

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja • Yritykset • 2019:64

Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa



Työ- ja elinkeinoministeriö
Arbets- och näringsministeriet

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2019:64

Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa

Työ- ja elinkeinoministeriö

ISBN PDF: 978-952-327-476-1

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2019

Kuvailulehti

Julkaisija	Työ- ja elinkeinoministeriö		16.1.2020
Tekijät	Solveig Roschier, Jenni Mikkola, Ulla Värre, Mari Saario, Gaia Consulting Oy		
Julkaisun nimi	Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2019:64		
Diaari/hankenumero	VN/9907/2019	Teema	Yritykset
ISBN PDF	978-952-327-476-1	ISSN PDF	1797-3562
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-476-1		
Sivumäärä	111	Kieli	suomi
Asiasanat	muovi, kemiallinen kierrätys, termokemialliset prosessit, pyrolyysi, kaasutus, kiertotalous		
Tiivistelmä	<p>Selvityksessä arvioidaan muovijätteen kemiallisen kierrätyksen potentiaalia Suomessa kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen pohjalta.</p> <p>Haasteiksi muovin kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntymiseksi Suomeen nousivat: 1) Kemiallisen kierrätyksen markkinat ovat kansainvälisiä ja suomalaisten ratkaisujen on oltava osa eurooppalaisia arvoketjuja. Tutkimus, kehitys ja demonstrointi kotimaassa nostaa olennaisen osaamisen riittävälle tasolle kansainvälisiin arvoketjuihin pääsemiseksi. 2) Markkinan luomiseksi tarvitaan standardi edistämään kemiallisesti kierrätetyn muovin markkinoimista lopputuotteiden raaka-aineena. 3) Lainsäädäntö ja sen yhtenäistäminen Euroopassa on tärkeää markkinoiden syntymiseksi. Tarvitaan joustava muovijätteen ja välituotteen liikkuvuus, tehokas paikallinen keräys ja lajittelu, sekä riittävä muovijätteen saatavuus.</p> <p>Suomen potentiaalisia kilpailutekijöitä ovat: 1) erilliskeräysoasaamisen tuotteistaminen green deal-pohjaiseksi palveluksi; 2) muovijätteen lajitteluun liittyvät teknologiat; 3) kemiallisen prosessoinnin teknologiat; 4) puhtauden, hygienian ja turvallisuuden analytiikka ja diagnostiikka; 5) infrastruktuuri (esim. öljynjalostamoja, krakkeri) välituotteen prosessoimiseksi muoviteollisuuden raaka-aineeksi; ja 6) mahdollisuus markkinoiden luontiin kierrätysmuovin massatasejärjestelmää kokeilemalla.</p> <p>TEM:n yhteyshenkilö: Mika Honkanen, mika.honkanen(at)tem.fi, puh. +358 295 064 904</p>		
Kustantaja	Työ- ja elinkeinoministeriö		
Julkaisun jakaja/myynti	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi		

Presentationsblad

Utgivare	Arbets- och näringsministeriet	16.1.2020	
Författare	Solveig Roschier, Jenni Mikkola, Ulla Värre, Mari Saario, Gaia Consulting Ltd		
Publikationens titel	Metoder och marknad för kemisk återvinning av plastavfall i en cirkulär ekonomi		
Publikationsseriens namn och nummer	Arbets- och näringsministeriets publikationer 2019:64		
Diarie-/ projektnummer	VN/9907/2019	Tema	Företag
ISBN PDF	978-952-327-476-1	ISSN PDF	1797-3562
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-476-1		
Sidantal	111	Språk	finska
Nyckelord	plast, kemisk återvinning, termokemiska processer, pyrolys, förgasning, cirkulär ekonomi		
Referat	<p>I utredningen bedöms potentialen att återvinna plastavfall på kemisk väg i Finland. Bedömningen baserar sig på en litteraturoversikt och intervjuer.</p> <p>Uppkomsten av en marknad för kemisk återvinning av plast i Finland är förenad med följande utmaningar: 1) Marknaden för kemisk återvinning är internationell och de finländska lösningarna bör ingå i europeiska värdekedjor. Forskning, utveckling och demonstration i hemlandet höjer den relevanta kompetensen till en tillräcklig nivå för att det ska vara möjligt att komma med i internationella värdekedjor. 2) För att skapa en marknad behövs det en standard som kan underlätta marknadsföringen av kemiskt återvunnen plast som råvara för slutprodukter. 3) Lagstiftningen och arbetet för att förenhetliga den i Europa är viktigt för att det ska uppstå en marknad. Det behövs flexibel rörlighet för plastavfall och mellanprodukter, effektiv lokal insamling och sortering samt tillräcklig tillgång till plastavfall.</p> <p>Möjliga konkurrensfaktorer för Finland: 1) produktifiering av kunnandet inom separat insamling i form av en Green Deal-baserad tjänst, 2) tekniker för sortering av plastavfall, 3) tekniker för kemisk bearbetning, 4) analys och diagnostik när det gäller renhet, hygien och säkerhet, 5) infrastruktur (t.ex. oljeraffinaderier, krackning) för bearbetning av mellanprodukter till råvara för plastindustrin, och 6) möjligheter att skapa en marknad genom att testa ett materialbalanssystem för återvunnen plast.</p> <p>Kontaktperson vid arbets- och näringsministeriet: Mika Honkanen, mika.honkanen(at)tem.fi, tfn +358 295 064 904</p>		
Förläggare	Arbets- och näringsministeriet		
Distribution/ beställningar	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: vnjulkaisumyynti.fi		

Description sheet

Published by	Ministry of Economic Affairs and Employment		16.1.2020
Authors	Solveig Roschier, Jenni Mikkola, Ulla Värre, Mari Saario, Gaia Consulting AB		
Title of publication	Chemical recovery solutions and the market for plastic waste in the circular economy		
Series and publication number	Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment 2019:64		
Register number	VN/9907/2019	Subject	Enterprises
ISBN PDF	978-952-327-476-1	ISSN (PDF)	1797-3562
Website address (URN)	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-476-1		
Pages	111	Language	Finnish
Keywords	plastic, chemical recycling, thermochemical processing, pyrolysis, gasification, circular economy		
<p>Abstract</p> <p>The study assesses the potential for chemical recycling of plastic waste in Finland based on a literature review and interviews.</p> <p>The study identified the following challenges for creating a market for the chemical recycling of plastics in Finland: 1) The chemical recycling market is international and Finnish solutions must be part of European value chains. Research, development and demonstration in Finland will bring the necessary competences up to the level needed to access international value chains. 2) In order to create a market, there must be a standard for promoting the marketing of chemically recycled plastic as a raw material for end products. 3) Legislation and the harmonisation thereof at the European level are important for the creation of a market. A successful market requires flexible mobility of plastic waste and intermediate products, efficient local collection and sorting and sufficient availability of plastic waste.</p> <p>Potential competitive advantages for Finland include: 1) productisation of separate collection expertise as a green deal-based service; 2) technologies related to the sorting of plastic waste; 3) chemical processing technologies; 4) analysis and diagnostics of purity, hygiene and safety; 5) infrastructure (e.g. oil refineries, crackers) for processing intermediate products into raw materials for the plastics industry; and 6) the possibility to create a market by testing a mass balance system for recycled plastic.</p> <p>Contact person at the Ministry of Economic Affairs and Employment: Mika Honkanen, mika.honkanen(at)tem.fi, tel. +358 295 064 904</p>			
Publisher	Ministry of Economic Affairs and Employment		
Distributed by/ publication sales	Electronic version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Publication sales: vnjulkaisumyynti.fi		

Sisältö

Tiivistelmä	9
Sammanfattning	11
Abstract	13
1 Johdanto	15
1.1 Muovien käytön tilanne	15
1.2 Selvityksen tavoite ja toteutus.....	18
2 Muovin kemiallinen kierrätys	21
2.1 Kemiallinen kierrätys uutena vaihtoehtona.....	21
2.2 Kemiallisen kierrätyksen menetelmät.....	23
2.3 Kemiallisen kierrätyksen menetelmien kestävyysnäkökulmia	30
2.4 Muovijäte-ennusteet ja potentiaali kemialliselle kierrätykselle	33
2.5 Muovin kemiallisen kierrätyksen toimijoita Suomessa	35
2.6 Muovin kemiallisen kierrätyksen esimerkkejä maailmalla.....	37
3 Haastattelujen yhteenveto	44
3.1 Muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnan kannattavuuden edellytyksiä	45
3.2 Materiaalivirtatarpeet muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnalle	49
3.3 Suomalaisten toimijoiden osaaminen ja vahvuudet.....	51
3.4 Liiketoiminnan kannalta olennaiset kestävyysnäkökulmat	52
3.5 Sääntely-ympäristö mahdollistajana	53
4 Johtopäätökset	55
4.1 Muovin kemiallisen kierrätyksen potentiaali ja reunaehdot	55
4.2 Kemiallisen kierrätyksen soveltuvuus ja vaikutukset Suomessa.....	58
4.3 Johtopäätösten peilaus muovitiekartan toimenpiteisiin.....	59
4.4 Yhteenveto johtopäätöksistä.....	63

5 Haastattelujen analyysiin perustuvia ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi	65
Liite 1 Kierrätyksen sääntely-ympäristö.....	67
Liite 2 Muovijätteen kierrätys Suomessa	75
Liite 3 Haastattelujen tuloksia	82
Liite 4 Haastatellut henkilöt ja ohjausryhmä.....	108
Liite 5 Haastattelukysymykset	110

TIIVISTELMÄ

Muovi on talouden yleinen materiaali, jota käytetään keveytensä, kestävyytensä ja reagoimattomuutensa vuoksi käytännössä kaikilla talouden sektoreilla. Maailman kaikesta muovijätteestä vain noin 16 % kierrätetään ja yli puolet muovituotteista on kertakäyttöisiä. Samanaikaisesti myös muovin kierrättämisestä syntyvä potentiaalisesti merkittävä liiketoiminnallinen arvo jää hyödyntämättä. Euroopassa muoviala on seitsemänneksi suurin teollisuuden lisäarvon synnyttäjä. EU:n tavoitteena on nostaa muovin kierrätys 55 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Jotta muovin kierrätyksen tuleva tavoitetaso saavutetaan, mekaanisen kierrätyksen rinnalle tarvitaan muovin kemiallista kierrätystä, jonka avulla kierrätystä voidaan laajentaa tällä hetkellä siihen kelpaamattomiin tai vaikeasti kierrätettäviin muoveihin.

Tässä työssä arvioidaan muovijätteen kemiallisen kierrätyksen soveltuvuutta ja vaikutuksia Suomessa sekä selvitetään kemiallisen kierrätyksen potentiaalia ja siihen liittyviä reunaehtoja. Selvityksen toteutti Gaia Consulting Oy kesä-marraskuussa 2019. Työn tulokset perustuvat julkisista lähteistä saatavilla olevaan kirjallisuuskatsaukseen sekä 25 asiantuntijan haastatteluun sekä Suomessa että kansainvälisesti.

Keskeisimmät esteet ja puutteet muovin kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntyä Suomessa ovat: 1) Kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ja markkinat ovat kansainvälisiä. Suomen yksin liian pienenä kaupallisen skaalan markkinana on ajateltava lähtökohtaisesti olevan osa eurooppalaista markkinaa. Tutkimus- ja kehitystyö sekä demonstroiointi kotimaassa mahdollistaisi olennaisen osaamisen nostamisen riittävälle tasolle kansainvälisiin arvoketjuihin pääsemiseksi. 2) Markkinan luomiseksi tarvitaan standardi/järjestelmä, joka edesauttaa kemiallisen kierrätyksen menetelmin kierrätetyn muovin markkinoimista lopputuotteiden raaka-aineena. Esimerkiksi yritysten standardiksi ajama massatasejärjestelmä on tällainen. 3) lainsäädännöllä ja sen yhtenäistämällä Euroopan tasolla on tärkeä rooli markkinoiden

syntymisen edesauttajana. Parhaimmillaan säädökset edesauttavat paikallisesti toimivia yrityksiä pääsemään mukaan eurooppalaisiin arvoketjuihin – tarvitaan helppo muovijätteen ja välituotteen liikkuvuus, tehokas paikallinen keräys ja lajittelu, sekä riittävä paikallinen muovijätteen saatavuus.

Suomen potentiaaliset kilpailulliset vientikärjet arvoketjun varrella ovat: 1) erilliskeräysosaamisen tuotteistaminen green deal-pohjaiseksi palvelutuotteeksi; 2) muovijätteen lajitteluun (karakterisointiin) liittyvät teknologiat; 3) kemiallisen prosessoinnin teknologiat, erityisesti biotekninen ja pyrolyysi, myös kaasutus, jotka tosin vaativat edelleen kehittämistä soveltuviksi muovijätteen prosessointiin; 4) analytiikka ja diagnostiikka puhtauden, hygienian ja turvallisuuden takaamiseksi prosessin eri vaiheisiin; 5) se, että Suomessa on olemassa olevaa tarvittavaa infrastruktuuria (esim. öljynjalostamoja, krakkeri) välituotteen prosessointiin muoviteollisuuden raaka-aineeksi; ja 6) mahdollisuus kierrätysmuovin markkinoiden luomiseksi Suomeen eturintamassa kokeilemalla kierrätysmuovin massatasejärjestelmän toimeenpanoa vihreän sähkön tavoin.

SAMMANFATTNING

Plast är ett användbart material på grund av att det är lätt, hållbart och inert och plast används praktiskt taget inom alla ekonomiska sektorer. Endast cirka 16 % av allt plastavfall i världen återvinns och mer än hälften av alla plastprodukter är i engångsbruk. Det betyder också att det potentiella ekonomiska värdet från återvinning av plast förblir outnyttjat. I Europa är plastsektorn den sjunde största källan till mervärde i industrin. EU har som målsättning att öka återvinningen av plast till 55 % till år 2030. För att nå den framtida nivån för plaståtervinning krävs det förutom mekanisk återvinning även kemisk återvinning, som kan omfatta plast som för närvarande är omöjlig eller svår att återvinna.

Detta arbete utvärderar lämpligheten och effekterna av kemisk återvinning av plastavfall i Finland och undersöker potentialen och ramvillkoren för kemisk återvinning. Studien genomfördes av Gaia Consulting Oy i juni-november 2019. Resultaten baserar sig på en litteraturöversikt av offentligt tillgängliga källor och intervjuer med 25 experter både i Finland och internationellt.

De viktigaste hindren för uppkomsten av en kemisk återvinningmarknad för plast i Finland är följande. (1) Värdekedjorna och marknaderna för kemisk återvinning är internationella. Finlands marknadsstorlek är för liten för att vara kommersiellt lukrativ och den bör betraktas som en del av den europeiska marknaden. Satsningar på forskning och utveckling samt demonstrationsverksamhet i hemlandet skulle göra det möjligt att höja kunskapsnivån tillräckligt för att få tillträde till internationella värdekedjor, särskilt när det gäller kemisk återvinning av plast. (2) För att skapa en marknad behövs en standard / system som underlättar marknadsföringen av kemiskt återvunnen plast som råmaterial för slutprodukter. Massbalanssystemet, vars standardisering drivs av företag, är ett exempel på detta. (3) En harmonisering av lagstiftningen på europeisk nivå har en viktig roll att spela när det gäller att bidra

till uppkomsten av en marknad. I bästa fall hjälper förordningarna lokalt baserade företag att engagera sig i europeiska värdekedjor. Det behövs obehindrad rörlighet för plastavfall och mellanprodukter, och på det lokala planet behövs effektiv insamling och sortering och tillräcklig tillgång till plastavfall.

Finlands potentiella exportstyrkor i värdekedjan är: 1) utformningen av en green deal-baserad tjänsteprodukt baserad på kompetens inom separat insamling; 2) teknologier för sortering (karaktisering) av plastavfall; 3) kemiska bearbetningstekniker, särskilt bioteknik och pyrolys inklusive förgasning, förutsatt att de vidareutvecklas för behandling av plastavfall; 4) analys och diagnostik för säkerställande av renhet, hygien och säkerhet i processens olika faser; 5) förekomsten av nödvändig infrastruktur i Finland (t.ex. oljeraffinaderier, kracker) för omvandling av mellanprodukter till råmaterial för plastindustrin; samt 6) möjligheten att vara en föregångare i skapandet av en marknad för återvunnen plast, genom försök att implementera ett massbalanssystem för återvunnen plast i likhet av systemet för grön el.

ABSTRACT

Plastic is a common material and is used in virtually all sectors of the economy due to its lightness, durability and inertness. Only about 16 % of all plastic waste in the world is recycled and more than half of it is disposable. At the same time, the potentially significant business value from recycling of plastics remains untapped. In Europe, the plastics sector is the seventh largest source of industrial added value. The EU aims to increase plastic recycling to 55 % by 2030. In order to reach the future target level of plastic recycling, chemical recycling is needed alongside mechanical recycling to be able to expand recycling to currently unsuitable or difficult-to-recycle plastics.

This study evaluates the suitability and effects of chemical recycling of plastic waste in Finland and explores the potential of chemical recycling and the related boundary conditions. The study was carried out by Gaia Consulting Oy in June-November 2019. The results of the work are based on a literature review from publicly available sources and interviews with 25 experts both in Finland and internationally.

The main obstacles and shortcomings in the emergence of a chemical recycling market for plastics in Finland are: 1) The value chains and markets for chemical recycling are international. Finland's market size, which is too small for commercial scale-up alone, must in principle be considered as part of the European market. Research, development and demonstration in the home country would allow increasing essential capacities to a sufficient level to reach international value chains. (2) In order to create a market, a standard / system is needed to facilitate the marketing of chemically recycled plastic as a raw material for end products. For example, the mass balance system that companies are driving to be a standard is such a system. (3) Legislation and its harmonization at European level has an

important role to play in contributing to the emergence of markets. At its best, the regulations help locally-based businesses to become involved in European value chains – most crucial are easy mobility of plastic waste and the intermediate products, efficient local collection and sorting of waste, and sufficient local availability of plastic waste.

Finland's potential competitive edges for exports along the value chain are: 1) productization of separate collection expertise into a green deal-based service product; 2) technologies for sorting (characterizing) plastic waste; 3) chemical processing technologies, in particular biotechnology and pyrolysis, including gasification, however, these require further development to reach suitability for the processing of plastic waste; 4) analytics and diagnostics know-how to ensure cleanliness, hygiene and safety at various stages of the process; 5) the existence in Finland of the necessary infrastructure (e.g. oil refineries, cracker) to process the intermediate products as a raw material for the plastics industry; and 6) the opportunity to create a market for recycled plastics in Finland at the forefront by experimenting with the implementation of a recycled plastic mass balance system similar to which is used for green electricity.

1 Johdanto

1.1 Muovien käytön tilanne

Muovi on yleisesti ja perustellusti paljon käytetty materiaali

Muovi on talouden yleinen materiaali, jota käytetään keveytensä, kestävyytensä ja reagoimattomuutensa vuoksi käytännössä kaikilla talouden sektoreilla. Pääsääntöisesti fossiilisista raaka-aineista valmistettu muovi on käytössä rakenteissa, pakkauksissa ja erilaisissa kuluttajatuotteissa, sekä kertakäyttöhyödykkeinä että kestokulutushyödykkeissä. Muoveilla on materiaaliratkaisuina monia etuja: se on tasalaatuinen, kemiallista korroosiota kestävä ja kosteutta pitävä kevyt rakenne, jolla voidaan varmistaa esimerkiksi mikrobiologinen tai kemiallinen puhtaus. Tästä seuraa, että muovin harkittu käyttö voi myös edesauttaa esimerkiksi hävikin vähentämisessä ja sillä voidaan lisätä resurssitehokkuutta logistiikassa. Muovin globaali tuotanto onkin kasvanut 20-kertaiseksi 60-luvulta lähtien¹.

On jopa jossain määrin harhaanjohtavaakin puhua muovista vain yhtenä materiaalina, koska muoveihin kuuluu sovelluksia pelkistä hiilivetylähtöisistä polymeereistä alkaen esimerkiksi kloorattuihin yhdisteisiin. Muovi voi olla yhtä lailla vaikkapa ohut pinnoite, kalvo, pakkaus, tukirakenne, vaahtomainen eriste, iskunkestävä säiliö, huonekalu, tekstiili, kestokulutushyödyke, kertakäyttöesine tai hoitotarvike. Kierrätyksen kannalta sekä kemiallisella että mekaanisella rakenteella on merkitystä.

1 Ympäristöministeriö, Kysymyksiä ja vastauksia muoveista

Muoviin liittyvät ympäristöongelmat kasvavat jatkuvasti

Samalla, kun muovin käyttö on yleistynyt, olemme tulleet yhä tietoisemmiksi muovin aiheuttamista ympäristöongelmista, jotka liittyvät juuri muovin kestävyys-teen materiaalina. Kerran valmistettu muovi ei poistu kierrosta ilman kierrätystä. Poikkeuksen tähän muodostavat biohajoavat muovit. Roskaksi luontoon tai vesistöön päätyvä muovi korkeintaan rapautuu hitaasti yhä pienemmiksi kappaleiksi. Keveytensä ja pysyvyytensä vuoksi muoviroskat ja mikromuovit kulkeutuvat herkästi tuulen, hulevesien ja jätevesien mukana vesistöihin ja edelleen mereen.

Ratkaisuja muovijätteen käsittelyyn tarvitaan nopeasti, koska globaalin muovijätteen määrän voidaan odottaa lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä². Huoli muovimassoista valtamerissä, niiden mekaanisesta haitallisuudesta eliöille, sekä edelleen ruokaketjuun ja juomaveteen pääsevistä mikromuoveista kasvaa. Muovien käytön ja erityisesti kertakäyttömuovien käytön kasvaessa, nykyisten ennusteiden mukaan muovituotannon ja muovijätteen polton aiheuttamat yhteensä hiilidioksidipäästöt voivat nousta eri arvioiden mukaan jopa 10–17 %:iin maailman kumuloituvasta hiilidioksidibudjetista vuonna 2050³. Kiertotalous ja erityisesti siihen liittyvä ajatusmaailma nähdään yhtenä keskeisenä keinona saada materiaaleja, myös muoveja, entistä tehokkaammin hyödynnettyä, sekä rajoittamaan neitseellisten raaka-aineiden tarvetta myös raakaöljypohjaisissa muovimateriaaleissa. Ainakin osa muovin tuotannon ja polton hiilidioksidipäästöistä saataisiin myös leikattua muovin tehokkaammalla kierrätyksellä.

