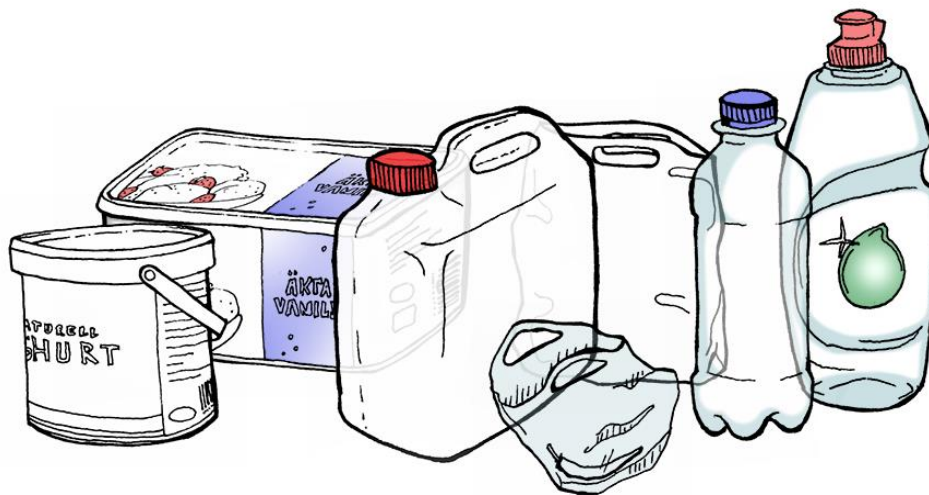




PLASTÅTERVINNING

- Möjligheter till att öka materialåtervinningen av förpackningsplast

PLASTIC RECYCLING

- Possibilities to increase material recycling of packaging plastics

Kandidatarbete i Industriell ekonomi

MATILDA ALFREDSSON

LINNEA BORGCRAANTZ

DANIEL HOZOURI

ELSA MAGNUSSON

ELIAS MARTINSSON

SEBASTIAN RINGQVIST

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation

Avdelningen för miljösystemanalys

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2019

Kandidatarbete TEKX04-19-07

Förord

Denna studie beskriver och analyserar dagens befintliga processer vid materialåtervinning av plast och kartlägger den svenska förpackningsplastens flöde för att identifiera var det sker läckage längs dess väg. Syftet är att undersöka varför graden av materialåtervinning på svensk förpackningsplast inte är högre.

“Nothing is lost, nothing is created, all is transformed.”

Antoine Lavoisier (1864), fransk kemist.

Studien har genomförts i kursen Kandidatarbete vid Teknikens ekonomi och organisation, TEKX04, på Institutionen för Miljöanalys, Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet har utförts av Matilda Alfredsson, Linnea Borgcrantz, Daniel Hozouri, Elsa Magnusson, Elias Martinsson och Sebastian Ringqvist under vårterminen 2019.

Vi vill rikta ett stort tack till vår engagerade handledare Henrikke Baumann, professor vid Teknikens ekonomi och organisation, som har gett oss givande respons och vägledning längs studiens gång. Vi vill även rikta ett stort tack till examiner Erik Bohlin.

Utöver detta vill vi även rikta ett extra stort tack till de som hjälpt oss på vägen, de personer vi fått intervjua och där vi fått komma på studiebesök. Er information och inspiration har varit en viktig del under studiens gång.

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, Sverige

16 maj 2019

Matilda Alfredsson

Linnea Borgcrantz

Daniel Hozouri

Elsa Magnusson

Elias Martinsson

Sebastian Ringqvist

Abstract

Today, plastics are recycled far less than other packaging materials such as paper, metal and glass. The use of plastics is at the same time increasing at an accelerating pace. Over the last thirty years global plastic consumption has more than tripled. The low recycling rate is a problem both due to the fact that plastics are manufactured from fossil oil, but also due to the fact that plastics almost completely lack degradation in nature, making it hard for oceans and nature to absorb litter. Therefore, this study aims to examine why the recycling rate of plastics is not higher. Since plastic production stands for the largest share of plastic production, 40 percent, the study limits to focus on what the recycling of plastic packaging from Swedish households looks like. With industrial ecology as a theoretical framework the study follows plastic waste from collection to end-of-use, regardless of it being incinerated, new products or landfilled. By surveying transports, technical processes of material recycling and laws and regulations about recycled plastics along with its after-market, the study examines underlying factors to the low recycling rate, but also possible actions to increase it. In order to conduct the survey, information was gathered through literature studies, databases, study visits and interviews with people working in the recycling business.

The study concludes that recycled plastic have limited use and that the demand of the recycled plastics is low. Consequently, there is a limited number of actors on the Swedish market collecting and recycling plastics and therefore it usually has to be transported abroad to be treated. Actors in Sweden are collecting and sorting household waste, but after sorting plastic packaging is exported primarily to Germany for material recycling. Some plastics, for example PET that is used in packaging outside the deposit system, make up too small quantities to be considered profitable to recycle and are eliminated at the sorting facilities. The reason for the low demand of recycled plastics is mainly caused by a deterioration of quality that originates from chemical contamination and natural degradation during the recycling process. Actors on the market argue that uncertainty concerning the quality of recycled plastics makes it harder to process and requires more adjustments and supervision when produced, consequently leading to additional costs and more uncertainty of the end product. Regulations also set high standards for plastics that are to come in contact with food. As a result, these plastics rarely have a circular flow but are used in products with lower standards on quality instead. In addition to this, aesthetics matter since the resale value of transparent plastics is four times higher than that of multicoloured plastics.

In order to increase the material recycling rate of plastics, more factors than just technical solutions are required. Primarily, an assurance of the quality of recycled plastic is needed and in that way reach new markets and areas of use where virgin plastics may be replaced with recycled, which would make recycled plastics more profitable and increase the incentives to improve current system of material recycling. The study shows that an improved packaging design is most effective on material recycling. Therefore, the producers of plastic packaging materials should be held liable for material recyclability since an improved packaging design would imply better end-quality and a larger after-market for the recycled plastics. Mechanical recycling is limited due to plastics' natural degradation, therefore chemical recycling should be regarded as a good alternative for plastics that, because of low demand or poor recyclability, cannot be recycled mechanically. However, mechanical recycling is preferable since it takes the most advantage of both raw material and the energy linked to the production process.

Sammanfattning

Plast återvinns idag i väsentligt lägre omfattning än både papper, metall och glas. Samtidigt är det ett material som ständigt ökar i användning och de senaste trettio åren har plastanvändningen i världen mer än tredubblats. Att återvinningen är låg är problematiskt både för att plast tillverkas av olja som är en ändlig resurs men även för att plast har en näst intill obefintlig naturlig nedbrytning vilket leder till problem med nedskräpning i natur och hav. Studien syftar därför till att undersöka varför graden av materialåtervinning inte är högre. Eftersom plastförpackningar står för den enskilt största delen av världens plastproduktion har studien fokuserat på materialåtervinning av plastförpackningar från svenska hushåll. Med industriell ekologi som ramverk följer studien plastavfallet från insamling till dess slutanvändning, vare sig det är nya produkter, förbränning eller deponi. Genom att kartlägga transporter, tekniska processer vid materialåtervinning, lagar och regleringar samt eftermarknad utreds varför materialåtervinningsgraden av plastförpackningar inte är högre men även möjliga åtgärder för att öka densamma. Fakta har insamlats via litteraturstudier, statistikdatabaser samt studiebesök och intervjuer med personer som är verksamma inom återvinningsindustrin.

Resultatet visar på begränsade användningsområden och låg efterfrågan på återvunnen plast. Detta gör att antalet aktörer på marknaden är få och att plasten ofta måste transporteras långt för att komma till användning eller bli behandlad. I Sverige finns aktörer som samlar in och sorterar förpackningsplast men efter sortering exporteras plasten för materialåtervinning i Tyskland. Vissa plaster, däribland PET som används i förpackningar utanför retursystemet, utgörs av så små kvantiteter att de inte anses lönsamma att återvinna utan sorteras bort redan i sorteringsanläggningarna. Den låga efterfrågan på återvunnen plast beror till stor del på den kvalitetsförsämring som sker på grund av kontaminering och naturlig nedgradering under återvinningsprocessen. Aktörer på marknaden menar att den låga kvaliteten på återvunnen plast medför svårigheter vid produktion, vilket leder till merkostnader och osäkerheter gällande slutprodukten. Lagstiftningen ställer höga krav på plaster som ska vara i kontakt med livsmedel, vilket gör att dessa plaster sällan får ett cirkulärt flöde utan istället används i produkter med lägre krav på kvalitet. Även estetiken spelar in vilket gör att transparent plast har ett fyra gånger högre andrahandsvärde än flerfärgad plast.

För att öka materialåtervinningsgraden av plast krävs mer än tekniska lösningar. Det som främst krävs är att kvaliteten på återvunnen plast kan säkerställas och på sätt nå nya marknader och användningsområden där jungfrulig plast kan ersättas med återvunnen, något som hade ökat lönsamheten i återvunnen plast och därmed incitamenten för utveckling av nuvarande materialåtervinningssystem. Studien visar på att en förbättrad förpackningsdesign hade gett bäst utfall i förhållande till insatsen. Större ansvar bör därför läggas på producenterna gällande materialåtervinningsbarhet då en förbättrad förpackningsdesign hade inneburit bättre slutkvalitet och en större eftermarknad. Då den mekaniska återvinningen har begränsningar på grund av plastens naturliga nedgradering bör kemisk återvinning ses som ett bra alternativ för plast som på grund av låg efterfrågan eller dålig återvinningsbarhet idag inte återvinns mekaniskt. Den mekaniska återvinningen är dock att föredra då det är den avfallsbehandling som bäst tar tillvara på både råvara och den energi som är kopplad till tillverkningsprocessen.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Vad är plast?	2
1.1.2 Statistik om plast	3
1.1.3 Tidigare studier om plaståtervinning	4
1.2 Problembeskrivning	5
1.3 Syfte och frågeställningar	5
1.4 Avgränsningar	6
1.5 Hållbar utveckling	6
2. Metod	7
2.1 Ansats	7
2.1.1 Industriell ekologi som ramverk för kartläggning	7
2.2 Övergripande upplägg	8
2.3 Datainsamling och systemkartläggning	8
2.3.1 Litteraturstudier	9
2.3.2 Studiebesök och intervjuer	9
2.4 Analys och diskussion	10
3. Dagens system för svensk förpackningsplast	11
3.1 Uppsamling och insamling	12
3.2 Sortering	14
3.2.1 Sortering med luftströmmar och magneter	15
3.2.2 Manuell sortering	16
3.2.3 Optisk sortering	16
3.2.4 Kombination av tvättning och densitetssortering	17
3.3 Avfallsbehandling	18
3.3.1 Förbränning och deponering	18
3.3.2 Mekanisk återvinning	18
3.3.2.1 Naturlig nedgradering av mekaniska egenskaper	19
3.3.2.2 Kvalitetskontroller av den återvunna plasten	20
3.4 Eftermarknad	20
3.4.1 Pris på återvunnen och jungfrulig plast	20
3.4.2 Kontamineringar i materialåtervunnen förpackningsplast	22
3.4.3 Användningsområden för materialåtervunnen förpackningsplast	22
3.4.3.1 Förpackningsplast avsedd att komma i kontakt med livsmedel	24
3.4.3.2 Återvunnen plast i livsmedelsförpackningar	25

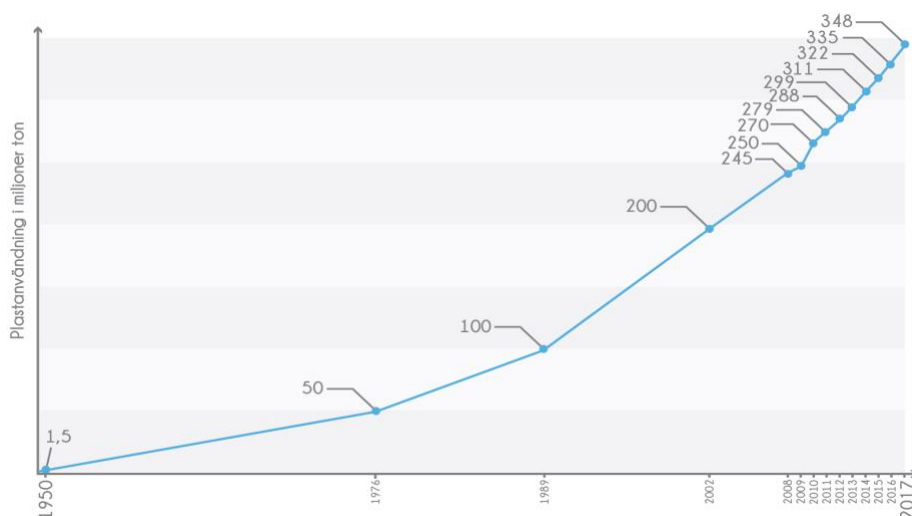
4. Möjligheter till att öka graden av materialåtervinning	26
4.1 Design för materialåtervinning	26
4.2 Insatser för ökad insamling och uppsamling	28
4.2.1 Retursystem	28
4.3 Insatser för effektivare sortering	29
4.3.1 Ny teknik för optisk sortering	30
4.3.2 Märkning med fluorescerande ämnen	30
4.4 Möjligheter till att få in återvunnen plast i livsmedelsförpackningar	31
4.5 Kemisk återvinning som kompletterade återvinningsprocess	31
4.5.1 Förgasning av plastavfall	31
4.5.2 Pyrolys av plastavfall	33
4.6 Biobaserad plast som alternativt material	34
5. Analys av förbättringsåtgärder	35
6. Diskussion	39
6.1 Diskussion av metodval och utförande	39
6.2 Diskussion av förbättringsåtgärder	40
7. Slutsats	42
8. Rekommendationer	44
Källförteckning	45
Bilaga A - Beräkningar	53
Bilaga B - Intervjuobjekt	57

1. Inledning

I Sverige återvinns bara en liten del av all plast. Inte ens hälften av de plastförpackningar som sorterats till återvinning går till materialåtervinning (Förpacknings och tidningsinsamlingen [FTI], 2019a). Resten går till förbränning som bidrar med växthusgaser, samtidigt som en ändlig resurs förbrukas (Förenta Nationerna [FN], 2019). Eftersträvarsvärt är istället en industriell ekologi där avfall används som råmaterial till nya produkter utan att kvaliteten eller utfallet blir sämre, likt de ekosystem som finns i naturen (Jelinski, Graedel, Laudise, McCall & Patel, 1992).

1.1 Bakgrund

Plastens flöden genom samhället är omfattande på grund av dess mångsidighet och goda egenskaper såsom energibesparing vid transport och minskat matsvinn (SOU 2018:84). De många användningsområdena har gjort att plastanvändningen i världen ökat från 1,5 miljoner till 348 miljoner ton mellan år 1950 och 2017 (The Statistics Portal, 2019a), något som visas i Figur 1. All nyproducerad plast tillverkas nästan uteslutande av fossil råvara från råolja som är en ändlig resurs på jorden (Naturskyddsföreningen, 2014). Plastens nytta ställs därmed mot plastens negativa sidor såsom miljöpåverkan från produktion och förbränning, dålig avfallshantering och låg grad av materialåtervinning, något som länge har negligerats (SOU 2018:84).

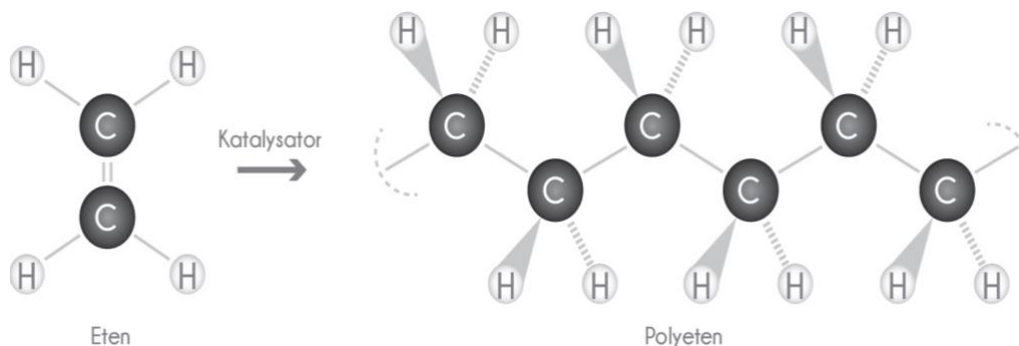


Figur 1. Plastanvändningen i världen har mellan år 1950 och 2017 ökat från 1,5 miljoner till 348 miljoner ton. Modifierad från originalet av The Statistics Portal (2019a)

Plastens tidigare användningsområde avgör hur återvinningsprocessen ser ut. För att materialåtervinna plastavfall från hushåll krävs komplicerade metoder då det består av blandade plaster som ska sorteras och tvättas innan plasten kan materialåtervinnas. Sverige har sorteringsanläggningar men inte anläggningar för materialåtervinning vilket innebär att Sverige exporterar plastavfallet för vidare bearbetning. Majoriteten av avfallet exporteras till länder inom Europa men det finns risk att plastavfallet hamnar i Asien. Detta då Europa inte heller har tillräcklig kapacitet för att hantera sitt plastavfall. Vid årsskiftet 2017/2018 införde dock den stora importören Kina begränsningar gällande importen av plastavfall, något som innebär nya utmaningar för Sverige och EU men samtidigt öppnar upp för nya möjligheter när både Sverige och EU måste hitta nya sätt att ta hand om sitt avfall (SOU 2018:84).

1.1.1 Vad är plast?

Plast består av polymerer som är långa kedjemolekyler. Polymerer är i sin tur uppbyggda av monomerer. Vilken monomer som används beror på vilken typ av plast som ska tillverkas men samtliga monomerer har ett gemensamt ursprung från fossil råolja vilket gör plast till ett fossilbaserat material (Fleischman, 2017). Olja har ett energiinnehåll på 12 MWh per ton (Bilaga A) och det krävs 1 ton råvara för att tillverka 1 ton plast (Boustead, 2005). Processen för plasttillverkning kräver ytterligare 8 MWh per ton, vilket ger en total energiåtgång på 20 MWh per ton plast (Bilaga A). Figur 2 visar hur polyeten (PE) är uppbyggd.



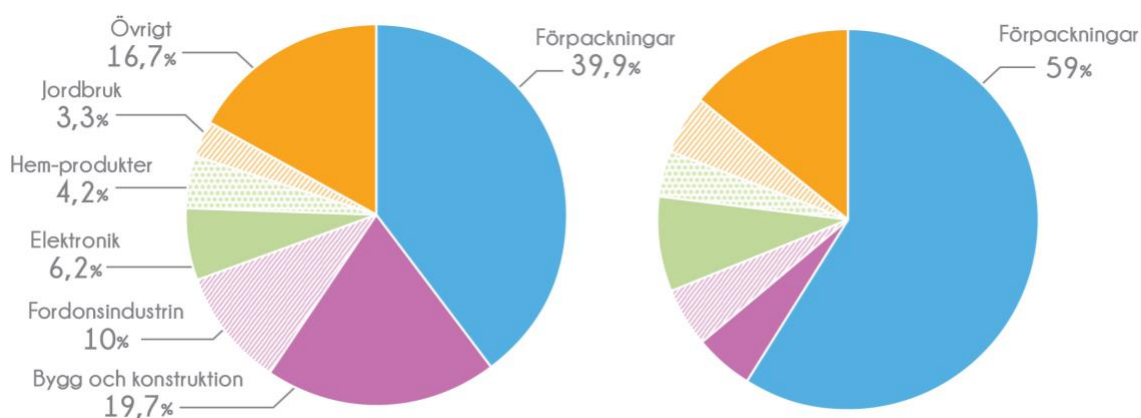
Figur 2. PE är en polymer som är byggd av upprepade enheter av monomeren eten

För att sammanfoga monomerer till långa kedjor krävs en kemisk reaktion. Valet av kemisk reaktion är avgörande för både vilken typ av plast som bildas och vilka egenskaper plasten får. Till polymeren tillsätts sedan olika additiv för att ge plasten ytterligare önskvärda egenskaper. Olika plasttyper skiljer sig följaktligen i kemisk uppbyggnad och struktur. Om olika plaster smälts ned och blandas kan det därför bildas fasgränser, ungefär som när olja blandas med vatten, vilket leder till försvagningar i det återvunna materialet (Fleischman, 2017). Vidare finns det två övergripande typer av plast, nämligen hårdplaster och termoplast. Av hårdplast och termoplast är det nästan uteslutande termoplast som återvinns eftersom den kan smältas och formas om, något som inte är möjligt med hårdplast eftersom den kemiska strukturen då förstörs. De vanligaste förpackningsplasterna är termoplasterna polypropen (PP), lågdensitetspolyeten (LDPE), högdensitetspolyeten (HDPE) samt polyetylentereftalat (PET) (Plastics Europe, 2018).

Den ökade efterfrågan på en mer hållbar tillverkning och användning av plast har lett till en ökad efterfrågan på bioplaster (Bezirhan et al., 2015) och idag utgör bioplaster ungefär 1 procent av den totala plastproduktionen (SOU 2018:84). Produktionen och användningen av denna typ av plast förväntas även öka med 20–25 procent per år (Bezirhan et al., 2015). Bioplast är ett samlingsnamn för plast som antingen är baserad på ett eller flera biologiska material alternativt ett material som är biologiskt nedbrytbart eller industriellt komposterbart (European Bioplastics, 2016). Begreppet “bioplast” misstolkas ofta eftersom bioplast även inkluderar plast som är tillverkad av fossil råvara (European Bioplastics, 2018). En mer lämplig benämning är därför biobaserad plast. Det biologiska material som biobaserad plast tillverkas av härstammar helt eller delvis från sockerrör, majs eller cellulosa. Dessa råvaror klassas som förnybara och har en snabb nyproduktion (SOU 2018:84).

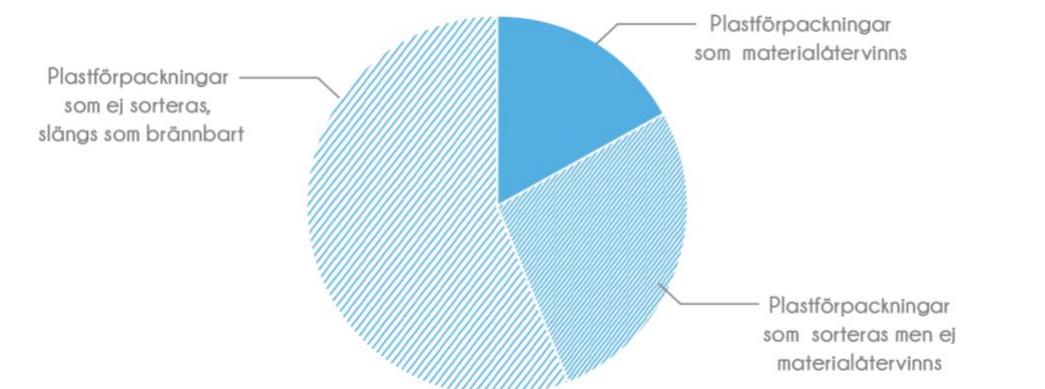
1.1.2 Statistik om plast

I Europa går cirka 4–6 procent av den totala oljeanvändningen till plasttillverkning, vilket utöver själva råvaran även innefattar den energi som krävs för att utvinna råvaran och tillverka plasten (Plastics Europe, 2017). Detta kan jämföras med flygtrafiken i Europa som år 2017 motsvarade cirka tre procent av den totala oljeanvändningen (Europaparlamentet, 2018). Plastens användningsområden i Europa samt uppkomsten av plastavfall från respektive område illustreras i Figur 3. Som figuren visar står plastförpackningar för det enskilt största användningsområdet samtidigt som det även står för mer än hälften av allt plastavfall. Det kan bero på att förpackningsplast används under en relativt kort tid innan det blir avfall, till skillnad från till exempel plast som används inom bygg och konstruktion.



