposition plastic* (6). *Plant plastic* (18) hittade resultat som handlade om fabriker - engelskans plant men också några resultat om bioplaster.

På Folkbiblioteken i Lund har sökningar gjorts på *plast* (38) och *polymerer* (3). Vissa artiklar har hittats som referenser i de artiklar jag läst. Rapporter från statliga myndigheter och EU har hittats genom sökningar i Google. Då internationella standarder är mycket dyra har informationen om dessa inhämtats ur sekundärkällor.

Vid kontakt med kommuner för frågor om deras insamling och hantering av biologiskt avfall valdes några av de kommuner som enligt Avfall Sverige bedriver kompostering av matavfall – Luleå, Hässleholm, Eslöv och Uppsala (Avfall Sverige, 2018 b). Intervjuerna gjordes över telefon med ansvariga för avfallshantering eller kundtjänst på respektive avfallsbolag. Vid kontakt med företag valdes de som fanns med på Nordisk bioplastförenings medlemslista (Nordisk bioplastförening, 2018) En enkätundersökning skickades ut till 33 av dessa men då det endast generade 3 stycken svar valde jag att kontakta företag per telefon och valde då dem som verkade ha försäljning eller tillverkning i Sverige.

Då utbudet av polymervarianter är mycket stort har ett urval fått göras av de vanligaste polymertyperna som beskrivs i litteraturen och kemiska tillsatsföreningar beskrivits övergripande för att hålla arbetet inom tidsramen.

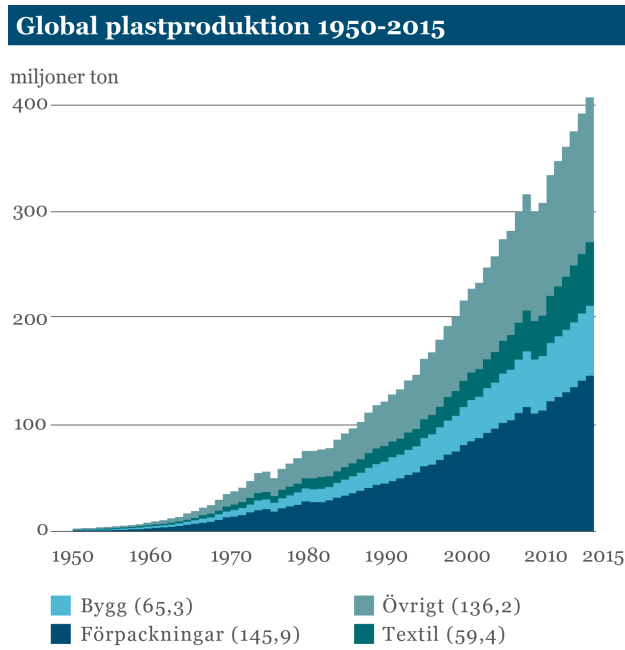
Bakgrund

Plast - definition och historik

Plast är en samlingsbeteckning på en stor grupp material som alla har den gemensamma nämnaren att de är syntetiskt framställda polymerer som under någon del av processen är plastiskt formbara. Polymerer är stora molekyler, så kallade makromolekyler som återfinns i linjära kedjor med upprepande enheter av organiska molekyler med varierande grad av förgreningar (Ezeyza-Alvear. 1981). Makromolekylerna är enorma jämfört med andra vanliga kemiska föreningar. Som jämförelse kan nämnas att vatten har en molekylmassa på 18 u, druvsocker på 342 u, medan molekylvikten för plastmolekyler som nylon är 1500, polyeten 30 000 och PVC 80 000 u (Kaufman. 1970). Det finns även naturliga polymerer såsom stärkelse, bomull, läder och proteiner. Den syntetiskt framställda plasten innehåller ofta även tillsatser som ska påverka materialets egenskaper, till exempel mjukgörare, fyllmedel, färgämnen och stabilisatorer.

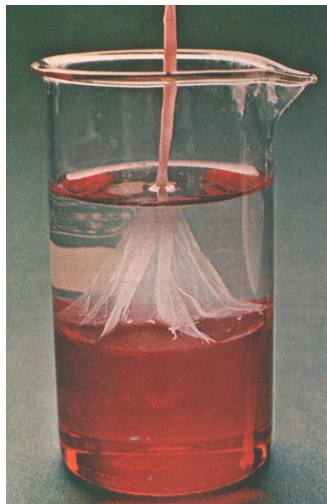
Den första syntetiska plasten- parkesin framställdes år 1862 genom att behandla bomull med salpetersyra och svavelsyra. Genom att tillsätta ricinolja till restprodukten upptäcktes att en seg massa bildades (Kaufman. 1970). År 1872 upptäckte kemisten Adolf Bayer att en hartsliknande massa kunde bildas genom reaktion av fenol och olika aldehyder, vilket senare ledde till tillverkning av bakelit och andra fenolplaster (Kaufman. 1970).

Den storskaliga plasttillverkningen av råolja växte fram främst under 1950-talet och framåt (Figur 1). Ungefär 50 % av all plast går idag till engångsprodukter såsom plastpåsar, plastmuggar eller plastfilm inom jordbruket, medan bara en fjärdedel används längre än 3 år (Hopewell et al. 2009). År 2016 deponerades 27,3 % av plastavfallet, medan 41,6 % brändes och 31,1 % återvanns i Europa (Plastics Europe, 2018).



Figur 1. Global plastproduktion 1950 - 2015

Bildkälla: Avfall Sverige. 2018b



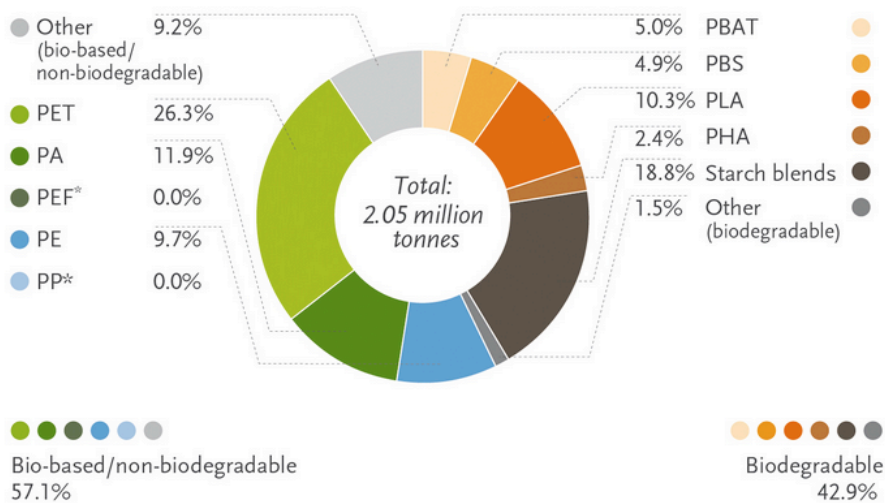
Figur 2. Polymerisering

Nylonframställning i ytskiktet mellan två icke blandbara vätskor: Hexametyldiamin i vatten och sebacinkloroform. Bildkälla: Kaufmann. 1970

Råvaror för plastframställning

Den största andelen plast tillverkas idag från råolja, medan kol var mer vanligt som råvara för de första plasterna (Kaufmann. 1970). Råolja består i sin tur av många olika kolföreningar som separeras i fraktioneringskolonner. Ett problem med oljeprodukter är de innehåller CMR-ämnen - Cancerframkallande, mutagena och reproduktionsstörande och dessa kan finnas som restprodukter i de framställda plasterna. Eftersom föroreningarnas molekyler vanligen är små jämfört med de stora plastmolekylerna och med svaga bindningar till dem kan ämnen läcka ut vid nedbrytning eller under användning vid kontakt med till exempel luft, vatten eller livsmedel (Lithner. 2011). Råvaror för bioplaster kan komma både från växt- och djurriket. Det kan handla om stärkelse, vegetabilisk olja, eller biprodukter från bakterier.

*Global production capacities of bioplastics 2017
(by material type)*



Produktionskapacitet för bioplast 2017 efter materialtyp

Bildkälla: European bioplastics. 2017

Bioplast

Det finns många benämningar på plast när den ska lyftas fram som mer miljövänlig än fossilbaserad plast: bioplast, grön plast, biobaserad plast, nedbrytbar plast, biologiskt nedbrytbar, återvinningsbar plast, komposterbar plast, återvunnen plast och så vidare. Vad några menar med bioplast kan vara att råvaran kommer från växtriket medan andra åsyftar nedbrytningskapacitet.

Det som benämns med bioplast kan i stora drag delas in i följande undertyper:

- Plast av fossil råvara - komposterbar/biologiskt nedbrytbar
- Plast av förnybar råvara - ej komposterbar/biologiskt nedbrytbar
- Plast av förnybar råvara - komposterbar/biologiskt nedbrytbar
- Komposit av förnybar och icke förnybar råvara

Allmänt om nedbrytning

Skillnaden mellan *nedbrytning* och *biologisk nedbrytning* är att den förra är oberoende av liv medan den senare är en enzymreaktion som utförs av bakterier, svamp eller andra mikroorganismer som bryter bindningar i materialet för att utvinna energi. Nedbrytning av abiotiska faktorer påverkar alla material men i olika hastighet.

Abiotisk nedbrytning

Nedbrytning av polymerer utan biologisk inblandning kan ske genom de faktorer som anges i tabell 1. Hydrolys och fotokemisk nedbrytning är mycket viktiga naturliga faktorer för fortsatt biologisk nedbrytning. Hydrolysens hastighet varierar med omgivningen. Den ökar med ökande temperatur och kan även ändra hastighet med pH.

Tabell 1: Ickebiologiska nedbrytningsfaktorer av material

Källa: Allen & Edge. 1992

TYP	VERKAN
Mekanisk	Nötning av yttre kraft som fragmentiserar materialet, till exempel vind eller vågor

Kemisk	Gaser som till exempel ozon kan attackera bindningar
Fotokemisk	Solljus eller annan joniserande strålning kan absorberas av materialet och bryta bindningar
Värme	Smältning eller oxidation med syre
Ultraljud	Vissa frekvenser kan få materialet att vibrera sönder
Hydrolys	Vatten reagerar med funktionella grupper(OH) om sådana finns i materialet vilket resulterar i molekylklyvning.