Kierrätyksen hyödyt jäävät vielä saavuttamatta

Vaikka muovien elinikä materiaalina voi olla satoja vuosia⁴ ja ne ovat ominaisuuksiensa ansiosta sinällään hyödynnettävissä uudelleen, muovien kierrätyksen voidaan katsoa olevan vasta alkutekijöissään. Muovien kierrätystä hankaloittaa esimerkiksi muovityyppien suuri määrä ja niiden erilaiset kierrätysominaisuudet, kuluttajamuovien likaisuus sekä joidenkin muovituotteiden sisältämät haitalliset aineet.⁵ Maailman kaikesta muovijätteestä, noin 260 miljoonasta tonnista, vain noin 16 %

2 McKinsey & Co (12/2018), How plastics waste recycling could transform the chemical industry

3 Science Daily (4/2019), Plastic's carbon footprint; Ciel (2019), Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet

4 CircHubs Yhdyskuntajätteen muovit

5 Ympäristöministeriö, Kysymyksiä ja vastauksia muoveista

kierrätetään ja yli puolet muovituotteista on kertakäyttöisiä. Suurin osa muovijätteestä päätyy polttoon (25 %) tai kaatopaikoille (40 %) tai vuotoina luontoon (19 %). Näin samalla menetetään ominaisuuksiltaan uudelleenkäytettävää materiaalia.

Samanaikaisesti myös muovin kierrättämisestä syntyvä potentiaalisesti merkittävä liiketoiminnallinen arvo jää hyödyntämättä. Joidenkin arvioiden mukaan 95 % muovisten pakkausmateriaalien arvosta, jopa 70–105 miljardia euroa, menetetään sen vuoksi, että muovien käyttö rajoittuu yhteen käyttökertaan.⁶ Tällä hetkellä koko muovituotannon arvo Euroopassa on noin 350 miljardia euroa ja Suomessa noin 2,4 miljardia euroa. Euroopassa muoviala on seitsemänneksi suurin teollisuuden lisäarvon synnyttäjä.⁷

Kierrätyksen ja kiertotalouden tavoitteet muoveille

EU:n tavoitteena on nostaa muovin kierrätys 55 %:iin vuoteen 2030 mennessä⁸. Tällöin suurin osa muovijätteestä tulisi ohjata prosesseihin, jotka EU-lainsäädäntö lukee kierrätykseksi. Nykyisellään muovinkierrätys tehdään pääasiassa mekaanisin kierrätysmenetelmin, eli muovijäte lajitellaan, puhdistetaan, ja jauhetaan tai murskataan uusiomuovin raaka-aineeksi. Mekaaninen kierrätys sopii kuitenkin vain tietyille tasalaatuisille ja puhtaille muovilaaduille. Jotta muovin kierrätyksen tuleva tavoitetaso saavutetaan, mekaanisen kierrätyksen rinnalle tarvitaan muovin kemiallista kierrätystä, jonka avulla kierrätystä voidaan laajentaa tällä hetkellä siihen kelpaamattomiin tai vaikeasti kierrätettäviin muoveihin.⁹

Muovien tuottajilta on toistaiseksi puuttunut kustannusensiivejä valmistaa tuotteita uusiomuovista neitseellisen raaka-aineen sijasta. Kuluttajien painostus ja tiukentuva muovijätettä koskeva sääntely ja kierrätystavoitteet voivat kuitenkin nopeastikin vaikuttaa kemian- ja petrokemianteollisuuden toimijoihin. Toisaalta toimijat kokevat painostusta ympäristöystävällisempään tuotantoon siirtymisessä, toisaalta kierrätysmuovien käytössä nähdään myös enenevässä määrin liiketoimintapotentiaalia. Muovi- ja petrokemian teollisuuden muoviraaka-aineen

6 World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company (2016), *The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics*

7 PlasticsEurope, *Plastics – the Facts 2018*

8 Euroopan komissio, *A European strategy for plastics in a circular economy*

9 Uusiouutiset (4/2019), *Kierrätystavoitteista jäädään ilman kemiallista kierrätystä*

kierrättämistä voi löyhästi verrata paperiteollisuuden kierrätyspaperin käyttöön raaka-aineena: paperiteollisuus on vuosien varrella lisännyt merkittävästi kierrätysraaka-aineen käyttöä ja samanlaista potentiaalia voidaan nähdä muoviraaka-aineen kierrätyksessä muovi- ja petrokemianteollisuudelle.¹⁰ Myös monet suuret brändinomistajayritykset, kuten Walmart, Danone ja Unilever, ovat sitoutumassa käyttämään enemmän kierrätettyä muovia tuotteissaan ja pakkauksissaan ja myös siten vähentämään hiilidioksidipäästöjään. Tämä tarkoittaisi, että tarve kierrätetylle muoville raaka-ainemarkkinoilla kasvaisi jopa 200–300 % seuraavan kymmenen vuoden aikana.¹¹

Arvioiden mukaan vuonna 2030 jopa 50 % muovista voitaisiin kierrättää tai uudelleen käyttää maailmanlaajuisesti. Tällainen kierrätysvolyymin kasvu voisi tarkoittaa esimerkiksi petrokemian teollisuudelle ja muoviteollisuudelle jopa useiden kymmenien miljardien dollarien tuottomahdollisuuksia, riippuen raakaöljyn hinnan kehityksestä. Tämä käytännössä tarkoittaisi sekä nykyisen mekaanisen kierrätyksen merkittävää kasvua että uusien kemiallisten kierrätysmenetelmien käyttöönottoa teollisessa laajuudessa.¹² Jotta muovin kemiallinen kierrätys kasvaisi uudeksi teollisen mittakaavan sektoriksi, on saavutettava tasapaino taloudellisen kannattavuuden, lainsäädännön noudattamisen ja ympäristövaikutusten välillä.¹³

1.2 Selvityksen tavoite ja toteutus

Tässä työssä arvioidaan muovijätteen kemiallisen kierrätyksen soveltuvuutta ja vaikutuksia Suomessa sekä selvitetään kemiallisen kierrätyksen potentiaalia ja siihen liittyviä reunaehdoja.

10 McKinsey & Co (12/2018), How plastics waste recycling could transform the chemical industry

11 Closed Loop Partners (2019), Accelerating circular supply chain for plastics. A landscape of transformational technologies that stop plastic waste, keep materials in play and grow markets

12 McKinsey & Co (12/2018), How plastics waste recycling could transform the chemical industry

13 Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

Selvityksessä vastataan seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä esteitä ja puutteita on toimivien muovien kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntymiseksi Suomessa?
- Mitkä voivat olla Suomen kilpailulliset vientikärjet (tuotteet ja teknologiat) kansainvälisillä markkinoilla kierrätysmuovin kemiallisen kierrätyksen ratkaisussa?

Työn taustalla on 2018 julkaistu Suomen Muovitiekartta¹⁴, jossa peräänkuulutetaan talteen otetun muovin monipuolisten kierrätysratkaisujen käyttöönottoa. Yhtenä muovin kierrätyksenä vaihtoehtona Muovitiekartassa tunnistettiin muovin kemiallisen kierrätyksen tuomat mahdollisuudet. Työn tuloksena tuotetaan tietoa, joka tukee työ- ja elinkeinoministeriötä määrittämään tarvittavat toimenpiteet muovin kemiallisen kierrätyksen markkinoiden ja kysynnän syntymisen edistämiseksi.

Selvityksen toteutti Gaia Consulting Oy kesä-marraskuussa 2019. Työ koostui kirjallisuuden taustaselvityksestä sekä toimijakentän haastatteluista. Kirjallisuuskatsauksen aineisto on koottu selvityksen liitteenä olevaan lähdeluetteloon. Työssä haasteltiin yhteensä 26 asiantuntijaa. Haastatteluissa oli muovituotteiden valmistajia ja uusiomuovia käyttäviä tahoja, kierrätyksen toimijatahoja, polymeerien valmistukseen, käyttöön ja tutkimukseen liittyviä tahoja, sekä relevantteja kemian- ja prosessointiteknologioiden toimijoita. Mukana oli yrityksiä, tutkimusorganisaatioita sekä etujärjestöjen edustajia. Neljä haastatteluista oli kansainvälisiä asiantuntijoita, muut suomalaisia. Lista haastatteluista sekä haastattelukysymykset ovat tämän selvityksen liitteenä. Haastattelutuloksia ja selvityksen johtopäätöksiä kommentoitiin ja validoitiin selvityksen ohjausryhmän kanssa digitaalisella Howspace-keskustelualustalla sekä kahdessa ohjausryhmän kokouksessa.

Rakenteeltaan raportti jakautuu seuraavasti: Luvussa 2 kuvataan muovin kemiallisen kierrätyksen menetelmiä ja niihin liittyviä kestävyysnäkökulmia sekä Suomen muovijätteen volyymeihin perustuvaa potentiaalia kemialliselle kierrätykselle. Lisäksi luvun lopussa kuvataan kemiallisen kierrätyksen kotimaisia toimijoita ja kansainvälisiä esimerkkejä. Luku perustuu lähinnä kirjallisuuskatsaukseen. Joitakin tietoja on täydennetty haastattelujen perusteella. Luvussa 3 tiivistetään

14 Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa, Muovitiekartta Suomelle

haastatteluihin perustuva analyysi taulukoihin muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnan edellytyksistä, materiaalivirtatarpeista, suomalaisten toimijoiden osaa- misesta, kestävyysnäkökulmista ja sääntely-ympäristöstä liiketoiminnan mahdollista- jana. Kokonaisuudessaan haastattelujen analyysi on luettavissa liitteessä 3. Luku 4 kokoaa yhteen selvityksen johtopäätökset keskittyen erityisesti muovin kemiallisen kierrätyksen potentiaaliin, soveltuvuuteen ja vaikutuksiin Suomessa. Johtopäätök- siä peilataan myös muovitiekartan toimenpiteisiin. Luvussa 5 esitetään haastattelu- jen analyysiin pohjautuvia ehdotuksia jatkotoimenpiteistä, joilla voidaan edesaut- taa suomalaisten muovin kemiallisen kierrätyksen toimijoiden pääsyä kansainväli- siin arvoketjuihin ja markkinoille.

Liitteeseen 1 on kerätty lähinnä kirjallisuuskatsaukseen perustuvaa tietoa muovin kierrätyksen sääntely-ympäristöstä. Liitteessä 2 kuvataan Suomen muovin kierrä- tyksen volyymeja, kierrätysastetta, arvoketjua ja muovijätteen omistajuutta perus- tuen lähinnä kirjallisuus- ja tilastokatsaukseen. Liite 3 raportoi selvityksessä tehtyjen haastattelujen tulokset. Lisäksi liitteestä 4 löytyvät haastatellut henkilöt ja organi- saatiot ja liitteestä 5 haastattelukysymykset.

Vaikka työssä toimeksiannon mukaisesti katsotaan Suomen tilannetta, ovat muo- vin kemiallisen kierrätyksen markkinat ja arverkot voimakkaasti globaaleja. Siten työn edetessä oli tarpeen sisällyttää työhön ajateltua enemmän eurooppalaista näkökulmaa.

2 Muovin kemiallinen kierrätys

2.1 Kemiallinen kierrätys uutena vaihtoehtona

Muovin kemiallinen kierrätys tai raaka-ainekierrätys (feedstock recycling), on kehitteillä oleva tapa kierrättää muovia mekaanisen kierrätyksen rinnalla. Kun muovituotteet liikkuvat eteenpäin talouden ketjussa, niitä usein sekoitetaan toistensa kanssa (esimerkiksi pinnoitteet) ja ne saavat kylkeensä erilaista kontaminaatiota (esimerkiksi pesuainejäänteet), mikä vaikeuttaa eri muovien erottelua, vaikka se fysikaalisesti olisikin mahdollista. Tällöin niiden pilkkominen yksinkertaisemmiksi kemikaaleiksi käytettäväksi uusien tuotteiden raaka-aineena voi olla paras ratkaisu.¹⁵ Mekaanisen kierrätyksen rinnalle onkin nousemassa useita uusia kemiallisen kierrätyksen teknologioita, jotka mahdollistavat muovin kierrätyksen esimerkiksi materiaalikoostumuksen tai -monimutkaisuuden aiheuttamista rajoitteista huolimatta. Näitä uusia menetelmiä voidaan kutsua muovien uudistamiseksi (regeneration).¹⁶

Muovin kemiallisen kierrätyksen tavoitteena on muuntaa muovijäte kemikaaleiksi. Se on prosessi, jossa polymeerin kemiallinen rakenne muutetaan/konvertoidaan kemiallisiksi aineiksi mukaan lukien monomeerit, joita sitten käytetään uudelleen raaka-aineina kemiallisissa prosesseissa. Kemiallisen kierrätyksen prosesseja ovat mm. kaasutus, pyrolyysi, solvolyyysi ja depolymerisaatio. Näiden prosessien lopputuotteita voidaan edelleen käyttää muovien valmistukseen neitseellisen raaka-aineen tavoin.¹⁷

15 Ellen MacArthur Foundation (2019), Enabling a circular economy for the chemicals with the mass balance approach. A white paper from co.project mass balance

16 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

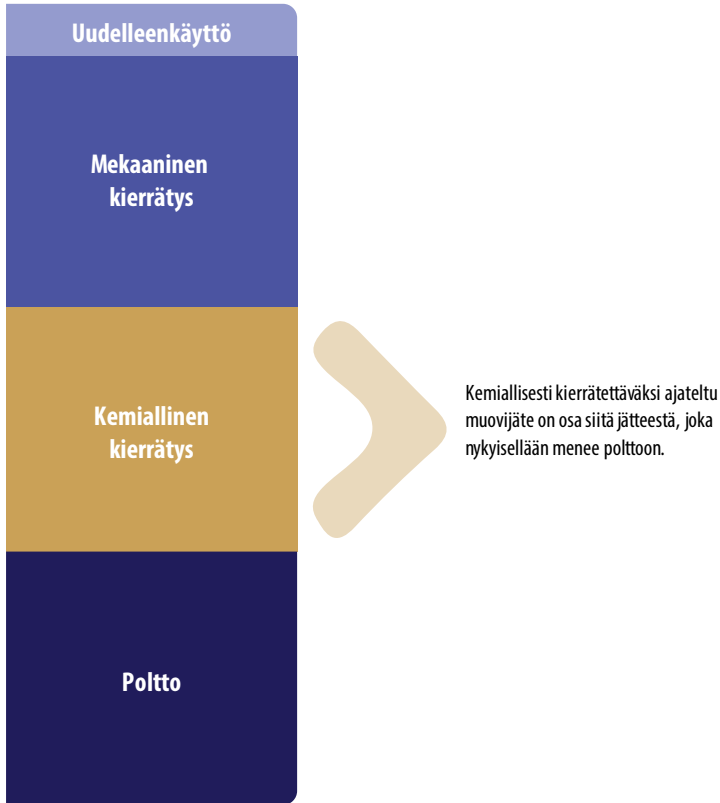
17 <https://www.plasticseurope.org/en>

Monomeerien kierrätystä pidetään erityisen syvällisesti kierrättävänä menetelmänä, koska se kääntää muovien kemiallisen koostumuksen takaisin stabiileiksi monomeerimolekyyleiksi, jotka voidaan sitten yhdistää uudelleen samanlaatuiseksi ja -tyyppiseksi muoviksi kuin alkuperäinen muovijätteen sisältämä muovi oli. Tämä on tavallaan käännteinen muovien valmistuksen polymerisointiprosessille. Toinen vaihtoehto on muuntaminen nesteeksi tai kaasuksi. Nesteeksi muunnettaessa prosessin lopputuote vastaa raakaöljyä tai sellaista petrokemiallista raaka-ainetta, joka voidaan syöttää jalostamoihin tai käyttää kemianteollisuuden raaka-aineena.¹⁸

Erityisesti sellaiset vaikeat jakeet, jotka nykyisellään päätyvät joko kaatopaikalle tai jätteenpolttoon, voivat soveltua kemiallisen ja erityisesti termokemiallisen kierrätyksen raaka-aineeksi ja siten energiahyödyntämisen sijaan jäisivät osaksi raaka-ainekiertoa.¹⁹ Kemialliseen kierrätykseen soveltuvat esimerkiksi muovin materiaalivirrat, jotka sisältävät erilaisia muovilaatuja, lisäaineellisia tai kontaminoituneita muoveja, komposiitteja ja monikerroskalvoja sisältäviä muovimateriaaleja, kertamuoveja, mekaanisen kierrätyksen ylijäämää, sekä silputtua materiaalia. Kuvassa 1 on kuvattu muovin eri kierrätysmenetelmiä ja sitä, että kemiallisesti kierrätettäväksi on ajateltu osuutta siitä jätteestä, joka nykyisellään päätyy polttoon.

18 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

19 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste



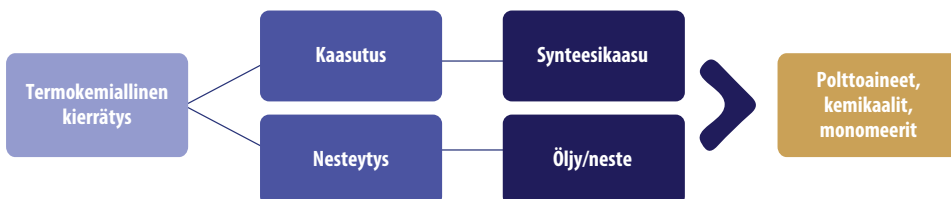
Kuva 1. Muovijätteen jakautuminen erilaisiin kierrätysmuotoihin (kuva ei ota kantaa jätemääriin tai prosentuaalisiin jakaumiin).

2.2 Kemiallisen kierrätyksen menetelmät

Kuvassa 2 on kuvattu pääasialliset muovin *termokemialliset* kierrätysprosessit eli pyrolyysi ja kaasutus. Nämä kaksi prosessia muuttavat muovit peruskemikaaleiksi.

Teoriassa prosesseihin voidaan syöttää kaikenlaista muovijätettä. Kuitenkin, jos lopputuotteen on tarkoitus täyttää samat laatustandardit kuin neitseellisellä raaka-aineella on, ei-orgaanisen jätteen esilajittelu tai lähtöaineen puhdistaminen voi olla tarpeen. Jos syntynyttä öljyä tai kaasua käytetään kemikaalien tuotantoon, niistä

valmistetut lopulliset muovituotteet ovat täysin samanlaisia kuin neitseellisestä raaka-aineesta valmistetut.²⁰



Kuva 2. Muovin termokemialliset kierrätysprosessit.

Kun puhutaan *nesteytyksestä*, sillä käytännössä tarkoitetaan pyrolyysiä, vaikkakin kehitteillä/kaupallistamisen prosessissa on myös joitakin muita vaihtoehtoja, kuten hydroterminen nesteytys^{21, 22}. Muovien termolyysi eli *pyrolyysi* voidaan määritellä seuraavasti: materiaalin terminen tai katalyyttinen hajottaminen hapettomassa ympäristössä tai höyryssä nestemäiseksi tuotteeksi, josta edelleen voidaan tehdä kemikaaleja tai polttoainetta.²³ Riippuen prosessiin sisään syötettävästä materiaalista, prosessin lopputuotteena saadaan 70–80 % pyrolyysiöljyä, jota voidaan hyödyntää eteenpäin erilaisissa prosesseissa, ja 10–15 % kaasua, joka usein käytetään itse prosessin tarvitsemaksi lämpöenergiaksi. Noin 10–15 % lopputuotteesta on hiiltä.²⁴ Kuva 3 esittää havainnekuva pyrolyysiprosessista. Koska prosessi tapahtuu joko hapettomassa tai vähähappisessa ympäristössä, siitä emittoituu vain vähän kasvihuonekaasuja edistävää hiilidioksidia.²⁵

20 Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

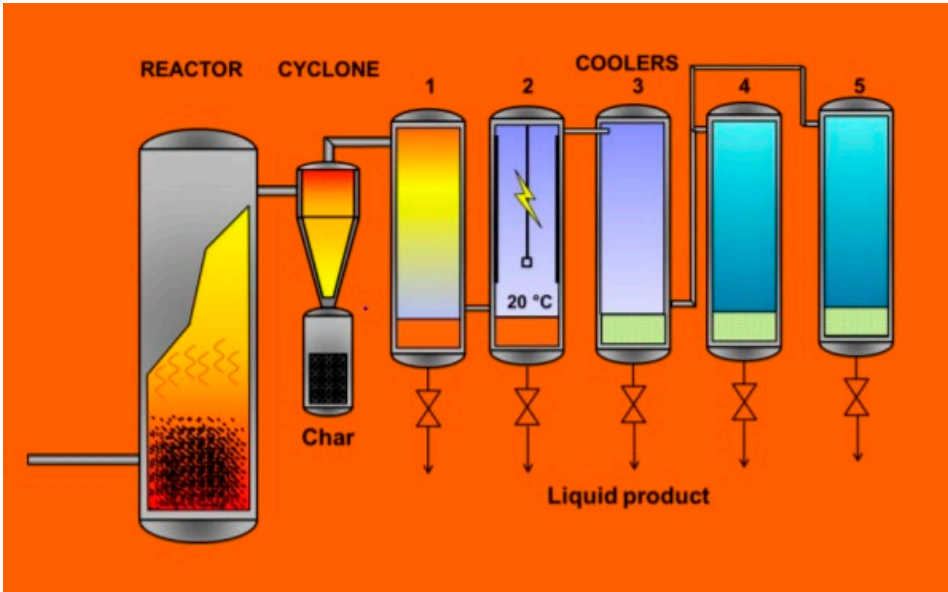
21 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

22 licella.com

23 Esitys VTT Muhammad Qureshi (5/2019), Role of thermolysis (pyrolysis) of plastics in feedstock recycling; CircWaste (5/2019), Kiertotalouden kirittäjät – tuloksia kiertotaloushankkeista Suomessa

24 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

25 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste



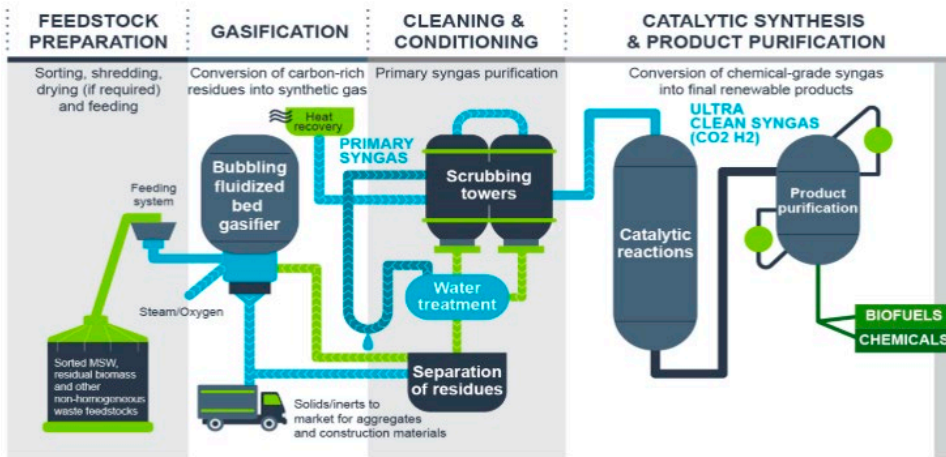
Kuva 3. Havainnekuva pyrolyysiprosessista.²⁶

Kaasutus pystyy käsittelemään lajittelematonta, puhdistamatonta muovijätettä ja muuttamaan siitä synteetikaasua (syngas), jota voidaan käyttää rakentamaan isompia rakennuspalikoita uusille polymeereille.²⁷ Prosessista saatava metanoli on kemiallinen rakennusosa sekundaaristen kemikaalien, kuten olefiinien, akryylihapon, n-propanolin ja n-butanolin, valmistukseen, joita voidaan sitten käyttää tuhansien päivittäisten tuotteiden valmistukseen.²⁸ Enerkem-yrityksen muovijätteen kaasutusprosessi on kuvattu Kuvassa 4.