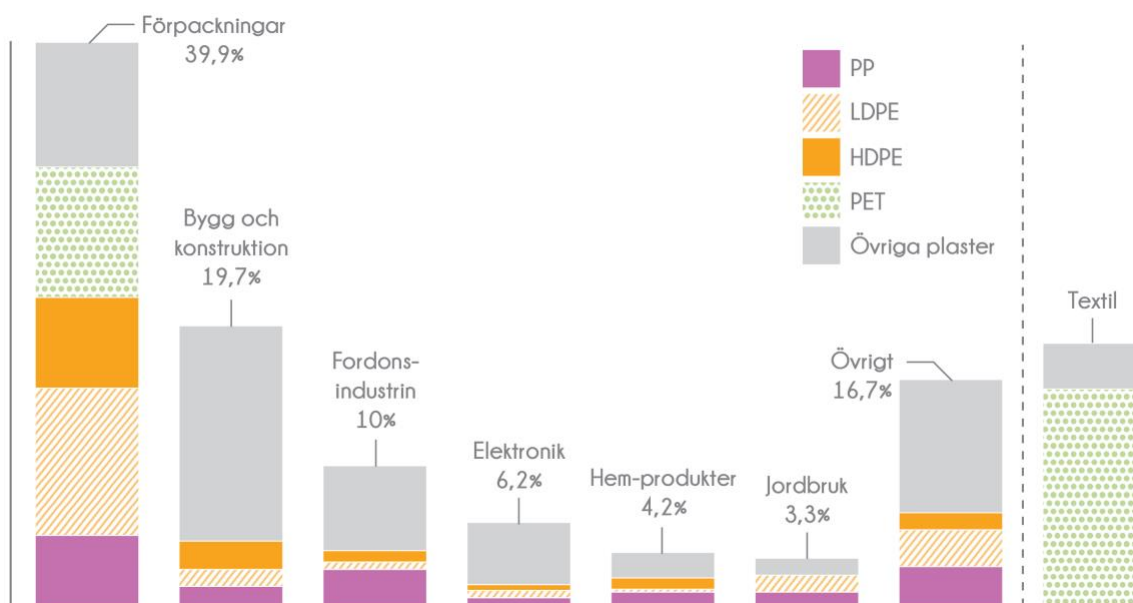
Figur 3. Till vänster visas plastens användningsområden, till höger visas uppkomst av plastavfall från respektive område. Modifierad från statistik av Plastics Europe (2017) samt European Commission (2018)

Statistik från Naturvårdsverket (2019a) visar att 44 procent av de svenska plastförpackningarna och 84 procent av PET-flaskorna gick till återvinning år 2017. Av de plastförpackningar som samlas in för återvinning blir cirka 40 procent materialåtervunna (FTI, 2019a), vilket innebär att cirka 17 procent av det svenska förpackningsavfallet blir materialåtervunnet, något som illustreras i Figur 4.



Figur 4. Andelen förpackningar som blir materialåtervunna är cirka 17 procent av det uppkomna avfallet från förpackningar. Modifierad från statistik av FTI (2019a)

PP, LDPE, HDPE och PET utgör cirka 80 procent av förpackningsplasterna (Plastics Europe, 2017). I Figur 4 illustreras dessa plasters användningsområden utanför förpackningsindustrin. PET används även inom textilier där det är mer känt som polyester (Žmak & Hartmann, 2017). Produktionen av syntetfiber uppgick under år 2017 till 65 miljoner ton (The Fiber Year, 2018) och av dessa var 53,7 miljoner ton polyester (Statista, 2019). Eftersom textilier i plaststatistik oftast inte presenteras som en enskild industri är denna stapeln i Figur 5 uppskattad i jämförelse med förpackningar (Bilaga A). Det bör även tilläggas att textilier används även inom andra industrier, vilket inte tas hänsyn till i Figur 5 där det illustreras som en fristående industri.



Figur 5. De vanligaste förpackningsplasterna och behovet för dessa plaster i övriga industrier. Modifierad från statistik av Plastics Europe (2017)

Sammantaget innebär det att plastförpackningar står för störst andel av all plastkonsumtion samtidigt som en väldigt liten del av förpackningsavfallet materialåtervinns. Behovet av de vanligaste förpackningsplasterna är dessutom inte särskilt stort i andra branscher, något som innebär att återvunnen förpackningsplast har en ganska liten eftermarknad utanför förpackningsindustrin.

1.1.3 Tidigare studier om plaståtervinning

Tidigare studier har gjorts för att kartlägga plastflöden och förutsättningarna för att öka materialåtervinningen. En av de mer omfattande bidragen till kunskapen i Sverige kommer från Statens offentliga utredning (SOU 2018:84). Utredningen tar ett brett grepp i ämnet och syftar till att identifiera miljöproblem med plastanvändning under hela dess livscykel, från användning till materialåtervinning. Identifieringen görs bland annat genom att kartlägga olika plastavfallsströmmar och se hur avfallshanteringen av plast ser ut. Förutom att kartlägga dagens system utreds även bland annat behovet och förutsättningen för alternativa material i framtiden samt hur lagstiftningen kring plast ser ut.

EU har sedan 2018 en plaststrategi där EU-kommissionen (2018a) lägger stort fokus på att utreda möjligheterna till en mer hållbar användning och produktion av plastförpackningar. Först ges en

genomgång av vilka huvudutmaningar som är kopplade till dagens användning och produktion för att sedan gå in på åtgärder som kan minska nedskräpningen och öka lönsamheten för en hållbar produktion av förpackningar. Vidare studerar rapporten The New Plastics Economy (2016) liksom EU:s plaststrategi på den ekonomiska hållbarheten i plast och kartlägger samtidigt generella globala flöden av förpackningsplast från produktion till återvinning. Trots tidigare studier är det i dagsläget inte helt klarlagt hur just förpackningsplastens flöde ser ut och var de största läckagen sker som gör att materialåtervinningsgraden är låg.

1.2 Problembeskrivning

Förpackningsplast är den enskilt största källan till plastavfall och samtidigt den industri som står för störst andel av nyproducerad plast, något som inte går ihop med en hållbar och cirkulär plastanvändning (SOU 2018:84). Andelen insamlad förpackningsplast som går till materialåtervinning är betydligt lägre än vad den är för förpackningar av andra vanliga material. Av de insamlade glas-, kartong- och metallförpackningarna materialåtervinns ungefär 80–90 procent, medan andelen för insamlade plastförpackningar ligger på drygt 40 procent (FTI, 2019a). Även det slutna retursystemet för PET-flaskor har högre grad av materialåtervinning till skillnad från vanlig förpackningsplast som inte har något slutet kretslopp (Naturvårdsverket, 2018a).

Den låga materialåtervinningsgraden för förpackningsplast är problematisk eftersom plast tillverkas av olja som är en ändlig resurs. Idag går 66 procent av hushållens plastavfall direkt till förbränning (Naturvårdsverket, 2019a) och vid förbränning av fossila råvaror bildas bland annat koldioxid som bidrar till ökade växthusgaser. Idag är växthusgaserna högre än någonsin vilket har gjort att jordens och havets medeltemperatur stiger (FN, 2019). Det är därför av intresse att minska förbränningen av fossila råvaror och istället öka materialåtervinningsgraden. Vid tillverkning av jungfrulig plast krävs det dessutom energi vilket gör det eftersträfvansvärt att ta tillvara på både materialet och den energi som krävs vid tillverkningen då det minskar förbrukningen av en ändlig resurs (Milios et al., 2018). En låg materialåtervinningsgrad kan även resultera i att värdefullt material riskerar att hamna på deponi samt i hav och natur där det inte utnyttjas alls (SOU 2018:84). Det kan konstateras att det trots tidigare studier råder en okunskap kring hur det svenska flödet av förpackningsplast ser ut och varför materialåtervinningsgraden inte är högre.

1.3 Syfte och frågeställningar

Studien syftar till att undersöka varför graden av materialåtervinning på svensk förpackningsplast inte är högre och vilka åtgärder som kan vidtas för att förbättra denna. För att uppfylla syftet ska studien svara på följande frågeställningar:

- Hur ser flödet för förpackningsplast ut?
- Vilken teknik används idag och vilken teknik kan användas i framtiden?
- Påverkar lagstiftningen materialåtervinningsgraden och kan den anpassas för att öka densamma?
- Hur ser efterfrågan på återvunnen plast från förpackningar ut idag?

1.4 Avgränsningar

Studien kommer att behandla svensk förpackningsplast. Vidare kommer fokus ligga på de största typerna av plast inom förpackningsindustrin, det vill säga LDPE, HDPE och PP samt översiktligt ta upp PET. Plastavfall som uppkommer inom industrin kommer inte behandlas, såsom stansspill, elektronik och medicinskt bruk.

Då studien behandlar materialåtervinningsbarhet kommer åtgärdsförslagen kretsa kring teknik och förpackningsdesign snarare än förslag på hur plast kan bytas ut mot andra material. Förbättringsåtgärderna får inte heller påverka eller bekosta andra miljömål, som till exempel avseendet minskat matsvinn eller effektiv förvaring under transport.

År 2019 öppnades en ny sorteringsanläggning i Motala som förväntas ta hand om och sortera hela Sveriges plastavfall (FTI, 2019b) men eftersom studien utgår från 2017 års statistik kommer denna således inte analyseras eller tas med i resultat. Statistiken bygger därmed på de anläggningar som fanns år 2017.

1.5 Hållbar utveckling

Hållbar utveckling kan delas in i tre dimensioner; ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet. Dessa avser att tillgodose dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjlighet att tillgodose sina (Bohlin, 2001). Hela studien handlar om just hållbar utveckling och förhåller sig därför till alla dimensioner av hållbar utveckling.

Studien fokuserar främst på de ekologiska och ekonomiska aspekterna gällande plaståtervinning då ökad kvalitet och lönsamhet främjar en mer hållbar plastanvändning. Konsumenter ska kunna göra hållbara val, både miljömässigt och ekonomiskt, genom att välja återvunnen plast framför jungfrulig sådan. Det ska vara billigare att som producent välja återvunnen plast, samtidigt som producenten inte ska behöva göra avkall på kvaliteten. Den återvunna plasten ska vara ett eftertraktat, lättillgängligt och billigt material med samma goda egenskaper som jungfrulig plast. För att detta ska kunna realiseras har studien valt att syfta till att öka och förbättra materialåtervinningen av plastmaterial.

En annan aspekt av de kommersiella intressen som finns runt plaståtervinning är de mervärden en välmående miljö för med sig, vilket innefattar samtliga dimensioner inom hållbar utveckling. Ett exempel är fiske som är en mycket viktig samhällsekonomisk funktion. Hundratals miljoner människor är beroende av fisk och andra havsresurser för sitt livsuppehälle och mer än 38 miljoner människor är direkt anställda inom fiskeindustrin. Ett hav fullt med plast innebär påverkan på djurlivet och digra konsekvenser för fiskenäringen. En annan stor försörjningskälla för flera länder är kustturism. En nedsmutsad kust och döda rev hade lett till minskad turism och minskade intäkter (Världsnaturfonden, 2019).

Ekonomisk hållbarhet i plaståtervinning leder till positiva effekter gällande både ekologisk och social hållbarhet. Det är ekologiskt hållbart att materialåtervinna plast eftersom det leder till minskade utsläpp av växthusgaser och mindre plastavfall som hamnar i naturen där det kan skada djur och natur. Materialåtervinning leder även till minskad förbrukning av en ändlig resurs och reducerar utsläpp av växthusgaser vilket minskar miljöpåverkan. Detta innebär en ökad social hållbarhet eftersom framtida generationer får samma möjlighet att tillgodose sina behov.

2. Metod

För att besvara studiens frågeställningar behöver en systemkartläggning av svensk förpackningsplast göras. Detta kommer att kräva en omfattande datainsamling med litteraturstudier och fältstudier. I Figur 6 ses studiens övergripande struktur.



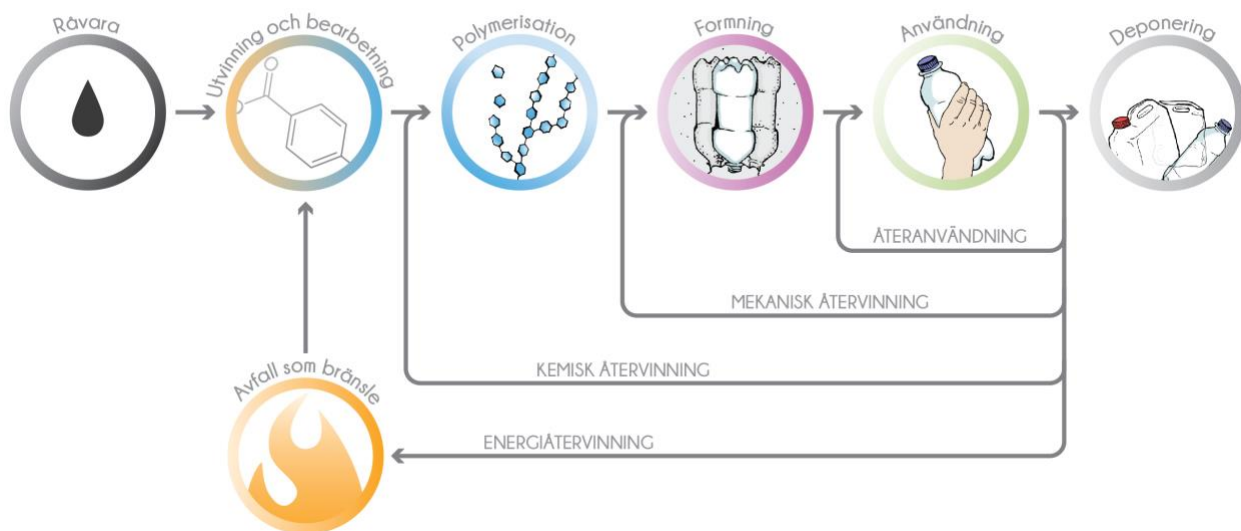
Figur 6. Studiens metodik, där varje ruta visar olika moment i studiens genomförande

2.1 Ansats

Det inledande arbetet består av en orienterande inläsning för att ge en förståelse för olika typer av plast och deras livscykler. Utgångspunkten är svensk förpackningsplast på grund av den låga materialåtervinningsgraden. För att beskriva systemet krävs en kartläggning av förpackningsplastens flöde, med en kartläggning blir flödena tydligare och det blir lättare att se var material faller ut ur flödet, det vill säga sådant som försvinner som läckage. Mycket läckage leder till en låg materialåtervinningsgrad varpå en vidare granskning kan göras vid de kritiska stegen i flödet i syfte att förbättra materialflödet och höja materialåtervinningsgraden. Genom hela studien ska det tas hänsyn till den etik som råder utifrån god forskningssed då studien undersöker ett känsligt ämne med många inblandade.

2.1.1 Industriell ekologi som ramverk för kartläggning

Industriell ekologi syftar till att optimera och kartlägga ett materials totala livscykel, från tillverkning av jungfruligt material till återvinning eller förbränning. Inom industriell ekologi eftersträvas ett materialflöde likt det i naturen, där avfall definieras som en resurs och tillgång in i nästa cykel (Jelinski et al., 1992). Då ramverket syftar till att kartlägga materialflöden anses detta som lämpligt för studien. Figur 7 visar modellen av ett industriellt ekosystem för plast.



Figur 7. Modellen för ett industriellt ekosystem där målet är att begränsa resursanvändningen samt avfallet. Modifierad från originalet av Mellor, Wright, Clift, Azapagic & Stevens (2002)

2.2 Övergripande upplägg

Studiens kartläggning tar avstamp i Sveriges användning av förpackningsplast, hur mycket plastavfall som uppstår och hur mycket av det som materialåtervinns. Vidare kartläggs hanteringen av det uppkomna plastavfallet, dels hur mycket som faktiskt källsorteras i hushållen men även vilka som har hand om upphämtningen av hushållsavfallet och vilka kvantiteter det rör sig om. Delaktiga aktörer identifieras och kontaktas för att ge information om vart plasten tar vägen efter insamling samt identifiera eventuella förbättringsmöjligheter i just detta steg av flödet. Detta arbetssätt tillämpas för att kartlägga varje steg i plastens flöde.

För att identifiera förbättringsmöjligheter behöver fyra områden analyseras i studien: logistik, tekniska processer, europeisk och svensk lagstiftning samt marknad för återvunnen plast. Den logistiska delen behandlar det fysiska flödet och besvarar frågor som hur mycket, vart och när plastavfallet transporteras. Tekniska processer granskar olika typer av återvinningsmetoder, ny teknik samt kvalitet på återvunnen plast. Området lagar och regler kartlägger de regelverk som styr allt från tillverkning av jungfrulig plast till insamling av använd förpackningsplast samt eftermarknad. Den sista och avslutande delen ser över marknaden för den återvunna plasten, både så som den ser ut idag och eventuella möjligheter. Denna del avser även ekonomiska aspekter kring plast, såsom oljepris och värde på jungfrulig plast jämfört med återvunnen plast.

2.3 Datainsamling och systemkartläggning

Litteraturstudier används för att identifiera aktuella steg i flödet och vidare för att precisera vad som händer i de olika delstegen. Först görs en systematisk sökning där data samlas in, granskas och bedöms för att säkerställa relevansen för studiens frågeställningar. De vetenskapliga artiklarna behandlar inte den svenska marknaden utan granskar ingående delsteg och teknologi rent allmänt. När potentiella delsteg identifieras kontaktas aktuella aktörer för att ge kunskap om hur det faktiska flödet för den svenska förpackningsplasten ser ut. Snöbollsurval kommer tillämpas för vidare kontakt med ytterligare aktörer och kunniga personer inom återvinning. Kartläggningen sker därmed successivt och varje delsteg behandlas separat innan nästa

steg kartläggs. Med ett progressivt arbete och fältstudier uppkommer ny information kontinuerligt och således behovet av kompletterande litteraturstudier. Studien är iterativ och informationen har bearbetas och uppdateras under arbetets gång.

2.3.1 Litteraturstudier

Litterära källor söks via Google Scholar och Chalmers bibliotekskatalog, Google använts för att finna företag, aktörer och specifika nyckelpersoner. Sökord för att finna relevanta källor är plaståtervinning, förpackningsplast, plastics recycling in the EU, sorting technologies, quality of recycled plastics, market for recycled plastics. Sekundära källor i form av litteratur används i största möjliga mån medan primära källor används för att komplettera datainsamlingen. Information om verksamhet och kvantitativa data hämtas på respektive företags hemsida. Kedjesökning i litteraturstudierna ska användas, framför allt då en vetenskaplig artikel ger en eller flera relevanta referenser inom samma ämnesområde och som berör studiens syfte.

2.3.2 Studiebesök och intervjuer

Centrala aktörer och intervjuobjekt identifieras under orienterade inläsning och kontaktas för datainsamling, där insamlingen sker både via studiebesök och telefon- samt fysiska intervjuer. Studiebesöken möjliggör observation av befintliga tekniker vid återvinning tillverkning av plast. Intervjuer bidrar med erfarenhetsbaserad kunskap om hur det är i verkligheten, fyller i kunskapshål och bekräftar eller dementerar litteraturstudier. De som anses mest centrala för studien är Swerec som år 2017 var Sveriges enda sorteringsanläggning, Renova i Göteborg som samlar in hushållens avfall och Swereas testanläggning för återvunnen plast. De intervjuobjekt och kontaktpersoner som använts i studien redovisas i Bilaga B.

För att följa en god forskningssed ska intervjuobjektet alltid vara medveten om syftet med intervjun samt samtyckt till att intervjun ska ske. I de fall där intervjuade personer eller företag vill vara anonyma ska detta tillgodoses för att dels visa hänsyn men också för att öka chansen till ärliga och uttömmande svar. Det bör även understrykas att allt intervjumaterial endast ska användas inom studiens gränser.

I de fall då det är möjligt genomförs fysiska intervjuer men när det inte är praktiskt genomförbart eller nödvändigt utförs telefonintervjuer och mailintervjuer. Dessutom anses inte enstaka frågor kräva en regelrätt intervju då kontakten enbart syftar till att ge svar på en eller ett par specifika frågor. Till intervjuerna utformas ett antal grundfrågor för att besvara studiens frågeställningar, dessa kompletteras med mer specifika frågor beroende intervjuobjekt. Frågorna bör vara tydliga för att undvika missförstånd och värderande och ledande frågor bör undvikas för att inte påverka svaren. Samtliga frågor ska vara öppna för att möjliggöra längre och mer utförliga svar. Intervjuerna är därmed semistrukturerade eftersom utgångspunkten är ett antal grundfrågor men där öppna följdfrågor ställs. Detta är en fördel då intervjuobjekt får chans till att ge sin subjektiva bild av återvinning, om än i begränsad form. Det ger dessutom en uppfattning om de olika frågornas meningsfullhet för intervjuobjektet. För att säkerställa att muntlig information uppfattas korrekt ska intervjuobjekten i efterhand godkänna de stycken där de refereras.

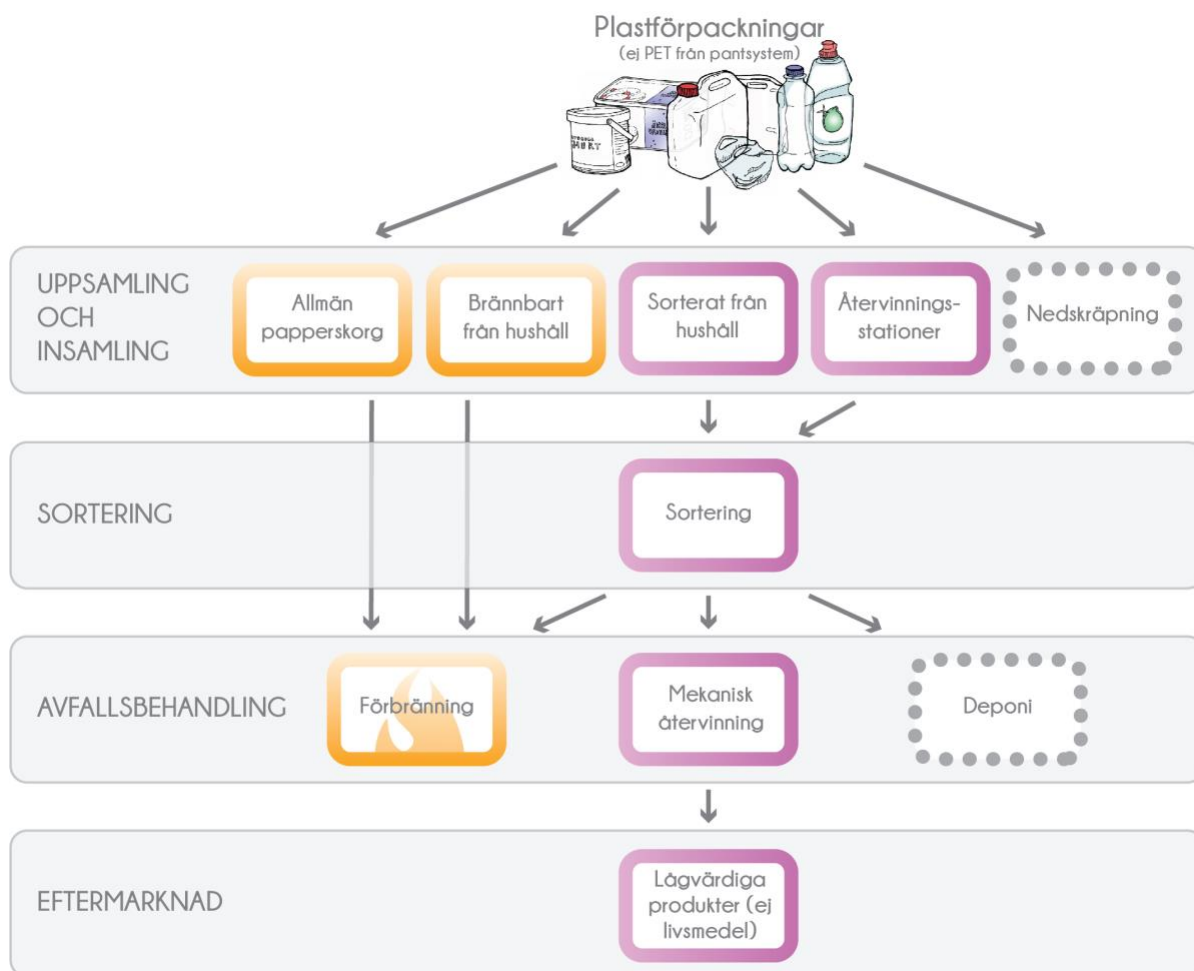
De kvalitativa undersökningarna ska sträva efter att vara objektiva varför eventuella personliga åsikter hos de intervjuade ska tas i beaktning. För att säkerställa att informationen är korrekt ska intervjuer hållas med flera aktörer och informationens validitet ska kontrolleras genom att jämföra information från olika intervjuer, studiebesök och litteraturstudier.