Biologiska nedbrytningsfaktorer

Den största andelen nedbrytande mikroorganismerna är beroende av syre för att kunna bryta bindningar. Anaeroba bakterier kan använda kväve och svavel som elektronupptagare istället för syre (Kale et al. 2018). Aerob nedbrytning är vanligast i naturliga miljöer, men på en till två meters djup i marken eller i de understa lagren i deponier kan anaeroba förhållanden uppstå där endast anaeroba bakterier kan överleva (Kale et al. 2018). För att svamp, bakterier och andra mikroorganismer ska kunna bryta ner materialet är det fördelaktigt att bitarna är så små att ett stort antal polymerändar finns i ytskiktet och kan reagera med nedbrytarna (Kyrikou & Briassoulis. 2007). De egenskaper i miljön och hos polymermolekylen som påverkar dess nedbrytning redovisas i tabell 2.

Tabell 2: Biologiska nedbrytningsfaktorer av material

Källa: Kale et al. 2007a

TYP	VERKAN
Fukthalt	Mikroorganismerna behöver vatten för att kunna överleva och reproducera sig.
Temperatur	Mikrobiologisk aktivitet ökar med ökande temperatur, så länge temperaturen inte är så hög att bakterierna dör.
pH	Hastigheten i hydrolysreaktioner kan ändras med pH. pH påverkar mikroorganismernas levnadsförutsättningar.
Syreförhållanden	Aeroba bakterier samt andra mikroorganismer är beroende av syre för

	att överleva medan anaeroba bakterier kan leva syrefattigt
Polymermolekylens struktur och flexibilitet	Mycket stora molekyler är generellt sett immuna mot angrepp från mikroorganismer eftersom de är större än själva mikroorganismen och därför inte kan passera in i deras celler.
Hydrolys	Desto flexiblare molekylen är desto fler ställen är tillgängliga för vattenmolekyler att reagera med hydrolys. Sidogrupper i molekylen gör den svårare att rotera och ökar energin som krävs för bryta bindningar.
Plastproduktens storlek och form	Material med stor yta bryts ner snabbare än kompakta, eftersom större del av materialet är i direktkontakt med fukt och mikroorganismer som kan bryta bindningar.
Kristallinitet	Amorfa material är lättare att bryta ner biologiskt och med hydrolys än kristallina eftersom amorfa regioner är mer flexibla och lättare släpper igenom vattenmolekyler.
Tillgång till specialiserade enzymer	Vissa bakterier har enzymer vars form gör att de har lättare att attackera vissa polymerer än andra.

Förkortningar:

ASTM: American Society for Testing and Materials
 BOD: Biochemical Oxygen Demand (Biokemisk syreförbrukning)
 EPA: Environmental Protection Agency
 EU: Europeiska Unionen
 FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
 ISO: Internationella standardiseringsorganisationen
 HDPE: Högdensitetspolyetylen
 LDPE: Lågdensitetspolyetylen
 PAC: Pro-oxidative Additive Containing Plastic
 PBAT: Polybutylene adipate terephthalate
 PCL: Polycaprolactone
 PET: Polyetylen tereftalat
 PGA: Polyglycolide acid
 PHA: Polyhydroxy alkanooates
 PHB: Polyhydroxy butyrate
 PHBV: Polyhydroxy butyrate valerate
 PLA: Polylaktid
 PMA: Polymetylakrylat
 PVC: Polyvinylklorid

Resultat

Biologisk nedbrytning av polymerer

Mikroorganismers nedbrytning är ofta ett sekundärt steg efter att materialet redan brutits ner av hydrolys eller solljus som gör molekylvikten såpass låg att biologisk nedbrytning av bakterier och svampar kan ske. Den gräns för vilken molekylvikt som kan metaboliseras av mikroorganismerna skiljer sig åt mellan olika polymerer. För PLA är den cirka 10 000-20 000 u medan den för PHB är 13 000 u (Chandra & Rustgi. 1998). Nylon-6 som är en polyamid med en molmassa på 1500 u är ändå resistent mot de flesta svamp- och bakterieangrepp (Friedrich et al. 2006).

Komposterbarhet

I en kompost bryts materialet ner med syre av mikroorganismer med koldioxid och vatten som produkt. För att mikroberna ska kunna komma åt den näring de vill ha måste de bryta ner det stegvis till mindre delar, till exempel enkla sockerarter, aminosyror eller fettsyror. Mikroberna bryter lättast ner hydrofila material. För att bryta molekyler som inte är vattenlösliga måste bakterieceller använda extracellulära enzym, det vill säga sådana som sker utanför cellen (Alm et al. 1997). Som en följd av den mikrobiella aktiviteten stiger temperaturen i komposten. Den termofila fasen börjar när komposttemperaturen är över 40 °C, då tar värmetåliga bakterier och svamp över från värmekänsliga (Rudnik. 2008). Vid 40-50 °C sker nedbrytningen snabbast (Alm et al. 1997). De flesta svamparter utför nedbrytning endast upp till 55 °C (Alm et al. 1997).

Tillsatsers påverkan på nedbrytbarhet

De första plasterna - kasein, bakelit och cellulosaderivat hade få eller inga tillsatser, medan nyare plasters hållbarhet till stor del kan bero på eventuella tillsatser av

stabilisatorer, UV-skydd och antioxidanter. Polypropylen och gummi innehåller nästan alltid tillsatser för att få en lång livslängd (Nord & Tronner. 2008).

Tabell 3: Exempel på tillsatser i plast och dess påverkan på nedbrytning

TYP	VERKAN	PÅVERKAN PÅ NEDBRYTBARHET
Antioxidanter	Förlänga livslängd	Fördröjer nedbrytning genom att hindra eller bilda föreningar med fria radikaler så de inte kan attackera materialet (Allen & Edge. 1992)
Flamskyddsmedel	Försvåra antändning eller minska spridning av brand	Kan påskynda nedbrytning eftersom de måste tillsättas i stor andel av materialets vikt vilket gör att mekaniska egenskaper försämras (Riksantikvarieämbetet. u.å). Bromerade flamskyddsmedel är bioackumulerande svårnedbrytbara substanser som även är reproduktionsstörande och toxiska.
Färgämnen	Förbättra utseende	Kan både fördröja och påskynda nedbrytning genom att till exempel absorbera mer eller mindre UV-ljus, som kan bryta bindningar eller göra materialet varmare vilket underlättar kemiska reaktioner (Allen & Edge. 1992).
Biocider	Förhindra mikropåväxt	Fördröjer nedbrytning genom att motverka svamp- & bakterieangrepp
Fyllmedel	Förbättra mekaniska egenskaper/ alt. sänka materialkostnader	Materialberoende. Inslag av naturliga fiber kan förbättra nedbrytbarheten då det gör materialet mer amorft samt förbättrar syre och fuktförhållanden.
Mjukgörare	Öka seghet och flexibilitet	Ftalater som kan vara cancerogent och hormonstörande har visat sig kunna finnas kvar i jord efter nedbrytning (Wang et al. 2013).
Jämedel	Öka bubbelbildning i skummande plaster	Okänd påverkan. Tidigare var detta nästan uteslutande freoner innan de utfasades (Nord & Tronner. 2008).

Nationella och internationella standarder för nedbrytningstester

Det finns ett antal olika nationella och internationella standarder för hur nedbrytningstester av plast ska göras. Vissa är tillämpliga på kompost medan andra är för nedbrytning i jord, vatten eller biogasreaktor. Vissa är också speciellt inriktade på förpackningar eftersom det finns en särskild lagstiftning om producentansvar för sådana. Ett urval av dessa standarder kommer att beskrivas kortfattat nedan.

Standarder för nedbrytning av plast i kompost

EN 13432 (Europa): "Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation"

Testet kan appliceras på alla typer av förpackningar och är inte begränsat till plast. För att bli certifierad enligt denna standard krävs att testet utförs av ett certifierat laboratorium. Standarden är indelad i flera delar. Den första delen är ett test av icke-biologisk nedbrytning och görs genom att provbitar av komposteras i 84 dagars och därefter silas genom ett galler med 2 mm öppningar varvid inte mer än 10% av materialet får finnas kvar i silen.

Test av biologisk nedbrytbarhet genomförs i behållare som ska efterlikna miljön i en storskalig kompost, vid 58°C med en fukthalt på minst 50 %. Provbitar vägs och placeras sedan i behållarna med kompostjord. Minst 12 prover med kompost ska finnas varav minst 3 av varje sort (positiv, negativ, blank och provmaterialet) Utvärdering av nedbrytning görs genom mätning av syreförbrukning och koldioxidproduktion från den komposterade massan. Minst 90 % av det organiska materialet ska ha omvandlats till koldioxid inom 180 dagar jämfört med den positiva kontrollen.

Slutligen görs utvärdering av den färdigkomposterade kompostjorden enligt OECD:s riktlinjer nr 208 där växter får gro i den och där inga negativa effekter på växterna kan påvisas. Den certifierade förpackningen får innan kompostering endast innehålla metaller och tungmetaller upp till en viss viktprocent (Halley & Avérous (red). 2014). Certifierad produkt får bära logotypen compostable eller OK compost (figur 5).

ASTM D6400 (USA): "Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities"

Nedbrytningstestet ska pågå i en kompostblandning vid konstant temperatur av 58 °C eller enligt fastställd temperaturkurva. Både positiva och negativa kontroller ska testas samtidigt, till exempel LDPE som negativt och cellulosa som positivt. Minst 12 prover ska göras varav 3 av varje sort – positiva, negativa, blanka och provmaterialet. Nedbrytning mäts som andel bildad koldioxid jämfört med det teoretiska värdet. Minst 60 % av material som består av en polymer ska ha brutits ner inom 180 dagar och 90 % för polymerblandningar. Det färdigkomposterade materialet måste genomgå toxicitetstest genom test av frösättning och daggmaskar enligt OECDs riktlinjer (Kale et al. 2007b).

ISO 14855 (Internationell): *"Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions"*

Nedbrytning i simulerad industriell kompostjord vid en temperatur av 58 °C i max 180 dagar. Koldioxidavgivning mäts med lämplig metod till exempel gaskromatografi, titrering eller IR-analys (Rudnik. 2008).