²⁶ Esitys VTT Muhammad Qureshi (5/2019), Role of thermolysis (pyrolysis) of plastics in feedstock recycling; CircWaste (5/2019), Kiertotalouden kirittäjät – tuloksia kiertotaloushankkeista Suomessa

²⁷ Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

²⁸ enerkem.com

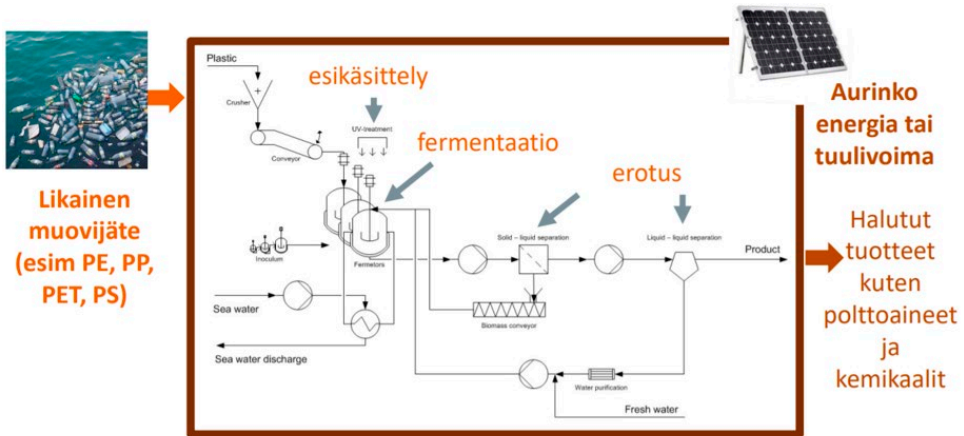


Kuva 4. Havainnekuva muovijätteen kaasutusprosessista.²⁹

Depolymerisointia tehdään entsyymejä ja mikrobeja apuna käyttäen: mikrobit ja entsyymit hajottavat tiettyjä muovilaatuja, esimerkiksi polystyreeniä (PS), polyeteeniä (PE) ja polyeteenitereftalaattia (PET). Myös erityisesti polyesterit ja polyamidit sisältävät sellaisia monomeeriketjuja, joita entsyymien on helppo tunnistaa ja siten niitä on helpointa depolymeroida entsyymien avulla. Muovijätteen ei tarvitse olla puhdasta, vaan entsyymit ja mikrobit tunnistavat hajotettavan muovi-laadun. Mikrobit voivat myös syödä jätteessä mahdollisesti mukana olevan orgaanisen materiaalin sekä hajottaa biohajoavia muoveja. Mikrobit voidaan muokata tuotamaan tiettyjä räätälöityjä lopputuotteita. Entsyymaattisessa prosessissa puolestaan eri entsyymeillä voidaan vaikuttaa siihen, mitä lopulliset hajoamistuotteet ovat. Prosessissa muovin hajoamistehokkuus ja -nopeus vaatii vielä kehittämistä. Jotta prosessi ei tuota lopputuloksena mikromuovia, on kiinnitettävä huomiota siihen, että hajoamisprosessi saadaan vietyä loppuun asti. Mikrobi/entsyymaattinen prosessi mahdollistaa muovissa olevan yksittäisen polymeerin (esim. PET) spesifisen depolymeroinnin eli ainakaan toistaiseksi ei ole olemassa yksittäistä mikrobia tai entsyymiä, joka voisi hajottaa kaikkia eri muovilaatuja. Depolymerointiprosessista syntyvät monomeeri tai monomeerit puhdistetaan siten, että ne voidaan uudelleen

²⁹ enerkem.com

polymeroida muoviksi.^{30,31} Kuvassa 5 on kuvattu hahmotelma mahdolliseksi tulevaisuuden depolymerisointiprosessiksi.



Kuva 5. Hahmotelma tulevaisuuden mikrobi/entsyymipohjaisesta depolymerisointiprosessista.³² Kuvaus on optimi olosuhde, jonka saavuttaminen vaatii kehitystyötä.

Kuvassa 6 kuvataan pääasialliset muovilaadut, niille sopivimmat kemiallisen kierrätyksen menetelmät, kierrätyksessä saatavat lopputuotteet sekä esimerkkejä kansainvälisistä yritystoimijoista, joilla on toimintaa kyseisellä teknologia-alueella. Numerot viittaavat yritystoimijoiden määrään globaalisti.³³ Kuvassa "thermal conversion" viittaa pyrolyysiin ja kaasutukseen, "chemical, thermal and biological decomposition" erilaisiin depolymerisaation teknologioihin ja "purification" solvolyyysiin. Kuvan mukaan kemiallisen kierrätyksen prosesseissa lopputuotteina saadaan polymeerejä, monomeerejä, naftaa, dieseliä, raakaöljyn veroista öljyä sekä synteetikaasua. Kuva kertoo, mikä yritys pyrkii tuottamaan mitään näistä lopputuotteista.







30 carbios.fr

31 Esitys: VTT Kari Koivuranta (5/2019), Tulevaisuuden mahdollisuus muovin käsittelylle?; CircWaste (5/2019), Kiertotalouden kirittäjät – tuloksia kiertotaloushankkeista Suomessa

32 Esitys: VTT Kari Koivuranta (5/2019), Tulevaisuuden mahdollisuus muovin käsittelylle?; CircWaste (5/2019), Kiertotalouden kirittäjät – tuloksia kiertotaloushankkeista Suomessa

33 Closed Loop Partners (2019), Accelerating circular supply chain for plastics. A landscape of transformational technologies that stop plastic waste, keep materials in play and grow markets

Tässä selvityksessä tarkastellaan lähinnä pyrolyysiä (nesteytystä), kaasutusta sekä depolymerisointia Suomen kannalta relevantteina kemiallisen kierrätyksen teknologioina.

WASTE STREAM	TECHNOLOGY TYPE	OUTPUTS
 <p>PET - POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (Packaging, textiles)</p> <p>33 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 14 CHEMICAL DECOMPOSITION 9 PURIFICATION 6 BIOLOGICAL DECOMPOSITION 5 THERMAL DECOMPOSITION 1 	<ul style="list-style-type: none"> POLYMERS (PET, PET) E.G. AMBERCYCLE 12 DIESEL E.G. GOLDEN RENEWABLE ENERGY 12 NAPHTHA E.G. RECYCLING TECHNOLOGIES 11 LIQUID CRUDE E.G. RES POLYFLOW 11 MONOMERS (TPA, HS, DMF, B-HET) E.G. XONIGA 7 SYNGAS E.G. GOLDEN RENEWABLE ENERGY 6
 <p>PS - POLYSTYRENE (Packaging, insulation)</p> <p>29 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 21 CHEMICAL DECOMPOSITION 5 THERMAL DECOMPOSITION 5 PURIFICATION 2 	<ul style="list-style-type: none"> DIESEL E.G. POLYCYC 22 NAPHTHA E.G. RESINERG 20 LIQUID CRUDE E.G. ADLTX 19 SYNGAS E.G. VADIX 9 POLYMERS (PS) E.G. GREENMANTRA 4 MONOMERS (STYRENE) E.G. PPOWAVE 4
 <p>PE - POLYETHYLENE (Packaging, Films)</p> <p>28 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 21 PURIFICATION 5 CHEMICAL DECOMPOSITION 5 THERMAL DECOMPOSITION 1 	<ul style="list-style-type: none"> DIESEL E.G. NEBUS FUELS 21 NAPHTHA E.G. NEW HOPE ENERGY 18 LIQUID CRUDE E.G. KLEAN INDUSTRIES 16 SYNGAS E.G. VADIX 9 POLYMERS (PE) E.G. CADEL DIERING 5 MONOMERS* (ETHYLENE) E.G. KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY 2
 <p>PP - POLYPROPYLENE (Packaging, pipe, textiles)</p> <p>28 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 21 PURIFICATION 3 CHEMICAL DECOMPOSITION 3 THERMAL DECOMPOSITION 1 	<ul style="list-style-type: none"> DIESEL E.G. JB PLASTICZOR 21 NAPHTHA E.G. RENEW ELP 18 LIQUID CRUDE E.G. KLEAN INDUSTRIES 16 SYNGAS E.G. PLASTIC ENERGY 9 POLYMERS (PP) E.G. PURECYCLE TECHNOLOGIES 5 MONOMERS* (PROPYLENE) E.G. KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY 2
 <p>MIXED PLASTICS (Packaging, other)</p> <p>16 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 14 CHEMICAL DECOMPOSITION 1 THERMAL DECOMPOSITION 1 	<ul style="list-style-type: none"> DIESEL E.G. RENEWLOGY 15 NAPHTHA E.G. RECYCLING TECHNOLOGIES 13 LIQUID CRUDE E.G. RES POLYFLOW 13 SYNGAS E.G. GOLDEN RENEWABLE ENERGY 9 MONOMERS* (ETHYLENE, PROPYLENE) E.G. KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY 1
 <p>ELECTRONICS (Cell phones, electronic hardware)</p> <p>7 TECH PROVIDERS</p>	<ul style="list-style-type: none"> THERMAL CONVERSION 4 PURIFICATION 3 	<ul style="list-style-type: none"> DIESEL E.G. KLEAN INDUSTRIES 5 NAPHTHA E.G. SIERRA ENERGY 5 LIQUID CRUDE E.G. JEPAN 4 POLYMERS (PC, ABS, HIPS) E.G. GEO-TECH POLYMERS 3 SYNGAS E.G. KLEAN INDUSTRIES 2

Kuva 6. Pääasialliset jätevirtojen muovilaadut, niille sopivimmat kemiallisen kierrätyksen menetelmät, kierrätyksessä saatavat lopputuotteet sekä esimerkkejä yritystoimijoista, joilla on toimintaa kyseisellä teknologia-alueella.³⁴

34 Closed Loop Partners (2019), Accelerating circular supply chain for plastics. A landscape of transformational technologies that stop plastic waste, keep materials in play and grow markets

2.3 Kemiallisen kierrätyksen menetelmien kestävyysnäkökulmia

Muovi on lähtökohtaisesti järkevää kierrättää, koska neitseellisen muovin valmistamiseen on jo vapautettu hiiltä maaperästä. Näin ollen se kannattaa kierrättää uudeksi tuotteeksi. Muovin kemialliseen kierrätykseen liittyvät ympäristöasiat kuitenkin yleisesti ottaen mietityttävät, erityisesti verrattuna mekaaniseen kierrätykseen. Myös lisää tutkimustietoa tarvitaan liittyen esimerkiksi kemiallisen kierrätyksen prosessien energiatehokkuuksiin sekä muihin kestävyysnäkökulmiin.

Energian käytön näkökulma

Yksi suuri haaste muovin kemiallisessa kierrätyksessä on, että prosessissa aina käytetään energiaa ja termokemiallisissa prosesseissa erityisesti. Tämä energia on aina lisää verrattuna neitseellisen raaka-aineen energiankäyttöön. Kemiallisen kierrätyksen on joka tapauksessa laskettu olevan jätteenpoltoa parempi vaihtoehto hiilidioksidipäästöjen osalta³⁵.

Mekaanisesti kierrätettyä raaka-ainetta käytettäessä katsotaan, että siinä vähennetään hiilidioksidipäästöjä. Vaikka kokonaisvaltaisia ympäristölaskelmia kierrätysmenetelmistä ei ole vielä juurikaan tehty, muovin kemiallisen kierrätyksen osalta on olemassa laskelmia, jotka osoittavat, että kestävyuden suhteen prosessit pärjäisivät vertailussa mekaanisen kierrätyksen kanssa erityisesti, jos tarkastellaan jätevirtoja, joita ei tällä hetkellä johdeta korkealaatuiseen kierrätykseen. Kemiallisia rakenteita säilyttävät prosessointivaihtoehdot, kuten solvolyyysi ja depolymerointi, mahdollistavat samaa luokkaa olevat päästövähennämät kuin mekaaninen kierrätys. Kaasutuksessa ja pyrolyysissä hiilidioksidipäästöjen vähenemä on noin puolet mekaaniseen kierrätykseen verrattuna, ja tästä näkökulmasta niitä tulisi käyttää, kun muut vaihtoehdot eivät ole toteutettavissa, esimerkiksi muovisekajätteen käsittelyyn.^{36, 37}

35 Bergsman Geert/CE Delft (2019), Chemical recycling and its CO2 reduction potential (alkuperäinen hollanninkielinen raportti ladattavissa täältä: <https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/exploratory-study-on-chemical-recycling>)

36 Bergsman Geert/CE Delft (2019), Chemical recycling and its CO2 reduction/CE Delft (2019), Chemical recycling and its CO2 reduction potential (alkuperäinen hollanninkielinen raportti ladattavissa täältä: <https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/exploratory-study-on-chemical-recycling>)

37 "Chemical Recycling – The missing Piece to Plastics Circularity" policy briefing Tapahtuman yhteenveto

Kaupallistumisen vaiheessa oleva pyrolyysia uudempi nesteytysprosessi hydrokatalyyttinen nesteytys tapahtuu superkriittisessä vedessä tai vesihöyryssä. Välittäjäaineena höyry kiinnittyy käsiteltävään muovijätteeseen nopeammin kuin konventionaaliset termokemialliset prosessit ja vaikuttaa siinä suurella reaktiopinnalla, minkä ansiosta polymeerien pilkkomiseen tarvitaan myös vähemmän energiaa kuin muissa termokemiallisissa prosesseissa.

Biotekniset prosessit muovin kemialliseen kierrätykseen ovat siinä mielessä hyviä ratkaisuja, että niiden energiantarve on huomattavasti pienempi kuin termokemiallisten prosessien. Niitä voidaan soveltaa mm. tämän takia myös termokemiallisia prosesseja pienemmässä skaalassa ja siten ne voivat soveltua vaikkapa paikasta toiseen liikkuvaksi laitokseksi esimerkiksi laivalla.

Erialaisten vaihtoehtojen hyötysuhteiden tarkastelu on haastavaa ja vertailukohdan valinta vaikuttaa paremmuustarkasteluihin. Esimerkiksi asiantuntijoiden mukaan pyrolyysiprosessi tuottaa noin 80 % öljyä, joten prosessin hyötysuhde on 80 %, mikä on parempi kuin mekaanisen kierrätyksen prosessin hyötysuhde, joka on 70 %. Pyrolyysiprosessissa muodostuu myös noin 20 % kaasua, jota voidaan käyttää prosessin energianlähteenä. Hyötysuhde voi vaihdella muovilaaduittain ja täyteainepitoisuuden mukaan. Esimerkiksi suhteellisen puhtaat polyeteenivirrat, voidaan tällä hetkellä kierrättää mekaanisesti noin 90 % hyötysuhteella. Kemiallisen kierrätyksen tekniikoilla hyötysuhde saattaa jäädä matalammaksi.

Pyrolyysiprosessin kestävyysnäkökulmia

Pyrolyysiprosessilla on sekä positiivisia ja kielteisiä vaikutuksia ympäristöön. Prosessin positiivisena puolelta on, että se on suhteellisen tehokas tapa kierrättää muovin tuotantoon jo käytettyjä neitseellisiä raaka-aineita. Pyrolyysi ei ole monissa tapauksissa yhtä tehokas kuin mekaaninen kierrätys, mutta mekaaninen kierrättäminen ei ainakaan tällä hetkellä ole mahdollista kaikelle muovijätteelle. Pyrolyysi lisää joustavuutta, koska laitoksia voidaan rakentaa lähelle jätteiden lähtöpaikkaa vähentäen pitkiä kuljetusetäisyyksiä keskitettyihin kierrätyskeskuksiin. Vaikka pyrolyysi vaatii energiaa ja tuottaa jossain määrin päästöjä, se tarjoaa samalla varteenotettavan

vaihtoehdon muovinjätteen kaatopaikkasijoitukselle sekä mahdollisuuden estää muovijätevuotoja keräysjärjestelmistä.³⁸

Termokemiallisten muovin kemiallisen kierrätyksen prosessien yksi lopputuote on polttoaine. Sen voidaan ajatella ympäristönäkökulmasta korvaavan neitseellistä raaka-ainetta eli raakaöljyä. Argonne National Lab -tutkimuslaitoksen vuonna 2017 tekemässä tutkimuksessa, verrattiin pyrolysoidusta muovista valmistetun erittäin matalarikkisen diesel-polttoaineen (ULSD) energia- ja vedenkulutusta sekä kasvihuonekaasupäästöjä tavanomaisesti fossiilisista raaka-aineista tuotetun ULSD:n kanssa. Tutkimuksen johtopäätös oli, että pyrolyysillä tuotetun polttoaineen kasvihuonekaasupäästöt voivat olla jopa 14 % pienemmät ja vedenkulutus jopa 58 % alhaisempi verrattuna tavanomaisesti tuotettuun vaihtoehtoon.^{39, 40} Toisaalta muuntaminen muovista polttoaineeksi sallii alkuperäisen muoville vain yhden lisäkäytön toisin kuin vaihtoehtoiset ratkaisut, jotka voivat johtaa useisiin polymeerin uusiokäytön elinkaariin.⁴¹ Muovijätteen uudelleen hyödyntämisen kannattavuus vaatii aina kokonaisvaltaista tarkastelua, mutta joka tapauksessa muovijätteen hyödyntäminen polttoaineena on korkea-arvoisempaa kuin jätteenä poltto, erityisesti silloin kun muovi on erilliskerätty.

Pyrolyysin kehityksellä voidaan nähdä myös sosioekonomisia seurauksia: joillakin alueilla jätteiden kerääminen ja lajittelu on epävirallinen alasektori, joka tarjoaa toimeentulon miljoonille ihmisille. Suurilla lajittelukeskuksilla tai keräysjärjestelmillä, voi olla haitallinen vaikutus tällaisiin alasektoreihin, ellei siirtymää tehdä myös sosioekonomisesta näkökulmasta hallitusti.⁴²

38 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

39 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

40 Benavides et al. (2017), Life-cycle analysis of fuels from post-use nonrecycled plastics (julkaisu: Fuel Volume 203, 1 September 2017, Pages 11-22)

41 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

42 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

2.4 Muovijäte-ennusteet ja potentiaali kemialliselle kierrätykselle

Asiantuntijat arvioivat muovijätteen määrän nousevan Suomessa maltillisesti. Muovijätteen raportoinnin ja tilastoinnin haasteiden vuoksi jätemääräluvuissa on suurta vaihtelua. Tässä selvityksessä luvut perustuvat moniin ilmoitettuihin lähteisiin ja niitä on myös validoitu Gaian muiden selvitysten puitteissa erilaisissa asiantuntija-keskusteluissa. Lähteistä riippuen Suomen muovijättemäärän ennustetaan olevan vuonna 2020 250 000 t–380 000 t. Vuoteen 2030 mennessä määrän odotetaan kasvavan 6–18 %.⁴³ Jos otamme luvuista keskiarvot, vuoden 2020 muovijättemäärä olisi 315 000 t ja 2030 371 000 t. Tiukentuvat muovin kierrätystavoitteet ja niitä tukevat toimenpiteet Suomen ja EU:n tasolla tulevat ohjaamaan yhä enemmän muovijätettä kierrätysprosesseihin, mikä muokkaa koko muovin kierrätyksen arvoketjua.