2.4 Analys och diskussion

Grunden för resultatet i studien utgörs av den analys som baseras på den insamlade datan från litteraturstudier, statistikdatabaser samt fältstudier och intervjuer. Genom att jämföra litteraturstudier med informationen från intervjuobjekten kan fakten bekräftas eller dementeras. Detta ger en tydlig bild på vad som stämmer överens med verkligheten. Analysen ska sedan gå igenom de olika åtgärder som resultatet tagit upp och analysera utifrån vad som kan få upp materialåtervinningsgraden samt effekten av dessa åtgärder. Vidare ställs studiens resultat mot tidigare studier inom området för att diskutera studiens bidrag inom ämnesområdet. Studiens styrkor och svagheter analyseras och metod diskuteras för att granska metodval och utförande. Slutligen analyseras resultaten mot varandra för att kunna fastställa eventuella slutsatser och se vilka åtgärder som har störst effekt på materialåtervinningsgraden.

3. Dagens system för svensk förpackningsplast

Vägen från insamlat avfall till återvunnet material och nya produkter är lång. Efter att förpackningarna har samlats in väntar sortering och avfallsbehandling innan den återvunna plasten kan användas till nya produkter. Dagens system av svensk förpackningsplast följer det flöde som beskrivs i Figur 8. Kapitlet följer samma struktur och visar vilken väg förpackningsplasten tar från det att den blivit avfall. De lila rutorna visar vägen till materialåtervinning och beskrivs mer ingående under kommande delkapitel. De gula rutorna beskriver energiåtervinning och de prickade rutorna beskriver plastavfall som inte utnyttjas som resurs.



Figur 8. En kartläggning av de olika vägar svenska plastförpackningar kan ta då de blivit avfall

Dagens system av svensk förpackningsplast finns på grund av producentansvaret för förpackningar (Naturvårdsverket, 2018a) som är ett styrmedel för att uppnå miljömålen (Naturvårdsverket, 2019b). Lagen säger att de som tillverkar eller importerar varor är skyldiga att ta hand om och ha en återvinningsplan för de uttjänta produkterna. Den säger också att utformningen av produkterna ska vara på ett sådant sätt att den minimerar materialanvändningen (SOU 2018:84). Syftet är att minska materialanvändningen, öka materialåtervinningen och säkerställa korrekt hantering av farligt avfall (Regeringskansliets förvaltningsavdelning, 2015). Producentansvaret handlar dock enbart om insamling och hantering av avfall och behandlar inte innehållet i förpackningarna. Detta innebär att hälsovådliga men tillåtna additiv kan

tillsättas så länge tillverkaren kan garantera att det farliga avfallet samlas in och tas om hand (Regeringskansliets förvaltningsavdelning, 2015). Producentansvaret gäller även för konsumenterna som enligt lag är skyldiga att lämna förpackningarna till materialåtervinning (Naturvårdsverket, 2018a).

Naturvårdsverket kontrollerar producentansvarssystemet men själva insamlingen sköts av privata aktörer. Aktörerna utformar avgifter till medlemsföretagen utifrån företagsekonomiska kostnader (Regeringskansliets förvaltningsavdelning, 2015). Dessa avgifter är inbakade i det pris som konsumenterna betalar för produkten i affären (Naturvårdsverket, 2018a). Den 1 april 2019 infördes två avgiftsnivåer som speglar den faktiska återvinningskostnaden. Plast i klass 1 är svårare att återvinna och har därför en avgift på 3,54 kr per kg, medan avgiften för plast i klass 2 ligger på 2,98 kr per kg. Syftet är att styra producenterna mot hållbara val. Den högre avgiften utgår för bland annat svart plast, laminat, plastsorter andra än PE, PP och PET och plastförpackningar med mycket tryck (FTI, u.å).

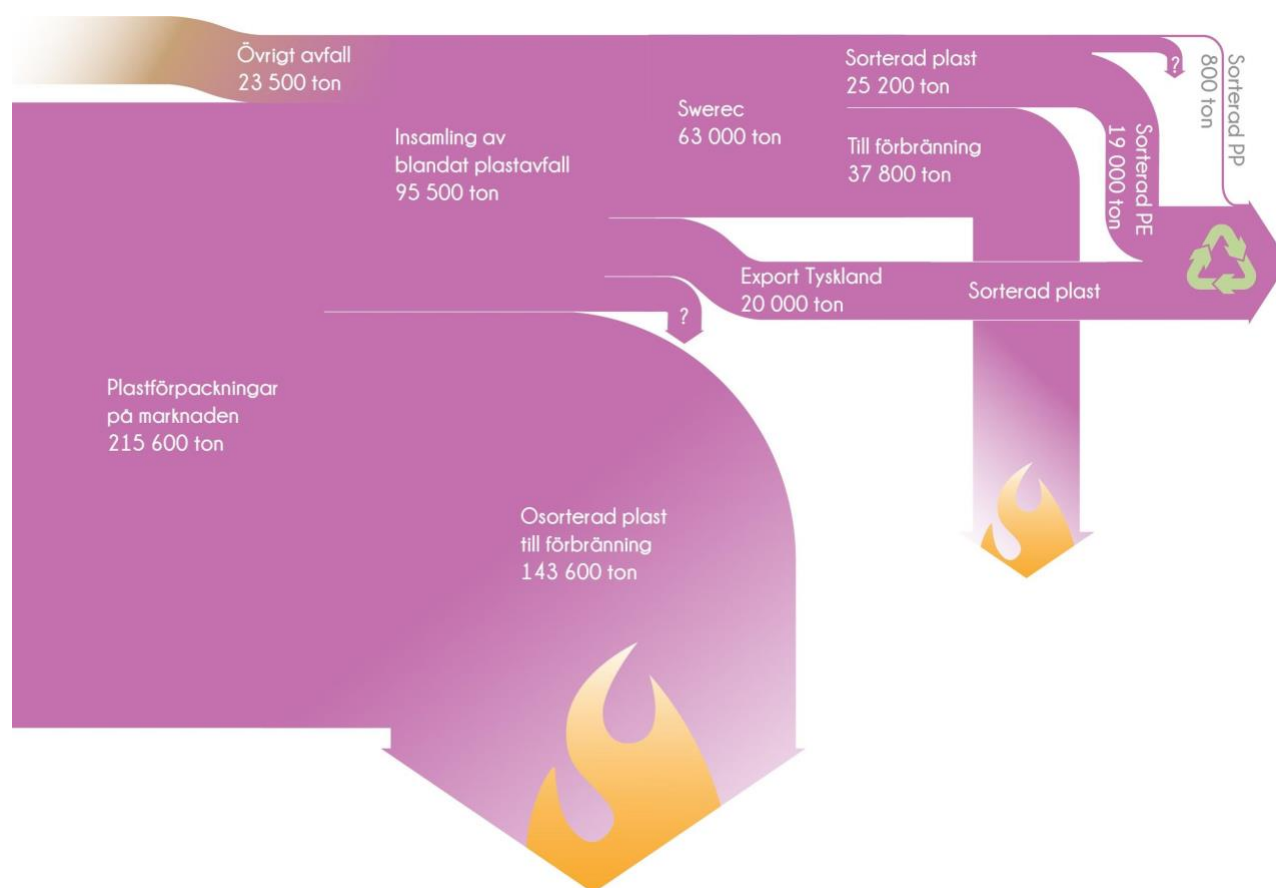
3.1 Uppsamling och insamling

När förpackningsplast använts kan avfallet slängas på fem olika sätt: i en allmän papperskorg, brännbart hemma i hushållet, sorterat i hushållet, på återvinningsstationer eller som nedskräpning. Det enda sättet för att förpackningen ska gå till materialåtervinning är genom att plasten sorteras som plastavfall hemma i hushållet eller på återvinningsstationer, något som en konsument är skyldig att göra enligt lag. Det är därmed ett lagbrott att kasta plastförpackningar i brännbart istället för i plaståtervinningen (Naturvårdsverket, 2018a). En stor del av plastavfallet hamnar trots det fel och Renovas miljökommunikatör C. De Flon (personlig intervju, 25 feb 2019) uppger att cirka en tredjedel av energiinnehållet som förbränns på Renova kommer från plast.

År 2017 sattes 215 600 ton plastförpackningar på den svenska marknaden. Av dessa gick enligt statistiken 95 500 ton till plastinsamling (Naturvårdsverket, 2018a). VD:n på Swerec, L. Karlsson (personlig kommunikation, 21 mars 2019), uppger dock att hela 20 procent av det plastavfall de tar emot faktiskt inte är plast utan felsorterade sopor och till och med döda djur. Han förklarar även att ytterligare 5 procent försvinner vid tvätt vilket till största del antas vara matrester. Detta innebär att den egentliga siffran på insamlade plastförpackningar år 2017 var 72 000 ton (Bilaga A).

Plastförpackningar som sorteras i hushåll samlas in via särskilda insamlingssystem, exempelvis via offentliga återvinningsstationer eller fastighetsnära insamling såsom miljörum i flerfamiljshus eller fyrfackskärl för villor och fritidshus. Istället för att upprätta ett insamlingssystem per aktör går producenterna ihop i så kallade materialbolag där de gemensamt ansvarar för ett insamlingssystem (Naturvårdsverket, 2018a). I Sverige är det huvudsakligen FTI som ansvarar för att samla in plastförpackningar (FTI, 2019c). Vidare samlar andra aktörer, på uppdrag av insamlingsföretagen, in plastförpackningarna från återvinningsstationer och sorterat plastavfall från hushåll för att sedan skicka vidare det till sortering. Fram till årsskiftet 2018/2019 var Swerec Sveriges enda sorteringsanläggning av förpackningsplast (SOU 2018:84). Förutom Swerec samarbetade FTI även med ett par anläggningar i Tyskland för att täcka upp behovet av kapacitet (FTI, 2019c).

För år 2017 redovisades en exportsiffra från Sverige på 20 000 ton blandat plastavfall till Tyskland men inget annat land (Statistiska centralbyrån, 2019). Siffrorna stämmer någorlunda överens med Tysklands importstatistik för år 2017 som visar på en import på 20 600 ton blandat plastavfall. Vidare redovisar Tyskland att de importerade 19 000 ton sorterad PE samt 800 ton sorterad PP från Sverige (Umwelt Bundesamt, u.å). Dock uppger inte statistiken vilka typer av produkter som plasten härstammar från. I Figur 9 illustreras det ovan beskrivna flödet av plast i ett Sankey-diagram. I diagrammet har det antagits att det som inte går till materialåtervinning istället går till förbränning då det är förbjudet att deponera brännbart och organiskt avfall i både Sverige och Tyskland (Naturvårdverket, 2018b). Vidare förutsätter statistiken att allt exporterat plastavfall går till materialåtervinning. Det har inte tagits hänsyn till avfall som hamnar utanför sophanteringssystemet eller avfall som exporteras vidare från Tyskland.



Figur 9. Sankey-diagram baserat på siffror redovisade i texten ovan

Det kan konstateras att många plastförpackningar som sätts på marknaden inte samlas in idag då de antingen sorteras fel eller hamnar i hav och natur. Vidare går mycket av den insamlade plasten till förbränning. Detta bidrar till den låga materialåtervinningsgraden som är idag.

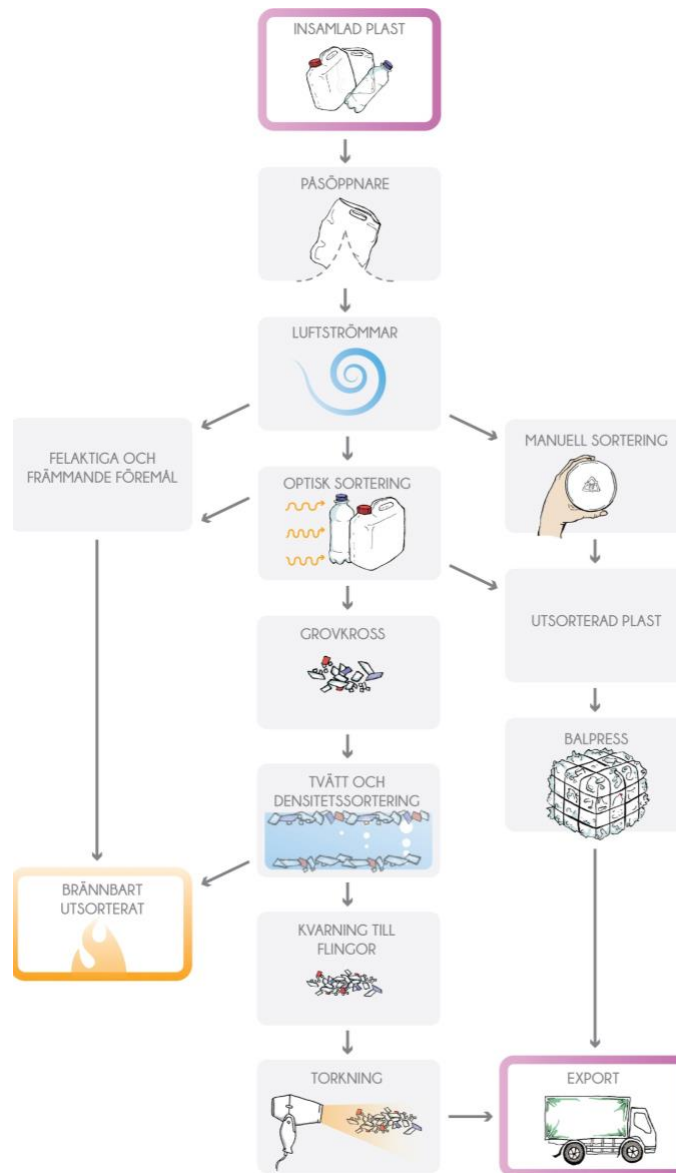
3.2 Sortering

Efter att plasten samlats in sorteras den efter plasttyp. En noggrann och effektiv sortering av plastavfall är en grundläggande förutsättning för att plasten ska gå att materialåtervinna med god kvalitet (Rozenstein, Puckrin & Adamowski, 2017). Eftersom det endast är rena och homogena flöden av plast som till slut kan producera kvalitativ återvunnen plast ställer det höga krav på att sorteringen sker rätt och med hög noggrannhet (Shent, Pugh & Forssberg et al., 1999). Felsorterad plast kan skapa stora problem vid mekanisk återvinning. En av anledningarna är att en blandning av olika plasttyper kan medföra fasgränser, ungefär som när olja blandas med vatten, vilket leder till försvagningar i det återvunna materialet (Fleischman, 2017). Även smältpunkten varierar beroende på plasttyp vilket leder till att materialet med lägre smältpunkt bryts ned vid höga temperaturer. Det räcker exempelvis att en flaska plastsorten polyvinylklorid (PVC) hamnar bland 20 000 PET-flaskor för att partiet ska bli så pass kontaminerat att det inte går att materialåtervinna med god kvalitet (Alaerts, Augustinus & Van Acker, 2018).

Fram till år 2019 har 50 procent av Sveriges plastavfall från hushåll sorterats av Swerec medan resten har skickats till Tyskland för sortering. Några av anläggningarna som har använts i Tyskland är Tönsmeier, Eing Kunststoffverwertung och Umweltdienste Kedenburg. Samtliga anläggningar använder optisk sortering (E. Ahlström, personlig kommunikation, 19 februari 2019), vilket är den vanligaste sorteringstekniken (SOU 2018:84). Optisk sortering presenteras närmare under kapitel 3.2.3.

De tekniker som används för att separera och sortera plastavfall har begränsningar som gör att det sker läckage vid sorteringen (Shent et al., 1999). En av de faktorer som försvårar sortering är förpackningens färg och mönster (Gabriel & Maulana, 2018). Dessutom försvåras sorteringen av vilken plasttyp det gäller. Enligt L. Karlsson (personlig kommunikation, 21 mars 2019) sorterar Swerec till exempel inte ut plastsorterna LDPE och PET utan endast HDPE och PP. Att PET inte sorteras ut menar L. Karlsson beror på att det är så långa kvantiteter att det inte blir konkurrensmässigt lönsamt.

Ofta kombineras olika typer av sorteringstekniker för att nå en högre noggrannhet och slutkvalitet. I Figur 10 presenteras en flödesbild över Swerecs sorteringsanläggning. Det första som sker är att en påsöppnare ser till att den insamlade plasten separeras och faller ur den påse som den anlänt i. Utan denna kan inte resterande tekniker vid sorteringen tillämpas, berättar L. Karlsson (personlig intervju, 21 mars 2019).



Figur 10. Flödet över hur sorteringen hos Swerea i Sverige går till. De ingående teknikerna beskrivs i kommande kapitel nedan

3.2.1 Sortering med luftströmmar och magneter

För att sortera bort material som inte är plast används luftströmmar och magneter som lätt avlägsnar metall, glas och sten (Villanueva & Eder, 2014). Efter detta används luftströmmar ännu en gång för att separera lättare och tyngre plaster från varandra. Tekniken med luftströmmar går till på så sätt att plasten matas fram på ett rullband. Plasten når sedan en lufttunnel där plaster med låg densitet blåser bort och samlas upp, samtidigt som plaster med högre densitet ligger kvar på bandet för att sedan samlas upp längre fram. Här används följaktligen tyngdkraften i kombination med plasternas olika densiteter (Ruj, Pandey, Jash & Srivastava, 2015) varför luftströmmar är en bra teknik för att separera mjuka och hårda plastförpackningar (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019).

3.2.2 Manuell sortering

Vid manuell sortering identifieras plast genom dess form, färg och eventuella märkningar som gjorts av producenten. Sorteringen görs av en operatör som kontrollerar varje förpackning för hand. Tekniken är fördelaktig i situationer där plastförpackningarna är så pass stora att det motiverar insatsen (Ruj et al., 2015). Det är oftast hårda och stora plastförpackningar som sorteras manuellt och Swerec har därför den manuella sorteringen efter luftströmmarna (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019). Den mänskliga faktorn kan innebära en risk för felaktig sortering, både genom att önskvärda plasttyper sorteras bort eller att plasttyper sorteras in i fel flöde, något som kan försämma eller till och med helt förstöra kvaliteten på det återvunna plastmaterialet (Ruj et al., 2015).

3.2.3 Optisk sortering

Near-infrared (NIR) är en automatisk teknik och en form av optisk sortering (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016). Idag används NIR nästan uteslutande vid sortering av förpackningsplaster (SOU 2018:84) då tekniken kan användas för automatisk och snabb sortering av olika plasttyper. Fördelen är att tekniken inte skadar materialet och har en hög signal-to-noise ratio (SNR) vilket innebär att det är lätt att identifiera viktig information i flödet av signaler. Det finns flera olika typer av NIR men grundtekniken går ut på att sända ut ljus med våglängder mellan 0,8–2,5 μm . Den kemiska sammansättningen och strukturen skiljer sig för olika plastmaterial. Detta leder till att infallande ljus bryts och absorberas olika beroende på plasttyp vilket skapar karaktäristiska spektrum för de olika materialen. En blandning av olika material i en och samma produkt medför därför att produkten sorteras bort då NIR inte kan utläsa någon specifik plasttyp. Detta gäller exempelvis vissa typer av laminat som är tillverkade av olika plasttyper. Problem uppstår även vid mycket mörka material då dessa inte reflekterar ljuset, vilket leder till att NIR inte fungerar för exempelvis svart plast (Zheng, Bai, Xu, Li & Zhang, 2018).

För att en plastförpackning ska kunna sorteras med NIR får en etikett av annat material än plastförpackningen inte täcka mer än 60 procent av den totala ytan. Idag förekommer bland annat krympetiketter tillverkade av PET på förpackningar av PP och PE och om etiketten täcker för stor yta blir sortering i princip omöjlig (Svensk Plastindustriförening SPIF, 2019). Sorteringseffekten varierar också beroende på vilken plastsort som sorteras i NIR-sorteringen. Effekten presenteras nedan i Tabell 1 och visar att NIR är som mest effektiv vid sortering av HDPE men mindre noggrann är den vid sortering av PP (Morrish, Morton, Myles & Wilkinson, 2010).

Tabell 1. Sorteringseffekten med NIR-sortering beroende på plastsort som sorteras (Morrish et al., 2010)

PLASTTYP	UTSORTERINGSGRAD (%)
HDPE	89
PET	80
PP	58

3.2.4 Kombination av tvättning och densitetssortering

Efter den optiska sorteringen går det sorterade materialet genom en grovkross. Plastfragmenten tvättas sedan vilket vanligtvis sker med vatten, något som beskrivs närmare längre ner i detta kapitel. Tvättningen kombineras ofta med densitetssortering som kompletterar den optiska sorteringen. Densitetssortering utnyttjar den densitetsskillnad som finns i olika plaster (Bauer et al., 2018) och beskrivs också mer detaljerat längre ner. Efter detta kombinationssteg mals plastfraktionerna ner till 5-15 millimeter stora flingor i en kvarn (A. Boss, personlig kommunikation, 18 mars 2019).

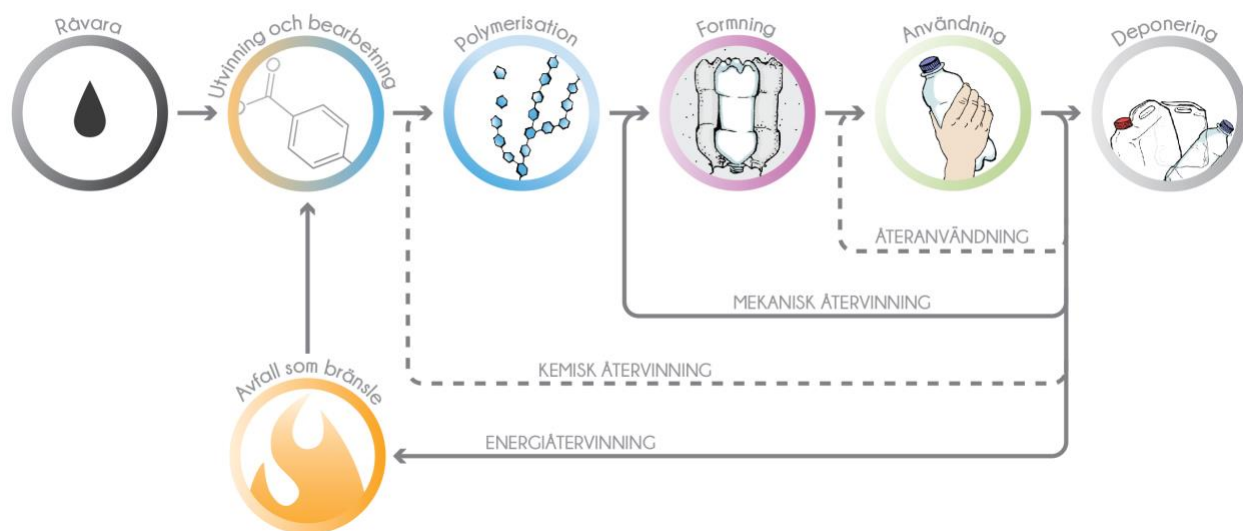
Som ett första steg behöver etiketter, smuts och matrester tvättas bort från plastavfallet (Ruj et al., 2015). Vid tvättning är det viktigt att plasten blir helt ren från kontamineringar. De flesta plastförpackningar är idag märkta med etiketter som är tillverkade av papper, plast eller aluminium. Etiketter som limmas på är vanligtvis svåra att avlägsna från förpackningen och därför tillsätts ofta kemikalier till vattnet för att säkerställa att etiketterna tvättas bort helt (SPIF, 2019). De etiketter som inte tvättas bort hamnar annars i det återvunna plastmaterialet (SOU 2018:84).