Standarder för nedbrytning av plast i jord

ASTM D5988 (USA): *"Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials in soil"*

Mäter avgiven koldioxidhalt jämfört med positiv kontroll under aeroba förhållanden. Jorden som används ska vara naturlig, bördig med visst inslag av sand och hämtas från åkermark eller skog från tre olika platser som inte utsatts för föroreningar. Det är också acceptabelt att använda en blandning av naturlig jord och kompost. pH ska vara mellan 6-8 och fukthalten mellan 80-100%. Nedbrytning i viktprocent kan anges som ett komplement till koldioxidhalt. Minst 60 % av materialet ska vara nedbrutet efter att platåfas är nådd inom som längst 2 år. Om den positiva kontrollen inte brutits ner mer än 70 % ska testet göras om (Malinconico, (red). 2017).

ISO 17556 (Internationell): *"Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved"*

Testet görs vid en temperatur omkring 20-25°C, en fukthalt på 40 - 60% och pH: 6 -8. I övrigt samma testkriterier som EN13432 men ingen negativ kontroll krävs (Briassoulis & Dejean. 2010). Polymermaterialet blandas med jord i en sluten behållare avgivning av koldioxid eller förbrukningen av syre (BOD) mäts (Rudnik, Ewa. 2008). Nedbrytning i viktprocent kan anges som ett komplement till koldioxidhalt. Minst 60 % av materialet ska vara nedbrutet efter att platåfas är nådd inom max 2 år (Briassoulis & Dejean. 2010).

Standarder för nedbrytning av plast i vatten

ISO 14852 (Internationell): *"Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium - Method by analysis of evolved carbon dioxide"*

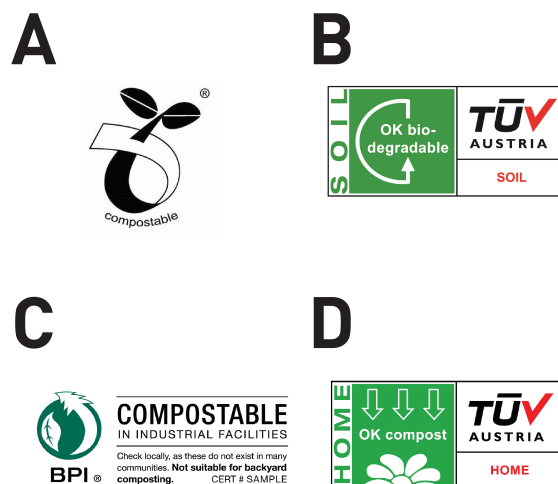
Syftet är att testa nedbrytning akvatiska miljöer i rumstemperatur vid 20-25 C. Testet får inte pågå i mer än 180 dagar. Nedbrytning mäts som avgiven koldioxidhalt jämfört med referensen (Rudnik. 2008).

Certifieringslogotyper

The seedling (figur 5) är ett registrerat varumärke av European Bioplastic Organisation (European bioplastics. 2016a) Certifiering är baserad på EN13432.

OK compost, *OK Biodegradable*, *OK biobased* certifieras av Vincotte och TÜV Austria. *OK compost* och *OK biodegradable* är huvudsakligen baserade på EN13432. *OK compost* är utformat för storskaliga kompostanläggningar vid 58°C, medan *OK compost HOME* (figur 5) ska kunna komposteras småskaligt vid lägre temperatur. Vid 20-30 grader ska materialet brytas ner inom 1 år (European Environmental Agency, 2016). *Ok biobased* talar inte om något om produktens nedbrytningskapacitet men att polymeren kommer från förnybar råvara.

OK biodegradable finns med undertyperna soil, marine och water. *OK biodegradable* baseras på samma testprinciper som för EN 13432 & EN 14995 som är utformat för kompostering men testet ska anpassas till test i den aktuella miljön, det vill säga jord, salt- eller sötvatten. För att få certifieringen *OK biodegradable* ska materialet till 90 % brutits ner inom 2 år vid normal utomhustemperatur (European bioplastics. 2016b). *Compostable in Industrial facilities* är baserad på ASTM D6400 och certifieras av den amerikanska organisationen Biodegradable Products Institute (figur 5).



Figur 3. Exempel på logotyper för certifiering

A: The seedling, certifierad av European bioplastics. B: OK biodegradable för jord certifierad av TÜV Austria. C: Compostable in Industrial facilities certifierad av ASTM. D: OK compost home certifierad av TÜV Austria.

Sammanställning av experimentella studier

Metoder att experimentellt mäta nedbrytning förklaras i tabell 4.

Tabell 4: Laborativa metoder för att mäta nedbrytning.

Källa: Briassoulis & Kyrikou. 2007

NEDBRYTNINGSINDIKATOR	METOD	ORSAK
Hållfasthet i drag eller tryck	Apparat som mäter kraften vid brott.	Sämr mekaniska egenskaper är tecken på att bindningar i materialet brutits
Viktförändring	Våg	Indikator på fragmentisering, ev bionedbrytning
Avgivning av koldioxid	Koldioxidmätare	Mineralisation av mikroorganismer
Förbrukning av syre (BOD)	Syremätare	Mineralisation av mikroorganismer
Förstörelse av polymerkedjan	Spektroskopi (FTIR)	Ljusabsorbtionsspektrum av infraröd strålning absorberas vilket visar andelen av den ursprungliga polymeren samt eventuella nedbrytningsprodukter. Upptag av vatten (hydrolys).
Ändring av molekylvikt	Gel/gaskromotografi	Ökad vikt en indikator på att syre tagits upp. Minskad vikt indikation på mineralisation av mikroorganismer
Synlig mikropåväxt	Mikroskop	Visar om svamp kan växa på ytan
Fragmentisering	Sil	Visar sönderdelning av abiotiska eller biotiska faktorer

Förändringar i porositet	Elektronmikroskop	Kolonisering av bakterier eller svamp inuti materialet
Tjocklek	Digital eller manuell tjockleksmätare	Ytan har attackerats av mikrober/och eller mekanisk nedbrytning

Biologiskt nedbrytbara plaster

Nedan följer en redogörelse av ett urval av polymertyper som till viss del visat sig kunna brytas ner av mikrober. Det finns också blandningar av dessa. Handelsnamn för sådana är till exempel MaterBi, Ecostar, Bioflex, Creplast et cetera. Målet med polymerblandningar med stärkelse eller annan polymer är att antingen förbättra polymerens egenskaper eller att sänka kostnader (Rudnik. 2008).

Långtidsförsök på nedbrytning av plast i naturliga miljöer är få på grund av de ekonomiska och praktiska hindren. Ett sätt att beräkna potentiell nedbrytning i framtiden är att utsätta polymeren för stor mängd nedbrytande faktorer på kort tid, till exempel mycket höga temperaturer samt stor mängd ultraviolett- strålning, så kallad "accelerated ageing" och använda kemiska hastighetsberäkningar för att räkna ut nedbrytningstid (Quye et al 2011). Ett långtidsförsök som pågick under 37 år uppskattade cirka 300 år för komplett nedbrytning av 60 µm plast film av LDPE (Ohtake. 1998).

PHA/PHB/PHBV- Polyhydroxyalkanoater

PHA är alifatiska polyestrar som tillverkas av bakterier från förnybara substrat. Handelsnamn är till exempel Biopol, Biocycle, Nodax, Biogreen och Biomer. PHB är en av de mest lättnedbrytbara plasterna men är dyr och har låg hållfasthet under användning, därför blandas den ofta med andra polymerer till exempel PLA (Wei et al. 2015) Temperatur har en betydelse för nedbrytningen av PHB/PHA, där högre temperatur än 50 °C gör nedbrytning snabbare, men den kan brytas ner även vid lägre temperaturer. En rapport visade att PHB kunde brytas ner i vatten vid så låg temperatur som 6 °C (Rudnik. 2008).

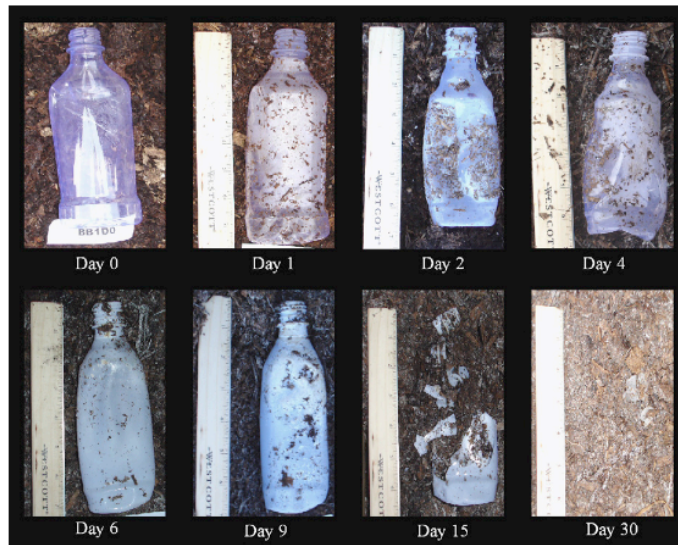
PVA - Polyvinylalkohol

Tillverkning sker av fria radikaler i alkohollösning av metanol eller etanol. PVA är en av få vinylpolymerer som är vattenlöslig (Rudnik. 2008). De anaeroba bakterierna *Alcaligenes* och *Bacillus genus* som hör till släktet *Pseudomonas* har visat sig kunna bryta ner PVA. Dessa är dock ovanliga i naturen. Högst nedbrytning har nåtts i akvatiska miljöer (Rudnik. 2008). I jord uppvisade den endast ca 8-9% nedbrytning (koldioxidavgivning) efter 74 dagar (Chiellini et al. 2003).