Suomessa suunniteltujen ja jo toteutuneiden toimenpiteiden mukaisesti tavoitteena on tehostaa muovin talteenottoa ja laajentaa sitä muihinkin muoveihin kuin pakkausmuoveihin. Erilliskeräysverkostoa tullaan laajentamaan ja sen kattavuutta parantamaan. Tästä johtuen myös talteen otetun muovin logistiikkaa kehitetään alueiden erityispiirteet huomioiden. Uusien kierrätykseen kerättyjen muovijättejakeiden käsittely voi vaatia myös uudenlaisia prosesseja ja teknologioita. Lisäksi muovijätteen erottelua sekajätteestä pyritään tehostamaan kustannustehokkain menetelmin. Nämä kaikki toimet synnyttävät uusia kierrätykseen päätyviä muovijätevirtoja, joista kaikki eivät sovellu nykyiseen mekaaniseen kierrätykseen.

Muovitiekartassa⁴⁴ kemiallinen kierrätys nähdään mekaanisen kierrätyksen rinnalla täydentävänä ratkaisuna, joka mahdollistaa arvoverkkojen kehittymisen erityisesti huonolaatuiseksi, mekaaniseen kierrätykseen soveltumattomalle muoville. Muovien kemiallinen kierrätys voi sisältää niin suurten volyymien keskitetympiä kuin pienen mittakaavan paikallisia ratkaisuja. Kemiallinen kierrätys nähdään muovitiekartassa mahdollisuutena myös muovin haitta-aineiden poistamiselle kierrätysmenetelmin, mikä taas avaa uusia käyttömahdollisuuksia kehitettävälle kierrätystuotteille.

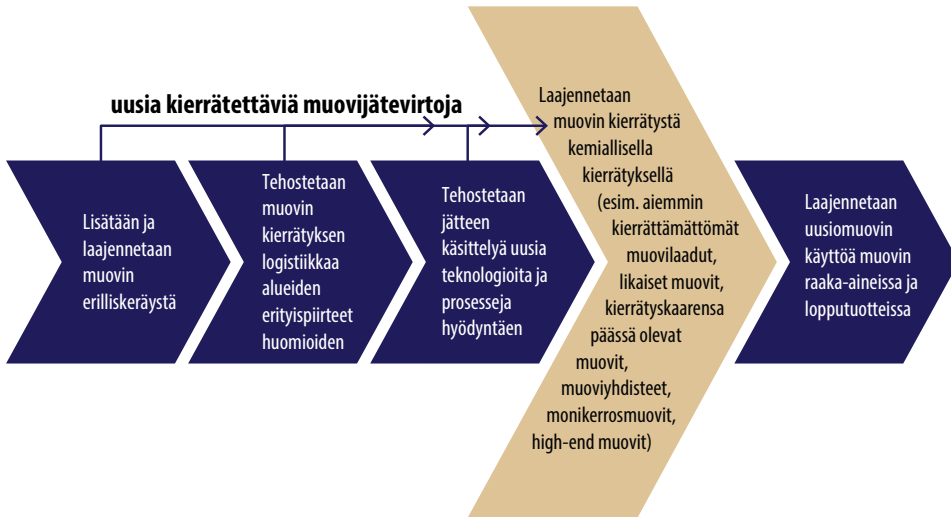
43 Eskelinen et al. (2016), Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet

44 Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa, Muovitiekartta Suomelle

Muovijätteen kierrätyksen tehostamisessa, oli kyseessä mekaaninen tai kemiallinen ratkaisu, on ensiarvoisen tärkeää, että kierrätykseen päätyvät muovivolyymit saadaan kasvamaan sekä kierrätys laajenemaan pakkausmuoveista muihin muoveihin. Muovitiekartta linjaa tätä tavoitetta tukeviksi toimenpiteiksi mm. pakkausmuovin talteenoton ja keräyspaikkojen lisäämisen, erilliskeräyksen vaatimusten uudistamisen ja keräyksen tehostamisen tuottajien, kuntien, jätehuoltoyritysten ja muiden toimijoiden yhteistyönä. Lisäksi kuluttajia ja yrityksiä opastetaan lajittelussa, jota tuetaan myös hinnoittelulla. Kierrätystä edistävien muiden ohjauskeinojen käyttöönottoa arvioidaan. Tällaisia ovat esimerkiksi mahdolliset veloitteet käyttäjämuovituotteiden valmistuksessa tietty osuus kierrätettyä raaka-ainetta sekä tuotteiden hinnoitteluun vaikuttavat pantit, maksut ja verot. Kierrätykseen päätyvän muovin laatua pyritään myös parantamaan kehittämällä ja testaamalla muovijätteen puhdistus-, kierrätys- ja jalostusteknologioita. Muovitiekartta linjaa erinäisiä toimenpiteitä myös erityisesti maatalous- ja rakennussektoreiden muovien kierrätyspotentiaalin tunnistamiseksi ja kehittämiseksi.

Lainsäädännön mukaan muovien kierrätettävyyden vaatimukset on otettava huomioon tuotesuunnittelussa ja kertakäyttömuovin käyttöä rajoitetaan, minkä oletetaan johtavan kasvaneeseen kierrätysmuovin käyttöön. Kierrätysmuovimarkkinoiden oletetaan laajentuvan tuotteisiin, joissa kierrätysmuovia ei ole aikaisemmin käytetty, kuten esimerkiksi tekniset ja korkea hygieniatasoa vaativat muovit. Muovin kemiallinen kierrätys mahdollistaa kierrätysmuovin käytön tällaisissa uusissa käyttökohteissa.

Voidaan olettaa, että erilliskeräyksen parantuessa merkittävä osa nyt Suomessa sekajätteen mukana polttoon menevästä 220 000 tonnista muovijätettä päätyy tulevaisuudessa kierrätykseen. Osa tästä ei laadultaan, puhtaudeltaan tai muilta ominaisuuksiltaan sovellu mekaaniseen kierrätykseen, ja näille jakeille tarvitaan kemiallista kierrätystä. Lisäksi tietyiltä alueilta voidaan kerätä erityismuoveja, esim. maataloudesta tai rakennuksista, jotka myös voivat soveltua mekaanista paremmin kemialliseen kierrätykseen. Myös tällä hetkellä polttoon menevästä erilliskerätystä muovista, jota eri lähteiden mukaan on Suomessa noin 30 000–60 000 tonnia, löytyy jakeita, jotka olisivat soveltuvia kemiallisen kierrätyksen prosesseihin. Poltolle voidaan asettaa myös kieltoja, mikä pakottaisi kehittämään mekaaniseen kierrätykseen kelpaamattomille muoveille soveltuvia kemiallisen kierrätyksen prosesseja.



Kuva 7. Toimenpiteitä, jotka luovat muovin kemialliselle kierrätykselle potentiaalisia uusia muovijätevirtoja. Osa uusista kierrätettävistä muovijätevirroista päätyisi myös mekaaniseen kierrätykseen, mikäli ne laadultaan, puhtaudeltaan ja muilta ominaisuuksiltaan siihen soveltuvat.

2.5 Muovin kemiallisen kierrätyksen toimijoita Suomessa

Suomessa kemiallinen kierrätys on tällä hetkellä kokeilu- ja pilottiasteella. Jos kaupallista toimintaa on, siitä ei ole saatavilla julkista tietoa.

Merkittävimmät muovin kemiallista kierrätystä kehittävät suomalaiset tahot ovat Neste ja tutkimuspuolella VTT. Neste toimii globaalilla tasolla ja sen toiminta vastaa muiden kansainvälisten öljy-yhtiöiden toimintaa aihealueella. Neste on julkisten tietojen mukaan investoimassa muovin kemialliseen kierrätykseen satoja miljoonia euroja. Se on solminut yhteistyösopimuksia tavoitteenaan prosessoida vuosittain yli miljoona tonnia muovijätettä 2030 lähtien. Yritys on elokuussa 2018 sopinut brittiläisen ReNewELP:n ja australialaisen Licellan kanssa kumppanuussopimuksen liitetyen kehitysprojektiin, jossa muovijätteestä pyritään tekemään raaka-ainetta nestemäisten hiilivetyjen, kemikaalien ja uusien muovien valmistukseen. Yhtiöt tutkivat nestemäisen jätemuovin soveltuvuutta jalostamoiden raaka-aineksi sekä tähän

liittyviä vastuullisuusnäkökulmia. Yritykset toimivat myös edistääkseen kemiallisen kierrätyksen hyväksyttävyyttä lainsäädännössä.⁴⁵

Suomessa on myös joitakin paikallisen tason julkisia kokeiluja/toimintaa, jotka perustuvat paikallisesti saatavilla olevaan muovijätevirtaan. Esimerkkinä mainittakoon Pohjanmaan Hyötyjätekuljetus, joka tuottaa muovijätteestä pyrolyysillä ja depolymerisoimalla kierrätettyä raaka-ainetta muovi- ja petrokemian käyttöön. Prosessi toimii esikaupallisella tasolla. Lisäksi yrityksen tytäryhtiö Fenergy kehittää ja kaupallistaa kierrätykseen, myös muovin kemialliseen kierrätykseen soveltuvia teknologioita.⁴⁶ Forssassa toimiva Kiertoketju puolestaan rakentaa Suomeen kotimaiseen pyrolyysitekologiaan eli kuivatuslaukseen perustuvaa laitosverkostoa, jossa se pilotoi autonrenkaiden kemiallista kierrätystä öljynjalostuksen tarpeisiin.⁴⁷

Suomella on pitkät perinteet metsäbiomassan pyrolyysissä (esim. tervan poltto). Pyrolyysiin pohjautuvia teknologioita on käytössä biomassan käsittelyssä polttoaineksi. Tästä esimerkkinä mainittakoon Fortumin pyrolyysilaitos Joensuussa, missä tuotetaan metsähakkeesta pyrolyysiöljyä. Laitos ei käsittele lainkaan muovijätettä, ja muovien pyrolyysi vaatii teknologioiden ja prosessien edelleen kehittämistä.

Myös muovijätteen prosessoinnin kaasutusteknologioita on jo Suomessa testattu. Lahti Energialla on jätteen kaasutuslaitos, jossa prosessista saatava kaasuhyödynnetään energiana ja kaasutuksen tarkoitus on parantaa sekajätteen energiahyödyntämisen prosessin hyötysuhdetta.

Ecomation suunnittelee ja toimittaa koneita ja prosessijärjestelmiä mm. muovin ja kumin kierrätysprosesseihin. Lisäksi esim. Valmetin ja mahdollisesti muidenkin metsä- ja energiateollisuuden toimijoiden laitteistot voivat soveltua muovin kemialliseen kierrätykseen, mutta soveltaminen vaatii tuotekehitystä.

45 Neste.com (2018), Neste, ReNew ELP ja Licella aloittavat yhteistyön jätemuovin hyödyntämiseksi raaka-aineena Tiedote julkaistu 16.8.2018.

46 Hyötyjätekuljetus.fi

47 Kiertoketju.fi

2.6 Muovin kemiallisen kierrätyksen esimerkkejä maailmalla

Kemiallinen kierrätys kiinnostaa muovialan sekä petrokemian alan toimijoita kaikkialla maailmassa. Monet muovien kemialliseen kierrätykseen liittyvät innovaatiot ovat vielä globaalistikin katsoen kehitteillä, ja yritykset toimintojen skaalauksen vaiheessa. Muovin kemiallisen kierrätyksen kehittäminen teollisuudenalana vaatii erilaisten osaamisten yhdistämistä, mikä näkyy selvänä trendinä petrokemian yritysten ja muovinkierrätyssektorin yhteistyössä ja yritysostoissa. Esimerkiksi Borealis on ostanut Ecoplast Kunststoffrecycling GmbH:n, joka on itävaltalainen muovin kierrätysyritys.⁴⁸ Samoin Total on ostanut Synovan, joka puolestaan on Ranskan johtava kierrätetyn polypropyleenin tuottaja autosektorille.⁴⁹ SABIC, Saudi-Arabialainen öljyjätti, on solminut sopimuksen yhteistyön aloittamisesta Plastic Energy Ltd. kanssa, joka taas on brittiläinen kemiallisen kierrätyksen yritys⁵⁰, ja EQUATE Petrochemical Company Kuwaitista on liittynyt Alliance to End Plastic Waste (AEPW) -järjestykseen⁵¹.

Rotterdamissa, Alankomaissa, ollaan valmistelemaan erittäin suurta kaasutus-tekniologiaan perustuvaa laitosinvestointia muovien kemialliseksi kierrättämiseksi. Hankkeessa on mukana Air Liquide, ranskalainen monikansallinen teollisuuskaasujen tuottaja, erikoiskemikaalien tuottaja Nouryon (entinen Akzonobel Speciality Chemicals), Enerkem, kanadalainen jätteen konvertointitekniologian kaupallistaja sekä Shell, yhdessä Rotterdamin sataman kanssa. Kaupallisen skaalan laitoksen on tarkoitus olla toiminnassa vuonna 2020. Laitos on ensimmäinen laatuaan Euroopassa ja se tulee valmistamaan synteetikkaasua ja metanolia muutoin kierrätyskelvottomasta jättemateriaalista. Sekamuovijätteen lisäksi koe-laitos pystyy käsittelemään myös biomassaa, vaippoja, mätää paperia ja vastavia erittäin vaikeasti kierrätettäviä jätejakeita. Laitoksen lopputuotteista on tarkoitus valmistaa arvokkaita kemikaaleja sekä liikennepolttoainetta. Suunnitelman

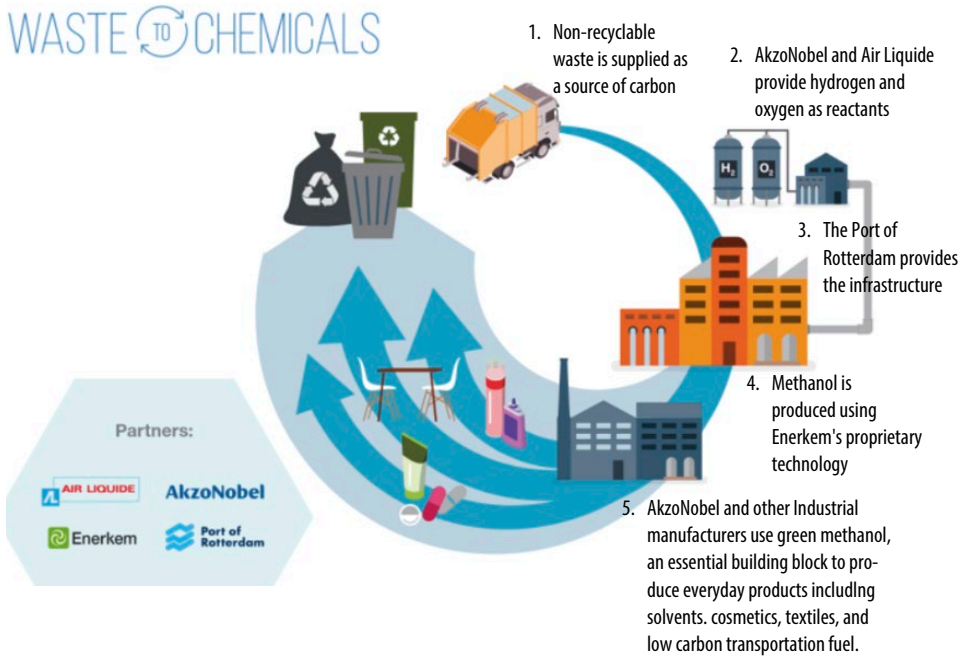
48 borealisgroup.com

49 total.com

50 recyclingtoday.com

51 refiningandpetrochemicalsme.com

mukaan laitos tulee konvertoimaan 360 kt jätettä 220 kt:ksi metanolia, mikä vastaa 700 000 kotitalouden vuosittaista jätemäärää.^{52, 53, 54} Kuva 8 esittää havainnekuvaa tuotantolaitoksesta.



Kuva 8. Havainnekuva Rotterdamiin, Alankomaihin, rakenteilla olevasta kaasutukseen perustuvasta muovien kemiallisen kierrätyksen laitoksesta.⁵⁵

52 Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

53 Green Cars Congress (3/2019), W2C Rotterdam welcomes Shell as partner in waste-to-chemicals project

54 BiofuelsDigest (3/2019), Shell joins Air Liquide, Nouryon in Enerkem waste-to-chemicals project in Rotterdam: the complete story

55 Green Cars Congress (3/2019), W2C Rotterdam welcomes Shell as partner in waste-to-chemicals project

Näiden lisäksi mm. USA:ssa, Ranskassa ja Kanadassa sekä Isossa Britanniassa on sekä startuppeja että suurempia kemian alan yrityksiä, jotka kehittävät muovien kemiallisia kierrätysmenetelmiä. Pisimmälle ehtineet ratkaisut ovat kokeiluasteella tai siirtymässä skaalattaviksi kaupalliseen ja teolliseen mittakaavaan.^{56, 57} Esimerkiksi yli 40 teknologiayritystä operoivat jo tai suunnittelevat käynnistävänsä seuraavan kahden vuoden aikana pilotti- ja kaupallisia tuotantolaitoksia Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Toiminnan skaala voi olla vielä pientä ja hajautettua suhteessa olemassa olevaan petrokemian infrastruktuuriin, mutta mittakaavapotentiaali on todellinen.⁵⁸

Osa käynnissä olevista kokeiluista ja aloitteista tähtää kierrätysmuovin raaka-aineen valmistukseen ja kaupallistamiseen ja osa taas liittyy kierrätysteknologian kaupallistamiseen. Esimerkkeinä yrityksen omista kehityshankkeista ovat saksalaisen BASFin ChemCycling -kehityshanke⁵⁹ ja OMV:n ReOil-hanke^{60, 61, 62}. ChemCycling-hankkeella BASF pyrkii prosessoimaan pyrolyysiöljyä sellaisesta muovijätteestä, jota ei tällä hetkellä voida kierrättää, kuten monesta muovilaadusta sekoitetut tai likaiset muovit. BASF käyttää tuotettua teollisuusbensiniä korkealaatuisen muovimateriaalin tuottamiseen.^{63, 64} BASF:n hankkeessa tuotetun materiaalin loppukäyttäjäpartnereita ovat Jaguar Land Rover, jonka sähköisessä SUV-automallissa materiaalia kokeillaan etupaneelissa, saksalainen Storopack kokeilee materiaalia lämpötilakriittisten farmasiantuotteiden pakkauseristeenä, saksalainen Südpack tuottaa materiaalista mozzarella-juuston pakkausmateriaalia, sekä Schneider Electric valmistaa materiaalista sähkökatkaisijoita.⁶⁵ Prosessoinnin teknologiaa taas kaupallistaa esimerkiksi iso-britannialainen Recycling Technologies⁶⁶, jonka muovin prosessointiin soveltuva modulaarinen lämpökrakkauslaitteisto voidaan asentaa olemassa

56 Recycling Today/Gerlat Allan (10/2018), The promise of chemical recycling

57 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

58 Closed Loop Partners (4/2019), Circular Supply Chains for Plastics

59 basf.com Chemical recycling of plastic waste Noudettu 30.8.2019.

60 omv.com (9/2018), ReOil:getting crude oil back out of plastic. Noudettu 15.8.2019.

61 Plasteurope.com (4/2019) OMV Austrian pilot plant turns plastic cups into crude oil / Collaboration with Austrian Airlines. Noudettu 30.8.2019.

62 Borealis.com (5/2019) OMV ReOil project: OMV and Borealis extend their partnership at the industrial site in Schwechat. Noudettu 30.8.2019

63 Recycling Magazine (7/2019), Prototypes made from chemically recycled material

64 Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

65 Recycling Magazine (7/2019), Prototypes made from chemically recycled material

66 recyclingtechnologies.co.uk. Noudettu 30.8.2019

oleviin jätelaitoksiin. BP ja RES Polyflow rakentavat Yhdysvalloissa Indianaan pyrolyysilaitosta, joka tulisi tuottamaan 100 kt pyrolyysiöljyä vuodessa. Laitoksen odotetaan aloittavan toimintansa vuonna 2019.^{67,68} Kemianteollisuuden maailmanlaajuinen toimija SABIC on ilmoittanut yhdessä asiakkaidensa Unileverin, Vinventionin ja Walki Groupin kanssa käynnistävänsä sertifioitujen kierrätettyjen polymeerien valmistuksen Alankomaissa käytettäväksi pakkausteollisuuden tarpeisiin. Polymeerien on tarkoitus tulla markkinoille jo vuonna 2019. Polymeerit tuotetaan brittiläisen Plastic Energy Ltd:n patentoidusta TACOIL-raaka-aineesta, jota tuotetaan heikkolaatuisesta sekamuovijätteestä.⁶⁹ Ranskalainen Carbios on toteuttanut yksityisen ja julkisen sektorin yhteistyönä viisivuotisen Thanaplast™-hankkeen, jossa kehitettiin entsyymaattista kemiallisen kierrätyksen menetelmää PET-muovin kierrätykseen^{70,71}. Lisätietoa hankkeista löytyy alla olevista laatikoista.

Yritysten tuotekehityshankkeiden ohella muovin kemialliseen kierrätykseen liittyen on käynnissä joitakin tutkimushankkeita. Kierrätystä tutkitaan esimerkiksi Saksassa Karlsruhe Institute of Technologyssä, joka tekee yhteistyötä maailmalaajuisen muovien ja kemikaalien tuottajan LyondellBasellin kanssa⁷². Ruotsissa Lundin yliopisto tarkastelee muovin vastuullisuutta laajasti STEPS (Sustainable Plastics and Transition Pathways) tutkimusohjelmassa⁷³, jossa pääpaino tosin on biopolymeerien tutkimuksessa. EU rahoittaa tällä hetkellä ainakin kolmea kemialliseen kierrätykseen liittyvää tutkimushanketta: Plast2Bcleaned⁷⁴, jota koordinoi hollantilainen tutkimuslaitos TNO ja jossa keskitytään muovin kemialliseen kierrättämiseen elektroniikkajätteestä; NONTOX "Removing hazardous substances to increase recycling rates of WEEE, ELV and CDW plastics", jota koordinoi VTT ja jossa tavoitteena on lisätä elektroniikkajätteen, autonromujen ja rakennusjätteen sisältämien muovien kierrätystä ja tarkastelun kohteena on koko arvoketju⁷⁵, myös Aalto yliopiston Muotoi-

67 Boston Consulting Group (2019) A Circular Solution to Plastic Waste

68 InsideIndianaBusiness (4/2019), Funding Secured For Plastics-to-Fuel Facility

69 Plasticenergy (1/2019), Sabic and customers launch certified circular polymers from mixed plastic waste

70 Carbios (1/2018) Carbios successfully completes final key stage of Thanaplast™ project and receives €1 million from Bpifrance Noudettu 20.8.2019.