För att sortera och separera två olika plasttyper läggs plastavfallet i en vätska vars densitet ligger mittemellan de aktuella plasterna. Plasten med högre densitet sjunker medan plasten med lägre densitet flyter. Denna teknik är dock tidskrävande samt svår att kontrollera när plaster har liknande densiteter (Ruj et al., 2015). Detta gäller bland annat PE och PP vilket gör att tekniken inte alltid kan särskilja på plasterna. Eftersom majoriteten av plastförpackningarna består av just dessa två sorter används densitetssortering inte för sig självt utan ses som ett komplement till den optiska sorteringen (Bauer et al., 2018). Går det inte att säkerställa om plasten är PP eller PE sorteras den bort och går inte till materialåtervinning (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019). Tekniken kan även ha svårt att särskilja på trä och plast då deras fysikaliska egenskaper är väldigt lika. Detta kan medföra att trä kommer in i resterande steg av återvinningsprocessen och gör att plasten blir så pass kontaminerad att den inte går att materialåtervinna utan får gå direkt till förbränning (Villanueva & Eder, 2014).

När plasten väl är tvättad och torkad bör en första kvalitetskontroll ske för att säkerställa att flingorna inte är kontaminerade av metallrester. Det kan ske genom en okulär besiktning eller via röntgenfluorescens (XRF). De godkända flingorna kan sedan användas till nya produkter direkt eller smältas ner och omformas till granulat. Om plasten ska användas direkt i sin flingform ställs högre krav på maskiner eftersom plastmassan då måste blandas om, för att ge plasten en jämn färg och kvalitet, i samma steg som omformningen till nya produkter sker. Det finns dessutom färre möjligheter att separera bort orenheter vilket ställer högre krav på renheten hos ingående material (A. Boss, personlig kommunikation, 18 mars 2019).

3.3 Avfallsbehandling

I dagens system förekommer det olika avfallsbehandlingar för plastavfall från förpackningar, se Figur 11. Det svenska plastavfallet går till mekanisk återvinning, förbränning eller deponi. Idag finns det ingen organiserad återanvändning av plastförpackningar. Kemisk återvinning är en metod under utveckling för materialåtervinning som beskrivs närmare under kapitel 4.5.



Figur 11. Plastens olika alternativ för avfallsbehandling samt effektiviteten av dessa visat ur ett industriegologiskt perspektiv. De streckade linjerna avser behandlingar som inte används i dagens system

3.3.1 Förbränning och deponering

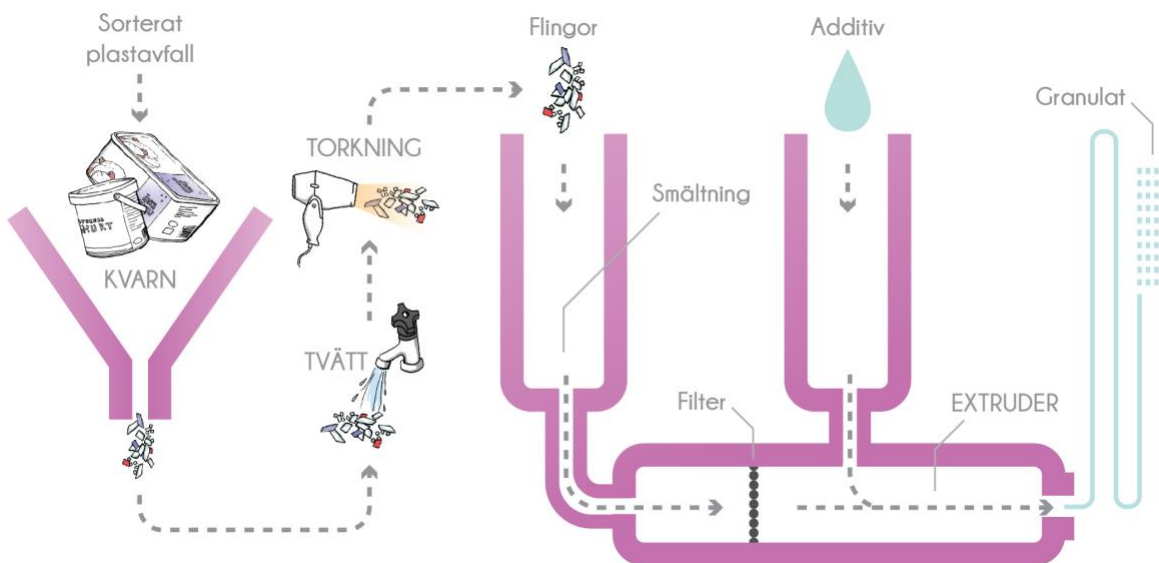
Vid förbränning utvinns plastens energiinnehåll. Energiinnehållet i plastavfall är 10 MWh per ton (S. Heyne, personlig kommunikation, 6 feb 2019). Den utvunna energin går till el och värme som säljs till konsumenter som fjärrvärme. I länder där det inte finns samma efterfrågan på värme blir det inte lika lönsamt att förbränna avfallet. Det är en stor anledning till att avfall inte förbränns utan istället läggs på deponier enligt S. Nath, projektledare inom avfall-till-energi (personlig kommunikation, 25 jan 2019). Deponering innebär ett obefintligt tillvaratagande på både råvara och energivärde (Mellor et al., 2002). Deponering är mycket begränsat i Sverige (Naturvårdsverket, 2018b) men vid export riskerar ändå svenskt plastavfall att hamna på deponier (SOU 2018:84).

3.3.2 Mekanisk återvinning

Mekanisk återvinning innebär att plasten smälts ned för att sedan användas i nya produkter. Här tas både råvaran och den energiåtgången som är kopplad till tillverkningsprocessen till vara på. Energibortfallet som finns är kopplat till den energin som går åt för att transportera, sortera och regranulera plastavfallet (Mellor et al., 2002).

För att plastavfallet ska bli ny återvunnen plast behöver den sorterade plasten genomgå mekanisk återvinning. Idag finns det ingen anläggning för mekanisk återvinning av förpackningsplast i Sverige vilket innebär att den sorterade plasten exporteras utomlands för vidare behandling (SOU 2018:84). Kostnaderna för att transportera plastavfall i EU varierar beroende på nationella och regionala förhållanden och lagar. År 2010 var den genomsnittliga kostnaden för hela transporten 30 EUR per ton (Villanueva & Eder, 2014).

Den mekaniska återvinningen går ut på att smälta ned och forma flingorna till granulat, vilket sker i en extruder som illustreras i Figur 12. I extrudern smälts flingorna ner till en massa. Genom att utnyttja att olika plaster har olika smältpunkter är det möjligt att separera bort felsorterad plast. Smältfilter används för att separera föroreningar som inte smälter, såsom metallrester. Vid behov tillsätts additiv som till exempel stabilisatorer och förstärkare. Plastmassan extruderas slutligen ut till långa stavar som får stelna innan de skärs ned till granulat (A. Boss, personlig kommunikation, 18 mars 2019).



Figur 12. Flödesbild över samtliga steg i en regranuleringsprocess

Vid tillverkning av nya produkter smälts granulaten ned och homogeniseras för att sedan formas om till nya produkter. De vanligaste metoderna för att tillverka detaljer är formsprutning och extrudering. Formsprutning är en cyklisk process som producerar en produkt i taget medan extrudering är kontinuerlig process som kan göra långa profiler såsom slangar, rör och plastfilm. Vid framställning av ihåliga produkter, exempelvis flaskor, används oftast formblåsning och sträckblåsning där en rörliknande profil skapas av en extruder. Denna omsluts sedan av två formhalvor varpå tryckluft blåses in i profilen som då expanderar och formas utifrån formhalvorna. Formblåsning lämpar sig bäst för LDPE, HDPE samt PP och sträckblåsning för PET (Hjertberg & Andersson, 2011).

3.3.2.1 Naturlig nedgradering av mekaniska egenskaper

Hur hög kvalitet den återvunna plasten har efter mekanisk återvinning beror på vilken typ av plast som återvinns. LDPE, HDPE och PP påverkas starkt av upprepade nedsmältning och omformning, om än i olika utsträckning. Efter den mekaniska återvinningen uppvisar dock HDPE en mindre försämring gällande de mekaniska egenskaperna än vad återvunnen PP gör. Försämringen i kvalitet beror på att värmen bryter ned bindningar och att omformningen medför tvärbindingar vilket försvagar materialet och försämrar de mekaniska egenskaperna. Återvinningen i sig kommer därmed försämma kvaliteten på materialet och plasten har därför en begränsad livslängd även vid en perfekt återvinningsprocess (Dahlbo, Poliakova, Mylläri, Sahimaa & Anderson, 2018).

Det är dock inte bara den mekaniska återvinningen som påverkar kvaliteten. Plasten försämras redan under förpackningens livstid på grund av bland annat värme, kyla, solljus, syre och vatten. Av dessa är värme och

solljus de två främsta anledningarna till att materialet förstörs. Båda verkar nedbrytande genom att bryta de kemiska bindningarna i den polymera strukturen (Dahlbo et al., 2018).

Draghållfastheten hos återvunnen HDPE är högre än hos jungfrulig HDPE, medan elongationen hos återvunnen HDPE var något mindre än hos jungfrulig HDPE, något som kan förklaras med ökade tvärbindingar. Återvunnen PP uppvisar ännu större förändring där sträckgränsen var 26 procent, elongationen 86 procent och modulus 21 procent lägre än de mekaniska egenskaperna hos jungfrulig PP, vilket beror på att bindningar i polymerens ”ryggrad” har förstörts. Detta påverkar även det polymera materialets egenskaper vid nedsmältning. Återvunnet material med hög andel förstörda bindningar har högre flytbarhet, så kallat Melt Flow Index (MFI). MFI är ett mått på hur stor massa som flödar genom en liten kapillär under 10 minuter vid ett visst tryck. Material med många tvärbindingar får istället lägre MFI. Slutligen påverkas även den termiska stabiliteten. Återvunnen PP och HDPE uppvisar en lägre tolerans varför stabiliserande ämnen bör tillsättas för att motverka fria radikaler (Dahlbo et al., 2018).

3.3.2.2 Kvalitetskontroller av den återvunna plasten

För att testa kvaliteten på den återvunna plasten finns ett antal olika testmetoder. Mekaniska egenskaper testas genom att göra standardiserade provstavar av granulatet. Stavarna testas sedan för bland annat flexibilitet och slaghållfasthet. Den kemiska sammansättningen i plasten kan testas med infraröd spektroskopi (IR). Materialet belyses då med IR varpå olika ämnens bindningar exciteras av olika våglängder. På det sättet absorberas ljus av specifika våglängder och resultatet från en IR kan läsas av som dalar i ett intensitets-spektrum. Om materialet som testas består av många olika ämnen kan resultatet vara svårt att tyda och då kan en termisk analys ge bättre svar på materialets sammansättning. Den termiska analysen utnyttjar det faktum att olika ämnen har olika smält- och ångpunkter och förångar den rena plasten för att sedan analysera eventuella additiv. Genom att utsätta materialet för ren syrgas fås ett mått på hur lång tid tar det innan materialet börjar oxidera. Även MFI är en viktig faktor eftersom det påverkar vilken teknik som ska användas för att forma den nya produkten (A. Boss, personlig kommunikation, 18 mars 2019).

3.4 Eftermarknad

Den marknad som finns för återvunnen plast styrs av prisskillnaden mellan återvunnen och jungfrulig plast, materialets kvalitet samt lagar och regleringar (Material Economics, 2018). Det återvunna plastmaterialet från förpackningar har begränsningar gällande kvalitet och egenskaper vilket innebär att användningsområdena blir begränsade. Lagar ställer höga krav på förpackningsplast för livsmedel vilket gör det svårt att använda återvunnen plast till livsmedelsförpackningar (SOU 2018:84). Istället går det återvunna materialet från plastförpackningar i dagsläget oftast till produkter med lägre kvalitetskrav och specifikationer (P. Hartwall, personlig kommunikation, 27 mars 2019).

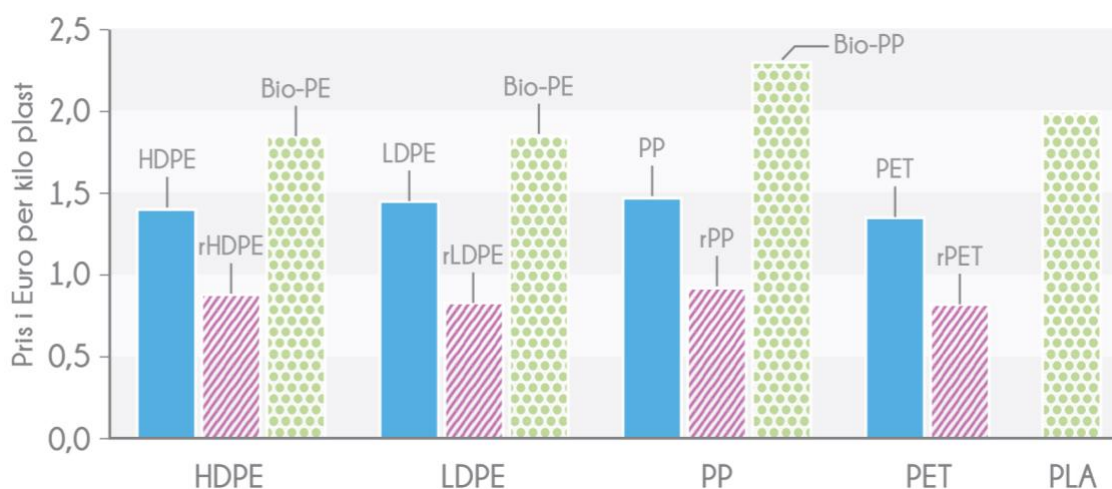
3.4.1 Pris på återvunnen och jungfrulig plast

Priset på jungfrulig plast är kopplat till den fossila råoljan som används vid plasttillverkning. I mars 2019 låg oljepriset på knappt 60 USD per fat, vilket motsvarar tre svenska kronor per liter. Det är relativt billigt jämfört med de senaste tio årens prisnivå (Nasdaq, 2019). Plastics Information Europe (PIE) ger ut ett prisindex som speglar prisutvecklingen på bland annat jungfrulig PP, PE och PET varje månad i Västeuropa. I allmänhet ligger snittpriset mellan 1,1 och 1,7 EUR per kilogram (Plasticportal.eu, 2019). I Figur 13 jämförs prisutvecklingen på ny jungfrulig plast och råolja.



Figur 13. Prisutveckling för ny jungfrulig plast i förhållande till prisutvecklingen för råolja mellan 2002 och 2019. Modifierad från statistik av PIE (2019); Energy Information Administration (2019); Nasdaq (2019)

Det finns även en prisskillnad mellan de olika plastsorterna. Jungfrulig PET är i allmänhet något billigare än både HDPE, LDPE och PP av nyproducerat slag. HDPE är samtidigt något billigare än LDPE, som i sin tur kostar ungefär lika mycket som PP (Plasticportal.eu, 2019). De återvunna plastsorterna har inbördes jämn prisnivå men den är tydligt lägre än prisnivån för nyproducerat (Material Economics, 2018). Priset på återvunnen plast är cirka 30-40 procent lägre än jungfrulig plast. De olika prisskillnaderna visas i figur 14. Priset på biobaserade alternativ är klart högre än konventionell plast, som också visas i figuren (Van den Oever, Molenveld, van der Zee & Bos, 2017). Även om priset på biomassa idag generellt är högre än oljepriset anses det ha en mer stabil prisutveckling jämfört med råolja. Priset på råolja har en tendens att fluktuera tillsammans med regleringar och skatter och gör att priset väntas gå upp de kommande åren. Samtidigt väntas priset på biomassa minska, detta på grund av att en mer utvecklad produktion av biomassa där det når en ekonomisk brytpunkt (Soroudi & Jakubowicz, 2013).



Figur 14. Prisuppgifter på nyproducerad oljebaserad plast, återvunnen plast respektive bioplast för olika plastsorter (Plasticportal.eu, 2019; Material Economics, 2018; Van den Oever et al., 2017). Priserna visas i Euro per kg plast

Det är ofta inte helt lätt att lyckas vinstmaximera och nå höga marginaler med produkter tillverkade i återvunna material (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019). En produkt skapad av återvunnet material är därför ofta dyrare än en produkt tillverkad av jungfruligt material, trots att inköpspriset på den återvunna plasten är lägre. Det höga slutpriset kan därför göra det svårt att skapa en ekonomiskt konkurrenskraftig produkt som konsumenterna väljer (Lenngren, 2015). Ett av de intervjuade företagen är ett större företag som tillverkar plastförpackningar. De tar upp produktionstekniska problem och menar att det är svårt att veta vilken kvalitet återvunnen plast håller varför produktionen behöver övervakas. Detta medför både högre produktionskostnader och högre osäkerheter i slutprodukt (Anonym, personlig kommunikation, 27 mars 2019). Efterfrågan på återvunnet material styrs således av möjligheter till ekonomiska besparingar för företagen, antingen från direkta besparingar i tillverkningsprocessen eller en ökning av marknadsandelar när konsumenterna med fördel väljer produkter med återvunnet material i (Milios et al., 2018).

3.4.2 Kontamineringsringar i materialåtervunnen förpackningsplast

En av anledningarna till det låga priset på återvunnen plast beror på kvaliteten hos det återvunna materialet. Tidigare beskrevs de försämringar i kvaliteten som felsorterat material och den mekaniska återvinningen ger upphov till men även kontamineringsringar i materialet påverkar slutkvaliteten. Dessa kontamineringsringar kan komma från additiv, rester från tidigare användning och etiketter. Additiv tillsätts ofta för att påverka plastens egenskaper eller utseende (Hahladakis, Velis, Weber, Iacovidou & Purnell, 2018). Den insamlade plasten innehåller på grund av detta en mängd kemikalier av vilka en del är direkt hälsovådliga och det är på förhand omöjligt att veta exakt vilka additiv som finns i den insamlade plasten. Den återvunna plasten måste därför analyseras för att innehållet ska kunna säkerställas (Dahlbo et al., 2018). Det pågår forskning för att hitta sätt att ta bort tidigare tillsatta additiv men i dagsläget har inga teknologier nått utanför laboratorierna (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016).

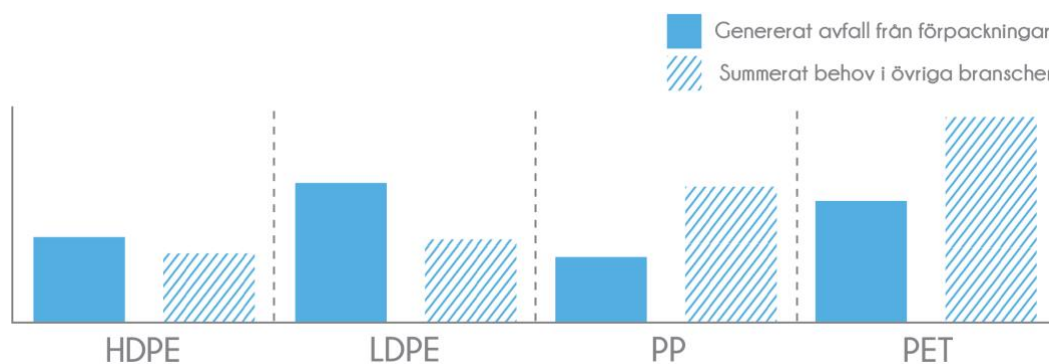
Även färgad plast påverkar slutpriset på återvunnen plast. Tillsatta färgämnen kan inte tvättas ur plasten varför den återvunna plasten får samma färg som ingående material. Eftersom färgsortering inte tillämpas idag blir slutmaterialet ofta gråbrunt. I och med detta är priset på plast med blandade färger lägre än priset på transparent plast (Villanueva & Eder, 2014) och de transparenta plasterna är värda fyra gånger mer än de som är färgade (J. Algotsson, personlig kommunikation, 22 feb 2019). De ljusa färger får ett högre pris eftersom slutprodukten kan färgas vilket ger ett större användningsområde. Störst värde har transparent återvunnen plast men för att få transparent plast måste allt ingående plastavfall vara ofärgat. Transparent plast är dock inte helt lätt att sortera ut vilket gör att plast som ska vara ofärgad ofta kräver slutna kretslopp för att inte missfärgas av annat material (Villanueva & Eder, 2014).

3.4.3 Användningsområden för materialåtervunnen förpackningsplast

Användningsområdena för förpackningsplast är begränsade vilket främst beror på den nedgradering av kvalitet som sker vid mekanisk återvinning. En stor del av plastförpackningarna har använts för livsmedel men på grund av hård lagstiftning går det oftast inte att använda materialet till nya livsmedelsförpackningar. Detta gör att plastförpackningar ämnade för återvinning till nya plastförpackningar blir begränsad (SOU 2018:84). Under kapitlen 3.4.3.1 och 3.5.1.2 beskrivs aktuell lagstiftning närmare. En annan anledning till att användningsområdena är få är att återvunnen plast ofta har en gråbrun färg. Detta gör att återvunnen plast ofta används till färgade plastpåsar och plastfilmer samt konstruktions- eller byggmaterial eftersom dessa ställer låga krav på färg och utseende (Villanueva & Eder, 2014).

Vid intervjuer med olika företag lyfter många fram osäkerheten gällande kvaliteten. Även enklare produkter kräver ofta specifika egenskaper och återvunnet material möter inte alltid kraven. Den återvunna plasten är inte tillräckligt attraktiv vare sig utseendemässigt eller funktionellt vilket är en stor faktor till att plasten återses i få produkter. En annan aspekt som lyfts fram är en leveransosäkerhet som beror på att det är svårt att veta ifall materialet finns tillgängligt, levereras i tid och uppfyller kvalitetskraven. Detta kombinerat med priset för att tillverka en produkt i återvunnet material gör det omotiverat att välja återvunnet material i den utsträckning som egentligen önskas (P. Hartwall, personlig kommunikation, 27 mars 2019). Det finns dock en uppåtgående trend där producenter alltmer efterfrågar återvunnet material. Bakgrunden är den växande miljömedvetenheten hos konsumenterna och deras vilja att göra hållbara val (MarketWatch, 2019).

Det går att konstatera att efterfrågan på återvunnen plast från branscher andra än förpackningsindustrin inte är tillräcklig. Den sammanlagda efterfrågan i andra branscher motsvarar inte den mängd avfall som genereras av förpackningsplast ens om alla använt sig av 100 procent återvunnen plast (Plastics Europe, 2017). I Figur 15 visas andelen avfall som genereras av de vanligaste plasterna inom förpackningsindustrin och det summerade behovet för dessa plaster i branscher som inte producerar förpackningsplast.



Figur 15. Andel avfall genererat av förpackningar jämfört med andel totalt behov av dessa plaster i branscher som inte tillverkar förpackningsplast. Modifierad från fakta av Plastics Europe (2017)

De vanligaste förpackningsplasterna blir till många olika nya produkter efter återvinning. HDPE är en av de mest attraktiva utsorterade plastsorterna och passar bra att använda till produkter med låg funktionalitet (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019) såsom vatten- och dräneringsrör, kablar, bullerplank, förvaringsbackar, möbler, anläggningsmaterial och lekplatser (E. Maddison, personlig kommunikation, 11 mars 2019). En annan attraktiv förpackningsplast är PP som även denna används till produkter med låg funktionalitet såsom blomkrukor (FTI, 2019d), förrådsbackar, dräneringssystem, rördelar, anläggningsmaterial och lekplatser (T. Dahl, personlig kommunikation, 28 mars 2019). Mjuka plastförpackningar som huvudsakligen består av LDPE återvinns till nya sopsäckar, bärkassar och kabelskydd (FTI, 2019d). Återvunnen LDPE används även för att tillverka industrigolv och körplattor som används på gräs (DANREC A/S, u.å.). PET är ett bra material att återvinna men efterfrågan utanför livsmedelsindustrin är låg i jämförelse med PP och PE (L. Karlsson, personlig kommunikation, 21 mars 2019). Av PET som återvinns hamnar cirka en tredjedel tillbaka i PET-flaskor. Lika mycket går till textilindustrin, där det blir till bland annat fleecetyg och stoppningar. PET i textilier benämns PES eller polyester. Övrigt blir till plastfolie, band och förpackningar till rengöringsmedel (Žmak & Hartmann, 2017).