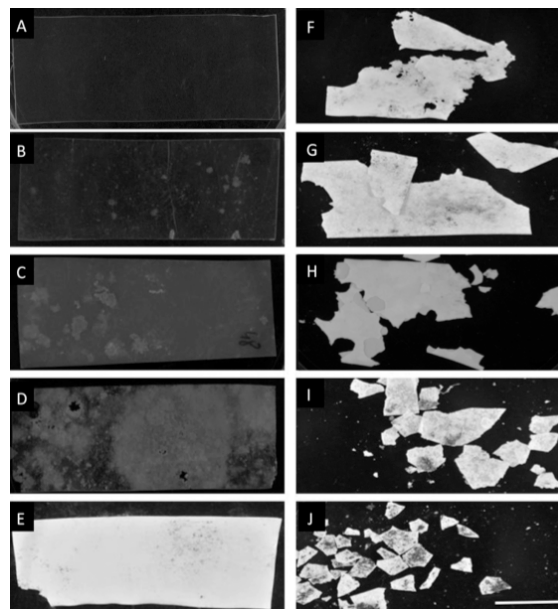
PLA - Polylaktid

PLA är en alifatisk polyester som tillverkas av majsstärkelse eller rörsocker som fermenteras med bakterier till mjölksyra och polymeriseras med tennklorid. PLA med större molmassa än 20 000 u är inte nedbrytbart av mikroorganismer (Kale et al. 2007). Hydrolys av PLA har visat sig vara långsammast vid pH 5 och snabbare vid lägre eller högre pH (Kale et al. 2007). PLA är komposterbar vid högre temperatur än 58 °C. PLA är i stort sett resistent mot nedbrytning av mikroorganismer i jord i låga temperaturer, och kommer inte heller brytas ner i trädgårdskompost (Rudnik. 2008).

I ett försök komposterades flaskor av PLA vid en konstant temperatur av 65 °C . Efter 30 dagar hade molekylvikten nått 4100 u. Efter 58 dagar hade 84 % brutits ner, mätt efter avgiven koldioxid (Kale et al. 2007 b) (figur 6). I ett annat experiment lades bitar av PLA i kompost och jord vid olika temperaturer men vid konstant pH (figur 7). Efter 1 år vid 25 °C i kompost hade ingen signifikant påverkan skett, medan redan efter 1 månad vid 50 °C hade molekylvikten minskat med 68 % (Karamanlioglu & Robson. 2013).



Figur 4. Flaskor av PLA i kompost vid 65 °C
 Bildkälla: Kale et al. 2007 b



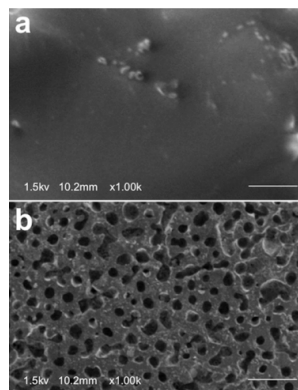
Figur 5. Stegvis nedbrytning av PLA i jord

A: Utgångsmaterial av PLA. B: Efter 1 år vid 25 °C i kompost. C: Efter 1 år vid 37 °C i jord. D: Efter 1 år vid 37 °C i kompost. E: Efter 10 veckor i jord vid 45 °C. F: Efter 10 veckor vid 45 °C i kompost. G: Efter 2 månader vid 50 °C i jord. H: Efter 2 månader vid 50 °C i kompost. I: Efter 1 månad vid 55 °C i jord. J: Efter 1 månad vid 55 °C i kompost. Bildkälla: Karamanlioglu & Robson. 2013.

PCL - Polycaprolactone

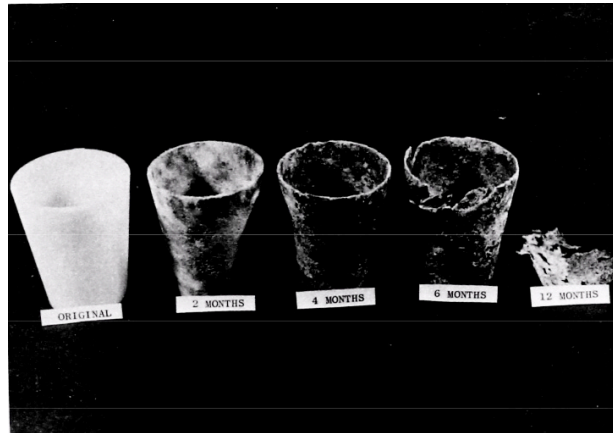
PCL är en råoljebaserad polyester. Bakterien *globosum* och *Fusarium sp.* kan metabolisera PCL med en molekylmassa på upp till 35000 u (Benedict et al. 1983). Dock blir det svårare och går långsammare desto högre molekylvikten är. PCL med en molvikt på 67300 u har visat sig kunna bryta ner av en speciell bakterie, den värmetåliga *A. fumigatus ST-01* och *Thermoascus aurantiacus* (Sanchez. 2000). Dock är dessa ovanliga i naturen. Inom den biomedicinska vetenskapen har nedbrytbara plaster såsom PLA, PCL och PGA använts i årtionden. (Albertsson & Hakkarainen. 2017) Användningsområden är till exempel förstärkning av benvävnad, kapslar för frisättning av läkemedel och suturtrådar. (Albertsson & Hakkarainen. 2017).

Avlånga kompakta bitar av PCL, placerades i trädgårdsjord i New Jersey. Efter 12 månader hade de tappat 42 % av sin vikt. Ett försök med samma plast men formad som en kopp (figur 9) tappade 95 % av sin vikt efter 12 månader, vilket kunde förklaras av att den hade större yta där mikroorganismerna kunde få fäste (Potts et al. 1972).



Figur 6. Bakteriepåverkan på PCL i förstoring

Bild A: Opåverkad PCL-plast i förstoring. Bild B: Plasten delvis nedbruten av bakterien *Ralstonia*. Bildkälla: Shah et al. 2015



Figur 7. Kopp-formad PCL i jord

Efter 12 månader hade koppen tappat 95% av sin vikt. Bildkälla: Potts et al. 1972

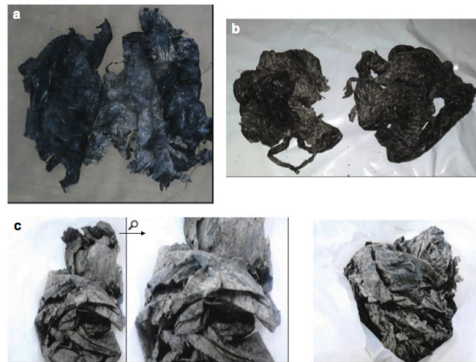
OXO-bionedbrytbar plast

Termen oxo-bionedbrytbar även kallad PAC - Pro-oxidant Additive Containing Plastic innebär att plasten är konventionell plast med tillsatser som gör att den lättare oxiderar då den utsätts för UV-ljus eller värme (European Environmental Agency. 2016) Tillsatserna kan vara i föreningar med övergångsmetaller, till exempel järn och mangan vilket gör plasten mer känslig för yttre påverkan (Allen & Edge. 1992). Det är väl underbyggt att sådan plast faktiskt bryts ner av till exempel solljus, däremot är det omdebatterat ifall nedbrytning är fullständig eller ifall plasten endast faller sönder till mindre fragment.

Längre studier av PAC-plast visar påbörjad, men inte fullständig nedbrytning. En studie undersökte nedbrytning av HDPE, LDPE och LLDPE med tillsats av mangan, järn och koboltsalter. Plasten utsattes för UV-ljus samt värmebehandling i 60 °C i 192-1224 timmar som skulle simulera minst 3-4 månaders i solljus och grävdes sedan ner i jord. Testet fann 12 % mineralisation efter 352 dagar i jord jämfört med den positiva kontrollen cellulosa som hade mineraliserats mellan 47-69 % (Fontanella. 2010).

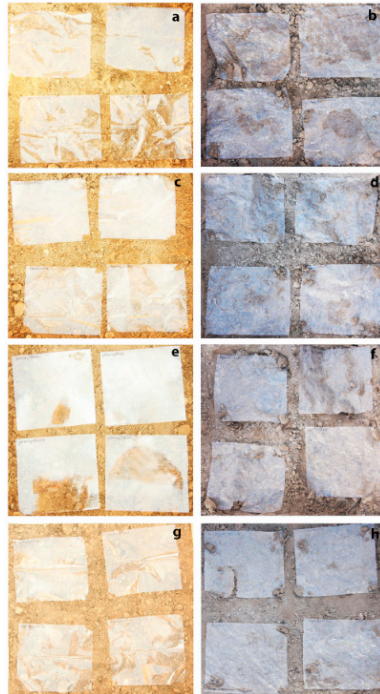
I ett annat test hade film av LDPE med ett mangansalt under handelsnamnet P-life som oxidativ tillsats först utsattes för värme för att initiera nedbrytningsprocessen. Detta skedde i värmeskåp vid 75 °C. Probitarna hade sedan lagts i jord, eller kompost i två år i ett laboratorium. Jorden bestod av lika delar mull, vermiculit & plantjord i rumstemperatur med ett pH på 7,5. Komposten bestod av 50 % kompost & 50 % vermiculit. Resultatet visade 91 % nedbrytning i jord och 43 % i kompost genom mätning av CO₂-halt. (Jakubowicz et al. 2010)

En långtidsstudie genomförd i Grekland undersökte LDPE med tillsats den oxidativa tillsatsen AG1000 Ciba Envirocare® som först använts under en säsong på ett vattenmelonfält och sedan grävts ner i 7, 8 respektive 8,5 år. Resultatet visade ingen signifikant synlig nedbrytning, dock fanns en minskning på 40-50 % i dragstyrka (Figur 10) (Briassoulis et al. 2015). En undersökning som publicerats i Environmental science and technology undersökte LDPE (PET) med tillsats av en prooxidant från Wells plastic. Provbitar av plastfilm med en tjocklek på 0,02 och 0,16 mm som inte utsatts för värmebehandling grävdes ner i sandig jord på ett djup av 0,45 m i 1095 dagar. Resultaten visade att ingen signifikant nedbrytning hade skett under denna tid. Test med frösättning gjordes också för att utesluta att jorden hade var förorenad som kunde förklara en låg andel av mikroorganismer (figur 11) (Selke et al. 2015).



Figur 10. LDPE-film med oxidativa tillsatser som legat i jord i 7 - 8,5 år

Bild x: LPPE-film med prooxidativa tillsatser som legat i jord i 7-8,5 år. Bildkälla: Briassoulis et al. 2015



Figur 11. PET med oxidativa tillsatser

Till vänster provbitar av PET innan försöket och till höger samma provbitar efter 2095 dagar i jord
Bildkälla: Selke et al. 2015.