71 Carbios.fr/biorecycling Noudettu 20.8.2019.

72 LyondellBasell (7/2018), LyondellBasell advances chemical recycling by signing agreement with the Karlsruhe Institute of Technology

73 Lund University, STEPS – Sustainable Plastics and Transition Pathways

74 plast2bcleaned.eu

75 sc5.easme-web.eu

Iun laitos on mukana hankkeessa; sekä POLYNSPIRE⁷⁶ "Demonstration of Innovative Technologies towards more Efficient and Sustainable Plastic Recycling", jossa muun muassa tutkitaan miten mikroaaltojen ja älykkäiden magneettisten katalyyttien avulla tuotettaisiin muovista monomeerejä ja muita arvokkaita täytemateriaaleja.

Lisäksi EU rahoittaa joitakin yksittäisten PK-yritysten kaupallistamiseen tähtäviä innovaatiohankkeita aihealueella.

76 www.polynspire.eu

Carbios THANAPLAST™, Ranska

Teknologia: Patentoitu entsyymaattinen prosessi, jolla muovioa voidaan "biokierrättää" (biorecycling)

LÄHTÖMATERIAALI: polyesterit (PET-muovi), polyamidit (sekä biopohjainen PLA-muovi), siis erityisesti pakkauksissa käytettävä muovi soveltuu entsyymaattiseen prosessiin hyvin. Käytetyistä PET-pulloista onnistuttiin prosessissa entsyymaattisella hydrolyysillä tuottamaan uutta PET-muovia.

TUOTE: Uutta PET-muovia

Vaihe: Viisivuotinen THANAPLAST™-kehitysprojekti (2012–2017) toteutettiin julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyönä, 10-jäsenisellä konsortiolla, jossa mukana yrityksiä ja tutkimustahoja. Kehitysprojektin jälkeen seuraavana askeleena nähdään pilottilaitoksen perustaminen. Vuonna 2017 koordinaattoriyrittäjä Carbios julkisti 5-vuotisen konsortioyhteistyön mm. kosmetiikkayritys L'Oréalin kanssa prosessin viemiseksi teolliseen mittakaavaan.

OMV ReOil, Itävalta

Teknologia: Lämpökäsittely ja kaasutus, jossa lämmönjohtavuutta nostetaan prosessissa uudelleenkäytettävän liuotinaikseen avulla ja muovi hajotetaan lämpökrakkauksella

LÄHTÖMATERIAALI: LDPE-, HDPE-, PS- ja PP-muovit

TUOTE: ReOil-raakaöljy, jota voidaan käyttää muovien, polttoaineen ja dieselin raaka-aineeksi.

Vaihe: Teknologiaa testataan nyt ensimmäisessä testilaitoksessa, joka käsittelee 100 kg muovia/tunti. Suunnitteilla on seuraava testilaitos kapasiteetilla 2 000 kg/h ja tavoitteena avata teollisen mittakaavan taloudellisesti kannattava laitos noin 6–7 vuoden kuluessa. Tällöin kapasiteetti riittäisi kierrättämään jopa 1/3 Itävallan muovijätteestä öljyksi.

Teknologiaa on testattu mm. yhteistyössä Austrian Airlinesin kanssa lennoilta kerätyn muovijätteen kierrätykseen. Kolmen kuukauden aikana kerätyistä 1 M muovimukista saadaan noin 2 500 litraa ReOil-öljyä. Keväällä 2019 OMV julkisti yhteistyön osin omistamansa Borealiksi kanssa. Borealiksi on tarkoitus jatkojalostaa ReOil-öljyä polyolefiineiksi.

Recycling Technologies, UK

Teknologia: Modulaarinen lämpökrakkauksjärjestelmä RT7000, joka voidaan asentaa jätteenkäsittelylaitokselle

LÄHTÖMATERIAALI: "lähes mikä vain muovi"

TUOTE: RT7000-järjestelmä, joka tuottaa vähärikkistä Plaxx-öljyä, jota voidaan (erillisiä fraktioita erikseen tai yhdessä) käyttää mm. muovin raaka-aineina tai vahana (mm. pakkaukset, kosmetiikka)

Vaihe: Teknologia on kokeiluasteella. Tavoitteena rakentaa 1300 RT7000-järjestelmää seuraavan vuosikymmenen aikana, lisätä kierrätyskapasiteettia 10 miljoonalla tonnilla.

Plastic Energy, UK, Espanja

TEKNOLOGIA: Patentoitu terminen anaerobinen konversio

LÄHTÖMATERIAALI: soveltuvat muovit LDPE, HDPE, PS ja PP

TUOTE: Patentoidulla prosessilla kotitalousjätemuovista TACOIL-öljyä, joka voidaan käyttää sekä raaka-aineena että polttoaineena ja soveltuu myös elintarvikekäyttöön. Tonnista jätemuovia voidaan tuottaa 850 litraa TACOIL-öljyä. Alankomaissa kemianteollisuuden yritys SABIC jalostaa öljyä edelleen sertifioituksi kierrätyspolymeereiksi asiakkailleen (mm. Unileverille ja Walkille).

Vaihe: Yritys on toiminut vuodesta 2014 ja sillä on kaksi laitosta Espanjassa ja sopimus (MoU) Länsi-Jaavan provinssin kanssa viiden laitoksen rakentamisesta Indonesiaan. Yrityksen missiona on prosessoida 200 000 tonnia muovia vuonna 2020.

3 Haastattelujen yhteenveto

Tähän lukuun on koottu taulukkomuotoisena yhteenvetoanalyysinä keskeisimmät haastatteluissa ilmenneet seikat, joiden nähdään merkittävästi vaikuttavan muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnan ja kaupallistamisen edellytyksiin. Tässä esiteltyt asiat on kirjoitettu tarkemmin auki Liitteessä 3.

3.1 Muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnan kannattavuuden edellytyksiä

<p>Kierrätysmuovi vs. neitseellinen materiaali</p>	<p>Muovin kemiallinen kierrätys on ns. upcycling-prosessi: materiaalin arvo kasvaa kierrättämällä jäteraaka-aineeksi, jota voidaan käyttää uusissa tuotteissa.</p> <p>Kierrätetty raaka-aine on neitseellistä kalliimpaa: kierrätys vaatii resursseja ja ylimääräisiä askeleita verrattuna neitseellisen materiaalin tuotantoketjuun, mikä on ylimääräinen kustannustekijä lopputuotteen hinnassa, vaikka teknisessä suorituskyvyssä ei ole eroa.</p> <p>Liiketoiminnallinen kannattavuuslaskenta perustuu öljyn hintaan.</p> <p>Neitseellisen muovin tuottaminen on edullista ja kustannustehokasta eikä kemiallinen kierrätys ole vielä niin laajamittaista toimintaa, että pystyisi kilpailemaan raakaöljyn massatuotantoon suuntautuneiden tuotantoketjujen kanssa.</p> <p>Uusiomuovien ja petrokemian toimijoille voi olla edullisempaa ottaa prosesseihinsa kierrätettyä muovia, mikäli se on puhtaampaa ja vaatii vähemmän esikäsittely- ja jalostusvaiheita kuin neitseellinen raaka-aine.</p>
<p>Teknologiat vs. liiketoimintamallit ja investointitarpeet</p>	<p>Pyrolyysiin/nesteytykseen perustuvassa muovin kemiallisessa kierrätyksessä nähdään liiketoiminnallista potentiaalia, jonka saavuttaminen vaatii koko arvo- ja tuotantoketjun tehokasta ja yhtenäistä toimintaa.</p> <p>Pyrolyysin taloudellinen kannattavuuteen vaikuttavat 1) muovijätteiden määrä, 2) raaka-aineiden hankinta- ja käsittelykustannukset, 3) pyrolyysilaitosten kapasiteetti ja käyttökustannukset, sekä 4) pyrolyysinesteen ja muiden lopputuotteiden myynnistä saatavat tulot, mitkä vaihtelevat huomattavasti alueittain ja markkinoittain.</p> <p>Kemiallisen kierrätyksen teknologioiden (pyrolyysi vs. kaasutus) valintaan vaikuttavat investointitarpeet ja liiketoimintamallien vaatimukset.</p> <p>Pyrolyysi vaatii pienemmät alkuinvestoinnit ja mahdollistaa myös hajautetun ratkaisun, jossa paikallisesti voidaan käsitellä kohtuullisen pieniäkin jätevirtoja.</p> <p>Kaasutusprosessi vaatii kannattaakseen liiketoiminnallisesti suuren tuotantolaitoksen sekä suuret jätevirrat, mutta vaatimukset jätteiden lajittelun suhteen ovat vähäisemmät kuin pyrolyysillä.</p> <p>Kaasutuslaitoksen riippuvuus jätevirroista aiheuttaa logistisia kustannuksia.</p>
<p>Massatasejärjestelmä (lisätietoa erillisessä infolaatikossa)</p>	<p>Yritykset toivovat selkeitä pelisääntöjä ja uskottavaa, neutraalia ja sertifioitua järjestelmää, jolla kertoa kuluttajalle siitä, kuinka paljon tuote sisältää kierrätettyä materiaalia ja perustelemaan näin myös kierrätysmuovituotteen kalliimpaa hintaa.</p> <p>Käsite mahdollistaisi hallitun markkinan kehittymisen lopputuotteille, joissa käytetään kierrätetyn ja neitseellisen raaka-aineen sekoitetta.</p>

<p>Kierrätettyjen tuotteiden määritelmä</p>	<p>Kierrätystavoitteiden kiristyessä kehittyvät liiketoiminnan tueksi tarvitaan selkeitä määritelmiä sille, mitkä lopputuotteet lasketaan kierrätetyiksi.</p> <p>Määritelmässä on tärkeää tarkastella koko arvoketjua.</p> <p>Alalla on eriäviä mielipiteitä siitä pitäisikö polttoainekäyttö hyväksyä muovin kemiallisen kierrätyksen lopputuotteeksi ja edistäisikö se muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistamista.</p> <p>Loppujen lopuksi kysyntä ratkaisee markkinoiden kehittymisen, mutta lainsäädännöllä on tärkeä ohjaava rooli sen suhteen, miten prosessit saadaan kaupallistettua kannattavaksi liiketoiminnaksi.</p>
<p>Kaupallistaminen vaatii uusia arvoketjuja</p>	<p>Muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistumiseksi tarvitaan liiketoiminnan mahdollistavia ratkaisuja kaikille arvoketjun varrella oleville toimijoille: jäte- ja jätteenlajittelu-yhtiöt, muovijätteen prosessoijat/kierrättäjät (esim. startup- tai pk-yrityksiä), kemian- ja petrokemian (suuret) yritykset, muovituotteita valmistavat yritykset, brändinomistaja.</p> <p>Kaupallistumiseksi kaikkien toimijoiden on saumattomasti löydettävä paikkansa arvoketjussa, saatava rahoitusta ja tunnistettava liiketoiminnallisia mahdollisuuksia kierrätysmuoveista.</p> <p>Muovin kemiallinen kierrätys mahdollistaa siirtymisen lineaarisesta arvoketjusta kiertotalouden suljetun ympyrän arvoketjuun.</p> <p>Muovin kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ovat useimmiten kansainvälisiä, jolloin niitä ei voi tarkastella yhden maan perspektiivistä: mukana on myös suuria monikansallisia yhtiöitä, jotka hakevat innovaatioita ja teknologioita uuden liiketoiminnan tueksi partneroitumalla startup- ja pk-yritysten kanssa.</p> <p>Uudenlaisessa arvoketjussa toimiminen vaatii kaikilta toimijoilta uudenlaista näkökulmaa tuotannon ja liiketoiminnan perusteisiin.</p>
<p>Teknologioiden ja markkinoiden kypsyyt</p>	<p>Uudet teknologiat tarvitsevat usein ainakin 10 vuotta, jotta ne skaalautuvat riittävästi kaupallistua.</p> <p>Muovin kemiallisen kierrätyksen teknologiat eivät sinällään ole uusia, mutta kemianteollisuuden markkinaympäristö on vasta viime aikoina alkanut muovautua aiheelle suosiolliseksi.</p> <p>Petrokemian- ja kemianteollisuuden on oltava valmiita muuttamaan raaka-ainepohjaansa, ja tähän vaikuttaa olennaisesti kuluttajien vaatimukset ja maksuvalmius kierrätystuotteisiin.</p> <p>Pyrolyysiteknologian osalta markkinoilla on jo startup- ja pk-yrityksiä, jotka ovat kaupallistaneet tai kaupallistamassa muovien kemiallista kierrätystä: seuraavaksi tarvetta olisi toiminnan skaalaukselle ja/tai modularisoinnille.</p> <p>Biotekniset ratkaisut termokemiallisten ratkaisujen rinnalla ovat vielä kohtuullisen uusia, eikä niitä juurikaan ole täysin kaupallisessa käytössä.</p>

Lopputuotteet liiketoiminnan perustana

Kemiallisen kierrätyksen avulla saadaan teknisesti saman laatuista raaka-ainetta kuin neitseellinen raaka-aine: avaa ovia erilaisille lopputuotemarkkinoille.

Kun teknologioiden kehityksen myötä lopputuotteiden hinta saadaan järkevälle tasolle, kierrätysmateriaalin käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat

Pyrolyysi- ja nesteytysprosessien lopputuotteena syntyy pääasiassa öljyä, noin 70 % hyötysuhteella.

Petrokemianteollisuuden prosesseissa öljy jalostetaan naftaksi, mikä on kemianteollisuuden alkupiste, josta voidaan muokata mikä tahansa muoviteollisuuden lopputuote.

Pyrolyysin lopputuotteesta 15–17% on synteetikaasua, joka käytetään tuottamaan prosessia tarvittavaa lämpöä.

Kaikki muovijätteen kontaminaatio tuottaa hiiltä, jota prosessista syntyy noin 10 %: sen potentiaalisia käyttökohteita voisi olla aktiivihiili, ja myös käyttöä autojen akkujen raaka-aineena tutkitaan.

Kaasutuksessa lopputuotteena saadaan synteetikaasua, joka koostuu hiilimonoksidista ja vedystä, ja josta puhdistettuna voidaan valmistaa peruskemikaaleja kuten metanolia.

Kaasutusprosessi vaatii suuria volyymejä ollakseen kannattava.

Biotekninen kemiallinen kierrätysmenetelmä tuottaa ensimmäisenä lopputuotteena etanolia.

Lopputuotteet voivat myös olla happoja, joilla on arvoa kemianteollisuuden raaka-aineena, esimerkiksi atselaiinihappo (azelaic acid).

Tärkeää on lopputuotteiden soveltuvuus elintarvikkeiden yhteydessä käytettäväksi: kemiallisesti kierrätetyn muovin käytölle elintarvikepakkauksissa ei ole esteitä toisin kuin suurelle osalle mekaanisesti kierrätetyistä muoveista.

Massatasejärjestelmä

Menetelmä tarjoaa säännöt kierrätetyn raaka-aineiden jäljitettävyydelle kierrätystuotteissa

Kemiallisen kierrätyksen teknologiat tarjoavat mahdollisuuden tuottaa neitseellisen veroista raaka-ainetta

- Nämä prosessit kytkeytyvät suoraan olemassa olevaan kemianteollisuuden infrastruktuuriin, toisin kuin mekaaninen kierrätys
- Kierrätysraaka-aine ei ole erotettavissa fyysisesti erillisenä materiaalivirtana vaan sekoittuu muihin raaka-aineisiin kemiantehdaskompleksissa

Massatasekirjanpito on yksi tunnetuista menetelmistä, joka mahdollistaa raaka-aineen jäljitettävyyden monimutkaisessa teollisessa arvoketjussa

- Järjestelmää käyttävät mm. sellaiset kestävään ja vastuulliseen materiaalin hankintaan tähtäävät ohjelmat kuin FSC (Forest Stewardship Council) ja BCI (Better Cotton Initiative)

Järjestelmä soveltuu hyvin seuraamaan kierrätettyä raaka-ainevirtaa kemianteollisuuden tuotantolaitoksessa

Massatasejärjestelmä koostuu joukosta sääntöjä, jotka määrittävät, miten lopputuotteille allokoidaan sisältyväksi kierrätettyä raaka-ainetta, jotta niiden voidaan väittää olevan ”kierrätettyjä”/”kierrätysmateriaalista valmistettuja”

Osana tuotantoa kierrätysmateriaali on vain yksi raaka-aine, joka syötetään tuotannon materiaalivirtaan

- Pääasia on, että sisään tuotantoon menee yhtä paljon kierrätysmateriaalia kuin valmistaja väittää sitä sisältyvän lopputuotteisiin, huomioiden prosessin hyötysuhde ja hävikit

Kemianteollisuus ehdottaa, että laskennan perustana käytettäisiin suuretta ”alempi lämpöarvo” (Lower Heating Value, LVH), synonyymi on ”tehollinen lämpöarvo” (net calorific value)

- LVH:n yksikkö on Joule (J) tai toe (tons of oil equivalent)
- Suurin osa tunnetuista laskentamenetelmistä, esim. LCA käyttää LVC:tä perusarvona
- Suure on kemianteollisuudessa yleisessä käytössä raaka-aineista puhuttaessa ja niitä vertailtaessa

Massatase-järjestelmän käyttöönotto edellyttää, että säännöistä ja käyttöohjeista on sovittu kansainvälisesti

Massatase-järjestelmä mahdollistaa sellaisten kierrätysertifioitujen tuotteiden myynnin, jotka ovat samaa laatua kuin neitseellisestä raaka-aineesta valmistetut vastaavat tuotteet

3.2 Materiaalivirtatarpeet muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnalle

<p>Tarvittavat muovijättemäärät</p>	<p>Kemiallisen kierrätyksen prosessiin syötettävän muovijätteen määrän tulee olla riittävän suuri, jotta tuotanto olisi taloudellisesti kannattavaa ilman subventioita.</p> <p>Laskennassa lähtökohta on 20 t muovijätettä päivässä, täydellä kapasiteetilla 60–75 t/päivä.</p> <p>Kemiallisen kierrätyksen potentiaali kasvaa, jos niihin voitaisiin syöttää erilaisia muovimateriaalia, muoviyhdisteitä ja mahdollisesti myös muita materiaaleja, kuten biopohjaisia materiaaleja.</p> <p>Erytisiä kiinnostavia syöttömateriaaliyhdistelmiä olisivat muovi ja puu, sekä muovi ja kumi (autonrenkaat).</p> <p>Muovipohjaisten tekstiilikuitujen kierrätys voisi taata merkittävän materiaalivirran kierrätykselle.</p>
<p>Mekaaninen vs. kemiallinen kierrätys materiaalivirtojen näkökulmasta</p>	<p>Jos jättemateriaali on syntypaikkalajiteltua ja hyvin homogeenistä ja puhdasta, mekaaninen kierrätys tulee edelleen olemaan tulevaisuudessakin kannattavin vaihtoehto.</p> <p>Mitä haastavampi mekaanisen kierrätysprosessin rejekti on, sitä kalliimpaa on myös sen käsittely.</p> <p>Haasteellisia jätteitä ovat mm. komposiittimuovien ja kontaminaation yhdistelmä vaikkapa elintarvikepakkauksissa, tai vaikkapa lasikuidut.</p> <p>Aina, kun raaka-aineita sekoitetaan, käy kierrättäminen hankalammaksi.</p> <p>Polymeerit voivat mennä mekaanisen kierrätyksen läpi maksimissaan neljä kertaa, jonka jälkeen kemiallinen kierrätys tarjoaa vaihtoehdon jatkaa kiertoa.</p> <p>Mekaanisesti kierrätetyt raaka-aineet eivät ole tällä hetkellä tasalaatuisia, mikä joudutaan huomioimaan tuotannossa: kemiallinen kierrätys voi myös tästä johtuen tarjota mielenkiintoisen vaihtoehdon mekaanisen kierrätyksen rinnalle.</p>
<p>Materiaalien elinkaaren hallinnointi</p>	<p>Vuoteen 2030 mennessä muovimateriaalin ennustetaan olevan kehittynyt nykyistä helpommin kierrätettäväksi.</p> <p>Hankalimmasta materiaalista PVC:stä olisi päästy tuolloin eroon pakkausmateriaalina.</p> <p>Polyeteeni (PE), polypropeeni (PP) sekä PET olisivat tuolloin yleisimmin käytössä olevat muovimateriaalit.</p> <p>Kemiallinen kierrätys varteenotettavana mahdollisuutena auttaa tuomaan markkinoille uusia komposiittimateriaaleja, joilla on ympäristön kannalta positiivisia vaikutuksia: esimerkiksi ne kevyempinä vähentävät logistiikan tuottamia päästöjä.</p> <p>Materiaalin elinkaari olisi hyvä olla mietitty valmiiksi jo osana tuotesuunnittelua.</p> <p>Tuotteen elinkaaren hallinnoinnissa digitaaliset teknologiat voisivat helpottaa lajitte- lua, ja tuottaa dataa materiaalista ja tuotteen kierrätyksestä.</p>