Blandat plastavfall har begränsade användningsområden men kan användas till produkter med stora enkla strukturer såsom järnvägsslipers (L. Andersson, personlig kommunikation, 26 mars 2019). Det återvunna plastavfallet kan även användas till plastplankor (T. Dahl, personlig kommunikation, 28 mars 2019), plastpallar och pålar (A. Roosma, personlig kommunikation, 28 mars 2019). Inom byggindustrin används exempelvis distanser vid gjutning och dessa distanser kan vara av lägre kvalitet både vad det gäller mekaniska egenskaper och kemisk sammansättning. Detta då distansen enbart verkar som en form för gjutningen, något som gör att blandat plastavfall som återvunnits passar inom det användningsområdet (H. Andersson, personlig kommunikation, jan 2019). I Tabell 2 går det att se översiktligt vilka användningsområden som den återvunna plasten idag hamnar inom.

Tabell 2. En beskrivning av vilken återvunnen plast som blir till vad

LDPE	PP	HDPE	PET	BLANDAD PLAST
				
Sopsäckar Bärkassar Kabelskydd	Blomkrukor Förrådsbackar Dräneringssystem Rördelar Lekplatser	Vatten- och dräneringsrör Kablar Bullerplank Förvaringsbackar Möbler	Förpackningar Textilier Plastfolie	Järnvägsslipers Plastplankor Europapallar Pålar Distanser inom byggindustrin

3.4.3.1 Förpackningsplast avsedd att komma i kontakt med livsmedel

Det finns två grundläggande lagar som berör material som kommer komma i kontakt med livsmedel. I Europaparlamentets och rådets förordning (1935/2004/EG) behandlas material och produkter som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel. I förordningen ställs krav på bland annat korrekt märkning och spårbarhet vilket innebär att materialets ursprung ska kunna spåras. Den säkerställer även att materialet är lämpligt för livsmedelsförpackningar och inte innebär några risker för konsumenten. Materialet får inte heller försämra livsmedlet (Europaparlamentets och rådets förordning 1935/2004/EG om material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel). I Kommissionens förordning (2023/2006/EG) avses god tillverkningskedja för material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel. God tillverkningskedja innebär att materialet ska produceras på ett hygieniskt och enhetligt sätt samt kontrolleras för att säkerställa att materialet uppfyller uppsatta kvalitetskrav. Råmaterialen måste dessutom följa fastställda bestämmelser. Det ska även finnas en kvalitetssäkring av materialet och giltig dokumentation för att visa att lagarna följs (Kommissionens förordning 2023/2006/EG om god tillverkningskedja när det gäller material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel).

I Kommissionens förordning (10/2011/EG) om material och plast som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel finns en unionsförteckning över godkända ämnen. Inga andra än dessa får användas i plast som är avsedd för livsmedel. Tillverkaren ska känna till sammansättning och kunna lämna ut information om denna vid förfrågan av berörd myndighet. De ska även kunna uppvisa dokumentation som styrker att material och produkter, produkter från mellanleden i tillverkningen och ingående ämnen uppfyller kraven

i denna förordning (Kommissionens förordning 10/2011/EG om material och produkter av plast som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel).

Plasterna testas dessutom utifrån tilltänkt användningsområde eftersom de beter sig olika beroende på vilket medium de kommer i kontakt med. En del ämnen migrerar exempelvis snabbare till feta livsmedel varför gränsvärdena blir annorlunda jämfört med om förpackningen används tills ett vattenlösligt livsmedel. Det ska därför finnas särskilda specifikationer som anger hur och till vad plasten ska användas, såsom typ av livsmedel, förvaringstid och temperatur (Kommissionens förordning 10/2011/EG om material och produkter av plast som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel). Detta innebär att engångsförpackningar, exempelvis glassbyttor eller syltburkar, förmodligen inte är testade för annat än det tilltänkta användningsområdet och vid annan användning finns det därmed en risk att ämnen från plastbehållaren överförs till det nya livsmedlet. Engångsförpackningar är oftast inte heller testade för uppvärmning i mikrovågsugn, långtids-, eller frysförvaring varför sådana förpackningar inte ska återanvändas (Livsmedelsverket, 2019).

3.4.3.2 Återvunnen plast i livsmedelsförpackningar

Det finns en särskild lag som behandlar återvunnet plastmaterial och plastprodukter som är avsedda för livsmedel, nämligen Kommissionens förordning (282/2008/EG). Lagen särskiljer dock på mekaniskt återvunnen plast och kemiskt återvunnen plast varför den sistnämnda inte omfattas av denna förordning. Även ren, oanvänd livsmedelsplast, såsom industrispill, är undantagna från förordningen (Kommissionens förordning 282/2008/EG om återvunna plastmaterial och plastprodukter avsedda att komma i kontakt med livsmedel och ändring av förordning (EG) nr 2023/2006).

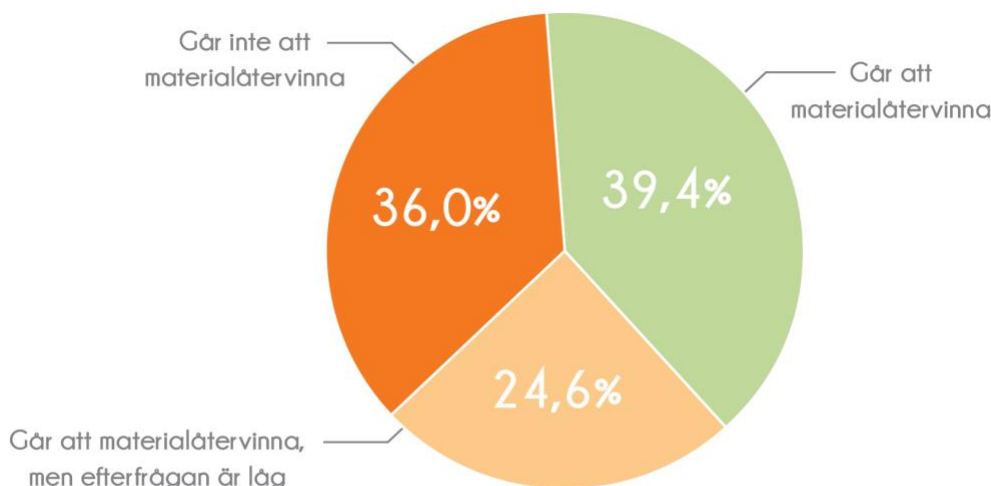
Återvunnen plast kan innehålla rester eller föroreningar från tidigare användning vilket gör att det krävs särskilda krav för att säkerställa att den återvunna plasten uppfyller kraven i förordning 1935/2004/EG. Livsmedelsmyndigheten måste därför granska och säkerhetsbedöma ett företags återvinningsprocesser innan företaget får tillåtelse att använda plasten till livsmedelsförpackningar. För att återvinningsprocessen ska godkännas måste det återvunna plastmaterialet uppfylla villkoren enligt 1935/2004/EG och insatsvaran komma från en sluten och kontrollerad kedja, exempelvis återvinningssystemet för PET-flaskor, alternativt att företaget kan bevisa att slutprodukten inte innebär någon risk för människors hälsa. Detta då säkerheten endast kan garanteras om insatsvaran är godkänd samt sorteringen och reningsprocessen effektiva. Eftersom olika plasttyper har olika förmåga att binda och frigöra föroreningar krävs en karaktärisering av insatsvaran för att rengöringsprocessen ska kunna anpassas. Utöver detta krävs även effektiva kvalitetssäkringssystem som kontrollerar kvaliteten hos den återvunna plasten och säkerställer lämplighet för livsmedelsanvändning. Icke-godkänd återvunnen plast kan dock beläggas med en godkänd, funktionell barriär varpå säkerheten kan garanteras och materialet godkännas för livsmedelsanvändning (Kommissionens förordning 282/2008/EG om återvunna plastmaterial och plastprodukter avsedda att komma i kontakt med livsmedel och ändring av förordning (EG) 2023/2006)

4. Möjligheter till att öka graden av materialåtervinning

För att öka materialåtervinningen finns det ett antal möjligheter som rör förpackningsdesign, ökade insatser för insamling och uppsamling samt effektiviseringar av sorteringsprocessen. Dessutom skulle kemisk återvinning kunna vara ett möjligt komplement till dagens mekaniska återvinning och på så sätt kanske öka materialåtervinningen. Studien utreder även om och i så fall hur biobaserad plast påverkar materialåtervinningsgraden och ifall det är ett bra alternativ till konventionell plast.

4.1 Design för materialåtervinning

De producenter som tillverkar förpackningar är skyldiga att se till att förpackningen kan återanvändas eller återvinnas (Förordning om producentansvar för förpackningar, SFS 2018:1462). Hur väl en förpackning går att materialåtervinna beror på förpackningsdesignen, både gällande material och konstruktion (Material Economics, 2018). I dagsläget materialåtervinns inte svart plast på grund av brister hos NIR. Även laminat och förpackningar med mycket etiketter sorteras bort till förbränning (Zheng et al., 2018). Som tidigare nämnts har transparent återvunnen plast ett större andrahandsvärde vilket gör att dessa mer lönsamma än återvunnen plast i blandade färger. Detta leder till att knappt 40 procent av de insamlade plastförpackningarna kan materialåtervinnas med gott resultat, och att en nästan lika stor andel inte kan materialåtervinnas alls (Svensk Dagligvaruhandel, 2018). I Figur 16 presenteras en fördelning av materialåtervinningsbarheten hos svenska plastförpackningar.



Figur 16. Fördelning på materialåtervinningsbarheten hos de plastförpackningar som samlas in idag (Svensk Dagligvaruhandel, 2018)

För att belysa den problematik som finns kring design och materialval på vanliga plastförpackningar från hushåll visas SPIF:s jämförelse mellan fyra olika ketchupförpackningar i Tabell 3. Samtliga undersökta förpackningar bestod av fyra komponenter; flaska, kork, oblat och etikett. I varje jämförelse undersöktes materialval, färg, etikett och eventuellt tryck. Komponenternas återvinningsbarhet och värde utvärderades sedan utifrån dagens återvinningstekniker och marknad (SPIF, 2019).

Jämförelsen visar att Flaska 3 och 4 är de som har flest komponenter som går att återvinna; korken och flaskan. Båda flaskorna har korkar som är gjorda av PP i vit färg men flaskorna skiljer sig åt. Flaska 3 är tillverkad i röd HDPE och Flaska 4 är tillverkad i transparent PP vilket gör att Flaska 4 är det bästa

alternativet vad gäller återvinningsbarhet (SPIF, 2019). Användningsområdena för transparent plast är nämligen större vilket gör att fler aktörer är intresserade och att andrahandsvärdet stiger (Villanueva & Eder, 2014). Som tabellen visar är ingen av etiketterna på förpackningarna återvinningsbara då de är gjorda av papper. Tre av fyra etiketter lämnar dessutom kvar limrester som verkar kontaminerande i den återvunna plasten. För att minska mängden lim kan lasermärkning vara ett alternativ. Detta görs med en form av gravering, med eller utan infärgning. Tekniken påverkar inte återvinningsbarheten men om graveringen är infärgad påverkar det färgen på den återvunna plasten (SPIF, 2019).

Tabell 3. En jämförelse mellan fyra ketchupförpackningar med avseende på hur lätta samtliga delar av förpackningen är att återvinna samt plastens andrahandsvärde. Modifierad från information från SPIF (2019)

	FLASKA 1	FLASKA 2	FLASKA 3	FLASKA 4
MATERIAL				
Flaska	Röd PET	Transparent PET	Röd HDPE	Transparent PP
Kork	Grön PP	Vit PP	Vit PP	Vit PP
Oblat	Aluminium/plastlaminat	Aluminium/plastlaminat	Aluminium/plastlaminat	Aluminium/plastlaminat
Etikett	Vit papper/plastlaminat 100% tryck	Vit papper 20% tryck	Vit papper 50% tryck, tryck på kork	Vit papper 20% tryck, tryck på kork
ÅTERVINNINGSBARHET OCH MARKNAD				
Flaska	 Sorteras som PET-fraktion. Lågt värde	 Sorteras som PET-fraktion. Lågt värde	 Sorteras som HDPE-fraktion. Fullt användbar och säljbar.	 Sorteras som PP-fraktion. Fullt användbar och säljbar.
Kork	 Sorteras som PP-fraktion. Fullt användbar och säljbar.	 Sorteras som PP-fraktion. Fullt användbar och säljbar.	 Sorteras som PP-fraktion. Fullt användbar och säljbar.	 Sorteras som PP-fraktion. Fullt användbar och säljbar.
Oblat	 Går inte att återvinna.	 Går inte att återvinna.	 Går inte att återvinna.	 Går inte att återvinna.
Etikett	 Går inte att återvinna och ger limrester på flaska.	 Går inte att återvinna men går lätt av, bra lim.	 Går inte att återvinna och ger limrester på flaska.	 Går inte att återvinna och ger limrester på flaska.



Kan återvinnas som plastmaterial och har positivt marknadsvärde



Kan återvinnas som plastmaterial men har ett lågt eller obefintligt marknadsvärde



Kan inte med dagens teknik återvinnas som plastmaterial eller har ingen efterfrågan på marknaden utan går till energiåtervinning.

4.2 Insatser för ökad insamling och uppsamling

Ett stort läckage sker redan i hemmen där endast 44 procent av förpackningsplasten sorteras ut (Naturvårdsverket, 2019b). Ett av de styrmedel som används idag berör därför producentansvaret som säger att producenterna bär ansvar för insamling och hantering. I förordning 2018:1462 om producentansvar för förpackningar finns det bland annat mål för materialutnyttjande och enligt paragraf 19 ska förpackningsplast som inte är dryckesförpackningar ha en materialutnyttjandegrad på 30 procent innan den 1 januari 2020 och därefter minst 50 procent (Förordning om producentansvar för förpackningar, SFS 2018:1462), något som kan jämföras med de 17 procent som blir materialåtervunna idag (FTI, 2019a). Målet för dryckesförpackningar av polymera material är 90 procent (Förordning om producentansvar för förpackningar, SFS 2018:1462).

Ett annat sätt att öka mängden insamlat material är att underlätta insamlingen för hushållen. År 2018 beslutade regeringen därför att insamlingen av förpackningar huvudsakligen ska ske fastighets- eller kvartersnära. År 2021 ska minst 60 procent av fastigheterna i Sverige ha en fastighetsnära insamling och år 2025 ska siffran vara uppe i 100 procent (Regeringskansliet, 2018a). Syftet är att underlätta insamlingen för att öka andelen insamlat material och fastighetsägaren ska erbjudas kostnadsfri borttransport. Ansvar och kostnaden kommer ligga på producenterna (Regeringskansliet, 2018b).

Även EU vill minska andelen plastavfall som hamnar fel. Ett förbud mot engångsartiklar tillverkade av plast kommer träda i kraft år 2021. Artiklar som berörs är bland annat bestick, tallrikar och sugrör (EU-kommissionen, 2018b). Förutom att förbjuda vissa artiklar ställer direktivet krav på att minska konsumtionen eller öka återvinningen av plast. Producenter kommer till exempel att få större krav på sig genom att bland annat bli tvungna att täcka upp kostnader för avfallshantering och även minska användningen av andra artiklar, däribland muggar, plastpåsar, chipspåsar och godispapper. Medlemsländerna, däribland Sverige, blir också skyldiga att höja medvetenheten bland konsumenter om plastnedskräpningens negativa miljöpåverkan (EU-kommissionen, 2018b).

4.2.1 Retursystem

År 2017 samlades 84 procent av de svenska PET-flaskorna in till materialåtervinning, något som kan jämföras med insamlingen av plastförpackningar som ligger på 44 procent (Naturvårdsverket, 2018a). Den höga materialåtervinningsgraden på PET-flaskor beror på det svenska pantsystemet som främjar återvinning genom att en pant eller en premie betalas ut vid återlämning av förpackningarna (Förordning om retursystem för plastflaskor och metallburkar, SFS 2005:220).

För att ett retursystem ska godkännas krävs tekniska och ekonomiska förutsättningar, skäliga krav på förpackningarnas utformning och egenskaper och märkning för att visa att förpackningen ingår i retursystemet. Ansökan ska även innehålla uppgifter om vilka näringsidkare som ämnar ansluta till systemet (Förordning om retursystem för plastflaskor och metallburkar, SFS 2005:220). Pantsystemet går under producentansvaret men styrs även av förordningen SFS 2005:220 (Naturvårdsverket, 2018a). Denna förordning säger att alla plastflaskor som innehåller konsumtionsfärdig dryck ska ingå i ett godkänt retursystem. Alla dryckesförpackningar omfattas dock inte av kravet och dryck som främst består av mejeriprodukter, grönsaks-, frukt- eller bärjuice är undantagna från kravet (Förordning om retursystem för plastflaskor och metallburkar, SFS 2005:220).

Det svenska pantsystemet innebär att de återlämnade flaskorna kan användas till nya dryckesförpackningar vilket inte gäller övrig återvunnen livsmedelsplast. Detta beror på att kvaliteten i det återvunna materialet inte kan garanteras och det är därför inte tillåtet att använda annan återvunnen plast i livsmedelsförpackningar (Naturvårdsverket, 2018a). Ett slutet pantsystem garanterar dock inte att plasten får återanvändas i livsmedelsplast eftersom den återvunna plasten måste vara godkänd för tillverkning av livsmedelsförpackningar. Idag finns det endast ett fåtal fabriker i EU som får tillverka livsmedelsplast av återvunnen plast men många företag står på kö för att bli godkända enligt L. Nilsson (personlig kommunikation, 25 mars 2019).

L. Nilsson (personlig kommunikation, 25 mars 2019) menar vidare att ett utökat pantsystem hade kunnat öka materialåtervinningsgraden och minska miljöpåverkan. SPIF har bland annat föreslagit pantsystem för plastpåsar. Pant på plastpåsar skulle göra priset dyrare men eftersom pant utgår behöver skillnaden inte bli alltför stor (Medelius, 2016). L. Nilsson (personlig kommunikation, 25 mars 2019) menar även att pantsystem borde kunna införas för PE och PP. Rent tekniskt är det genomförbart då EAN-koden är unik för varje produkt och sorteringen hade därför kunnat ske direkt vid återvinningsstationen. Han har dock upplevt ett visst motstånd. Ett av motargumenten har varit att affärerna inte är intresserade av att hantera ytterligare pantsystem då det tar plats, tid och innebär en del hygieniska olägenheter på grund av matrester och dylikt. Ett alternativ hade därför kunnat vara att placera återvinningsstationerna ute på parkeringen och inte inne i butiken, något som just nu testas i Norge. År 2017 infördes en lag om neutrala snusdosor och alla förpackningar, oavsett märke, är numera grönbruna vilket underlättar återvinningen. Ett pantsystem har därför upprättats för snusdosor där normmännen kan lämna in sina snusdosor i en låda på centralstationen i Oslo (Lindström, 2019). Plasten från de insamlade snusdosorna kan dock inte direkt användas till nya snusdosor på grund av de hårda regler som gäller för livsmedelsplast (L. Nilsson, personlig kommunikation, 25 mars 2019).

4.3 Insatser för effektivare sortering

Även hanteringen av den insamlade plasten bör förbättras med tanke på endast cirka 40 procent av det insamlade materialet faktiskt materialåtervinns. (Naturvårdsverket, 2019a) Idag finns det inte tillräckligt med återvinningsanläggningar i Europa men intresset för att investera i nya sådana är trots detta svagt. Detta beror på att det krävs stora volymer plast för att garantera lönsamheten vilket leder till en osäkerhet kring marknaden. Vidare innebär kontamineringsrisker för slutkvaliteten vilket i sin tur påverkar slutpriset och således även lönsamheten (EU-kommissionen, 2018a). För att minska de ekonomiska inträdesbarriärerna och minska osäkerheten kan ekonomiska styrmedel användas genom att regeringen eller EU går in och subventionerar och stödjer forskningsprojekt och återvinningsanläggningar (SOU 2018:84).

Vid årsskiftet 2018/2019 öppnades en sorteringsanläggning i Motala som har kapacitet nog att sortera all Sveriges förpackningsplast. Anläggningen är Europas modernaste sorteringsanläggning och Sverige har därmed försett sitt eget behov av plastsortering men saknar fortfarande anläggningar för tvättning och granulering. Den svenska sorterade plasten skickas således utomlands för vidare behandling, något som är dyrt. Anläggningen i Motala har dock plats för både tvättning och granulering men detta kräver stora investeringar. I Statens offentliga utredning "Det går om vi vill - förslag till en hållbar plastanvändning" föreslås därför en vidare utredning huruvida staten kan gå in och finansiera de nya anläggningarna antingen helt eller delvis (SOU 2018:84).

4.3.1 Ny teknik för optisk sortering

Svårigheterna med svart plast har lett till ett behov av att utveckla ny teknik som kan sortera svart plast. En av de nya teknikerna använder sig av infrarött ljus, precis som NIR. Metoden kallas för Midwave Infrared (MWIR) och verkar inom andra våglängder (3-12 μm). Mycket tyder på att metoden fungerar lika bra som NIR även fast det inte är i konventionellt bruk idag. Nackdelarna med denna är dock att den har lägre SNR vilket innebär större svårigheter att särskilja intressant information från bakgrundsbrus. Genom att sänka hastigheten på inkommande material kan dock SNR ökas. De spektrum som uppstår vid scanning av en viss sorts plast är samma oavsett om plasten är svart eller genomskinlig. Vid svart plast kan dock enskilda toppar uppstå vilka beror på färgen i plasten. Det verkar som att MWIR även kan användas för att identifiera blandningar av olika polymertyper, utvärdera egenskaper hos polymeren och för sortering av papper och trä men vidare forskning krävs. MWIR är i dagsläget dyrt och intresset därför relativt lågt men användning i större skala kan bli aktuellt om kostnaden sjunker (Rozenstein et al., 2017).

4.3.2 Märkning med fluorescerande ämnen

En ny form av sorteringsteknik som utgår från fluorescerande märkning håller just nu på att växa fram och ett fullskaligt test har genomförts på en kommunal återvinningsanläggning i Tyskland med gott resultat (Kosior et al., 2017). Tekniken går ut på att märka olika typer av plast med fluorescerande pigment. Pigmentet syns endast i UV-ljus och påverkar därför inte utseendet på produkten. Nuvarande tekniker sorterar plasten efter plasttyp och eventuellt efter färg men fluorescerande märkningar innebär nya möjligheter eftersom dessa inte är knutna till ett särskilt material. En tillämpning skulle kunna vara att markera plasten efter kvalitet såsom på plast som är godkänd för kontakt med livsmedel. Denna typ av plast är av mycket god kvalitet eftersom den måste uppfylla extremt höga krav för att garantera konsumentens säkerhet. Med hjälp av den nya märkningen kommer denna typ av plast kunna sorteras ut från övriga, något som ger upphov till ett renare flöde och högre slutkvalitet eftersom den återvunna plasten uppfyller EU-standarderna gällande livsmedelsförpackningar (Kosior et al., 2014).

Märkningen får inte falla eller rivas bort under användning varför det är viktigt att noga se över hur märkningen ska ske. Vidare forskning krävs för att identifiera optimala material och processer gällande hållbarhet, kostnad och prestanda men tanken är att tekniken ska kunna implementeras i anläggningar som använder NIR idag. I dagsläget är inte tanken att fluorescerande etiketter ska ersätta NIR, utan istället komplettera och bredda tekniken. Tekniken är idag så pass utvecklad att den vid tester har visat sig kunna identifiera 88-96 procent av ingående testmaterial och i många fall genererat en renhet på mer än 99 procent vilket är tillräckligt för att den återvunna plasten ska få användas i nya livsmedelsförpackningar (Kosior et al., 2017).

4.4 Möjligheter till att få in återvunnen plast i livsmedelsförpackningar

I kapitel 4.2.1 och 4.3.2 presenterades fluorescerande ämnen och retursystem som förslag på hur det numera öppna flödet kan bli slutet och på så sätt möjliggöra användningen av återvunnen plast i livsmedelsförpackningar. Ett annat sätt att öka möjligheten att få in återvunnen plast i livsmedelsförpackningar är funktionella barriärer. En funktionell barriär består av ett skikt som förhindrar migration av otillåtna ämnen in till livsmedlet varför riskbedömda och godkända barriärskikt kan användas för att möjliggöra användning av annars otillåtna ämnen (Kommissionens förordning 10/2011/EG om material och produkter av plast som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel).