Bioplast på marknaden

Nedan följer ett axplock av bioplastprodukter på den svenska marknaden.

Biobag Sverige säljer komposterbar plast i olika former. De har cirka 15 olika produkter i sitt sortiment, bland annat bäddfilm för jordbruk, påsar för matavfall, plastfilm till dambindor, blöjor och livsmedelsförpackningar. Materialet är en blandning av stärkelse från potatis, majs eller annan stärkelse, vegetabilisk olja från solros, raps och tistlar samt en komposterbar icke förnybar polyester. Den förnyelsebara delen uppgår som högst till 80 % (Viklund. 2018). Biobag har flera olika logotyper på sina påsar som talar om att den är nedbrytbar. Där finns både "OK compost HOME", "BPI-Compostable in Industrial Facilities", "the seedling" samt namnet på råvaran "Mater bi" (Figur 12).



Figur 12. Påse från BioBag

Tryckt på påsen syns logotyper som visar att den är komposterbar

Coop har lanserat delvis biobaserade påsar avsedd för frukt i butiken. Texten på påsen lyder: "En påse av sockerrör för allas bästa" och "I'm green" (Figur 13) Vid en förstoring av påsens nederkant framgår att materialet är till 85 % biobaserat samt är en Högdensitetspolyester- HDPE. Denna plast ska återvinnas och inte komposteras.

På en plastförpackning till paprika (figur 14) inköpt på Coop i augusti 2018 syns logotypen "the seedling" samt texten Compostable/komposterbar dock ingen ytterligare information om hur den ska komposteras.



Figur 13. Påse från Coop

Tryckt på påsen nederkant syns logotyper som att det är en LDPE som inte är komposterbar



Figur 14. Komposterbar plastförpackning till paprika
Inköpt på Coop i augusti 2018

GAIA BioMaterials är en av få tillverkare av bioplast i Sverige. De framställer plast under varumärket Biodolomer. Materialet består av ca 85 % förnybar PLA samt en ickeförnybar PBAT samt tillsats av talk, dolomit och andra mineraler som behövs för formsprutning (Rosén. 2018).

Polynova Nissen är återförsäljare av plastpåsen Polynature vars råvara tillverkas i Kina av BASF under varunamnet Ecoflex F Blend C1200. Materialet består av 75 % alifatisk-aromatisk co-polyester, >25 % stärkelse, 0,5 % tillsatser (Axenholm. 2018). Plasten är certifierad enligt Vincottes OK compost. Cirka 30-40 ton säljs årligen i Sverige och Norge (Wik. 2008).

Getcamping.se säljer bambuserviser från den danska importören Outwell. Materialet består enligt kontakt med kundtjänst av bambufiber, majsstärkelse och syntetisk polymer (Getcamping. 2018 b). Enligt informationen på Getcampings hemsida står däremot att den består av 100 % nedbrytbar bambufiber (Getcamping. 2018a). Enligt Getcampings kundtjänst är bambumaterialet biologiskt nedbrytbart och det ska gå att gräva ner i jorden där det försvinner på några veckor (Getcamping. 2018 b).

Nätbutiken Jollyroom säljer bland annat barnservisen Bimbamboo som enligt hemsidan består av bambufiber, majsstärkelse och syntetisk harts. Vidare skrivs det att servisen kan läggas i kokande vatten och därefter slängas på komposten (Jollyroom. 2018). Biopac har produkter med texten "I am not a plastic cup" (figur 15). Biopac skriver dessutom på förpackningen att deras mugg är 100% compostable och 100% biodegradable (Biopac. 2018).



Figur 15. Mugg av PLA från Biopac med texten ”I’m not plastic a plastic cup”

Svensk avfallshantering av biologiskt nedbrytbart avfall

År 2017 samlades 741280 ton hushållsavfall till biologisk återvinning såsom rötning eller kompostering i Sverige, vilket utgör 15,5 % av den totala mängden hushållsavfall (Avfall Sverige, 2018 b). 77 % av Sveriges 213 kommuner har någon form av insamling av matavfall. (Avfall Sverige. 2018 b). Tillverkning av biogas är den vanligaste behandlingsmetoden i Sverige och den ökar alltmer (Djerf. 2018).

Kompostering av biologiskt avfall sker främst av trädgårdsavfall och uppgår till 276 460 ton. År 2017 komposterades 20 410 ton matavfall. (De kommuner som komposterar matavfall var enligt Avfall Sverige år 2017: Eslöv, Hässleholm, Karlshamn, Luleå, Uppsala och Östersund (Avfall Sverige, 2018 b) Dock uppger både Uppsala, Hässleholm och Eslövs kommuns avfallsbolag vid muntlig kontakt att de inte längre komposterar matavfall utan gör biogas (Linde. 2018), (Merab. 2018) (Ehnberg. 2018). Enligt Uppsala Vatten och avfall har de inte komposterat avfall sedan 2009 (Linde. 2018). Eslöv uppger att de skickar matavfall till Kristianstad där det blir biogas och gjort så under flera år. (Merab. 2018). I Hässleholm transporteras det insamlade matavfallet till Mörrums biogasverk (Ehnberg. 2018). Både Eslövs och Hässleholms avfallsbolag bedriver dock kompostering av trädgårdsavfall. Detta tyder på att de uppgifter som Avfall Sverige har tillgång till och som kommunerna själva rapporterar in inte uppdaterats vad gäller hanteringen av biologiskt avfall.

Storskalig kompostering

Den storskaliga komposteringen kan ske på flera sätt: våtkompostering, sluten kompostering eller öppen kompostering. Naturvårdsverket har utformat råd till storskaliga kompostanläggningar för effektiv nedbrytning och för att undvika läckage av miljöskadliga ämnen och smittor från biologiskt avfall. För optimal nedbrytning bör pH vara ca 7-8. Ett lägre pH ger mer kväveutsläpp (Naturvårdsverket. 2003).

Ombländning av avfallet påskyndar nedbrytningen, men sker det för ofta kan det göra komposten för kompakt och minska syrehalten. Vattenhalten bör under den mest intensiva nedbrytningsfasen, de första 2-4 veckorna ligga mellan 35-60 viktprocent. Om komposten blir för torr kan processen avstanna och därför kan vatten behöva tillföras. För att undvika smittspridning från det färdiga kompostmaterialet hygieniseras det vilket innebär att det värms upp till 55 °C i minst 7 dygn eller 70 °C i ett dygn (Naturvårdsverket. 2003).

De flesta kommuner samlar numera in matavfall papperspåsar, men det förekommer även insamling i påsar av nedbrytbar plast som går till kompostering. En sådan är Luleå kommun. Enligt Norrlandsjord & miljö AB som sköter komposteringen tar det 9-10 månader för påsarna att försvinna synligt i komposteringen som sker vid ca 50-60 °C (Johansson. 2018).

Tillverkning av biogas

Behandling av biologiskt avfall sker genom rötning av bakterier under anaeroba förhållanden. Processen är fördelaktig för tillverkaren jämfört med kompostering då den ger både biogas till drivmedel och biogödsel som kan ge näring inom jordbruket. I Sverige är det vanligast att avfall rötas vid en temperatur på 70 grader. För att få ut mesta möjliga metangas ur avfallet förbehandlas det i mekaniska steg. Avfallet blandas, homogeniseras och mals ner till mindre bitar. Ett finfördelat material bryts ner fortare då bakterierna har fler angreppspunkter. Avfallet blandas i stora kärl med mekanisk omrörare och separeras från vätska i en skruvpress (Eriksson & Holmström. 2010).

Komposterbar plast i biogasanläggningar

I en rapport från IVL redovisas ett försök där olika bioplastpåsar för matavfall och papperspåsar utsätts för rötning i 60 dygn. Bioplastpåsar bestod av en blandning av råvaran MaterBi, fossil råvara samt hade olika stärkelse inblandat av potatis eller majs och olika halter av kalk för att se om detta hade någon inverkan på rötningsprocessen. Resultatet visade att påsarna inte hade någon hämmande effekt på

metangasproduktionen, men att de inte bröts ner i någon större utsträckning utan endast minskade i vikt. Inblandningen av kalk eller olika typer av stärkelse hade inte någon speciell inverkan på resultatet (Alexandersson et al. 2013).

Slutsatsen i rapporten blev att de nedbrytbara påsarna bör sorteras ut innan rötning, men att mer forskning bör göras till exempel på om förhydrolys vid lågt pH kan öka nedbrytning ytterligare (Alexandersson et al. 2013). Dock kan de nedbrytbara påsarna ändå vara komplicerade att ha att göra med i biogasproduktionen då de kan fastna i de transportsteg som leder avfallet till rötningsskammaren. Andersson säger att påsarna blir som tuggummi och fastnar i transportsystemet till biogasreaktorn vilket orsakar driftstopp (Andersson. 2018) Även Umeå kommun har valt bort påsar av majsstärkelse för insamling av matavfall till förmån för papperspåsar för att de förstnämnda fastnar i systemet.

Tillsats av polymerer i röttningsprocessen

Polymerer som PAM - polyakrylamid och AMD - Akrylamid kan tillsättas som ett förtjockningsmedel för att få önskvärd konsistens i röttskammaren (Avfall Sverige. 2018a). Polymertillsats är tillåtet för certifierad gödsel enligt SPCR 120 från biogasproduktion med upp till 0,5 kg/m³ substrat. Avfall Sverige har gjort en studie där de undersökt om de tillsatta polymererna påverkar marken på något sätt. Den forskning de hittade gav motstridiga resultat gällande hämmade effekt på biogasproduktionen. Vad gäller påverkan på mark konstaterades att för få analysrapporter och metoder för att mäta detta finns tillgängligt. Dock fastslogs det att det krävs mer än naturlig utomhusmiljö för att åstadkomma nedbrytning av huvudkedjan i PAM (Henriksson et al. 2010).