<p>Raaka-ainevaatimukset</p>	<p>Raaka-aineiden riittävyys ja saatavuus voi olla pullonkaula, erityisesti jos halutaan rakentaa suuria kemiallisen kierrätyksen prosessointiyksiköitä.</p> <p>Tasalaatuisuus on tärkeää: vaikka jäte olisi sekalaista, sen tulee olla mahdollisimman paljon aina samalla tavalla sekalaista eikä esimerkiksi päivittäinen variaatio ole suotavaa.</p> <p>Suurin osa nykyisistä teknologioista vaatii kohtuullisen puhdasta syöttöainetta: tarvitaan joko jätteiden lajittelu ennen kemiallisen kierrätyksen prosessia tai prosessin jälkeinen lopputuote tulee puhdistaa seuraavan vaiheen laatuvaatimuksia vastaavaksi.</p> <p>Joissakin rakenteilla olevissa laitoksissa perinteinen jätteenkäsittelylaitos tullaan sijoittamaan kemiallisen kierrätyksen prosessia edeltäväksi itse laitoksen yhteyteen.</p> <p>Erittymisen hankalia kontaminaatioita petrokemian- ja kemianteollisuuden kannalta ovat happi, vety ja kloori.</p> <p>Myös bioteknisiä prosesseja käytettäessä tarvitaan esikäsittely: sillä taataan, että entsyymit ja mikrobit pääsevät riittävän nopeasti käsiksi oikeisiin lähtömaterialleihin.</p> <p>Monikerrosmuovien käsittely on bioteknisille prosesseille vielä haaste.</p> <p>Lajittelu parantaa lopputuotteen laatua merkittävästi sekä prosessin toimivuutta myös kemiallisen kierrätyksen osalta: lajittelu ja jätteen keräyksen organisointi nähdään jopa tärkeämpänä tuotantoon vaikuttavana asiana kuin jätteen kontaminaatio.</p>
<p>Kilpailu jäteraaka-aineesta</p>	<p>On nähtävissä kehitys solmia toimitusketjun takaamiseksi strategisia pitkäaikaisia kumppanuuksia petrokemian- ja kemianteollisuuden ja jätteiden keräämisestä ja lajittelusta vastaavien yritysten välille.</p> <p>Tulevaisuudessa on odotettavissa, että kemianteollisuuden yritykset alkavat hankkia kemiallisen kierrätyksen prosessista vastaavia yrityksiä; kuitenkin toistaiseksi yhteistyötä haetaan kumppanuuksien, ennemmin kuin omistuksien kautta.</p> <p>Perusideana on, että jäteyritykset keräävät ja lajittelevat jätteet paikallisesti ja myös nesteytys tapahtuu paikallisesti.</p> <p>Jos halutaan taata tietty määrä kierrätysmateriaalia tuotettavassa muovimateriaalissa, yritykset haluavat pystyä kontrolloimaan omaa laitokseensa sisään menevää materiaalivirtaansa.</p> <p>Materiaalivirtojen ketjussa yhdistyy sekä paikallinen että kansainvälinen toiminta eikä näitä ketjuja voi katsoa pelkästään kansallisesta näkökulmasta.</p>

3.3 Suomalaisen toimijoiden osaaminen ja vahvuudet

<p>Osaaminen</p>	<p>Keski-Euroopassa on pitkään tutkittu sekä pyrolyysiä että kaasutusta nimenomaan muovinkierrätyksen näkökulmasta.</p> <p>Suomessa kummankin teknologian osaaminen on vahvaa, mutta ei nimenomaan muovinkierrätyksen näkökulmasta etenkin teollisessa kokoluokassa.</p> <p>Teknologia- että prosessiosaamisen perusta on olemassa: mahdollisuus muokata muovin kierrätykseen sopivaksi kohtuullisen pienellä askeleella, mikäli markkinat kehittyisivät tällaisen investoinnin mahdollistavaan suuntaan.</p> <p>Suomesta löytyy bioteknisen muovin kemiallisen kierrätyksen teknologista osaamista itse prosessista, mutta sen lisäksi myös entsyymien tuottajia.</p> <p>Liki kaikki muovin kemiallisen kierrätyksen teknologiat tarvitsevat jonkinasteista erilliskeräystä ja lajittelua riittävän laadukkaan ja kustannustehokkaan lopputuloksen saavuttamiseksi: tähän Suomessa on vahvaa osaamista ja kokemusta paperinkeräyksen ja metsäteollisuuden liittyvän historian kautta.</p> <p>Suomessa on osaamista jätejakeiden erotteluun ja lajitteluun liittyen.</p> <p>Siirryttäessä kiertotaloudessa jätteiden käsittelyn näkökulmasta materiaalien hallinnon näkökulmaan tarvitaan osaamisen siirtymää: jätehuolto tulee tarvitsemaan molekyyli-tason kemian osaamista myös Suomessa.</p>
<p>Kaupallistumisen edellytykset Suomessa</p>	<p>Suomi on liian pieni markkina kaasutukseen perustuvan laitoksen sijoituspaikaksi: laitos vaatii kannattaakseen ympärilleen riittävän materiaalisuuren, kannattavinta sijoittaa keskiseen Eurooppaan.</p> <p>Termokemiallisista prosesseista pyrolyysin tai nesteytyksen arvoketjun osalta Suomessa löytyy toimijoita ja teknologia-infrastruktuuria myös jo ketjun loppupäästä.</p> <p>Jos bioteknisen prosessin ajateltaisiin kaupallistuvan jonkinlaisena liikkuvana ratkaisuna, Suomesta löytyy myös konepajateollisuutta: voisi toteuttaa kontti-tyyppisiä ratkaisuja, joissa muovi käsiteltäisiin aluksessa bioteknisiin menetelmin.</p> <p>Paperinkeräyksessä on analogiaa muovin kierrätykseen ja petrokemianteollisuuden kiinnostukseen kierrätysmuovin käyttöön raaka-aineena: paperinkeräys on ollut aikansa green deal yritysten ja yhteiskunnan välillä, samalla tavalla muovin kohdalla asioita voisi saada eteenpäin, kun kierrätetylle materiaalille on olemassa tarve ja käyttötarkoitus lähdeettä rakentamaan kierrätyksen arvoketjua.</p>
<p>Toimenpiteet Suomessa</p>	<p>Suomella voisi olla rooli kehittää ja demonstroida toimintatapoja ja teknologioita, joita tulosten perusteella olisi hyvä monistaa ja skaalata eteenpäin muualla.</p> <p>Suomessa demonstrointi auttaisi nostamaan olemassa olevan osaamisen tasolle, joka mahdollistaisi pääsyn globaaleihin arvoketjuihin.</p> <p>Suomalaisten on vaikeaa päästä kansainvälisiin verkostoihin ilman liiketoiminnallisia referenssejä, joita demonstrointilaitoksella Suomessa voitaisiin saada.</p> <p>Suomessa voitaisiin perustaa foorumi, jossa oikeanlainen toiminnan pohjan arvoketju kehittyisi.</p>

3.4 Liiketoiminnan kannalta olennaiset kestävyysnäkökulmat

Hiilitaseen näkökulma	<p>Oleellinen markkinoita muovaava tekijä on käytetyn menetelmän rooli vähentä-mässä hiilijalanjälkeä: energiakäytön ja hiilijalanjäljen kannalta arvoketjun eri osissa käytössä oleva infrastruktuuri ja arvoketjujen rakentuminen voi olla ratkaiseva tekijä.</p> <p>Avainkysymys on, miten LCA ja hiilijalanjälki lasketaan kemiallisen kierrätyksen loppu-tuotteille yhteisesti sovitulla tavoilla.</p>
Prosesseihin liittyvät ympäristö- ja turvallisuuskysymykset	<p>Riippuen käsiteltävästä muovimateriaalista, kemiallisen kierrätyksen prosesseissa syntyy haitallisia ja myrkyllisiä sivutuotteita, kaasuja ja jäämiä, joiden loppusijoitus voi olla toimijalle todellinen haaste.</p> <p>Pienet toimijat voivat olla potentiaalinen ympäristöllinen riskitekijä, jos heillä ei ole riittävää osaamista ja resursseja huolehtia prosessiin liittyvistä ympäristökysymyk-sistä ja erityisesti prosessin tuottamien mahdollisten myrkyllisten lopputuotteiden oikeanlaisesta käsittelystä.</p> <p>Prosessien ollessa vasta kehitysvaiheessa niiden aiheuttamat ympäristölle haitallisten sivutuotteiden ja päästöjen määrät saattavat olla yllättävän korkeita.</p> <p>Sivutuotteiden loppusijoituksesta johtuvat kustannukset voivat vaikuttaa oleellisesti kokeilujen kannattavuuteen.</p> <p>Laitoksen tuotantopaikan valinta voi olla ratkaiseva: esimerkiksi kemianteollisuuden keskittymissä on valmista, oikeanlaista infrastruktuuria tarjolla.</p> <p>Bioteknisessä prosessissa vaarana on, että jos kemiallista prosessia ei saateta loppuun asti, päädytään tuottamaan mikromuovia.</p> <p>Hydokatalyyttinen nesteytyksessä käytetään superkriittistä vettä, mikä tarkoittaa käytännössä suuria paineita ja siten potentiaalista turvallisuusriskiä.</p> <p>Pääsääntöisesti muovien kierrätyksen, riippumatta kierrätysreitistä, lopputuotteilta puuttuvat turvallisuus selvitykset eli kaiken kaikkiaan kierrätystuotteiden turvallisuus-desta ei ole olemassa selkeää tietoa: tuotteesta pitää tehdä Reach-rekisteröinti ja se tällä hetkellä puuttuu monelta kierrätysmateriaalilta.</p> <p>Lopputuote voi toki olla myös välituote, jolloin rekisteröintiä sille erikseen ei tarvita: rekisteröinti tarvitaan, jos välituotetta käytetään muuten kuin teollisessa prosessissa raaka-aineena.</p> <p>Reach-rekisteröinti on asia, johon toimijoiden tulee kiinnittää huomiota osana proses-sin arvoketjua.</p>
Ympäristövaikutukset kehityksen ajurina	<p>Muovin kemiallisen kierrätyksen prosesseja on syytä kehittää eteenpäin myös niiden hiilijalanjäljen ja yleisesti ympäristön kestävyden näkökulmasta.</p> <p>Muovin kierrätyksen ja muoviongelman kokonaiskuvassa nykyisin käytössä tai näkö-piirissä olevien ratkaisujen hierarkiassa erilaisilla muovien kemiallisilla konversiotekno-logioilla on tärkeä rooli muovien ympäristövaikutusten lieventämisessä ainakin lyhy-ellä ja keskipitkällä aikavälillä.</p>

3.5 Sääntely-ympäristö mahdollistajana

<p>Sääntelyn tarkoitus</p>	<p>Sääntelyn ei tule ainoastaan ohjata arvoketjun alkupäässä enemmän muovia kierrätysprosesseihin vaan edistää myös muovin tuottajien insentiivejä ja mahdollisuuksia käyttää kierrätysmuovia.</p>
<p>Sääntelyn vaikutukset</p>	<p>Tiukentuvat muovin kierrätystavoitteet ohjaavat yhä enemmän muovia kierrätykseen. Erilliskeräystä lisäävät ja eri muovilaatuihin laajentavat toimenpiteet kasvattavat kierrätykseen tulevan muovin määrää ja laatujen kirjoa, mikä luo tarvetta kemialliselle kierrätykselle.</p> <p>Uudet kierrätysmateriaalit/raaka-aineet voivat vaatia hyväksyntää soveltuvuudessa elintarvikekäyttöön.</p> <p>Jos bioteknologista kierrätystä tehdään geneettisesti muunneltujen mikrobikantojen avulla, tulee prosessissa huomioida jätelainsäädännön lisäksi myös GMO lainsäädäntö, mikä saattaa hidastaa alan kehittymistä.</p> <p>Nykyisen Suomen lainsäädännön puitteissa joidenkin paikallisten toimijoiden pääsy jättemateriaaliin voi olla rajoittunut jätteen omistajuuteen liittyen, mikä voi olla estävä tekijä liiketoiminnan syntyemiselle.</p>
<p>Auki olevia kysymyksiä</p>	<p>Nykyisin kierrätykseksi lasketaan sellaiset hyödyntämistoimet, jossa jättemateriaalit käsitellään uudelleen tuotteiksi, materiaaleiksi tai aineiksi joko alkuperäiseen tarkoitukseen tai muihin tarkoituksiin.</p> <p>Tulkinta kierrätykseksi laskettavista lopputuotteista on monitahoinen ja monille toimijoille epäselvä: kun muovijäte tulisi ohjata prosesseihin, jotka lasketaan kierrätykseksi, tulisi toimijoilla olla selvä käsitys siitä, mikä kierrätykseksi kelpuutetaan.</p> <p>On myös epäselvyyttä siitä, mitä lainsäädännön osalta tarkoitetaan käytännössä termeillä ”hyödyntäminen” ja ”kierrätys” (eng. recovery vs. recycling).</p> <p>Tällä hetkellä liikennepolttoaineet ovat lainsäädännön kannalta energiatuotantoa, eikä niitä lasketa tuotteeksi, vaikka polttoaine käyttäytyy kuin tuote ja on varastoitavissa toisin kuin energia: eri toimijoilla on erilaisia mielipiteitä siitä, pitäisikö polttoaineet laskea kierrätetyksi lopputuotteeksi.</p> <p>End-of-waste-lainsäädäntö aiheuttaa ongelmia: lainsäädäntö asettaa kierrätyksen ja neitseellisen raaka-aineen eriarvoiseen asemaan, sillä fossiilinen raaka-aine nähdään vain raaka-aineena, kun taas periaatteessa samanlainen kemiallisen kierrätyksen prosessilla tuotettu raaka-aine nähdään jätteenä.</p> <p>Asiaa ei ole harmonisoitu EU:ssa, mikä vaikeuttaa Euroopan-laajuisia toimintaa.</p>

Toiveet sääntelyn kehittämisen suhteen

Parhaimmillaan lainsäädäntö voi luoda incentiivejä ja ajureita viedä kehitystä esimerkiksi ympäristöllisesti kestävämpään suuntaan.

Lainsäädännön tulisi tukea nykyistä paremmin sitä, miten lopputuotteessa tulee ilmoittaa siinä käytetty kierrätysraaka-aineen määrä: tällä hetkellä yritysten markkinoinnissa käyttämiä väitteitä eivät säätele mitkään lait.

Kannustimia voitaisiin rakentaa portaittaisesti eri toimintatavoille, esimerkiksi perustuen jonkinlaiseen pisteytykseen.

Nämä portaat rakentuisivat esimerkiksi niin, että käytöstä uusiomuovissa saisi eniten pisteitä, kemikaaleissa hieman vähemmän, polttoaineena taasen hieman vähemmän ja poltossa kaikkein vähiten.

Julkiset tuet voisi rakentaa sitten tätä pisteytysjärjestelmää vastaavaksi.

Tarvitaan Reach and End-of-Waste-säädösten katsomista kokonaisuutena: näin estetään, että esimerkiksi yritys, jolla on Euroopan tason Reach-rekisteröinti pyrolyysiöljylle tuotteena ei törmää sen luovuttamisessa kemiantehtaan prosessiin kansalliseen End-of-Waste lainsäädännön tulkintaan samaisen öljyn suhteen.

Ympäristölupien käsittelyssä tulisi tehdä yhteistyötä eri maiden viranomaisten kesken: aihealue on uusi, ja käsittelyaikoja voitaisiin lyhentää, jos viranomaiset voisivat oppia toisiltaan erityisesti, jos jollain alueella ollaan jo pidemmällä lupien käsittelyssä.

4 Johtopäätökset

4.1 Muovin kemiallisen kierrätyksen potentiaali ja reunaehdot

Lähtökohdat liiketoiminnalle

Periaatteessa muovin kemiallinen kierrätys on ns. upcycling-prosessi ja sellaisena sen pitäisi lähtökohtaisesti olla liiketoiminnallisesti kannattavaa. Muovien kemiallinen kierrätys on kuitenkin aina ylimääräinen askel tuotantoketjussa neitseellisen materiaalin tuotantoketjuun verrattuna ja siten myös ylimääräinen kustannustekijä lopputuotteen hinnassa.

Vertailukohdan muovin kemiallisen kierrättämisen liiketoiminnalliselle kannattavuudelle asettaa raakaöljyn hinta. Toisaalta on enenevässä määrin merkkejä siitä, että esimerkiksi ympäristönäkökohdat luovat asiakaspaineita ja siten uusia ajureita myös suurten yritysten etsiä uusia toimintatapoja. Voidaankin sanoa, että suuret globaalit brändinomistajayritykset sekä kemian- ja petrokemianteollisuus näkevät muovin kemiallisessa kierrätyksessä potentiaalia ja ovat siten antaneet voimakkaan alkusysäyksen alan kehitykselle.

Kemiallisen kierrätyksen avulla saadaan teknisesti samanlaatuista raaka-ainetta kuin neitseellinen on, mikä avaa ovia erilaisille lopputuotemarkkinoille. Käytännössä materiaali sekoitetaan prosessissa neitseellisen materiaalin kanssa ja siten sen käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Käyttö tuotteissa, joissa muovimateriaalin kustannus on marginaalinen, voi nopeuttaa alan kehitystä. Koska kyse usein tulee olemaan neitseellisen ja kierrätetyn muodostamasta sekoitemateriaalista, yritykset ovat voimakkaasti lähteneet ajamaan massataseeseen perustuvan järjestelmän aikaansaamista, joka edesauttaisi markkinoiden kehittymistä kierrätylle materiaalille.

Arvoketjut

Alana muovin kemiallinen kierrätys muokkaa olemassa olevia arvoketjuja disruptiivisesti. Nämä arvoketjut ovat myös aina kansainvälisiä eikä asiaa voi tarkastella pelkästään yhden yksittäisen maan perspektiivistä. Nämä uudet arvoketjut yhdistävät sellaisia perinteisesti toisilleen täysin vieraita toimijoita kuten jätteiden keräyksestä ja käsittelystä huolehtivat yritykset ja suuret petrokemian- ja kemianteollisuuden globaalit toimijat sekä myös globaalit monikansalliset brändinomistajayritykset. Väliin on kasvamassa ainakin aluksi startup-pohjalta, mutta alan kehittyessä todennäköisesti suuremmaksi skaalautuva, itse kemiallisen kierrätyksen prosessien omistajayrityskunta, jotka usein ovat myös teknologian omistajia. Myös tämä kaksoisrooli eroaa aiemmasta, sillä perinteisesti prosessiteollisuudessa teknologiayritysten rooli on ollut lähinnä teknologiatoimittajana toimiminen ja prosessin omistajat ovat olleet heidän asiakkaitaan. Yhteistyön saaminen nopeammin toimivaksi tällaisessa uudessa arvoketjussa on koko alan kehityksen kannalta kaikkein oleellisin asia.

Isot vs. pienet yritykset

Muovin kemiallisessa kierrätyksen muotoutuviissa arvoketjuissa paikkansa on sekä suurilla globaaleilla yrityksillä että keskisuurilla ja pienillä yrityksillä mukaan lukien startupit. Teknologiasta riippuen on olemassa erilaisia näkemyksiä ja visioita siitä, mikä kokoluokka missäkin kohtaa arvoketjua olisi yritykselle optimaalisin. Yksi visio on, että muovin kemiallisen kierrätyksen laitoksista tulisi osa paikallista infrastruktuuria vesienkäsittelylaitosten tapaan. Koska ala on kuitenkin vielä muotoutumassa, aika tulee näyttämään, minkälaiset liiketoimintamallit tuovat suurimman kustannustehokkuuden myös siten, että ympäristö- ja turvallisuuskysymykset tulee huomioitua asianmukaisesti. Joka tapauksessa teknologiasta riippumatta suuret yritykset hakevat innovaatioita uuden liiketoiminnan tueksi partneroitumalla pk-yritysten ja startuppien kanssa. Tärkeintä on, esimerkiksi kun ajatellaan suomalaisia yrityksiä, ymmärtää globaalin arvoketjun ja siinä vallitsevan kaupallistamisen logiikka ja siten löytää oma paikkansa siinä.

Materiaalivaatimukset

Toimijoiden näkemys on hyvin yhtenäinen sen suhteen, että muovin kemiallinen kierrätys ei ole muodostamassa kilpailijaa mekaaniselle kierrätykselle, vaan kaikilla eri kierrätyksen muodoilla nähdään paikkansa. Muovien kemiallinen kierrätys on

tavallaan kierrätyksen munuainen: sen avulla pystytään käsittelemään paljon sel-
laista muovijätettä, jota ei voida käyttää hyödyksi mekaanisessa kierrätyksessä.

Vaikka kemiallinen kierrätys tarjoaa mahdollisuuden kierrättää ns. vaikeasti kierrä-
tettäviä muovijättejakeita, vaatii sekin, oikeastaan lähes riippumatta teknologiasta
lajittelua jätteen esikäsittelynä, aivan kuten myös mekaaninen kierrätys. Kaikkein
kannattavinta tällainen lajittelu olisi tehdä jo jätteenkeräysvaiheessa niin pitkälle
kuin mahdollista erilliskeräyksenä. Myös jätteiden lajittelulla osana itse prosessia
tulee jatkossakin olemaan tärkeä rooli, mikä tulee luomaan liiketoimintamahdolli-
suuksia esimerkiksi erilaisille lajitteluteknologioille.

Raaka-aineiden riittävyys ja saatavuus tulee olemaan enemmän tai vähemmän pul-
lonkaula, erityisesti jos halutaan rakentaa suuria kemiallisen kierrätyksen proses-
sointiyksiköitä. Nyt jo on nähtävissä kehitys solmia toimitusketjun takaamiseksi stra-
tegisia pitkäaikaisia kumppanuuksia petrokemian- ja kemianteollisuuden ja jätteiden
keräämisestä ja lajittelusta vastaavien yritysten välille, sillä yritykset haluavat
pystyä kontrolloimaan omaa laitokseensa sisään menevää materiaalivirtaansa.