Plast avsedd för livsmedelsförpackningar ställs som tidigare nämnts inför extremt höga lagkrav vilket gör det svårt att använda återvunnen förpackningsplast till detta ändamål (Kosior et al., 2014). För att öka möjligheterna att använda återvunnen plast till plastförpackningar avsedda för livsmedel kan den återvunna plasten lamineras med ett tunt lager jungfrulig plast. Tekniken baseras på att extrudering sker i flera skikt samtidigt vilket slutligen resulterar i en så kallad funktionell barriär som skyddar livsmedlet från eventuella kontamineringsringar i den återvunna plasten. Livsmedlet kommer således ligga mot en yta av jungfrulig plast som är ren och fri från kontaminering och kommer på så sätt inte i kontakt med den återvunna plasten varpå förpackningen kan godkännas. Denna typ av teknik kallas för CO-extrudering och öppnar därmed upp möjligheterna för att använda återvunnen plast till livsmedelsförpackningar. Tjockleken på den funktionella barriären är dock avgörande för hur länge livsmedlet är skyddat från kontamineringsringar som finns i den återvunna plasten och lamineringen bestämmer således hur länge skyddet är effektivt (Papaspriyides et al., 2005). Denna teknik används för plast inom industrin där kärnan består av återvunnen plast och ytskiktet är ny jungfrulig plast. Tekniken används dock inte för livsmedelsförpackningar men efter vidare forskning och utveckling kan denna metod komma att användas även för livsmedelsplast (L. Nilsson, personlig kommunikation, 26 mars 2019).

4.5 Kemisk återvinning som kompletterade återvinningsprocess

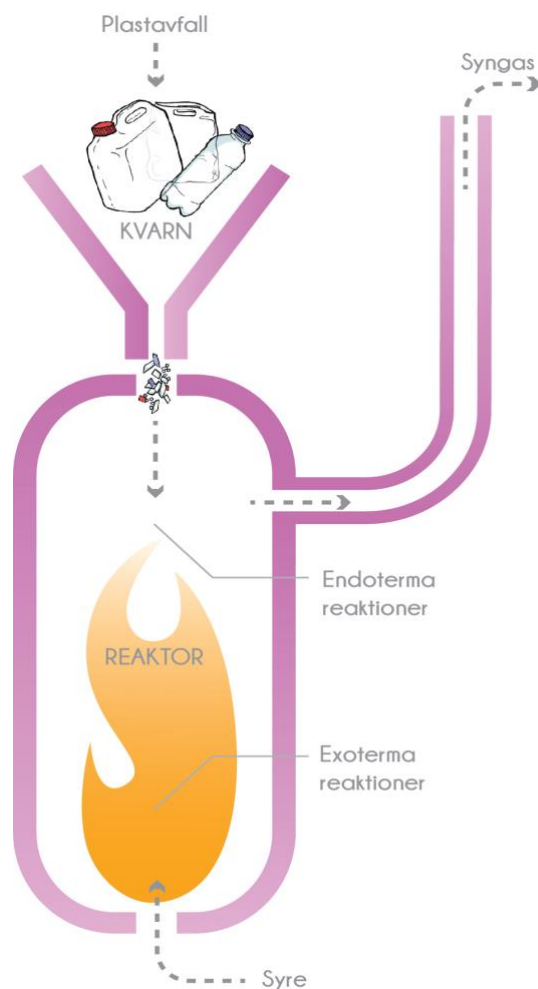
Plast kan inte återvinnas hur många gånger som helst varför andra alternativ behöver ses över. För plast som är uttjänt kan kemisk återvinning, såsom pyrolys eller förgasning, användas istället för förbränning. Kemiföretagen i Stenungsund jobbar för att få till en sådan anläggning innan år 2030. Den svenska regeringen utreder därför hur ett eventuellt stöd till forskning och upprättande av ett plastraffinaderi skulle kunna se ut (SOU 2018:84).

Med kemisk återvinning, även kallat termisk behandling, bryts plastpolymererna ner till monomerer eller syngas och på så sätt kan råvaran från plastavfallet återskapas. En del av produkterna används för att driva processen vilket gör att cirka 70 procent av råvaran återvinns (Weiland., 2015). Råvaran kan sedan användas för att återskapa jungfrulig plast från uttjänta plaster (Brems, Dewil, Baeyens & Zhang, 2013). I kapitlet beskrivs två typer av kemisk återvinning, förgasning och pyrolys.

4.5.1 Förgasning av plastavfall

Förgasning kallas processen då organiska material genom upphettning bryts ner till kolmonoxid och väte, även kallat syngas eller syntesgas. Syngasen kan sedan användas som byggstenar för att bygga upp organiska material såsom metanol (Weiland, 2015). Även om det är tekniskt möjligt används inte syngasen idag för att återskapa plastpolymer enligt L. Josefsson (personlig kommunikation, 6 feb 2019). Förgasning har länge använts som en process för kol och på senare tid även biomassa (Weiland, 2015). Metoden är i mindre utsträckning beprövad med plastavfall som bränsle. En av de stora fördelarna med förgasning är att plastavfallet inte behöver vara rent (Brems et al., 2013). Temperaturen som en förgasare arbetar vid

påverkar vilka produkter som bildas. Med en syrgasblåst förgasning erhålls temperaturer kring 1000–1200 grader celsius vilket resulterar i att i stort sett allt organiskt material bryts ner till kolmonoxid, vätgas, koldioxid och vatten. Förgasningstekniker som opererar vid lägre temperaturer tenderar oftast till att bilda tjäror som biprodukter (F. Weiland, personlig kommunikation, 25 mars 2019). För att förgasa plastavfall är fastbäddsförgasaren ett bra alternativ enligt F. Weiland (personlig kommunikation, 25 mars 2019). En flödesbild av förgasningsprocessen visas i figur 17.



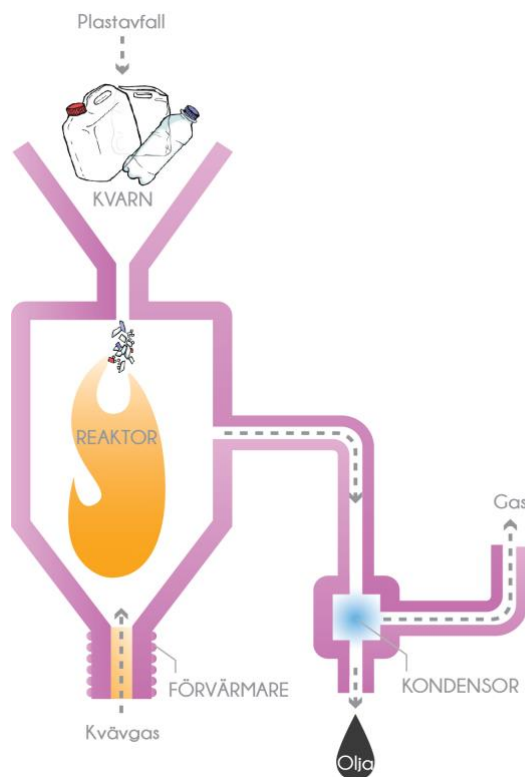
Figur 17. Flödesbild över stegen i en förgasningsprocess

Processen går till på så sätt att en reaktor matas från toppen med materialet som ska brytas ner, samt från botten med syrgas. I den undre delen av reaktorn förbränns substratet under närvaro av syre vilket ger exoterma reaktioner som utvecklar värme med koldioxid och vatten som produkter. Dessa reaktioner driver de endoterma reaktioner som kräver värme och som sker i reaktorns övre del där syrefattiga förhållanden råder (Wiinikka, Wennebro, Gullberg, Pettersson & Weiland, 2017). För att syngasen ska få ett energiinnehåll som är 75 procent av ursprungsmaterialets energiinnehåll bör syretillförseln till reaktorn vara 30–40 procent av den syremängden som krävs för total förbränning, då produkterna endast består av koldioxid och vatten (Weiland, 2015).

4.5.2 Pyrolys av plastavfall

Pyrolys är en metod då ett material upphettas till mellan 350 och 900 grader celsius i syrefri miljö så att det sönderfaller utan att förbränning sker. Från ett ton plast utvinns ca 700 kg råolja som sedan kan användas som bränsle eller för att skapa nya jungfruliga plaster (Al-Salem et al., 2017; S. Krüger, personlig kommunikation, 26 jan 2019). Förutom råolja utvinns även kol och gas där en del av gasen kan användas som energikälla för att driva processen. Lönsamheten i en pyrolys är till stor del beroende av oljepriserna eftersom det oftast blir huvudprodukten även om möjligheten finns att ändra andelen av de olika produkterna genom att ändra på parametrar i processen. En fördel med pyrolys mot förbränning är skalan på anläggningen som är mer flexibel för en pyrolysanläggning (Czajczyńska et al., 2017). Pyrolysen har dock begränsningar i vilka plaster den kan behandla. Det har bland annat visat sig att PVC kan ge problem med orenheter i produkten och PS kan orsaka korrosion (S. Krüger, personlig kommunikation, 26 jan 2019).

Likt förgasare finns det flera olika typer av pyrolys-reaktorer som är anpassade för olika typer av bränsle. Sprutbäddsreaktorn är en kontinuerlig reaktor som har visat lyckade resultat vid pyrolys av både PE, PP, PET och polystyren (PS) (Czajczyńska et al., 2017). Sprutbäddsreaktorn kan även hantera stora partiklar med olika densiteter, vilket gör den lämplig för plastavfall (Al-Salem et al., 2017). En förenklad flödesbild över sprutbäddsreaktorn visas i Figur 18 (Czajczyńska et al., 2017; Al-Salem et al., 2017).



Figur 18. Förenklad flödesbild över sprutbäddsförgasaren

Idag står ett antal nya plastpyrolysanläggningar till förfogande runt om i Europa. Det kommande året kommer att ge resultat i form av ökad kunskap, metodens effektivitet och eventuella hinder menar S. Krüger (personlig kommunikation, 26 jan 2019).

4.6 Biobaserad plast som alternativt material

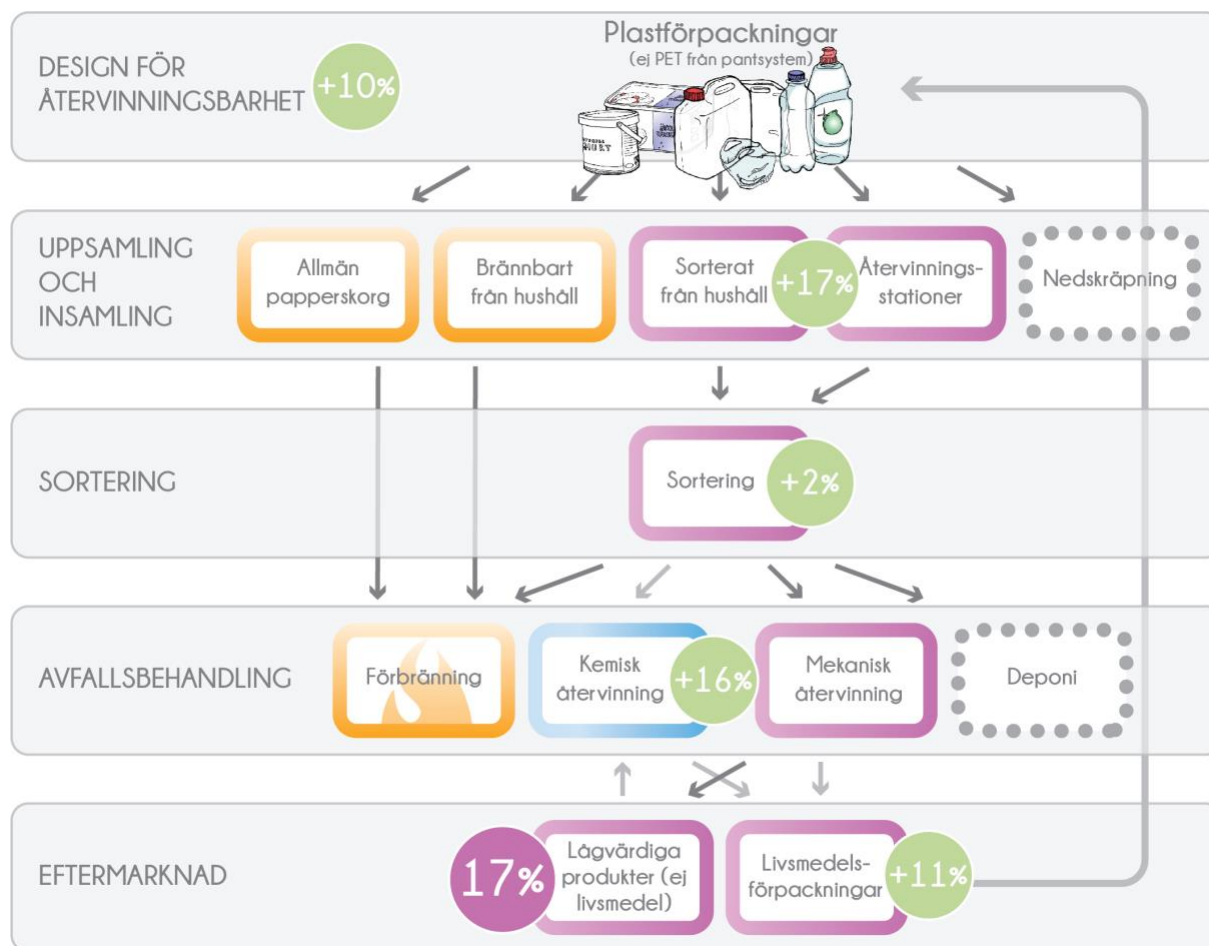
Biobaserade plaster återfinns idag i ett antal livsmedelsförpackningar. Det finns dock inte några krav på hur stor andel av plasten som ska utgöras av förnybar råvara för att få kallas biobaserad. Många så kallade biobaserade plaster är därför i själva verket tillverkade av en blandning av biobaserat och fossilt material såsom råolja och kol (SOU 2018:84). Ett exempel på en biobaserad plast är polylaktid (PLA) som kan ersätta PP i livsmedelsförpackningar men för att förbättra plastens barriäregenskaper lamineras den ofta med konventionell plast i ett flertal skikt, vanligtvis PE (Rujnić-Sokele & Pilipović, 2017).

En vanlig missuppfattning är att biobaserade plaster förmultnar naturligt men det krävs ofta specifika industriella miljöer för att bryta ner dem (Rujnić-Sokele & Pilipović, 2017). Den temperatur och miljö som bioplasten hamnar i är avgörande för hur snabbt den bryts ner. Även om dessa typer av plast är utvecklade för att brytas ned snabbt i naturen finns det ingen garanti för att en nedbrytning sker, speciellt om omgivande faktorer såsom temperatur, ljus, fuktighet och bakterieförekomst inte är optimala (Kale, Kijchavengkul, Auras, Rubino, Selke & Singh, 2007).

Generellt sett får de allra flesta biobaserade plasterna försämrade egenskaper när de materialåtervinns eftersom de bryts ned av vatten och värme. Den enda biobaserade plasten som idag anses gå att återvinna är PLA vars egenskaper försämras relativt lite vid mekanisk återvinning. En omdiskuterad fråga har varit huruvida den biobaserade plasten riskerar att kontaminera den konventionella plasten vid materialåtervinning då nuvarande sorteringstekniker inte kan särskilja på biobaserad och konventionell plast (Soroudi & Jakubowicz, 2013). Om förpackningen består av drygt hälften HDPE och knappt hälften biobaserad plast kommer den optiska sorteringen att sortera ut den som HDPE förklarar A. Krantz, anställd på Swerec (personlig kommunikation, 21 mars 2019). Det är i dagsläget osäkert hur detta kan komma att påverka kvaliteten på de olika materialen men Soroudi och Jakubowicz (2013) menar i sin studie att en ökad användning av biobaserade plaster kan ge allvarliga konsekvenser för den konventionella plaståtervinningen när dess flöden blandas. Detta då den stärkelse och fibrer i den biobaserade plasten förstör de mekaniska egenskaperna, såsom hållfasthet och styvhet, hos den konventionella plasten. Den konventionella plasten kan således inte materialåtervinnas på ett önskvärt sätt då kravet på önskad kvalitet inte uppfylls (Rujnić-Sokele & Pilipović, 2017). Idag återfinns bara några få procent biobaserat material i plastförpackningar men om denna siffra skulle öka kan de skapa stora problem vid sortering och materialåtervinning (A. Krantz, personlig kommunikation, 21 mars 2019).

5. Analys av förbättringsåtgärder

Idag ligger materialåtervinningsgraden på 17 procent. Att den inte är högre beror på dålig produktdesign utifrån återvinningsbarhet, låg insamlingsgrad, bristfälliga sorteringstekniker, kvalitetsförsämring vid mekanisk återvinning samt en liten eftermarknad för återvunnen plast. Hur åtgärder i olika delar av plastens flöde skulle öka materialåtervinningsgraden beskrivs i Figur 19 där de grå pilarna visar på alternativa flödesvägar från det befintliga systemet. För att beräkna utfallet av förbättringsåtgärder i dagens system har varje åtgärd behandlats separat. Implementeras flera åtgärder samtidigt kommer dessa påverka varandra eftersom de är sammankopplade i ett flöde. Procentsatserna ska därför ses separat som en vägledning på vilka insatser som gör störst skillnad. Utförlig beskrivning av villkoren som använts vid beräkning presenteras i Bilaga A.



Figur 19. Analys av hur potentiella förändringar i dagens system kan öka materialåtervinningsgraden

Förpackningsdesignen påverkar materialåtervinningsbarheten. Några exempel är mörk plast, laminat, mycket tryck och stora etiketter. En del material går att återvinna men sorteras inte ut på sorteringsanläggningarna då inkommande avfall utgör så låga kvantiteter att det inte är lönsamt att sortera ut det för materialåtervinning. I dagsläget utgörs 20 procent av det inkommande plastavfallet av plastsorter andra än de vanliga förpackningsplasterna. Dessa sorteras ut till förbränning vilket sänker materialåtervinningsgraden. FTI har infört högre avgifter för plast som är svår att återvinna, detta för att leda producenterna i rätt riktning och på så sätt öka andelen förpackningar som kan materialåtervinnas. Om

producenter hade valt att designa förpackningar efter återvinningsbarhet förväntas materialåtervinningsgraden öka med cirka 10 procentenheter.

Producenterna kan även påverka slutkvaliteten på den återvunna plasten positivt genom att välja en bra produktdesign. Faktorer som påverkar slutkvaliteten är kontamineringar såsom additiv och etiketter. Tillsatta additiv kan inte tas bort varför dessa finns kvar efter återvinning. Rester från tidigare användning och etiketter kan dock tvättas bort men ställer höga krav på tvättningsprocessen. Rester av pappersetiketter kan påverka de mekaniska egenskaperna men det största problemet ligger i det estetiska eftersom resterna inte bryts ned utan kan ses som prickar i den återvunna plasten. Detta problem uppkommer inte ifall etiketten är av samma material som förpackningen då materialet kan smältas ned till en enhetlig massa. Ett annat alternativ kan vara lasermärkning eftersom detta inte påverkar kvaliteten vid återvinning. Detta alternativ ställs dock mot företagets möjlighet till marknadsföring och möjligheten att visa innehållsförteckningen på ett tydligt sätt.

Nästa steg mot materialåtervinning är insamling och det är viktigt att plastavfallet inte hamnar i brännbart avfall eller blir skräp i hav och natur. Så länge en stor andel av plastavfallet hamnar i brännbart blir materialåtervinningsgraden per automatik låg. Vidare är 20 procent av det insamlade plastavfallet i själva verket inte plast utan andra felsorterade sopor. En ökad sortering i hemmen hade ökat materialåtervinningsgraden men det är osäkert vad som gör att konsumenterna inte sorterar sin plast i större utsträckning än vad som görs idag. Ett pantsystem hade underlättat korrekt sortering för konsumenten samtidigt som en större andel plast hade samlats in. Genom att införa ett sådant system på hårdplast hade insamlingen ökat vilket skulle resultera i en förbättrad materialåtervinningsgrad med 17 procentenheter. Vid beräkningarna har insamlingsgraden antagits vara på samma nivå som insamlingsgraden för PET-flaskor, det vill säga 84 procent. Det finns dock ingen garanti på att insamlingsgraden når upp till 84 procent och frågan är därmed hur mycket ett retursystem faktiskt hade förbättrat materialåtervinningsgraden.

Efter uppsamling och insamling sker en sortering för att särskilja plasterna och avlägsna felsorterat material, något som är en förutsättning för materialåtervinning idag. Den befintliga tekniken, NIR, är emellertid bristfällig vilket leder till att plast som egentligen är möjlig att materialåtervinna sorteras bort. En del av bortfallet hade kunnat minskas genom att byta ut NIR mot den nya tekniken MWIR som bland annat även kan läsa av mörk plast. MWIR hade kunnat öka materialåtervinningsgraden med 2 procentenheter, under antagandet att MWIR inte sorterar bort någon återvinningsbar plast. Denna ökning anses som låg jämfört med andra förbättringsåtgärder. Det är inte heller eftersträvänsvärt med mörka material eftersom det ger ett lågvärdigt och mörkt återvunnet material med begränsade möjligheter gällande design. Ett alternativ hade kunnat vara färgsortering eftersom producenter då kan välja återvunnen plast i rätt kulör. Färgsortering hade således ökat kvaliteten och höjt priset. Kostnaden för att implementera färgsortering måste dock ställas mot de extra intäkter färgsorterad plast ger.

Mekanisk återvinning av plast är den mest effektiva avfallsbehandlingen men påverkar slutkvaliteten på den återvunna plasten. Hur pass stor kvalitetsförsämringen blir beror både på råvara och återvinningsprocess. Vissa plaster kan materialåtervinnas fler gånger än andra innan de mekaniska egenskaperna har försämrats så pass mycket att det inte längre går att återvinna plasten med god kvalitet. Det är därför viktigt att ha ett bra system för hur uttjänt plast ska tas omhand och behandlas. Idag går plast som inte kan materialåtervinnas till förbränning, något som skulle kunna ersättas med kemisk återvinning. Plasten bryts då ned till olja som kan användas för att tillverka ny, jungfrulig plast. Det är dock viktigt att påpeka att mekanisk återvinningen är att föredra i högsta möjliga utsträckning eftersom den tar tillvara på både material och energi från tillverkningsprocessen. Om all plast som sorteras bort på grund av låg

efterfrågan eller bristande återvinningsbarhet hade gått till kemisk återvinning hade materialåtervinningsgraden ökat med cirka 16 procentenheter.

En hög kvalitet är nödvändig för en hög efterfrågan. I dagsläget menar aktörer att osäkerhet kring kvaliteten medför merkostnader och osäkerheter gällande slutprodukten. Det är oklart om det har gjorts studier på huruvida kvalitetsförsämringen är så pass stor att det faktiskt inte är möjligt att använda plasten i mer högvärdiga produkter än vad som görs idag. Det kan vara så att okunskap och rädsla bland de producerande företagen är en anledning till att återvunnen förpackningsplast inte används i större utsträckning. Trots detta visar företag ett ökat intresse för återvunnen plast. Det stigande intresset kan bero på en ökad miljömedvetenhet hos konsumenterna som alltmer efterfrågar hållbara alternativ. Om denna trend håller i sig innebär detta att efterfrågan kommer fortsätta stiga vilket kan minska investerarens osäkerhet gällande framtiden för plaståtervinning.