Eftersom polymerer redan tillsatts som hjälpmedel under flera år utan någon upptäckt förstörelse av marken ute i fält upptäckts gav man tillstånd att använda polymerer för certifierad biogödsel tills det att mer forskning på området kom fram. Ett av skälen till detta var att det fanns även en stark önskan från biogasindustrin att polymertillsats skulle vara tillåtet. Argumenten för detta var att polymererna kunde minska antalet transporter då det minskar vattenhalten och ge ökad metanproduktion (Henriksson et al. 2010) I början av 2000-talet användes ungefär 2500 ton PE årligen av biogasindustrin (Wahlberg & Paxéus. 2003). Författarna till studien konstaterar att kunskapen om effekterna av tillsats av katjoniska polyakrylamider till mark är liten. Som slutsats menar de att det bör finnas en uppmärksamhet på eventuellt skadliga effekter då polyakrylamiderna bryts ner mycket långsamt (Wahlberg & Paxéus. 2003).

Insamling av nedbrytbar plast

Inga av de kommuner/avfallsbolag jag pratat med; Uppsala, Umeå, Norrköping, Eslöv och Hässleholm har ett särskilt system för insamling av nedbrytbar plast (Andersson. 2018, Annerfeldt, 2018, Vakin, 2018, Linde. 2018, Ehnberg. 2018, Merab. 2018).

I Norrköping avråds hushåll från att nedbrytbar plast ska läggas i avfallspåse för matavfall då matavfallet rötas till biogas och plastbitar kan fastna i systemen (Andersson. 2018). De rekommenderar istället privatpersoner att lägga nedbrytbar plast bland brännbart (Andersson. 2018). Uppsala vatten & avfall som sköter insamlingen av matavfall där rekommenderar att förpackningar av komposterbar plast läggs bland brännbart (Linde. 2018). I Hässleholm rekommenderas att förpackningar av komposterbar plast läggs bland plast i förpackningsinsamlingen och att övriga produkter av komposterbar plast läggs bland brännbart (Ehnberg. 2018). Hässleholm har en fraktionsinsamling vid villor och småhus där hushållen sorterar i fack. Det är i grunden 4-fackssortering med olika påhågsboxar, samt extra insamling av miljöfarligt avfall och textil. Att ha ytterligare en fraktion kan bli krångligt för hushållen tror hon. Dessutom är det frågan om det finns tillräckliga kvantiteter i dagsläget att det skulle vara ekonomiskt försvarbart att samla in komposterbar plast speciellt. Det måste också finnas en avsättning för det material som återvinns. De har inte fått några indikationer från Mörrumverkets sida att folk har börjat lägga komposterbar plast bland matavfallet (Ehnberg. 2018).

Centralorganisationen för avfallshantering i Sverige Avfall Sverige rekommenderar i nuläget att hushåll lägger alla typer av plastförpackningar till plaståtervinningen (Djerf. 2018). Detta för att det inte går för konsumenterna att avgöra vad det är för typ av plast samt om den är återvinningsbar eller inte, därför får avfallsbranschen vara den som har ansvaret för att det blir rätt i slutändan. Avfall Sverige påpekar dock att nedbrytbar plast inte bör vara i plaståtervinningen egentligen, eftersom den försämrar kvalitén på all den andra återvunna plasten och gör att den faller sönder lättare (Djerf. 2018). En viktig faktor till den minskande andelen kommunala komposteringsanläggningar i Sverige menar Avfall Sverige är ekonomiska. Slutprodukten vid kompostering blir inte gödsel utan jord och det finns ingen marknad för tonvis med jord. Den går istället till stadens parker, utfyllnad eller rekreationsområden. Eftersom det finns en risk att plast inte bryts ner vill ingen av driftansvariga vid kompostanläggningarna ha in plast oavsett typ bland till exempel trädgårdsavfall (Djerf. 2018).

Från Avfall Sveriges sida pågår en dialog med bland annat Ica och Coop om hur de kommunicerar kring plast gjord av stärkelse. Butikerna tror att de alltid gör en miljönytta genom att sälja dessa, men ibland blir kommunikationen felaktig (Djerf. 2018).

Diskussion

Resultatet av litteraturstudien visar att det finns plast som kan angripas av mikroorganismer och brytas ner. Dock har jag inte hittat några studier eller certifieringstandarder som garanterat 100 % nedbrytning i alla typer av miljöer. Däremot finns sådan kommunikation från tillverkare och distributörer av bioplast som anger att deras produkt är "100 % komposterbar eller biologiskt nedbrytbar"

Kommunikationen till konsumenterna om vad de ska göra med plasten efter användning behöver förbättras avsevärt. Det bör vara företagets ansvar att ha kunskap om produkterna de saluför och veta skillnaden mellan till exempel en industriell kompostering som sker vid höga temperaturer och hemkompostering vid lägre temperatur, då det kan vara direkt avgörande för om deras produkt faktiskt är komposterbar som de hävdar.

Vissa påståenden från företag är direkt felaktiga. Bland annat Biopac som skriver på produkten att deras mugg av PLA inte är plast, vilket den är. Vad de menar torde vara att den inte är plast baserad på råolja. Några av de företag jag pratat med, som Getcamping ger signaler till konsumenter om att det går att gräva ner plastprodukter i jorden och att de försvinner inom några veckor. Jag har inte hittat någon forskning som visar att nedbrytning av plast inom ett så snabbt tidsperspektiv är möjlig.

Varken Getcamping eller Jollyroom var tillverkare av materialet och hade därför lite information om innehållet. Getcamping medger att butiken har svårt att få ut all information om materialet från importören som i sin tur har kontakt med tillverkaren i Asien. Flera försök gjordes för att få tag på tillverkaren av Bimbamboo för att få reda på mer om materialet men utan resultat inom projektets tidsram. Att framstå som miljövänlig kan ge säljfördelar och kan göra att företag använder otydliga märkningar. De företag som inte uppfyller certifieringskriterierna har mycket att vinna på att beskriva sin produkt som "100 % nedbrytbar" även om inga tester har gjorts som bevisar detta. Certifiering innebär en kostnad för företaget samt krav som de kanske inte kan leva upp till. Vissa företag har även skapat egna miljömärkningar vilket kan vara förvirrande för konsumenterna. Då återförsäljare och tillverkare ofta finns på stora geografiska avstånd med språkbarriärer emellan kan en del av informationen trillat bort på vägen från fabrik till handel - Biobased kan ha blivit biodegradable och så vidare. Återförsäljare kanske inte heller har kunskap om de fackuttryck som tillverkaren använder.

De företag som har lagt ner stora resurser på att utveckla komposterbara material har lagt stor vikt vid att produkterna ska vara rätt märkta, ett exempel på detta är Biobag. Påsar har i allmänhet fördelen att det lätt går att trycka textbaserad information på dem, vilket inte alltid är möjligt för andra produkter till exempel biobaserade plastbestick och tallrikar. Det är omöjligt för konsumenten att enbart från utseendet skilja en biobaserad plast från en oljebaserad. Därför ligger en stor del av ansvaret på företag att producera hållbart och etiskt. Ofta finns det dock en låg insyn i verksamheten och konsumenter har endast att lita på tillverkarens ord.

En konsekvens av en ökande andel nedbrytbar plast kan paradoxalt leda till mer nedskräpning om folk slänger den på marken i tron om att den kommer försvinna inom en snar framtid.

De flesta certifieringsstandarder kräver 90 % nedbrytning inom 180 dagar. ASTM D5988 kräver mindre - 60 %. Nedbrytningen mäts som koldioxidavgivning. Vissa kritiker menar att detta är ett olämpligt sätt att mäta då koldioxidavgivning kan bero på att stärkelse inblandad i plasten bryts ner och inte själva polymeren (Yabannavar et al. 1994). Den mest korrekta bedömningen av nedbrytning vore en minskning av molekylvikt men det är inte alltid sådana mätinstrument finns tillgängliga.

De kontrollerade miljöer som finns på laboratorier kommer sällan återfinnas i naturen. Vid testning görs försöken med kontrollerad temperatur, fukthalt och jordförhållanden. Det är ofta i experimenten inte specificerat vilken form provbitarna ska ha utan endast vikt anges. I vissa fall klipps provbitarna sönder innan kompostering. Då polymermaterialets form och ytarea är av betydelse för nedbrytningshastigheten (tabell 2) är det svårt att direkt applicera testresultaten på verkligheten. För att påskynda experiment på nedbrytbarhet används ibland accelererat åldrande för att få snabbare resultat. Bitar av polymeren utsätts under kontrollerade former för åldrande faktorer som hög temperatur, syre, hög luftfuktighet och så vidare. Dock kan det vara problematiskt att översätta det accelererade åldrandet till den naturliga miljön. Att anta att en timme med UV-ljus i labbet motsvarar en dag i naturen kanske inte stämmer då UV-halten varierar under olika årstider samt vid olika breddgrader på jorden.

Gällande PAC-plast kan den i teorin leda till mindre problem med havslevande djur som fastnar och trasslar in sig i plastpåsar och andra rester i haven då de lättare går sönder, men kan istället öka andelen mikroplast. Det pågår en intensiv debatt mellan tillverkare och intresseorganisationer för och emot PAC-plast huruvida den bryts ner eller inte. European Bioplastics som är en intresseorganisation för bioplasttillverkare hävdar att den inte gör det, medan Oxo-biodegradable Plastic Association som är en organisation för tillverkare av oxidativa tillsatser menar det motsatta. Företaget Symphony Environmental som tillverkar den oxidativa tillsatsen d₂w[®] hävdar att plast med deras tillsats inte bara fragmenterar utan tas upp av organismer i jorden (Symphony Environmental technologies plc. 2013). De skriver vidare att plasten kommer brytas ner på samma sätt som ett löv (Symphony

Environmental technologies plc. 2013). För att styrka sitt påstående hänvisar de till en svensk vetenskaplig artikel (Jakubowicz. 2011) som påvisar omkring 90 % nedbrytning i jord efter 2 år. I testet har testbitarna initialt utsatts för värme under kontrollerade former. Att temperaturen skulle uppgå till 75 grader i naturen är inte sannolikt, möjligen skulle det ske i ett växthus.

Den europeiska miljöbyrån- EEA har genomfört en utredning av PAC-plaster i medlemsländerna där de slog fast att det är allmänt accepterat bland forskare att sådan plast fragmenterar snabbare än plast utan pro-oxidativa tillsatser, men att det inte är bevisat att de kan brytas ner fullständigt inom en rimlig tidsram, och därför inte är passande för varken kompostering eller återvinning. De rekommenderade EU att förbjuda försäljningen av OXO-bionedbrytbar plast. Det har ännu inte blivit något förbud men EU kommer i och med den nya europeiska plaststrategin inleda en process för att begränsa användningen av PAC-plast i EU i framtiden (Europeiska kommissionen. 2018).