Ympäristönäkökulmat

Vaikka kokonaisvaltaisia ympäristölaskelmia kierrätysmenetelmistä ei ole vielä juu-
rikaan tehty, muovin kemiallisen kierrätyksen osalta on olemassa laskelmia, jotka
osoittavat, että kestävyys suhteen prosessit pärjäisivät vertailussa mekaaniseen
kierrätykseen, erityisesti, jos tarkastellaan jätevirtoja, joita ei tällä hetkellä johdeta
korkealaatuiseen kierrätykseen. Yksi suuri haaste muovin kemiallisen kierrätyksen
kestävyyteen liittyen kuitenkin on, että prosessissa aina käytetään energiaa.

Pienet toimijat alalla voivat olla potentiaalinen ympäristöllinen riskitekijä, jos heillä
ei ole riittävää osaamista ja resursseja huolehtia prosessiin liittyvistä ympäristökysy-
myksistä ja erityisesti prosessin tuottamien mahdollisten myrkyllisten lopputuotteiden
oikeanlaisesta käsittelystä.

Kaiken kaikkiaan muovin kemiallisen kierrätyksen prosesseja on syytä kehittä-
tää eteenpäin myös niiden hiilijalanjäljen ja yleisesti ympäristön kestävyysnäkökulmasta.

Lainsäädännön rooli

Lainsäädännöllä on tärkeä ohjaava rooli sen suhteen, miten prosessit saadaan kaupallistettua kannattavaksi liiketoiminnaksi. Tässä suhteessa yksi haaste on, että tulkinta kierrätykseksi laskettavista lopputuotteista on monitahoinen ja epäselvä, erityisesti puhuttaessa tuotteista, jotka voidaan uusien säädösten mukaan laskea mukaan kierrätysprosenttiin. Kun operointialueena on lähtökohtaisesti Eurooppa, myös epäyhtenäisyydet End-of-Waste lainsäädännössä eri maiden välillä sekä End-of-Waste ja Reach-säädösten erillisyydet aiheuttavat ylimääräistä byrokratiaa ja sitä kautta lisää toiminnan kustannusrakenteeseen. Näitä pitäisikin tarkastella yhtenäisemmin koko Euroopan tasolla.

Yksi polttava kysymys tässä suhteessa on polttoaineen rooli kierrätystuotteena, mikä jakaa mielipiteitä myös toimijoiden keskuudessa. Polttoaineen hyväksyntä kierrätystuotteeksi nähdään etenkin sektorin kehittymisen alkuvaiheessa tapana saada prosessit nopeasti liiketoiminnallisesti kannattaviksi. Toisaalta nähdään myös, että polttoainekäyttö hidastaisi kemiallisen kierrätyksen prosessista saatavan raaka-aineen käyttöä uudelleen muoviteollisuuden raaka-aineena. Tärkeintä on varmasti löytää Euroopan tasolla sellainen ratkaisu, joka mahdollistaa liiketoiminnan sekä sitä kautta myös rahoitusmahdollisuudet kaikille arvoketjun varrella oleville toimijoille ja siten alan kasvun ja kehittymisen.

4.2 Kemiallisen kierrätyksen soveltuvuus ja vaikutukset Suomessa

Tällä hetkellä valtaosa Euroopan muovin kierrätyksestä on mekaanista kierrätystä. Kemiallisen kierrätyksen osuus on alle 2 %. Suomessa kemiallisen kierrätyksen osuudesta ei ole tarkkaa tietoa. Suomessa muovin kemiallisen kierrätyksen voidaan sanoa olevan vasta kokeiluasteella. Asiantuntijat ovat yleisesti sitä mieltä, että EU:n asettamia muovin kierrätystavoitteita ei voida saavuttaa ilman, että mekaanista kierrätystä täydennetään kemiallisella kierrätyksellä.

Asiantuntijat näkevät kemiallisen kierrätyksen potentiaalisena ratkaisuna laajentaa kierrätystä sellaisiin muoveihin, joita ei ole nykyisillä mekaanisilla keinoilla mahdollista kierrättää. Mekaanisesti kierrätetystä muovista voidaan tehdä vain tietynlaisia ja värisiä tuotteita, ja muovissa voi esiintyä esimerkiksi hajuja. Mekaanisen

kierrätyksen rinnalla kemiallisilla menetelmillä jätemuovista voidaan valmistaa uusien muovien ja kemikaalien lähtöaineita. Kemiallisen kierrätyksen avulla kierrätetyn muovin käyttöä voidaan siis laajentaa täysin uusiin tuoteryhmiin, koska kemiallisesti kierrätetty muovi on ominaisuuksiltaan neitseellisen raaka-aineen kaltaista.

Uusien kierrätysratkaisujen käyttöönottoon vaikuttaa kuitenkin merkittävästi jätemuovin riittävä saatavuus ja millaiset markkinat kierrätysmuovilla ja muilla muovijätteen jalostuksesta saatavilla tuotteilla on. Kemiallisessa kierrätyksessä on monia erilaisia teknologioita, joiden valinta riippuu vahvasti myös käsiteltävän muovin laadusta ja määrästä ja toisaalta siitä, millaista muovia halutaan tuottaa ja mille markkinoille.

Tulevaisuuden ratkaisut perustuvat enenevästi erilaisten teknologioiden yhdistelyyn. Muovit, joita tällä hetkellä on suhteellisen helppoa kierrättää ja jonka lopputuotteille on jo markkinoita, kierrätetään jo suhteellisen tehokkaasti. Ei ole perusteltua luoda näille kilpailevia mekanismeja kemiallisella kierrätyksellä, joka oletustusti on ainakin aluksi olemassa olevia teknologioita kalliimpaa. Kaikissa kierrätys- ja hyödyntämISRatkaisuissa on tärkeää huomioida haitallisten aineiden hallinta sekä uusioraaka-aineiden ja tuotteiden turvallisuus.

Asiantuntijoiden mukaan kemiallinen kierrätys voisi 2030 olla laajamittaista kaupallista toimintaa, jonka liiketoiminnallinen arvo voisi liikkua sadoissa miljoonissa euroissa. Kemialliseen kierrätyksen toimijat ovat sekä isoja kansainvälisiä yrityksiä että pienempiä yrityksiä. Pienemmät toimijat nähdään merkittävänä teknologioiden ja prosessien kehittäjin, kun taas lopputuotteen valmistusprosessista vastaa usein suuri kansainvälinen muovi- tai petrokemian alan toimija.

4.3 Johtopäätösten peilaus muovitiekartan toimenpiteisiin

Suomen Muovitiekartta linjaa toimenpiteitä, joilla voidaan nostaa kierrätykseen päätyvän muovin määrää ja laajentaa kierrätettävien muovien kirjoa sekä välillisesti edistää myös jätemuovin kysyntää. Muovitiekartan yhtenä tavoitteena on tuoda uusia muovijätejakeita kierrätyksen piiriin. Osa uusista talteen otetuista muovijätevirroista voisi päätyä kemiallisen kierrätykseen ja osa mekaaniseen kierrätykseen.

Tätä määrittäisi jätemuovien saatavuus, muovijakeiden ominaisuudet, puhtaus sekä niistä haluttavien kierrätysmateriaalien erilaiset käyttötarkoitukset.

Kemiallisen kierrätyksen kehittäminen merkittäväksi kaupalliseksi toiminnaksi vaatii koko arvoketjun yhteistyötä siten, että muovijätteen kierrätysastetta saadaan nostettua. Muovietikartan toimenpiteiden katsotaan auttavan eri toimijoiden yhteistyön suuntaamisessa yhteiseen päämäärään. Tämän päämäärän tulee olla muovin kierrätyksen kehittäminen monipuolisesti synnyttämällä uusia ja toisiaan täydentäviä kierrätysratkaisuja, joilla kasvavat muovijätevirrat saadaan käsiteltyä tehokkaasti, taloudellisesti ja turvallisesti. Kemiallinen kierrätys nähdään olennaisena osana ratkaisua kiristyvien kierrätysvaatimusten toimintaympäristössä niille muovijätejakeille, joita ei tällä hetkellä voida mekaanisesti käsitellä tai joille kemiallinen kierrätys toisi kustannus- ja energiatehokkaamman sekä ympäristöystävällisemmän kierrätysvaihtoehdon. Kemiallisen kierrätyksen soveltuvuutta erilaisille muoveille ja niihin liittyviä reunaehtoja tulee muovietikartan mukaan selvittää. Tutkimustietoa ja pilottien sekä kokeilujen tuomaa empiiristä tietoa tarvitaan lisää, jotta pystytään paremmin arvioimaan kemiallisen kierrätyksen prosessien kannattavuutta sekä ympäristö- ja turvallisuusnäkökulmia ja tehdä tulevia investointipäätöksiä.

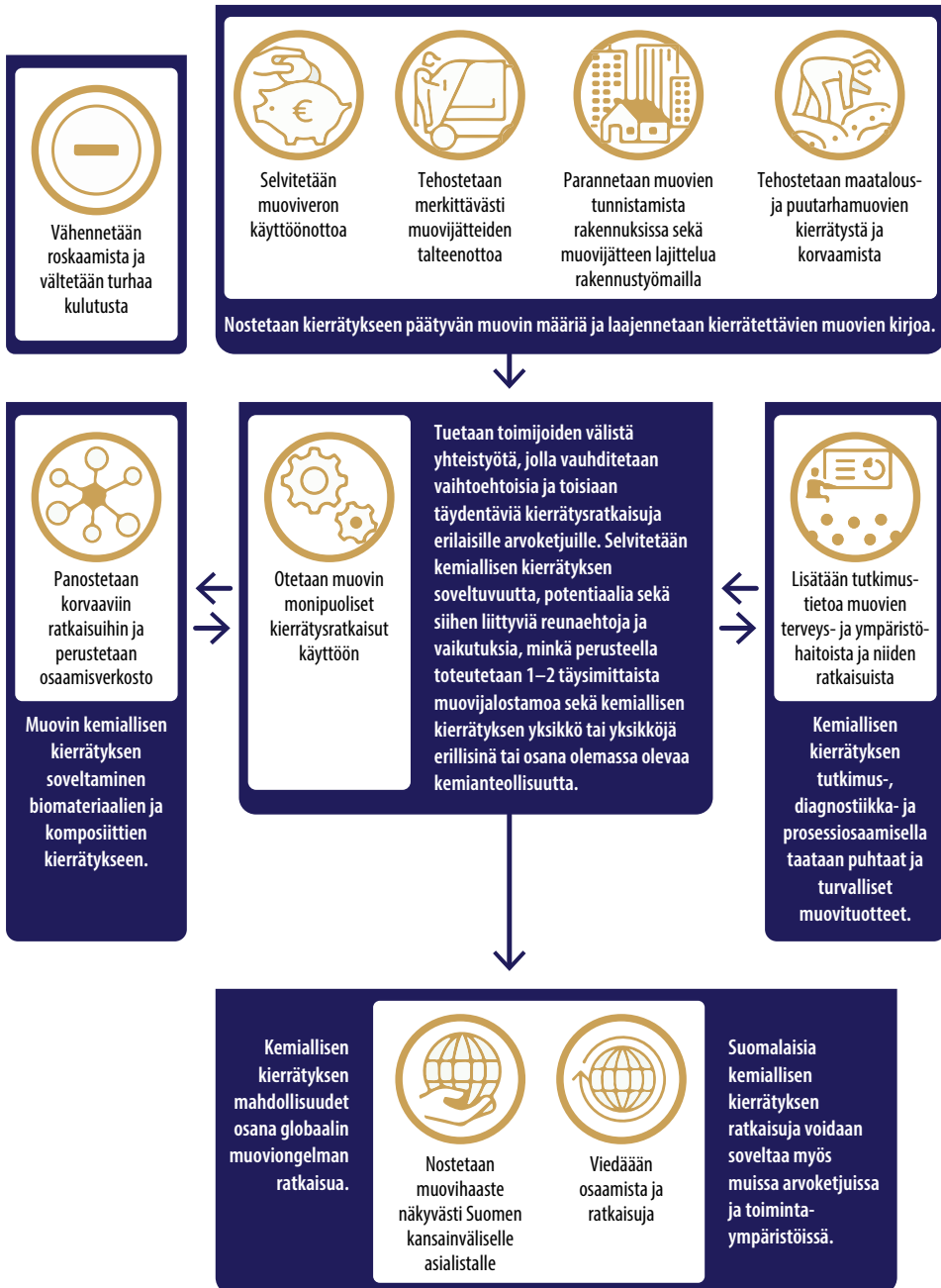
Muovin kemiallinen kierrätys linkittyy Muovietikartan linjaamiin yhteistyötä, osaaamista, tutkimusta ja vientiä edistäviin toimiin ja voi siten edistää kaikkien Muovietikartan toimenpiteiden toteuttamista. Esimerkiksi kemiallisesta kierrätyksestä saatavia oppeja voidaan soveltaa myös muovia korvaavien biomateriaalien ja komposiittien kierrätykseen. Nämä materiaalit tulevat enenevässä määrin yhdistymään muovin kierrätyksen arvoketjuihin ja myös niille tulee nopeasti kehittää sopivia kierrätysmenetelmiä.

Muovihaaste on globaali ja ratkaisuja siihen synnytetään kansainvälisellä yhteistyöllä. Muovietikartta nostaa muovihaasteen näkyvästi Suomen kansainväliselle asialistalle. Muovin kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ovat kansainvälisiä ja siten on tärkeää kehittää pelisääntöjä ja ratkaisuja kansainvälisen yhteistyön puitteissa, jotta alalle saadaan tarvittavia investointeja. Ala voi tarjota myös suomalaisille teknologioille, prosesseille ja kokonaisratkaisuille merkittäviä vientimahdollisuuksia, mutta se edellyttää kehitys- ja demonstrointipanostuksia ensin Suomen ja/tai Pohjoismaiden puitteissa sekä toimijoiden hyvää verkostoitumista kansainvälisesti.

Muovitiekartta peräänkuuluttaa tutkimustietoa muovien terveys- ja ympäristöhaittoista ja niiden ratkaisuista. Tähän liittyen muovin kemiallinen kierrätys voi luoda mahdollisuuksia suomalaisille diagnostiikka-alan toimijoille. Erityisesti ns. high-end tuotteissa, joiden laatu- ja hygieniakriteerit ovat korkeat, kierrätysmuoviraaka-aineelle tarvitaan hyväksyntään tähtäviä testejä. Lisäksi muovien kemiallisessa kierrätyksessä muovista voidaan erottaa ja kierrättää myös haitallisia ja vaarallisia aineita sisältäviä kemikaaleja. Terveys- ja ympäristöhaittojen hallinta ja eliminointi näissä prosesseista on ensiarvoisen tärkeää ja siihen suomalainen korkeatasoinen diagnostiikka-osaaminen voi tarjota ratkaisua globaalisti.

Panostaminen toimijoiden yhteiseen kehittämistyöhön, yhteisen poliittisen tahtotilan ja pelisääntöjen määrittelyyn, suomalaisen kansainvälisen tason tutkimusosaamiseen ja kemiallisen kierrätyksen toimijoiden osaamistasoon tulee puolestaan syöttämään takaisin uusien muovien kierrätyksen ratkaisujen kehittämiseen ja muovin kemiallisen kierrätyksen toimintaedellytysten parantumiseen sekä sitä kautta muovijätteen tehokkaampaan kiertoon. Eri toimijoita yhteen tuovilla hankkeilla kasvatetaan myös kokemusta ja näkemystä siitä mille muoveille ja mihin käyttötarkoituksiin erilaiset kierrätysmenetelmät parhaiten soveltuvat kierrätyksen arvoketju ja hierarkia huomioiden.

Muovitiekartan kaikkia toimenpiteitä tarvitaan, jotta muovin kemiallinen kierrätys voi kehittyä täyteen potentiaaliinsa, ja toisaalta kemiallista kierrätystä tarvitaan, jotta Muovitiekartan tavoitteet voivat toteutua. Ja kuten muovitiekartta linjaa: toimijoiden laaja-alainen yhteistyö on ehtona sille, että yksisuuntaiset arvoketjut tulevat osaksi kiertotaloutta.



Kuva 9. Miten muovitiekartan toimilla voidaan edistää muovin kemiallista kierrätystä yhtenä kierrätysratkaisuna ja miten muovin kemiallinen kierrätys voi puolestaan kontribuoida muiden uusien kierrätysratkaisujen ja -osaamisen synnyttämiseen, tutkimukseen, vientiin sekä yleisesti globaalin muovikeskusteluun, yhteistyöhön ja poliittisiin päätöksiin.

4.4 Yhteenveto johtopäätöksistä

Mitä esteitä ja puutteita on toimivien muovin kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntymiseksi Suomeen?

Kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ja markkinat ovat kansainvälisiä – Suomen markkina on lähtökohtaisesti osa eurooppalaista markkinaa. Suomi on yksin liian pieni markkina kaupallisen skaalan muovin kemialliselle kierrätykselle. Tutkimus- ja kehitystyö sekä *demonstroi*nti kotimaassa mahdollistaisi muussa kontekstissa olevan olennaisen osaamisen nostamisen riittävälle tasolle erityisesti *muov*in kemialliseen kierrätykseen liittyen. Tämä edesauttaisi suomalaisten toimijoiden pääsemistä kansainvälisiin arvoketjuihin ja siten Suomen markkinan yhdistymistä Euroopan laajuiseen markkinaan.

Markkinan luomiseksi tarvitaan standardi/järjestelmä, joka edesauttaa kemiallisen kierrätyksen menetelmin kierrätetyn muovin markkinoimista lopputuotteiden raaka-aineena. Koska kemiallisen kierrätyksen kautta saatava kierrätysraaka-aine sekoittuu prosessissa neitseelliseen raaka-aineeseen, yritykset ajavat massatasejärjestelmää standardiksi kertoa kierrätysraaka-aineen määrästä markkinoinnissaan. Tämä auttaisi muovintuotteiden valmistajia myös Suomessa todentamaan kierrätysmateriaalin määrää lopputuotteissa ja siten luomaan markkinoita kemiallisesti kierrätetystä raaka-aineesta valmistetuille tuotteille.

Lainsäädännöllä ja sen yhtenäistämisellä Euroopan tasolla on tärkeä rooli markkinoiden syntymisen edesauttajana. Erityisiä kipukohtia ovat End-of-Waste ja Reach -säädökset. Markkinoiden muodostumista vaikeuttaa erityisesti kierrätetyksi laskettavan lopputuotteen määritelmä. Parhaimmillaan säädökset edesauttavat *paikallisesti* toimivia yrityksiä pääsemään mukaan *eurooppalaisiin* arvoketjuihin – tarvitaan helppo muovijätteen ja välituotteen liikkuvuus, tehokas paikallinen keräys ja lajittelu, sekä riittävä paikallinen muovijätteen saatavuus.

Mitkä voivat olla Suomen kilpailulliset vientikärjet kansainvälisillä markkinoilla kierrätysmuovin kemiallisen kierrätyksen ratkaisuisa?

Suomalaisten toimijoiden mahdollisuudet vientiin avautuvat pääsemällä osaksi kansainvälisiä arvoketjuja. Arvoketjun *demonstroi*nti kotimaassa loisi tarvittavia referenssejä kansainvälisiin arvoketjuihin pääsemiseksi. Kuvassa 10 on esitetty

mahdollisia Suomen kilpailullisia vientikärkiä kansainvälisillä markkinoilla liittyen kierrätysmuovin kemiallisen kierrätyksen ratkaisuihin.



Kuva 10. Suomen potentiaaliset kilpailulliset vientikärjet liittyen muovin kemiallisen kierrätyksen ratkaisuihin.

5 Haastattelujen analyysiin perustuvia ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi

1. Suomessa tulisi selvittää mahdollisuudet luoda teknologioiden ja toimintatapojen demonstroitavaluusta, josta saatujen tulosten perusteella niitä olisi hyvä monistaa ja skaalata eteenpäin muualla. Tämä auttaisi kasvattamaan jo olemassa olevaa osaamista ja siten edistäisi suomalaisten yritysten pääsyä globaaleihin arvoketjuihin.
2. Suomelle luontaisena ja vahvana osaamisalueena tunnustetaan analytiikan ja diagnostiikan teknologiat ja prosessit. Suomi voisi kehittää tätä osaamista tutkimus- ja yrityssektorilla muovin kemiallisessa kierrätyksessä, jossa tuotteiden puhtaus-, hygienia-, turvallisuusvaatimukset ovat korkeita.
3. Suomi voisi edistää uuden Euroopan-laajuisen normin ns. pipeline-ainetasejärjestelmän syntymistä. Tämän toiminta ja tarkoitus olisi saman tyylinen kuin esim. vihreällä sähköllä. Järjestelmään syötetään uusiutuvaa tai jäteperäistä materiaalia, josta muovin tuottajayritys voi ostaa haluamansa määrän tehdäkseen siitä kierrätysmuovituotteita. Tällainen materiaalitasejärjestelmä mahdollistaisi sen, että lopputuotteen tuottaja voi taata käyttäneensä tuotteissaan tietyn prosenttimäärän kierrätettyä materiaalia. Käytännössä tällainen järjestelmä voisi toimia esimerkkinä yritysten globaalisti ajaman massatasejärjestelmän toimeenpanosta, jossa Suomi voisi näin olla luomassa markkinoita eturintamassa.
4. Suomessa voitaisiin lähteä pilotoimaan ekosysteemin avulla toimintatapaa, jossa samassa laitoskompleksissa, lähellä jätteiden käsittelyä, olisi sekä mekaanisen, termokemiallisen

että bioteknisen käsittelyn mahdollisuudet tarjolla muovijätteen jatkokäsittelylle. Tavoitteena olisi, että käsittelyn hyötysuhde saataisiin maksimoitua.