Det finns dock användningsområden som kräver mycket hög kvalitet för att konsumentens säkerhet ska kunna garanteras. Lagstiftningen ställer höga krav på bland annat plaster som ska vara i kontakt med livsmedel vilket gör att dessa plaster sällan får ett cirkulärt flöde utan istället används i produkter med lägre krav på kvalitet. Efterfrågan i övriga branscher skulle inte motsvara mängden återvunnen plast från förpackningar ens om samtliga branscher hade använt sig av 100 procent återvunnen plast. Idag sorteras återvinningsbar plast bort på grund av få användningsområden och låg efterfrågan. Om den återvunna plasten från förpackningar kan uppvisa så hög kvalitet att den kan återanvändas som förpackningsplast skulle detta leda till att materialåtervinningsgraden ökar med cirka 11 procentenheter. Den enda återvunna plasten som används för nya livsmedelsförpackningar idag är PET som tas tillvara på i ett slutet pantsystem. Det skulle vara ett sätt att garantera de rena flöden som krävs för att få en återvunnen plast med tillräckligt hög kvalitet. På så sätt uppfylls de lagar och regler som berör plast som ska komma i kontakt med livsmedel. Märkning med fluorescerande pigment är en annan väg för att nå rena flöden då tekniken möjliggör sortering inte bara efter platsort utan även efter tidigare användningsområde och plastkvalitet. Ett tredje alternativ kan vara att använda funktionella barriärer på den återvunna plasten. Detta då en funktionell barriär minskar risken för att livsmedlet ska komma i kontakt med kontamineringsämnen som finns i den återvunna plasten. Enligt EU-lagar får icke-godkända material användas ifall en godkänd, funktionell barriär används, varför detta kan vara ett bra sätt att få in återvunnen plast i livsmedelsförpackningar. Hur den funktionella barriären ska utformas för att fungera som ett effektivt skydd i livsmedelsförpackningar är fortfarande oklart.

Låg kvalitet hos återvunnen plast leder till begränsade användningsområden och en låg efterfrågan, varför även lönsamheten blir låg. Det låga värdet i återvunnen plast gör att det saknas ekonomiska incitament och medel till att förbättra och investera i materialåtervinning. Den låga lönsamheten gör även att antalet aktörer på marknaden är få och att plasten ofta måste transporteras långt för att komma till användning. I Sverige finns aktörer som samlar in och sorterar förpackningsplast men efter sortering exporteras plasten för materialåtervinning. De långa flödena innebär både utsläpp och kostnader för transport. Kostnaden äter upp en del av vinsten vilket leder till sämre ekonomiska resultat för företag som utför materialåtervinning. Det långa flödet medför även svårigheter gällande transparens och spårbarhet. Problematiken innebär att det vore fördelaktigt ifall Sverige och EU använder politiska styrmedel i form av ekonomiskt stöd till både forskningsprojekt och nya återvinningsanläggningar.

Kinas importstopp medför nya utmaningar för EU men också möjligheter. Detta då materialåtervinning kräver storskalighet för att vara lönsam och den tidigare exporten innebär en minskning i tillgängligt material för de europeiska anläggningarna för materialåtervinning. Detta gjorde marknaden osäker och få

var villiga att investera i materialåtervinning. Idag stannar mer plastavfall inom EU:s gränser vilket medför större möjligheter för dem som vill investera i materialåtervinning. Om Kina väljer att öppna gränserna för import av plastavfall igen kan det innebära att anläggningar i Europa får betydligt mindre volymer, något som påverkar lönsamheten negativt. Detta bör dock inte ses som ett större problem eftersom plastanvändningen ständigt ökar samtidigt som även efterfrågan på återvunnen plast med god kvalitet ökar, något som förbättrar utsikterna för europeiska återvinningsanläggningar.

För att få företag att använda sig av återvunnen plast kan en motiverande faktor vara att öka prisskillnaden på jungfrulig plast och återvunnen plast. Ett högre oljepris skulle medföra dyrare jungfrulig plast vilket skulle öka efterfrågan på återvunnen plast och därmed göra det mer lönsamt att investera i återvinningsanläggningar. För att främja en ökad prisskillnad kan ekonomiska styrmedel användas, exempelvis genom högre skatt vid användning av jungfrulig plast eller subventioner vid användning av återvunnen plast.

För att få den linjära plastanvändningen mer cirkulär har biobaserad plast presenterats som en möjlig lösning på problemet. Ofta blandas dock biobaserad plast med konventionell plast vilket innebär att en del av materialet kommer från fossila råvaror varför förbränning inte är eftersträvänsvärt. En blandning av biobaserat material och konventionell plast kan emellertid innebära svårigheter vid materialåtervinning. Detta då plasten sorteras som om det vore 100 procent konventionell plast ifall andelen biobaserat material är låg. Idag används biobaserat material inte i någon större utsträckning och i de produkter som biobaserat material används är andelen ofta låg. Skulle andelen biobaserad plast öka finns det dock en betydande risk för kvalitetsförsämringar av det återvunna materialet. Biobaserat material skulle således inte öka graden av materialåtervinning utan snarare försämra utfallet och eventuellt minska andelen materialåtervinningsbara plastförpackningar.

Sammanfattningsvis är ovan nämnda faktorer det som påverkar materialåtervinningsgraden av svensk förpackningsplast. I kommande diskussion kommer analysens förbättringsförslag, det befintliga systemet, begränsningar i dagens teknik, kvalitet och efterfrågan, att diskuteras och ställas mot liknande studier och rapporter inom området.

6. Diskussion

Valet av metod och utförande har påverkat studiens resultat och om utförandet varit annorlunda hade förmodligen också resultatet blivit annorlunda. Nedan diskuteras ifall alternativa tillvägagångssätt hade blivit till det bättre eller till det sämre för det slutgiltiga resultatet. Vidare jämförs och diskuteras analysens förbättringsförslag utifrån andra rapporter och studier.

6.1 Diskussion av metodval och utförande

Genomförandet av studien utgick från ansatsen som bestod av en orienterande inläsning. Därefter utformades ett övergripande upplägg som innehöll dels en kartläggning av dagens system och dels områden med förbättringsmöjligheter: logistik, tekniska processer, europeisk och svensk lagstiftning samt marknad för återvunnen plast. För att samla in data och kartlägga systemet användes litteraturstudier, intervjuer, studiebesök och statistik från databaser. Slutligen analyserades resultaten, där läckagen identifierades och förslag på åtgärder fördes fram.

Med tanke på att arbetet inte hade några ämnesspecifika förkunskapskrav och kunskapsläget såg olika ut var det naturligt att göra en orienterande inläsning för att ge gruppmedlemmarna ett bättre grepp om ämnet. Risken med en orienterande inläsning är att gruppen fördjupar sig i saker som ligger utanför området eller att inläsningen dröjer sig kvar för länge utan att komma vidare med någon form av inriktning. Även om det behövdes breda tankar och idéer höll sig gruppen till ämnet. I så fall kan det ha varit så att gruppen hade svårt att lämna inläsningen, eftersom det länge inte fanns en gemensam uppfattning om vad det övergripande syftet skulle vara.

I systemkartläggningen användes många olika källor för att samla in data. Det kanske viktigaste och mest trovärdiga sättet att göra kartläggningen på var att göra intervjuer och studiebesök. En mer noggrann planering av frågor till de större studiebesöken hade troligtvis gett mer uttömmande svar från intervjupersonerna vilket underlättat för studien. Studiebesöken och intervjuerna skedde dessutom vid separata tillfällen och innebar mer eller mindre långa restider. En optimal lösning för att spara tid, effektivisera arbetet och underlätta dialogen mellan aktörer hade varit att samla de centrala aktörerna på Chalmers och hålla i en workshop, ett seminarium eller liknande. Det går visserligen att diskutera rimligheten i att anordna en workshop för ett kandidatarbete och samla information på detta sättet med tanke på den samordning och extraarbete som krävs men ett stort universitet som Chalmers Tekniska Högskola skulle kunna locka till sig viktiga aktörer och vara en attraktiv mötesplats.

Intervjuerna som utfördes har oftast inte transkriberats eller spelats in eftersom det av olika skäl inte var genomförbart. Istället var flera frågeställare närvarande och antecknade för att säkerställa informationen. Kontaktpersonerna har även fått bekräfta att informationen har uppfattats korrekt. Detta medför dock en risk eftersom dessa då kan ändra sin utsaga i efterhand för att framstå som bättre än vad som egentligen är fallet. Vidare kan intervjuer medföra en risk att siffror och statistik som används i beräkningar avrundas. Dessa avrundningsfel kan påverka resultatet negativt om uppgifterna inte kontrolleras mer noggrant. Frågorna kan dessutom ha gjort att intervjuobjektet missuppfattade frågan annorlunda än vad som var tänkt och blivit en felkälla. Vidare kan urvalet av vissa litterära källor ha varit begränsande för resultatet. Med hjälp av Chalmers bibliotekskatalog kunde visserligen de senaste forskningsrapporterna användas men på vissa mindre studerade områden var studien tvungen att använda äldre litteratur. Då fanns risken att få utdaterad och information med tanke på att mycket kring plaståtervinningen kan förändras på kort tid.

Rent generellt var tiden en begränsande faktor. Med mer projekttid skulle studiens omfång kunna vara mer omfattande och metoderna skulle ha blivit mer ingående vilket naturligtvis hade varit positivt för slutresultatet. Till exempel hade resultatet kunnat omfatta plastflödet även innan insamling och hantera konsumtion och användning av plast. Kartläggningen hade också kunnat omfatta mindre vanliga förpackningsplaster som PS och PVC, kartlägga andra plastflöden såsom det slutna retursystemet för dryckesförpackningar eller också behandla industriplast. Studien avgränsade sig denna gång till förpackningsplast. Dessutom hade mer tid hjälpt gruppen att få mer kunskap i början och skapa en bra beredskap inför intervjuer och studiebesök.

Under studiens gång var det en del svårigheter att få tag på information gällande exakta siffror, transport av plastavfallet, hur stort läckaget är i varje delsteg och hur kvaliteten på plast försämras vid återvinning. Det har funnits en ovilja att lämna ut information som i vissa fall berott på sekretess och företagshemligheter men det kan även kopplas till en oro för att kompromettera plaståtervinning. I de fall där det har funnits information har den stundtals varierat från källa till källa. Detta har gjort att studien då fått gå alternativa vägar, till exempel räknat på genomsnittliga siffror, vilket kan ha påverkat studiens resultat. Som tidigare nämnts är ämnet med förpackningsplastens flödessystem relativt utforskat och vissa tillfrågade har inte vetat hur de ska ställa sig till att lämna ut information till. Förhoppningsvis kan studien bidra till att göra aktörer mer förberedda på vidare studier och lättare kunna lämna ut uppgifter.

Styrkor i studiens resultat är att då ämnesområdet är så pass relevant och högaktuellt har centrala aktörer på marknaden varit intresserade av att ta del av projektet. Studiens frågeställningar har besvarats och olika lösningar för att öka materialåtervinningsgraden har identifierats. Framtagna resultat har även jämförts med andra studier och utredningar inom samma ämnesområde där resultat och eventuella lösningar bekräftar varandra. Vidare har ytterligare resultat och lösningar kunnat identifierats utöver befintliga studier vilket bidrar till utveckling inom ämnesområdet. Tydliga problem och kunskapsluckor har också identifierats för att belysa frågor till vidare studier.

6.2 Diskussion av förbättringsåtgärder

För att få perspektiv mot vad tidigare forskningsstudier inom liknande områden har kommit fram till diskuteras analysens förbättringsåtgärder utifrån tre utvalda utredningar och rapporter; Statens offentliga utredning om Hållbar plastanvändning (SOU 2018:84), EU:s plaststrategi (EU-kommissionen, 2018a) och The New Plastics Economy från Ellen MacArthur Foundation (2016). Samtliga är utredningar och rapporter som tidigare behandlat plast och plaståtervinning. Statens offentliga utredning syftar till att komma med förslag till åtgärder för en hållbar plastanvändning och kartlägger samtidigt olika plastflöden i ett svenskt sammanhang och undersöker alternativa återvinningstekniker och material i framtiden. The New Plastics Economy, liksom EU:s plaststrategi, utreder istället främst vad som kan göras för att göra plastanvändningen ekonomiskt hållbar.

Studiens hela problemformulering bygger på att materialåtervinningen av svensk förpackningsplast är låg. Detta är något som belyses även i resultat och analys. Materialåtervinningsgraden påverkas av flera faktorer såsom det befintliga systemet, begränsningar i dagens teknik och kvalitet och efterfrågan. I flödet har läckage på grund av dålig produktdesign, vid insamling och vid utsortering identifierats. Vidare är dagens flöde långt och relativt icke-transparent. Flödet är en faktor som även Statens offentliga utredning (2018) understryker. Där poängteras vikten av fler slutna flöden, såsom fler pantsystem, rena flöden och flera olika sorteringsmöjligheter. Även EU:s plaststrategi belyser att det är viktigt med rena flöden och föreslår separata insamlingssystem för plastavfall. Vidare bidrar nuvarande tekniker till en stor del av systemets

läckage då utsorteringsprocesserna är begränsade i vad som kan fångas upp och inte uppvisar en effektiv verkningsgrad. Den tekniska sorteringens läckage är något som inte utreds i de jämförande studierna.

På grund av ovanstående system är kvaliteten på återvunnen plast bristfällig och osäker. Utformandet av förpackningen är också en faktor till hur väl den går att återvinna och slutkvaliten på det återvunna materialet, något som studien påvisar skulle kunna regleras med hjälp av statliga styrmedel. Undermålig kvalitet påverkar i sin tur efterfrågan negativt och minskar de ekonomiska incitamenten till att investera i återvunnen plast. Däremot finns det osäkerheter kring huruvida plastens kvalitet egentligen är bristfällig. Studien visar att det i många fall även finns en ovisshet hos producerande företag gällande användningen av återvunnen plast och att den är svårare att processa än jungfrulig. Kvalitetsosäkerheten är något som är ett mycket outforskat område och skulle behöva utredas vidare. Dessutom resulterar den även i begränsade användningsområden och behov. Kvaliteten behöver därför bli mer pålitlig och de ekonomiska incitamenten högre för att efterfrågan ska öka. Statens offentliga undersökning understryker däremot att det främsta sättet att stimulera efterfrågan är genom statliga styrmedel som avgifter för användning av jungfruliga plaster och subventioner för att omstrukturera produktionen med återvunna plastmaterial. Vår studie har delvis också hanterat ekonomiska styrmedel men inte behandlat möjligheterna till att specifikt subventionera investeringar i nya återvinnings- och sorteringsanläggningar.

Studien poängterar även att det finns en problematik i befintliga regleringar för användningsområdena, till exempel att återvunnen plast inte får användas i livsmedelsförpackningar vilket skapar en tillgång på återvunnet material som inte kan täckas av övriga branschens behov. Nya tekniker såsom användning av funktionella barriärer skulle kunna vara en lösning för att möjliggöra användningen i livsmedelsbranschen. Behovsproblemet belyses inte i jämförande studier.

Vad gäller alternativa material i framtiden berörde studien bioplaster som ett alternativt material då det kan minska miljöbelastning vid produktion och förbränning. Samtidigt visades att heterogena plastflöden med inblandning av bioplast kunde vara problematiskt för materialåtervinningen. SOU (2018:84) förhöll sig till exempel kritiskt till inblandning av biobaserade plaster eftersom utredningen konstaterade att materialet kunde försvåra materialåtervinning. The New Plastics Economy (2016) lyfte istället fram biobaserade plaster som en viktig del av den nya plastekonomin. Någon kritisk bedömning gjordes däremot inte. Även EU-kommissionen (2018a) såg mest fördelar med bioplast och förde fram de minskade koldioxidutsläppen vid produktion som en faktor.

Tekniker som skulle kunna förbättra plastsorteringen är MWIR där verkningsgraden skulle öka och möjliggöra sortering av fler plastsorter. Ökningen är dock marginell. Kemisk återvinning är däremot något som studien belyser som en värdefull ny teknik då den skulle möjliggöra återvinning av svårare plastsorter som är antingen uttjänta eller inte möjliga att materialåtervinna med dagens tekniker. Specifika tekniska förbättringar är inget som belyses i undersökta studier, Statens offentliga utredning menar däremot att statliga styrmedel skall användas generellt för att utveckla återvinningstekniker och subventionering av större projekt såsom ett plastraffinaderi eller utöka befintliga sorteringsanläggningar med andra system. Detta då med tanke på de osäkerheter som finns kring investeringar inom plaståtervinning.

7. Slutsats

Det krävs mer än tekniska lösningar för att öka materialåtervinningsgraden. Det som främst krävs är att kvaliteten på återvunnen plast kan säkerställas och på sätt nå nya marknader och användningsområden där jungfrulig plast kan ersättas med återvunnen. Detta hade ökat lönsamheten i återvunnen plast och därmed incitamenten för utveckling av nuvarande materialåtervinningsystem. Högre kvalitet kan uppnås genom förbättrad förpackningsdesign och rena flöden. Det ska även vara lönsamt för en producent att använda sig av återvunnen framför jungfrulig plast. Genom att subventionera användning av återvunnen plast eller öka skatten vid användning av jungfrulig plast kan detta bli möjligt. Bidrag från staten till forskningsprojekt kring alternativa avfallsbehandlings- och åtgärder som ökar kvaliteten är också en viktig del för att materialåtervinningsgraden ska öka. För att minska osäkerheten kring huruvida Kina öppnar för plastimport igen borde EU ställa krav på att det egna plastavfallet ska hanteras inom EU:s gränser. Dessa åtgärder skulle gynna aktörer inom plaståtervinning i EU vilket kan leda till fler aktörer på marknaden och därmed ge den svenska plasten ett kortare flöde.

Idag materialåtervinns endast 17 procent av de svenska plastförpackningarna, något som beror på att en stor del av förpackningarna inte går att sortera eller materialåtervinna med god kvalitet. För att förbättra siffran behöver producenterna se över sin produktdesign och börja tillverka förpackningar med god materialåtervinningsbarhet. Ett utökat producentansvar i syfte att förbättra återvinningsbarheten bedöms därmed kunna öka materialåtervinningsgraden. En bra produktdesign innebär att förpackningen är transparent eller ljust färgad, tillverkad i någon av de fyra vanligaste förpackningsplasterna och har små etiketter som är lätta att tvätta bort. Vidare ska tryck i plasten undvikas och istället ersättas med etiketter eller lasermärkning. Det vore även önskvärt att underlätta för konsumenterna när det gäller att göra mer hållbara val. En ökad medvetenhet hos konsumenterna hade satt press på producenterna att tillverka förpackningar som går att materialåtervinna med god kvalitet.

En ökad insamlingsgrad hade ökat materialåtervinningsgraden. Detta hade kunnat ske genom att upplysa och informera konsumenterna om vikten av att källsortera plastavfall samt underlätta källsorteringen och regeringen beslutade nyligen att införa fastighetsnära insamling. Ifall effekterna av denna åtgärd inte motsvarar förväntningarna gällande ökad insamlingsgrad kan ett retursystem vara ett alternativ, förutsatt att insamlingsgraden når samma grad som dagens PET-flaskor. Det finns dock en risk att marknaden blir mättad om den återvunna plasten inte kan användas till nya förpackningar. Ett slutet retursystem hade emellertid kunnat säkerställa de rena flöden som krävs för att garantera den höga slutkvalitet som livsmedelsförpackningar kräver, något som öppnat upp fler möjliga marknader.

Mycket av plasten sorteras bort på grund av produktdesignen snarare än sorteringsprocessen och förbättringar av dagens sorteringsteknik hade därför gett ett relativt lågt utslag på materialåtervinningsgraden. Insatserna bör istället riktas mot sådant som tydligt ökar materialåtervinningsgraden där återigen produktdesignen ligger i fokus. Detta då en förbättrad produktdesign hade kringgått många av de problem som uppstår vid sortering idag, såsom svårigheterna att sortera mörk plast.

Mekanisk återvinning är den metod som mest effektivt tar tillvara på materialet och den energi som tillverkningsprocessen kräver och bör därför tillämpas i största möjliga utsträckning. Mekanisk återvinning försämrar dock kvaliteten på materialet vilket ger plasten en begränsad livslängd. Idag går den uttjänta plasten till förbränning men förhoppningen är att den istället ska gå till kemisk återvinning som tar tillvara på råvaran i plastavfallet. Den kemiska återvinningen skulle öka materialåtervinningsgraden på två sätt,

dels för att den kan ta hand om uttjänt plast som inte går att återvinna mekaniskt men också för att det är en väg för att återskapa jungfrulig plast. Detta gör att den låga efterfrågan på återvunnen plast inte är en begränsning för kemisk återvinning. Kemisk återvinning kan dock bara återvinna 70 procent av råvaran i det ingående plastavfallet då resten används för att driva processen.

Ökade användningsområden för återvunnen plast är nödvändigt för att materialåtervinningsgraden ska öka. Om den återvunna plasten kan användas för livsmedelsförpackningar skulle det öppna upp för nya marknader och få upp efterfrågan på den återvunna plasten. Ett sätt att få in återvunnen plast i livsmedelsförpackningar är användning av godkända funktionella barriärer. Det är emellertid oklart hur en sådan barriär skulle utformas varför vidare forskning krävs. Andra sätt är att skapa slutna system som garanterar så hög kvalitet på den återvunna plasten att den får användas för livsmedelsförpackningar. Detta hade kunnat ske genom att sorteringen baseras på plastens tidigare användningsområde, något som är möjligt med slutna pantsystem eller fluorescerande etiketter. Tekniken med fluorescerande etiketter är emellertid fortfarande under utveckling varför det är bättre att satsa på att utveckla funktionella barriärer för återvunnen plast. Detta då denna åtgärds bedöms kunna utvecklas och implementeras inom en kortare tidsram.

Biobaserad plast bör inte vara ett alternativ så länge den blandas med konventionell plast eller hanteras i samma återvinningssystem. Detta då denna typ av plast inte kan materialåtervinnas utan enbart går till förbränning. Om tanken är att plasten ska gå till förbränning är biobaserade plaster emellertid ett bra alternativ eftersom biobaserad plast bidrar med mindre växthusgaser jämfört med konventionell plast. Biobaserade plaster innehåller dock oftast konventionell plast varpå flödet blir linjärt, något som inte är kompatibelt med cirkulär ekologi. För att nå en högre grad av materialåtervinning och högre kvalitet på återvunnen plast bör således konventionell plast inte blandas med biobaserade material.

Avslutningsvis kan det konstateras att det finns många åtgärder som hade förbättrat materialåtervinningsgraden. Efter denna studie är det dock tydligt att en förbättrad förpackningsdesign hade gett bäst utfall i förhållande till insatsen. Större ansvar bör därför läggas på producenterna gällande materialåtervinningsbarhet då en förbättrad förpackningsdesign hade inneburit bättre slutkvalitet och en större eftermarknad. Det är därför en bra första åtgärd som inte heller kräver någon beteendeförändring från konsumenter men ändå ger en relativt stor effekt på dagens materialåtervinningsgrad.

8. Rekommendationer

Följande rekommendationer ges för vidare utveckling inom ämnesområdet:

- Utföra studier på varför eller varför inte svenskar källsorterar plastavfall i större utsträckning än vad som sker idag.
- Utveckla tekniken med funktionella barriärer och framställa sådana så att de utgör ett effektivt skydd mot migration från den återvunna plasten till livsmedlet.
- Forska vidare på teknik som kan skapa fler slutna system, exempelvis fluorescerande etiketter.
- Se över hur en miljömärkning som garanterar god återvinningsbarhet av förpackningen skulle kunna utformas för att guida producenter och konsumenter mot mer hållbara val.
- Utföra studier som analyserar nya additiv som förbättrar de mekaniska egenskaperna på återvunnen plast, utan att påverka möjligheten till vidare materialåtervinning.