Flera personer jag pratat med både inom kommun, avfallsbolag och bioplastindustrin efterlyser tydligare information och ramverk från högre instans kring bioplast. Norrköpings kommun har inte fått några direkta rekommendationer från statligt håll vad kommunen ska göra med komposterbar plast, men skulle det komma sådana vill de gärna hänga på och förbättra sin insamling. De vill också gärna se en utredning över vem som har huvudansvaret för den nedbrytbara plasten, om det är förpacknings- och tidningsinsamlingen, kommunernas eller statliga myndigheter (Andersson. 2018)

Avfall Sverige kan i nuläget inte se att bioplast bör samlas in separat och komposteras. Om det i framtiden blir en ökad produktion samt om det kommer plast som både är 100 % biobaserad och 100 % nedbrytbar får de ändra sina rekommendationer (Djerf. 2018).

Polynova Nissen anser att priset är en av de största konkurrensnackdelarna för bioplast jämfört med fossilbaserad plast. Även hållbarheten är kortare för bioplast, med en garanterad hållbarhet på cirka 12 månader från tillverkningsdatum. Då vissa tillverkare använder mindre andel förnybara råvaror och blandar in till exempel fossil polyeten men ändå kallar sin produkt för bioplast blir det otydligt för konsumenterna att den ena innehåller mer förnybart eftersom det inte finns ett krav på standardiserade beteckningar (Wik. 2018). På företaget är de medvetna om att många återförsäljare blandar ihop begreppen nedbrytbarhet och återvinning och tror detta beror på att företag som har starka intressen gärna vill främja sin egen produkt och kanske kommer med påståenden som inte är helt korrekta. Polynova Nissen tror att tydligare reglering kring begreppen kan lösa en del av detta (Wik. 2018).

Tillverkaren GAIA önskar att Sverige likt andra länder i Europa, till exempel Frankrike förbjuder tunna påsar av polyeten och ställer krav på att plast ska ha en viss andel förnybara råvaror. Det krävs antagligen en reglering på EU-nivå, men förhoppningsvis kommer det inom ett par år även i Sverige. Anledningen till att Sverige inte har kommit så långt i denna fråga tror de beror på att Sverige har

investerat mycket pengar i avfallsförbränningsanläggningar, medan det i övriga Europa är vanligare med deponier (Rosén. 2018).

Vad som ger polymermaterialet bra egenskaper under användning, det vill säga hållbart, slitstarkt och vattenavvisande ger dåliga nedbrytningsegenskaper. Utmaningen i framtiden ligger i att utveckla material som har tillräckliga hållbarhetsegenskaper, men inte behöver hålla i 300 år när det används i endast 30 minuter.

Att tillverka plast från förnybar råvara istället för fossil innebär att den inte bidrar till koldioxidutsläpp vid kompostering eller avfallsförbränning där en stor del av de komposterbara plasterna idag hamnar. Dock måste hela livscykeln räknas in och ett orosmoment med bioplaster är att hela deras livscykel eventuellt kan ge ett högre koldioxidutsläpp än konventionell plast eftersom det inte finns system för återvinning och att de då förstör återvinningen för konventionell plast.

Essentiellt för biologisk nedbrytbarhet är att den ska gå fort, i alla fall inte mer än några år och att inte ska finnas några skadliga restprodukter förutom vatten, jord, koldioxid och metan. Tillsatser i plasten redovisas sällan i detalj, och det finns en risk att de kan finnas kvar som restprodukter vid nedbrytning.

Att PCL, PLA, och PGA används inom den medicinska vetenskapen och bryts ner i kroppen innebär inte att de automatiskt kommer brytas ner i jord. Människokroppen är en relativt kontrollerad miljö om varierar lite från person till person med avseende på temperatur och fukt till skillnad från nedbrytning i miljön där det är mycket skiftande förutsättningar i fuktighet, temperatur, mikroorganismer, solljus och syreförhållanden. Detta gör det mycket svårt eller omöjligt att säkerställa att sådan plast bryts ner i naturen även om den är nedbrytbar i kroppen. (Albertsson & Hakkarainen 2017).

Slutsats

- Utifrån den information jag hittat går det inte att säga att nedbrytbar plast kommer lösa problemet med mikroplast i naturen. De tester som utförs i laboratorium kan inte garantera fullständig nedbrytbarhet i naturen. Det går att med säkerhet uttala sig så generellt som att "PLA är komposterbar", då det beror på en mängd faktorer som vilken molekylvikt den har, vid vilken temperatur och fuktighet den komposteras.

- Det finns flera plasttyper bland annat PLA, PHB och PCL som bryts ner mycket fortare än konventionell plast vilket är positivt för miljön.

- De flesta komposterbara plaster som säljs i Sverige kommer inte att komposteras i någon högre utsträckning, då det inte finns kommunal insamling av komposterbar plast. I Sverige är det troligt att komposterbar plast antingen sorteras som brännbart eller plastförpackning.

- Att separat insamling av komposterbar plast saknas innebär att hushåll inte har tillgång till kompostanläggningar där komposteringar sker vid över 58 grader vilket krävs för nedbrytning av till exempel PLA. Det alternativ som återstår för privatpersoner som vill kompostera nedbrytbar plast är att göra det i egen hemkompost, men då kommer plasten inte brytas ner på det sätt som certifieringen anger utan inom en mycket längre tidsrymd.

- Kommunikationen till konsumenterna om vad plasten innehåller och vad de ska göra med plasten efter användning behöver förbättras avsevärt. Både tillverkare, och avfallsindustrin efterfrågar en tydligare reglering kring märkning av bioplast samt utredning av ansvarsfördelning.

Tack

Jag vill tacka alla personer jag intervjuat på kommuner, företag och myndigheter som tagit sig tid och så värdefullt delat med sig av sin information. Jag vill också tacka min handledare för råd på vägen.

Referenser

- Albertsson, Ann-Christine & Hakkarainen, Minna. 2017: Designed to degrade. Science, nr 358 november.
- Albertsson, Ann-Christine & Karlsson, Sigbritt: Chemistry and biochemistry of polymer biodegradation in: Griffin, G.J.L. (red.) 1994: Chemistry and technology of biodegradable polymers. Chapman & Hall.
- Allen Norman & Edge, Michael. 1992: Fundamentals of polymer degradation and stabilisation. Elsevier Science Publisher.
- Alexandersson, Louise; Persson, Sandra; Palm, David; Lexén, Jenny; Rosén, Carl; Nordberg, Ulf & Frid, Lars. 2013: Biopåse för matavfall. Svenska miljöinstitutet, IVL-rapport C3. <http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76fa/1449742334743/C3.pdf>. Hämtad: 2018-08-10.
- Alm, Gustav; Eriksson, Göran; Ljunggren, Hans; Olsson, Ingrid; Palmstierna, Inger & Tiber, Nils. 1997: Kompostboken. Natur & kultur/LT förlag.
- Andersson, Hanna. 2018. Miljörådgivare Norrköpings Vatten & avfall. Muntligen 2018-03-08.
- Ascue, Johnny; del Pilar Castillo, Maria & Nordberg, Ulf. 2012: Nedbrytning av biopåsar under anaeroba förhållanden - Preliminary tests, Bilaga C till Biopåse för matavfall. IVL-rapport C3. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering.
- Avfall Sverige. 2018 a: Bilaga 1a. Certifieringsregler för SPCR120 version februari 2018. <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/certifierad-atervinning/certifieringsregler/>. Hämtad: 2018-03-06.
- Avfall Sverige, 2018 b: Svensk avfallshantering 2018. https://www.avfallsverige.se/fileadmin/user_upload/Publikationer/Svensk_avfallshantering_2018_01.pdf. Hämtad: 2018-08-10.
- Axenholm, Christian. 2018: Försäljningschef Polynova Nissen. Muntligen 2018-03-05.
- Backlund, Birgit & Nordström, Maria. 2014: Nya produkter från skogsråvara -en översikt av läget 2014. Innventia rapport nr. 577.
- Benedict C, Cook W, Jarrett P, Cameron J, Huang S & Bell J. 1983 Fungal degradation of polycaprolactones. Journal of Applied Polymer Science, nr. 28, s. 327–334.
- Biopac. 2018. Printed PLA tumblers. <http://www.biopac.co.uk/products/cold-drink-cups/pla-tumblers/printed-pla-tumblers.html>. Hämtad: 2018-08-23.

- Briassoulis, Demetres & Dejean, Cyril. 2010: Critical Review of Norms and Standards for Biodegradable Agricultural Plastics Part I. Biodegradation in Soil. *Journal of Polymers and the Environment*, nr. 18 s. 384-400.
- Briassoulis, Demetres & Kyrikou, Ioanna. 2007: Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers and the Environment*, nr. 15 s. 125-150.
- Briassoulis, Demetres; Babou, Epifaneia; Hiskakis, Miltiadis & Kyrikou, Ioanna. 2015: Analysis of long-term degradation behaviour of polyethylene mulching films with pro-oxidants under real cultivation and soil burial conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, nr. 22. s. 2584-2598.
- Chandra, R & Rustgi, Renu. 1998: Biodegradable Polymers, *Progress in Polymer Science*, nr. 23, s.1273-1335.
- Chiellini, Emo; Corti, Andrea; D'Antone Salvatore, Solaro Roberto. 2003: Biodegradation of poly(vinyl alcohol) based materials, *Progress. in Polymymmer. Science*, nr. 28 s. 963-1104.
- Doi, Yoshiharu & Fukuda, Kazuhiko (red.). 1994: Biodegradable plastics and polymers - studies in polymer science 12. Elsevier Science B.V.
- Djerf, Jon. 2018. Rådgivare för materialåtervinning, insamling och transport, Avfall Sverige. Muntligen 2018-08-07.
- Eldsäter, Carina. 1999: Chemical and morphological characterisation of long-term properties of environmentally degradable polymers. KTH - Instutionen för polymerteknologi.
- Ehnberg, Matilda. 2018. Projektsamordnare. Hässleholm miljö AB. Muntligen 2018-08-10
- Eriksson, Ylva, & Holmström, David. 2010: Förbehandling av matavfall med skruvpress. Examensarbete vid instutionen för Kemiteknik. Lunds Universitet.
- European bioplastics. 2016a: Certification scheme. Products made of compostable materials according to EN 13432 if applicable, in connection with ASTM D 6400, EN 14995, ISO 17088 ISO 18606.
- European bioplastics. 2016b: Bioplastics -Industry standards & label, relevant standards and labels for bio-based and biodegradable plastics. http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_standards.pdf. Hämtad: 2018-08-18.
- European bioplastics. 2017: Global production capacities of bioplastics 2017 by material type. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/> Hämtad: 2018-08-23.
- Europeiska kommissionen. 2018: Report from the commission to the European parliament and The council on the impact of the use of oxo-degradable plastic, including oxo degradable plastic carrier bags, on the environment. EU publications. Hämtad 2018-08-07: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/oxo-plastics.pdf>.
- European Environmental Agency, 2016: The Impact of the Use of "Oxo-degradable" Plastic on the Environment. EU publications. Hämtad: 2018-08-07: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bb3ec82e-9a9f-11e6-9bca-01aa75ed71a1>.
- Ezeyza-Alvear, Carlos. 1981: Plast & gummilexikon. EC Print AB.