Källförteckning

- Alaerts, L., Augustinus, M., & Van Acker, K. (2018). Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics. *Sustainability*, 10(5), 1487.
- Al-Salem, S.M., Antelava, A., Constantinou A., Manos G., Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste. *Journal of Environmental Management* 197 (2017) 177-198.
- Bauer, M., Lehner, M., Schwabl, D., Flachberger, H., Kranzinger, L., Pomberger, R., & Hofer, W. (2018). Sink–float density separation of post-consumer plastics for feedstock recycling. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1781-1791.
- Bohlin, E. (2001). A new age of enlightenment?. *Foresight* 3(2). 87–93.
- Boustead, I. (2005). Eco-profiles of the European plastics industry. A report prepared for PlasticsEurope, Bruxelles, Belgium.
- Brems, A., Dewil, R., Baeyens, J., & Zhang, R. (2013). Gasification of plastic waste as waste-to-energy or waste-to-syngas recovery route.
- Czajczyńska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Reynolds, A. J., Spencer, N., & Jouhara, H. (2017). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 3, 171-197.
- Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O. & Anderson, R. (2018). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste Management*, 71(1), 52-61, doi. org/10.1016/j.wasman.2017.10.033
- DANREC A/S. (u.å). DAN-BOARD PLAIN. Hämtad 2019-05-12 från <https://www.danrec.dk/en/products/dan-board-plain.aspx>
- Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company. (2016). *The New Plastics Economy, Rethinking the Future of Plastics*. In *World Economic Forum*. Hämtad 2019-03-05 från https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/EllenMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf
- Energy Information Administration [EIA]. (2019). U.S. Field Production of Crude Oil. Hämtad 2019-03-12 från: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=MCRFPUS1&f=M>
- European Bioplastics. (2016). *What are bioplastics?* [Broschyr]. Hämtad från: https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf

European Bioplastics. (2018). *BIOPLASTICS facts and figures* [Broschyr]. Hämtad från:

https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf

EU-kommissionen. (2018a). A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Hämtad 2019-03-17 från:

http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf?fbclid=IwAR1Gwym-Y5-qDnYExAa3F8evTby_ldXjZjHgh2gT3qFli_e_6gwLq8BDE2I

EU-kommissionen. (2018b). Single-use plastics: New EU rules to reduce marine litter. Hämtad 2019-03-17 från: [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-18-3909_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-3909_en.htm).

Europaparlamentets och rådets förordning 1935/2004/EG om material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel. EUT L338/4. Hämtad från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?qid=1553776377160&uri=CELEX:32004R1935>

Europaparlamentet. (2018). *CO2 emissions from aviation* (4). Hämtad från:

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603925/EPRS_BRI\(2017\)603925_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603925/EPRS_BRI(2017)603925_EN.pdf)

Fleischman, T. (2017). Polymer additive could revolutionize plastics recycling. Cornell University.

Hämtad från <http://news.cornell.edu/stories/2017/02/polymer-additive-could-revolutionize-plastics-recycling>

Förenta nationerna [FN]. (2019). Climate Change. Hämtad 2019-04-08 från

<https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

Förordning om retursystem för plastflaskor och metallburkar (SFS 2005:220). Hämtad från Riksdagens

webbplats: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2005220-om-retursystem-for_sfs-2005-220

Förordning om producentansvar för förpackningar (SFS 2018:1462). Hämtad från Riksdagens

webbplats: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20181462-om-producentansvar-for_sfs-2018-1462

Förpacknings- och tidningsinsamlingen [FTI]. (2019a). Återvinningsstatistik. Hämtad 2019-03-15 från

<https://www.ftiab.se/180.html>

Förpacknings- och tidningsinsamlingen [FTI]. (2019b). Ny anläggning för sortering av

plastförpackningar. Hämtad 2019-04-24 från <https://www.ftiab.se/plastanlaggning.html>

Förpacknings- och tidningsinsamlingen [FTI]. (2019c). Om Förpackning- och Tidningsinsamlingen.

Hämtad 2019-02-06 från <https://www.ftiab.se/148.html>

Förpacknings- och tidningsinsamlingen [FTI]. (2019d). Från plastförpackning till blomkruka. Hämtad 2019-03-27 från <https://www.ftiab.se/839.html>

Förpacknings- och tidningsinsamlingen [FTI]. (u.å). Ny avgiftsstruktur för plastförpackningar. Hämtad 2019-03-25 från <https://www.ftiab.se/2509.html>

Gabriel, D. S., & Maulana, J. (2018). Impact of Plastic Labelling, Coloring and Printing on Material Value Conservation in the Products of Secondary Recycling. In *Key Engineering Materials* (Vol. 773, pp. 384-389). Trans Tech Publications.

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous materials*, 344, 179-199. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014

Hamman, C. W. (2010). *Energy for Plastic*. Stanford University, 24.

Hjertberg, T., & Andersson, H. (2011). *Inledande polymervetenskap*. Chalmers tekniska högskola.

Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., McCall, D. W., & Patel, C. K. (1992). Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(3), 793-797.

Jernkontoret. (u.å). Hämtad 2019-05-08 från <https://www.energihandbok.se/energinnehall-i-olja>

Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., & Singh, S. P. (2007). Compostability of bioplastic packaging materials: an overview. *Macromolecular bioscience*, 7(3), 255-277.

Kommissionens förordning 10/2011/EG om material och produkter av plast som är avsedda att komma i kontakt med livsmedel. EUT L12/1. Hämtad från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0010&rid=1>

Kommissionens förordning 2023/2006/EG om god tillverkningssed när det gäller material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel EUT L384/75. Hämtad från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R2023&rid=1>

Kommissionens förordning 282/2008/EG om återvunna plastmaterial och plastprodukter avsedda att komma i kontakt med livsmedel och ändring av förordning (EG) nr 2023/2006. EUT L86/9. Hämtad från EUR-lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008R0282&from=SV>

Kosior, E., Davies, K., Kay, M., Mitchell, J., Ahmad, R., Billiet, E. & Silver, J. (2014). *Optimising the use of machine readable inks for food packaging sorting*.

[http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Optimising the use of machine readable inks for food packaging sorting.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Optimising_the_use_of_machine_readable_inks_for_food_packaging_sorting.pdf)

Kosior, E., Mitchell, J., Davies, K., Kay, M., Ahmad, R., Billiet, E., & Silver, J. (2017). Plastic packaging recycling using intelligent separation technologies for materials (PRISM). In Proceedings of the ANTEC Conference, Anaheim, CA, USA (pp. 8-10).

Lavoisier, A. (1864) *Traité élémentaire de chimie*, Citat hämtad från: <http://www.lavoisier.cnrs.fr>

Lenngren, H. (2015, 25 juni) Affären bär för Miljösäck. *Dagens industri* [DI]. Hämtad från <https://www.di.se/di/artiklar/2015/6/26/affaren-bar-for-miljosack/>

Lindström, R. (2019, 23 februari). Här får du plastpant för snusdosa. *Dagens nyheter* [DN]. Hämtad från <https://www.dn.se/ekonomi/har-far-du-plastpant-for-snusdosa/>

Livsmedelsverket. (2019). Material i kontakt med livsmedel. Hämtad 2019-03-28 från <https://www.livsmedelsverket.se/produktion-handel--kontroll/lokaler-hantering-och-hygien/material-i-kontakt-med-livsmedel>

MarketWatch. (2019). Global Recycled Plastic Market Analysis and Future Growth Trends 2018-2025 with 2017 as the Actual year and 2016 as the Historical Year - ResearchAndMarkets.com. Hämtad 2019-05-07 från <https://www.marketwatch.com/press-release/global-recycled-plastic-market-analysis-and-future-growth-trends-2018-2025-with-2017-as-the-actual-year-and-2016-as-the-historical-year---researchandmarketscom-2019-03-28>

Material Economics. (2018). *Ett värdebeständigt svenskt materialsystem - En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv*. Hämtad från <http://databas.resource-sip.se/storage/vardebestmtrlssystemrapport180118.pdf>

Mellor, W., Wright, E., Clift, R., Azapagic, A., & Stevens, G. (2002). A mathematical model and decision-support framework for material recovery, recycling and cascaded use. *Chemical Engineering Science*, 57(22-23), 4697-4713. doi.org/10.1016/S0009-2509(02)00282-8

Milios, L., Christensen, L. H., McKinnon, D., Christensen, C., Rasch, M. K., & Eriksen, M. H. (2018). Plastic recycling in the Nordics: A value chain market analysis. *Waste Management*, 76, 180-189.

Morrish, L., Morton, R., Myles, N., and Wilkinson, S. (2010). *Good Practice Guidance: Near Infrared sorting of household plastic packaging*. Hämtad från <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/NIR%20Good%20practice%20guidance%20for%20existing%20NIR%20users%20Final.pdf>

Nasdaq. (2019). Crude Oil. Hämtad 2019-03-10 från: <https://www.nasdaq.com/markets/crude-oil.aspx?timeframe=10y>

Naturskyddsföreningen. (2014). *Allt du (inte) vill veta om plast*. Hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/Plastrapporten.pdf>

Naturvårdsverket. (2018a). *Sveriges återvinning av förpackningar och tidningar - Uppföljning av producentansvar för förpackningar och tidningar 2017*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/mark/avfall/forpackningsrapport-2017-20181112.pdf>

Naturvårdsverket. (2018b). Deponering av avfall - Vägledning om regelverket inom deponeringsområdet. Hämtad 2019-04-08 från <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Avfall/Deponering-av-avfall/>

Naturvårdsverket. (2019a). Plaståtervinning och hantering av plastavfall. Hämtad 2019-02-07 från: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Plast/Atervinning-och-avfall/>

Naturvårdsverket. (2019b). Resultat av producentansvaret. Hämtad 2019-03-25 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Mark/Avfall/Resultat-producentansvaret/>

Medelius, R. (2016, 6 december). Förslag om pant på plastkassar. *Sveriges Radio*. Hämtad från <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=160&artikel=6578002>

Papaspyrides, C. D., Voultzatis, Y., Pavlidou, S., Tsenoglou, C., Dole, P., Feigenbaum, A., ... & Aucejo, S. (2005). A new experimental procedure for incorporation of model contaminants in polymer hosts. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, 21(4), 243-260.
doi.org/10.1177/147776060502100401

Plastics Europe. (2017). *Plastics – the Facts 2017. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data*. Hämtad från https://www.plasticseurope.org/application/files/1715/2111/1527/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website.pdf

Plastics Europe. (2018). *Plastics – the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Hämtad från https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf

Plastics Information Europe [PIE]. (2019). Plastixx - PIE Polymer Price Index. Hämtad 2019-03-02 från: <https://pieweb.plasteurope.com/default.aspx?pageid=211>

Plasticportal.eu. (2019). Average monthly resin prices. Hämtad 2019-03-04 från:
<https://www.plasticportal.eu/en/polymer-prices/lm/14/>

Regeringskansliet. (2018a). Regeringen vill se mer fastighetsnära insamling av förpackningsavfall och returpapper. Hämtad 2019-05-07 från
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/03/regeringen-vill-se-mer-fastighetsnara-insamling-av-forpackningsavfall-och-returpapper/>

Regeringskansliet. (2018b). Mer tillgänglig källsortering nära hemmet. Hämtad 2019-05-07 från
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/06/mer-tillganglig-kallsortering-nara-hemmet/>

Rozenstein, O., Puckrin, E., & Adamowski, J. (2017). Development of a new approach based on midwave infrared spectroscopy for post-consumer black plastic waste sorting in the recycling industry. *Waste Management*, 68, 38-44.

Ruj, B., Pandey, V., Jash, P., & Srivastava, V. K. (2015). Sorting of plastic waste for effective recycling. *International Journal of Applied Science and Engineering Research*, 4(4), 564-571.

Rujnić-Sokele, M., & Pilipović, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management & Research*, 35(2), 132-140.

Statistiska centralbyrån [SCB]. (2019). Export av anmälningspliktigt avfall (ton) efter egenskap, mottagarland, avfallsslag, behandlingstyp och år. Hämtad 2019-05-15 från
http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0308/MI0308T05/table/tableViewLayout1/?rxid=3a1b4246-ea2b-41f5-8759-92ab0244d00c

Schlummer, M. (2014). Recycling of postindustrial and postconsumer plastics containing flame retardants. *Polymer Green Flame Retardants*, 869-889. doi.org/10.1016/B978-0-444-53808-6.00025-1

Shent, H., Pugh, R. J., & Forssberg, E. (1999). A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 25(2), 85-109. doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00032-4

Soroudi, A., & Jakubowicz, I. (2013). Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. *European Polymer Journal*, 49(10), 2839-2858. doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.07.025

SOU 2018:84. *Det går om vi vill - förslag till en hållbar plastanvändning*. Stockholm: Norstedts Juridik AB. Hämtad från
<https://www.regeringen.se/4aeebe/contentassets/9286487f6ecb45e2a2de0f90bfee8e8/det-gar-om-vi-vill--forslag-till-en-hallbar-plastanvandning-sou-201884>

Statista. (2019). Production of polyester fibers worldwide from 1975 to 2017 (in 1,000 metric tons). Hämtad 2019-05-10 från <https://www.statista.com/statistics/912301/polyester-fiber-production-worldwide/>

Umwelt Bundesamt. (u.å). Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen 2017 - Import. Hämtad 2019-02-20 från https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/grenzueberschreitende_verbringung_von_zustimmungspflichtigen_abfaellen_import_2017.pdf

Svensk Plastindustriförening (SPIF). (2019). *Bra Plastförpackningar - Manual för hur bra plastförpackningar blir återvinningsbara till ny råvara och kan ingå i en cirkulär ekonomi* [internt material]. Finspång: Svensk Plastindustriförening, SPIF

The Fiber Year Consulting. (2018). *The Fiber Year 2018 - World Survey on Textiles and nonwoven* (18). Hämtad från <https://www.thefiberyear.com/fileadmin/pdf/TFY2018TOC.pdf>

The Statistics Portal. (2019a). Global plastic production from 1950 to 2017 (in million metric tons). Hämtad 2019-04-10 från <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

The Statistics Portal. (2019b). Total resin production in the United States from 2008 to 2017 (in million pounds). Hämtad 2019-02 från <https://www.statista.com/statistics/203398/total-us-resin-production-from-2008/>

Van den Oever, M., Molenveld, K., van der Zee, M., & Bos, H. (2017). *Bio-based and biodegradable plastics - facts and figures: focus on food packaging in the Netherlands* (1722). Hämtad från <http://edepot.wur.nl/408350>

Villanueva, A., & Eder, P. (2014). *End-of-waste criteria for waste plastic for conversion*. Hämtad från Europeiska kommissionens webbplats <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC91637/2014-jrc91637%20.pdf>

Världsnaturfonden. (2019). Vi har alltid behövt haven. Nu behöver haven oss. Hämtad 2019-05-10 från <https://www.wwf.se/hav-och-fiske/hav-i-varlden/>

Weiland, F. (2015). *Pressurized entrained flow gasification of pulverized biomass: Experimental characterization of process performance*. (Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet, Luleå). Hämtad från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:991619/FULLTEXT01.pdf>

Wiinikka, H., Wennebro, J., Gullberg, M., Pettersson, E. & Weiland, F. (2017) Pure oxygen fixed-bed gasification of wood under high temperature (>1000 C) freeboard conditions. *Applied Energy*, 191(1), 153–162. doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.054

Zheng, Y., Bai, J., Xu, J., Li, X., & Zhang, Y. (2018). A discrimination model in waste plastics sorting using NIR hyperspectral imaging system. *Waste Management*, 72, 87-98.

Žmak, I. & Hartmann, C. (2017) Current state of the plastic waste recycling system in the European union and in Germany. *Tehnički Glasnik 11*(3), 138-142. Häntad från <https://hrcak.srce.hr/186661>

Bilaga A - Beräkningar

Beräkningar på plastens flöde

Insamlad plast totalt i Sverige borträknat matrester: $95\,500 * (1-0,25) = 71\,625$ ton

Beräkningar på energiåtgången vid plasttillverkning

$W=J/s$, $W_s=J$, $W_h=3600\,J$, $(MJ/kg)/3,6=MWh/ton$

Enligt Boustead (2005) är energiåtgången för att tillverka PP $73.37\,MJ/kg = 20,4\,MWh/ton$.

Boustead (2005) uppger vidare att energiåtgången för att tillverka PET är $80.75\,MJ/kg = 22,4\,MWh/ton$

Enligt Hamman (2010) var US primary consumption $1,0 \times 10^{20}\,J$ (2008) varav mellan 2,5 och 4 % uppskattades gå åt till plastproduktion (d.v.s., $2,5 \times 10^{18} - 4,0 \times 10^{18}\,J$).

Enligt The Statistics Portal (2019b) uppgick den totala plastproduktionen i USA 2008 till 45,3 milj ton. Det ger mellan $55000\,J/g=15.27\,MWh/ton$ och $85\,kJ/g=23.61\,MWh/ton$.

Beräknad genomsnittlig energiåtgång för att tillverka plast: $(20.4+22.4+15.27+23.61)/4=20,1\,MWh/ton$
 $\approx 20\,MWh/ton$

Beräkningar på energiinnehållet i olja

$(GJ/m^3)/(kg/m^3) = GJ/kg = 10^3\,MJ/kg$

Enligt Jernkontoret (2019) ligger det effektiva värmevärdet för olja mellan $35,8-38,7\,GJ/m^3$ och oljans densitet ligger mellan $840-940\,kg/m^3$. Detta ger ett energivärde på olja mellan $38,0-46,1\,MJ/kg$ vilket är samma sak som $10,5-12,8\,MWh/ton$. Genomsnittet för detta $(10,5+12,8)/2 = 11,65 \approx 12\,MWh/ton$

Jämförelse plastanvändning i textilier mot förpackningar

Plastanvändning i förpackningar = $348*0,4$ (Plastics Europe, 2017) = 139 miljoner ton.

Plastanvändning i textilier = 65 miljoner ton, $65/139 = 0,47 = 47\%$ av mängden plast som används i förpackningar.

Polyesteranvändning i textilier = 53,7 miljoner ton, $53,7/139 = 0,39 = 39\%$ procent av mängden plast som används i förpackningar.

Beräkningar på utfallet och olika förbättringsåtgärder

För att kunna jämföra hur olika förbättringsåtgärder påverkar den totala materialåtervinningsgraden räknas den totala materialåtervinningsgraden ut som:

$$\text{Insamlingsgraden} * \text{Materialåtervinningsgraden} = \text{Total materialåtervinningsgrad}$$

Vidare antas det i beräkningarna att den insamlade plasten har samma fördelning som plasten på marknaden har vilket visas i Figur 5, med den skillnad att en stor del av den PET som finns på marknaden antas gå till dagens befintliga pantsystem för PET-flaskor. Därför har antagandet gjorts att den PET som går till insamling utanför pantsystemet är 30 procent av den totala PET:en på marknaden. Detta ger en fördelning av den insamlade plasten enligt följande:

Övrig plast: 26 procent

PET: 8 procent

HDPE: 19 procent

LDPE: 31 procent

PP: 16 procent

Återvinningsgraden bygger på Figur 16 där 39,4 procent idag går att materialåtervinna samt har en eftermarknad, 24,6 procent går att materialåtervinna men gör inte det idag på grund av bristande efterfrågan och 36,0 procent inte går att återvinna med dagens tekniker.

Idag är insamlingsgraden 0,44 enligt Naturvårdsverket (2019a) och materialåtervinningsgraden 0,394 enligt FTI (2019c). Detta ger en total materialåtervinningsgrad på $0,17 = 17$ procent enligt $0,44 * 0,394 = 0,17336 \approx 0,17$

För att beräkna utfallet av förbättringsåtgärder i dagens system, har varje åtgärd behandlats separat. Implementeras flera åtgärder samtidigt kommer dessa påverka varandra på grund av att de är sammankopplade i ett flöde. Procentsatserna ska därför ses separat som en vägledning på vilka insatser som gör störst skillnad.

Design för återvinningsbarhet

Antar att de 36 procent som idag inte går att återvinna ersätts med förpackningar som har en design som är återvinningsbar. De 36 procent som ersätts med återvinningsbara förpackningar förhåller sig till den efterfrågan som råder på marknaden idag enligt Figur 16:

$$39,4/64 = 0,615$$

$$0,44 * (0,4 + 0,36 * 0,615) = 0,2734 \approx 0,27$$

Den totala materialåtervinningsgraden baserat på detta antagandet blir då 27 procent vilket är en ökning med 10 procentenheter från dagens 17 procent.

Öka insamling till följd av retursystem

Antagandet är baserat på ett retursystem som skulle omfatta den plast som idag har en efterfrågan som återvunnet material, det vill säga hårdplasterna HDPE och PP, samt att insamlingsgraden för detta retursystemet skulle vara samma som för dagens retursystem för PET-flaskor på 84 procent. Vidare antas att detta ses som ett tillägg till dagens system samt att all insamlad plast via retursystemet materialåtervinns. 35 procent av förpackningarna består av hårdplast som är HDPE och PP:

$$0,44 * 0,4 + (1 - 0,44) * 0,35 * 0,84 * 1 \approx 0,34$$

Den totala materialåtervinningsgraden baserat på detta antagandet blir då 34 procent vilket är en ökning med 17 procentenheter från dagens 17 procent.

Förbättrad sortering med MWIR

Antagandet är baserat på att ingen återvinningsbar plast sorteras ut med MWIR, andel bortsorterad plast baserat på siffror i Tabell 1.

Plasttyp	Andel av plastförpackningar	Andel bortsorterad av NIR	Andel bortsorterad plast
HDPE	0,19	1 - 0,89	0,0209
PET	0,08	1 - 0,80	0,016
PP	0,16	1 - 0,58	0,0672
Totalt	0,43		0,1041

Andel av den totala plasten som blir bortsorterad i NIR:

$$0,43 * 0,1041 = 0,0447 \approx 0,04$$

$$0,44 * (0,4 + 0,04) = 0,1936 \approx 0,19$$

Den totala materialåtervinningsgraden baserat på detta antagandet blir då 19 procent vilket är en ökning med 2 procentenheter från dagens 17 procent.

Kemisk återvinning

Antagandet är baserat på att den plast som idag inte går till mekanisk återvinning till följd av dålig återvinningsbarhet eller liten eftermarknad istället går till kemisk återvinning. Detta innebär enligt Figur 16 att 60,6 procent av den insamlade plasten går till kemisk återvinning. Vidare antas att 20

procent av detta plastavfall består av övriga plasttyper som inte har visat på gott resultat vid kemisk återvinning. Vidare antas att 70 procent av materialet återvinns genom kemisk återvinning.

$$0,44 * (0,4 + 0,606 * 0,8 * 0,7) = 0,3253 \approx 0,33$$

Den totala materialåtervinningsgraden baserat på detta antagandet blir då 33 procent vilket är en ökning med 16 procentenheter från dagens 17 procent.

Ökad efterfrågan

Antagandet är baserat på att den andel plast som idag inte materialåtervinns på grund av låg efterfrågan skulle materialåtervinnas om efterfrågan ökade.

$$0,44 * (0,4 + 0,24) = 0,2816 \approx 0,28$$

Den totala materialåtervinningsgraden baserat på detta antagandet blir då 28 procent vilket är en ökning med 11 procentenheter från dagens 17 procent.

Bilaga B - Intervjuobjekt

Namn	Yrkesroll	Datum	Intervjuform
Anonym	Ett företag som tar fram nya förpackningslösningar	2019-03-27	Telefonintervju
Ahlström, Einar	Materialspecialist på FTI	2019-02-19	Mailintervju
Algotsson, Jens	Materialförsäljningsansvarig på FTI	2019-02-22	Mailintervju
Andersson, Hans	F.d. VD på Hans Andersson Recycling	2019-01-25	Telefonintervju
Andersson, Leif	VD på Plaståtervinning Wermland AB	2019-03-26	Telefonintervju
Boss, Annika	Expert i Polymera Material hos Swerea	2019-03-18	Fysisk intervju
Dahl, Thor	Area Sales Manager G9	2019-03-28	Telefonintervju
De Flon, Christopher	Miljökommunikatör på Renova	2019-02-25	Fysisk intervju
Hartwall, Peter	Application Development Manager och Project Manager på Schoeller Allibert	2019-03-27	Telefonintervju
Heyne, Stefan	Teknisk doktor inom industriteknik	2019-02-06	Fysisk intervju
Josefsson, Lars	F.d. Professor of the Practice, Hållbar utveckling samt Klusterledare på Västsvenska Kemi- och Materialklustret	2019-02-06	Fysisk intervju
Karlsson, Leif	VD på Swerec	2019-03-21	Fysisk intervju
Krantz, Anders	Key Account Manager på Swerec	2019-03-21	Fysisk intervju
Krüger, Stephan	Business Development Manager på Neste	2019-01-26	Telefonintervju

Maddison, Elisabet	VD och ägare av E&K Möbler AB	2019-03-11	Telefonintervju
Nath, Samar	Projektledare för avfall-till-energi på Usitall	2019-01-25	Telefonintervju
Nilsson, Leif	Ordförande för Svensk Plastindustriförening SPIF	2019-03-08	Telefonintervju
		2019-03-26	Telefonintervju
Roosma, Ain	Export Sales Manager på Scandinavia Neular	2019-03-28	Telefonintervju
Weiland, Fredrik	Forskare inom förgasning	2019-03-25	Telefonintervju