- Fontanella, Stéphane; Bonhomme, Sylvie; Koutny, Marek; Husarova, Lucie; Brusson, Jean-Michel; Courdavault, Jean-Paul; Pitteri, Silvio; Samuel, Guy; Pichon, Gérard; Lemaire, Jacques; Delort & Anne-Marie. 2010: Comparison of the biodegradability of various polyethylene films containing pro-oxidant additives. *Polymer Degradation and Stability* nr. 95, s. 1011-1021.
- Friedrich, Jožefa; Zalar, Polona; Mohorčič, Martina; Klun, Urša & Andrej Kržan: Ability of fungi to degrade synthetic polymer nylon-6. *Chemosphere*, nr. 67. s.2089-2095.
- Garcia, Jeanette & Robertson, Megan. 2017: The future of plastics recycling Chemical advances are increasing the proportion of polymer waste that can be recycled. *Science*, nr. 358 november.
- Getcamping. 2018a: Outwell Bamboo Ocean Skål M. <https://www.getcamping.se/outwell-bamboo-ocean-skal-m>. Hämtad: 2018-08-08.
- Getcamping. 2018 b: Kundtjänst getcamping.se, muntligen 2018-03-08.
- Halley, Peter & Avérous, Luc (red) 2014: Starch Polymer materials- From Genetic Engineering to Green Applications. s. 321-356. Elsevier B.V.
- Henriksson, Gunilla; del Pilar Castilla, Maria; Jakubowicz, Ignacy; Enockson, Håkan; Ascue Contreras, Johnny; Lundgren, Per & Engström, Thomas. 2010: Miljöeffekter av polymerer inom biogasbranchen- förstudie. Waste refinery Sp Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Projektnr: WR-34, ISSN 1654-4706.
- Hopewell, Jefferson; Dvorak, Robert & Kosior, Edward. 2009: Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, nr. 364. s. 2115-2126.
- Jakubowicz, Ignacy; Yarahmadi, Nazdaneh & Arthurson, Veronica. 2011: Kinetics of abiotic and biotic degradability of low-density polyethylene containing prodegradant additives and its effect on the growth of microbial communities. *Polymer degradation and Stability*, nr. 96, s. 919-928.
- Johansson. Pär 2018: VD, produktionsansvarig bränslekross och kompostering, Norrlandsjord & miljö AB. Muntligen 2018-03-06.
- Jollyroom.2018: BimBamBoo Kids Barnservis 3-del Ugglor. <https://www.jollyroom.se/babyprodukter/ata-dricka/bestick-servering/tallrikar-skalar/bimbamboo-kids-barnservis-3-del-ugglor>. Hämtad: 2018-08-08.
- Karamanlioglu, Mehlika & Robson, Geoffrey. 2013: The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly(lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil. *Polymer Degradation and Stability*, nr. 98 s. 2063 – 2071.
- Kale, Gaurav; Kijchavengkul Thitisilp; Auras, Rafael; Rubino, Maria; Selke, Susan & Singh, Paul. 2007 a: Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, nr. 7, s. 255–277.
- Kale, Gaurav; Singh, Paul, Auras; Rafael & Narayan, Ramani. 2007 b: Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting condition. *Polymer Testing*, nr. 26. s. 1049-1061.
- Kaufmann, Morris. 1970: Vad är plast? Rabén & Sjögren.

- Kyrikou, Ioanna & Briassoulis, Demetres. 2007: Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers & the Environment*, nr. 15, s. 125 – 150.
- Linde, Anna. 2018. Samordnare Uppsala vatten & avfall, Muntligen 2018-08-08.
- Lithner, Delilah. 2011: Environmental and health hazards of chemicals in Plastic Polymers and Products. Doktorsavhandling. Institutionen för biologi och miljövetenskap. Göteborgs Universitet.
- Liquing Wei, Shaobo, Liang & McDonald, Armando, 2015: Thermophysical properties and biodegradation behavior of green composites made from polyhydroxybutyrate and potato peel waste fermentation residue. *Industrial Crops and Products*, nr. 69 juli, s. 91-103.
- Livsmedelsverket. 2011: Klimatpåverkan och energianvändning från livsmedelsförpackningar. Rapport nr. 18-2011.
- Malinconico, Mario (red). 2017: Soil Degradable bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture. Springer E-bok.
- Mattsson, Karin; Cedervall, Tommy & Hansson, Lars-Anders. 2015: Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Science: Processes and Impact*, nr. 10.
- Naturvårdsverket. 2003: Metoder för lagring, rötning och kompostering av avfall. Handbok med allmänna råd till 2 kap. §3 miljöbalken. Handbok 2003:04.
- MERAB. 2018: Mellanskånes Renhållningsaktiebolag. Kundtjänst, muntligen 2018-08-10.
- Nord, Anders & Tronner, Kate. 2008: Plast - morgondagens kulturobjekt. Riksantikvarieämbetet.
- Nordisk bioplastförening: Medlemmar. <https://www.nordiskbioplastforening.se/medlemmar>. Hämtad: 2018-03-04
- Norén, Fredrik & Magnusson, Kerstin. 2011: Mikroskopiskt skräp i haven – metodutveckling för miljöövervakning. N-research för Naturvårdsverket.
- Norman, Allen & Edge, Michele. 1992: Fundamentals of polymer degradation and stabilisation. Elsevier science publisher LTD.
- Ny teknik. 2017: Nedbrytbar plast skapar problem i återvinningen. Publicerad: 2017-12-11. <https://www.nyteknik.se/miljo/nedbrytbar-plast-skapar-problem-i-atervinningen-6887750>.
- Plastics Europe. 2018: Plastic- the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data. https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf. Hämtad 2018-07-29.
- Potts, James; Clending, Robert & Ackart, Watson. 1972: An investigation of the biodegradation of packaging plastics. Environmental Protection Technology series, EPA- R2-72-046.
- Ohtake, Yoshito; Kobayashi, Tomoko; Asabe, Hitoshi & Murakami, Nobunao. 1998: Studies on biodegradation of LDPE- observation of LDPE films scattered in agricultural fields or in garden soil. *Polymer Degradation and Stability*, nr. 60 s. 79-84.

- Quye, Anita, Littlejohn, David, Pethrick, Richard & Stewart, Robert 2011: Accelerated ageing to study the degradation of cellulose nitrate museum artefacts. *Polymer Degradation and Stability*, nr. 96.
- Riksantikvarieämbetet. u å: Flamskydd. <https://www.raa.se/app/uploads/2017/08/Flamskydd.pdf>. Hämtad 2018-08-23.
- Rosén, Konrad. 2018: Gaia biomaterials. Muntligen 2018-03-06.
- Rudnik, Ewa. 2008 : Compostable Polymer materials. Elsevier Science Ltd. s. 112-116.
- Sanchez, James; Tsuchii, Akio & Tokiwa Yutaka. 2000: Degradation of polycaprolactone at 50 C by a thermotolerant *Aspergillus* sp. *Biotechnology Letters*, nr. 22, s. 849–853.
- Selke, Susan; Auras Rafael; Nguyen, Tuan Anh; Castro, Edgar; Rijos Cheruvathur, Edgar & Liu, Yan. 2015: Evaluation of Biodegradation-Promoting Additives for Plastics. *Environmental Science and Technology*, nr. 49. s. 3769-3777.
- Shah, Aamer Ali; Nawaz, Ahmed; Kanwal, Lubna; Hasan, Fariha; Khan, Samiullah & Badshah, Malik. 2015: Degradation of poly(ϵ -caprolactone) by a thermophilic bacterium *Ralstonia* sp. strain MRL-TL isolated from hot spring. *International Biodeterioration & Biodegradation* nr 98 mars, s. 35-42.
- Symphony environmental technologies plc. 2013: Making plastic smarter, Annual Report and accounts 2013, s. 12-13. <https://www.symphonyenvironmental.com/wp-content/uploads/2015/09/Symphony-Annual-Report-2013-web-optimised-pdf-1.pdf>. Hämtad 2018-08-07.
- Vakin. 2018. Telefonkundtjänst Vatten och avfallskompetens i Norr AB. Muntligen 2018-08-06.
- Viklund, Jessica. 2016. Säljare Biobag Sverige. Muntligen 2018-03-05.
- Wahlberg Cajsa & Paxéus Niklas. 2003: Miljöpåverkan av polyelektrolyter från användning vid reningsverk, VA-FORSK Svenskt Vatten AB, rapport nr 40.
- Wang, Jun; Luo, Yongming; Teng, Ying; Ma, Wenting; Christie, Peter & Li, Zhengao: Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film.
- Wik, Mattias. 2018: Anställd vid Polynova Nissen AB. Muntligen 2018-03-05.
- Yabannavar Asha & Bartha Richard 1994: Methods for assessment of biodegradability of plastic films in soil. *Applied Environ Microbiology*, nr. 60, s. 3608–3614.