5. Suomi voisi kehittää muovin erilliskeräyksen toimintatavoista Suomen ulkopuolelle monistettavissa olevan, green deal-veitoisen erilliskeräyksen palvelutuotteen. Muovijäte on enenevässä määrin raaka-ainetarpeen täyttävä materiaali globaaleille kemian- ja petrokemian yritysille samalla tavalla kuin kierrätetty paperikuitu on paperiteollisuudelle. Tällainen esimerkki julkisen toimijan fasilitoima green deal voisi olla myös palvelutuotteena potentiaalinen vientikärki.
6. Jotta arvoketjun alkupäässä kierrätysmuovia saataisiin ohjattua enemmän kierrätysprosesseihin, on esitetty ehdotus jätteenmuovin käytön arvottamiselle portaittaisesti esimerkiksi lainsäädännössä: käyttö raaka-aineena uusiomuovissa olisi arvokkainta, polttoaineena seuraavaksi arvokkainta ja jätteenpoltossa vähiten arvokasta.
7. Tietynlaisena niche-tuotteena Suomi voisi edesauttaa globaalia merten muoviongelman ratkaisua kaupallistamalla biotekniseen prosessiin perustuvan liikkuvan muovinkeräysaluksen. Konepajateollisuus sekä korkea osaaminen bioteknisiin ratkaisuihin liittyen tarjoaisivat tähän mahdollisuuden.
8. Koska muovin kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ovat lähtökohtaisesti eurooppalaisia, toivotaan myös viranomaisyhteistyön tiivistämistä Euroopan maiden kesken esimerkiksi lainsäädännön ja lupakäytäntöjen saamiseksi yhtenäisemmiksi.

Liite 1 Kierrätyksen sääntely-ympäristö

Suomen ja EU:n ohjaava lainsäädäntö

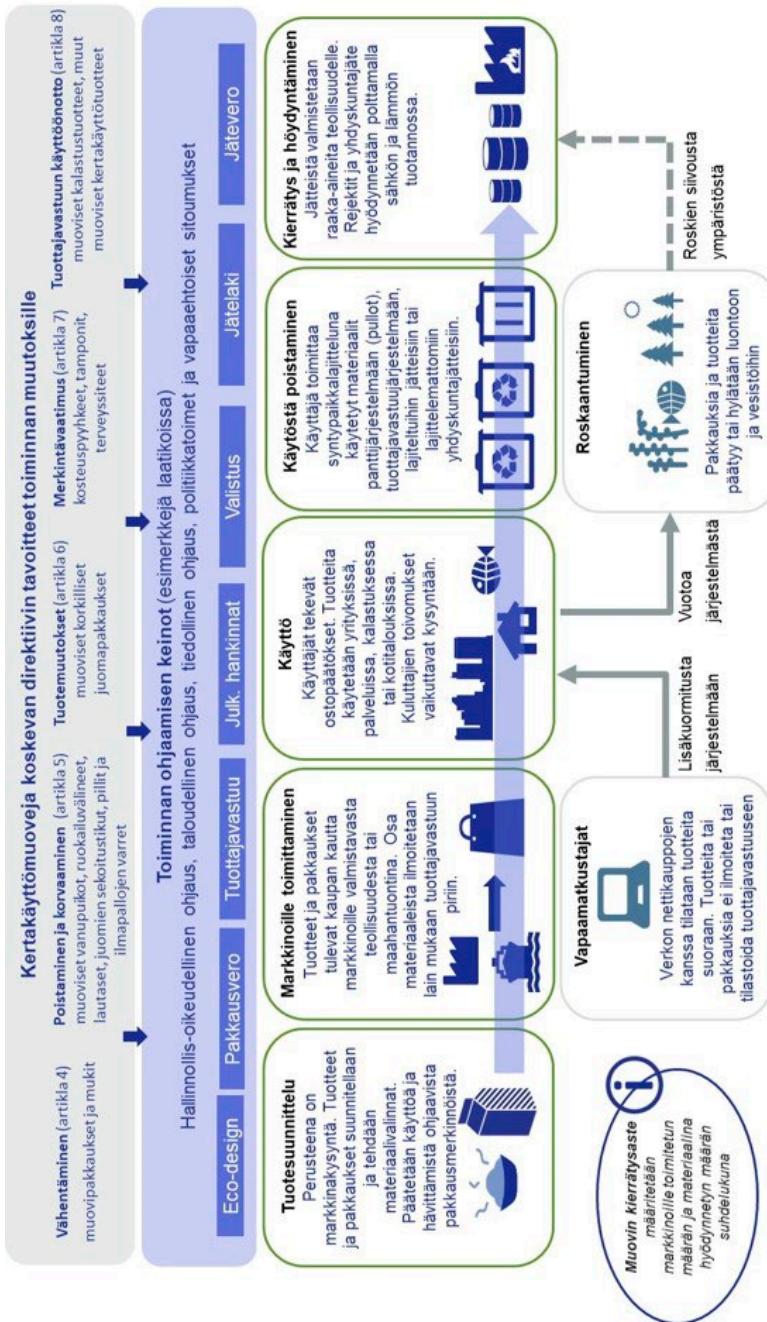
Pääasiallinen muovijätettä, kuten muutakin jätettä EU:ssa säätelevä laki on *EU:n jätedirektiivi (2008/98/EC)*, joka on implementoitu Suomessa *jätelaille (646/2011)*⁷⁷. Lisäksi muovipakkausten kierrätystä ohjaa Pakkausasetus (518/2014)⁷⁸, joka asettaa pakkauksille kierrätystavoitteet ja velvoittaa pakkauksia käyttävät ja maahantuovat yritykset (joiden liikevaihto on yli 1M €) vastaamaan pakkausten kierrätyksestä ns. tuottajavastuun mukaisesti⁷⁹. Lisäksi Suomessa kunnalliset jätehuollon säädökset sääntelevät muovijätteen erilliskeräystä eri alueilla. Eri toimijoiden velvollisuuksiin on odotettavissa muutoksia jätelain uudistuksessa⁸⁰, joka astuu voimaan 2020. Kuvassa 11 on kuvattu Suomessa muovijätteisiin kohdistuvaa sääntelyä.

77 finlex.fi

78 finlex.fi

79 rinkiin.fi

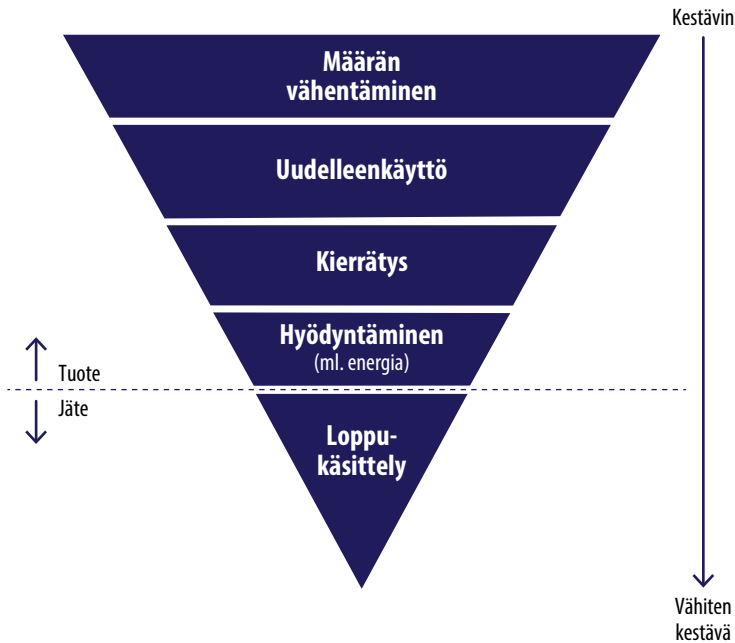
80 rinkiin.fi



Kuva 11. Muovinkierrätyksen markkinoita Suomessa ohjaavaa sääntelyä.⁸¹

81 Gaia Consulting (2018)

EU:n ja Suomen jätelainsäädäntö perustuu jätehierarkiaan eli jätehuollon ensisijaisuusjärjestykseen. Hierarkiassa pyritään ensisijaisesti ehkäisemään jätteen syntymistä, ja kun tämä ei ole mahdollista, tehostamaan yhdyskuntajätteen ja pakkausjätteen kierrätystä. Jättemateriaalin uudelleenkäytöllä ja kierrätyksellä on korkeampi prioriteetti kuin jätteen energiahyödyntämisellä.



Kuva 12. EU:n jätehierarkiassa⁸² painotetaan syntyvän jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämistä ja materiaalien säilyttämistä tuotteina kestävyuden parantamiseksi. Kestävinä vaihtoehtoa on suosittava.

Vuonna 2015 EU julkisti *Kiertotalouspaketin (Circular Economy Action Plan)*⁸³. Pakettiin sisältyy jätedirektiivin, pakkausjätedirektiivin, kaatopaikkadirektiivin, romuajoneuvo-, paristo- sekä sähkö- ja elektroniikkalaiteromudirektiivien muutokset, joita koskevat muutokset on pantava kansallisesti täytäntöön 5.7.2020 mennessä. Se asettaa konkreettisia toimia, joilla edistetään tuotteiden uusiokäyttöä ja kierrätystä kohti suljettuja kiertoja (closed loop of product life cycle). Paketin perimmäisenä

82 Smart Ground, Kaatopaikkakaivosopas yhdyskuntajätteelle

83 European komissio, Implementation of the Circular Economy Action Plan

tavoitteena on edistää kiertotaloutta Euroopassa ja vähentää kaatopaikoille päätyviä jätemääriä. Kiertotalouspaketin seurauksena EU esitteli tammikuussa 2018 *Muovistrategian (European Strategy for Plastics in a Circular Economy)*⁸⁴, jonka tavoitteisiin kuuluu mm. erillismuovin keräyksen laajentaminen ja parantaminen. Lisäksi muovistrategiassa korostetaan uudelleenkäytön ja kierrätettävyyden huomioimista tuotesuunnittelussa, minkä avulla luodaan markkinoita kierrätetyille muoveille. Strategian mukaan kaikkien muovipakkausten tulee olla joko uudelleenkäytettäviä tai kierrätettäviä vuoteen 2030 mennessä. Muovin kasvavalla kierrätyksellä tavoitellaan myös uusia työpaikkoja ja muovituotannon kestävyttä ja innovaatioita.

Lisäksi 2018 astui voimaan *EU:n Jätessäädöspaketti*, jossa määrätään mm. erillis-keräystä ja kierrätystä lisättäväksi yhdyskunta- ja pakkausjätteissä, tuottajavastuuta laajennettavaksi ja mukautettavaksi tuotteiden kestävyden, korjattavuuden ja uudelleenkäytettävyyden sekä kierrätettävyyden ja vaarallisten aineiden perusteella, seurantaa tehostettavaksi pakollisella jäteraportoinnilla (2020 alkaen), yhdyskuntajätteen ja pakkausjätteen kierrätysasteen laskentasääntöjä tiukennettavaksi niin, että lajittelurekettejä ei lasketa kierrätysprosenttiin, ja jätetietojen vertailukelpoisuutta parannettavaksi yhdenmukaistamalla jäsenmaiden laskentamenetelmiä. Kertakäyttömuovien käyttöä rajoitetaan erillisellä *SUP-direktiivillä (Single-use Plastics Directive) (2019/904)*, joka asettaa kertakäyttöisen muovin käytölle vähennyksiä ja kieltoja, lisävelvollisuuksia tuottajavastuuseen (roskaantumisen puhdistamisen kustannukset tuottajille), ja keräystavoitteita ja määräyksiä erilaisten muovien etikettimerkintöihin.⁸⁵

Jätessäädöspakettiin kuuluu myös *Pakkausjätedirektiivi (94/62/EC)*, jossa EU-maiden muovipakkausten kierrätystavoitteita tiukennetaan seuraavasti: 22 %:iin vuonna 2020, 50 %:iin vuonna 2025 ja 55 %:iin vuonna 2030. Direktiivi on kansallisessa lainsäädännössä implementoitu *Valtioneuvoston asetuksella pakkauksista ja pakkausjätteistä (518/2014)*.

84 Euroopan komissio (5/2018), Kiertotalous: EU hyväksyi uudet kunnianhimoiset jätehuolto- ja kierrätysäännöt

85 Blauberg, Tarja-Riitta/Ympäristöministeriö (11/2018), Jätedirektiivien muutokset – uudet vaatimukset tuottajille

Toimenpiteitä Suomessa

EU:n jätesäädöspaketti on pantava käytäntöön kansallisessa lainsäädännössä heinäkuuhun 2020 mennessä. Muovin kierrätyksen edistäminen kuuluu EU:n ja Suomen prioriteetteihin. Tavoitteena on kierrättää 50 % muovijätteestä 2025 mennessä ja 55 % 2030 mennessä. EU:n ja Suomen kiristyvät kierrätystavoitteet ja niitä tukeva lainsäädäntö sekä mahdollisesti muut käyttöön otettavat taloudelliset ohjaukeino⁸⁶ tukevat uusien ratkaisujen käyttöönottoa muovin kierrätyksen edistämiseksi.

Valtakunnallinen jätesuunnitelma

EU:n jätedirektiivin mukaisesti Suomessa on tuotettu uusi valtakunnallinen jätesuunnitelma^{87, 88} vuoteen 2023. Se sisältää jätehuollon sekä jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämisen valtakunnalliset (lukuun ottamatta Ahvenanmaata, joka tekee oman suunnitelmansa) tavoitteet ja toimenpiteet vuoteen 2030 asti.

86 Simons et al. (8/2018), Taloudelliset ohjaukeino⁸⁶ kierrätö⁸⁶ arvoke⁸⁶

87 Valtioneuvosto (12/2017), Uusi valtakunnallinen jätesuunnitelma ja esitys jätelaiksi vauhdittavat kierrätö⁸⁷

88 Ympäristöministeriö (2016), Kierrätö⁸⁸ kierrätö⁸⁸ - Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023

Suomen jätehuollon sekä jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämisen tavoitetila vuoteen 2030 on:

1. Laadukas jätehuolto on osa kestävästä kiertotaloudesta.
2. Materiaalitehokas tuotanto ja kulutus säästävät luonnonvaroja sekä hillitsevät ilmastonmuutosta.
3. Jätteen määrä on vähentynyt nykyisestä. Uudelleenkäyttö ja kierrätys ovat nousseet uudelle tasolle.
4. Kierrätysmarkkinat toimivat hyvin. Uudelleenkäytön ja kierrätyksen myötä syntyy uusia työpaikkoja.
5. Kierrätysmateriaaleista saadaan talteen myös pieninä pitoisuuksina esiintyviä arvokkaita raaka-aineita.
6. Materiaalikierrot ovat haitattomia ja tuotannossa käytetään yhä vähemmän vaarallisia aineita.
7. Jätealalla on laadukasta tutkimusta ja kokeilutoimintaa ja jäteosaaminen on korkealla tasolla.

Kuva 13. Valtakunnallisen jättesuunnitelman⁸⁹ tavoitetila vuoteen 2030.

Valtakunnallisessa jättesuunnitelmassa painopisteenä ovat rakentamisen jäte, yhdyskuntajäte, sähkö- ja elektroniikkaromu sekä biohajoava jäte. Näistä ensimmäiset kolme ovat määriltään ja haitallisilta aineiltaan merkittäviä jätelajeita, jotka sisältävät paljon muovijätettä. Muovijätteen kierrätysasteen nostamisen kannalta on olennaista, että näiden jätteiden erilliskeräykseen ja kierrätykseen kiinnitetään erityistä huomioita. Lisäksi biojätteen erilliskeräyksellä mahdollistetaan sekajätteen tehokkaampi lajittelu, mikä on merkittävää muovijätteen talteenoton kannalta sekajätteestä. Jättesuunnitelmassa korostetaan myös tekstiilien erilliskeräyksen mahdollisuuksien selvittämistä. Tekstiileistä monet ovat muovipohjaisia, tai muovin ja

⁸⁹ Valtioneuvosto (12/2017), Uusi valtakunnallinen jättesuunnitelma ja esitys jätelaiksi vauhdittavat kiertotaloutta (ympäristöministeriön tiedote)

muiden orgaanisten aineiden sekoituksia, ja niiden erilliskeräyksessä nähdään paljon mahdollisuuksia. Tekstiilit voivat tulevaisuudessa olla merkittävä syöte muovin kemialliselle kierrätykselle.

Muoviti kartta

Suomi vastasi EU:n tiukentuviin säädöksiin tuottamalla kansallisen Muoviti kartan⁹⁰. Siinä peräänkuulutetaan talteen otetun muovin monipuolisten kierrätysratkaisujen käyttöönottoa. Tämä sidosryhmäyhteistyönä tehty toimenpidesitoumus julkaistiin lokakuussa 2018 ja se on ensimmäinen laatuaan maailmassa. Se sisältää toimenpiteitä, joilla on tarkoitus vähentää muovin turhaa käyttöä ja roskaamista sekä lisätä muovin kierrätystä tehostamalla ja laajentamalla merkittävästi muovijätteiden talteenottoa ja edistämällä talteen otetun muovin monipuolisten kierrätysratkaisujen käyttöönottoa. Tässä yhteydessä selvitetään myös kemiallisen kierrätyksen soveltuvuutta, potentiaalia, reunaehtoja sekä vaikutuksia Suomessa. Niiden perusteella arvioidaan kemiallisen kierrätyksen täysimittaisen käsittelylaitoksen perustamista.

Muoviti kartta kuvaa politiikkatoimia, joilla pyritään toteuttamaan EU:n muovistrategiaa etupainotteisesti ja ajamaan EU:ssa lisätoimia muovista sisältävien tuotteiden kierrätettävyyden, ekosuunnittelun sekä uusiomuovin käytön edistämiseksi. Lisäksi siinä peräänkuulutetaan politiikkatoimia, joilla nostetaan muovahaaste yhä näkyvämmäksi kansainvälisillä foorumeilla ja edistetään suomalaisen tutkimuksen ja yritysten kykyä vientikelpoisten ratkaisujen tuottamiseksi. Näitä toimenpiteitä pyritään tukemaan myös julkisella rahoituksella. Tutkimustarpeena korostetaan arvoketjun kattavaa, myös kansalliset rajat ylittävää yhteistyötä uusien ratkaisujen ja muovien korvaavien tuotteiden kehittämisessä. Lahteen perustettiin maaliskuussa 2019 New Plastics Center (NPC) -osaamiskeskuksen, jonka tavoitteena on vahvistaa muovin kierrätyksen arvoketjuja ja tutkimusta, sekä yritysten materiaaliosaimista, levittää tietoisuutta perinteistä muovien korvaavista ratkaisuista ja tukea myös poliittista päätöksentekoa. Tällä hetkellä NPC on keskittynyt lähinnä biopohjaisten ja uusiutuvien muovien käyttöönottoon.

90 Vähennä ja vältä, kierrätä ja korvaa, Muoviti kartta Suomelle

Hallitusohjelma

Rinteen hallitusohjelmassa on linjattu toimenpiteitä, joilla pyritään edistämään kiertotaloutta Suomessa. Näistä osa vaikuttaa todennäköisesti myös muovin kierrätykseen. Hallitus tutkii 2020 kevääseen mennessä joidenkin verojen käyttöönottoa, joilla voidaan vaikuttaa uusiutumattomien resurssien käyttöön pakkauksissa, energia- ja hiiliveroa jätteen polttamiselle ja kaatopaikkaveron kiristämistä.

Aloitteita Euroopassa

Euroopassa on käynnistetty lukuisia aloitteita ja alliansseja muovijäteongelman ratkaisemiseksi ja muovin kierrätyksen edistämiseksi. Näistä mainittakoon esimerkiksi Circular Plastics Alliancen (CPA), joka perustettiin vastauksena EU:n Muovistrategiassaan julkaisemaan haastekampanjaan. Allianssi koostuu julkisista ja yksityisistä muovialan toimijoista, ja pyrkii edistämään vapaaehtoisia toimia EU:n Muovistrategian 10 miljoonan tonnin kierrätysmuovien käyttötavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2025 mennessä.

Myös Euroopan muovin tuottajien ryhmittymä Plastics Europe vastasi EU:n Muovistrategiaan tuottamalla Plastics 2030 – vapaaehtoisen toimintasuunnitelman, jossa Euroopan suurimmat muovituottajat sitoutuvat vapaaehtoiisiin toimiin, joiden tavoitteena on saavuttaa muovipakkausten 60 % kierrätysaste 2030 mennessä ja 100 % uudelleenkäyttö ja kierrätys 2040 mennessä⁹¹. Lisäksi neljä muovin kemiallisen kierrätyksen eurooppalaista yritystä (Plastic Energy, Gr3n, ReNew ELP, Ioniqa Technologies) ovat perustaneet alan kehittymistä ajavan etujärjestön, Chemical Recycling Europe:n vuonna 2019.

91 PlasticsEurope (1/2018), PlasticsEurope publishes its Voluntary Commitment

Liite 2 Muovijätteen kierrätys Suomessa

Muovin kierrätysasteeseen ja muovijättemääriin viittaavat luvut ovat peräisin monista lähteistä. Muovijätteen raportoinnin ja tilastoinnin haasteiden vuoksi jätemääräluvuissa on suurta vaihtelua. Gaia Consulting on analysoinut lukuja 2019 Business Finlandille tuottamassa Cluster study on recycling in manufacturing plastic products -selvityksessä, ja on joissakin tapauksissa käyttänyt myös omia laskelmiaan, esim. keskiarvoja saatavilla olevista luvuista. Luvut on myös tuossa työssä validoitu asiantuntijakeskusteluissa.

Muovijätteen volyymit ja kierrätysaste

Suomessa syntyy muovijätettä vuosittain noin 315 000 tonnia⁹². Siitä tällä hetkellä erotellaan talteen noin 95 000 tonnia vuodessa, josta noin yksi kolmannes on peräisin yhdyskuntajätteestä ja kaksi kolmannesta teollisuudesta⁹³. Tilastokeskuksen mukaan erilliskerätystä yhdyskuntien muovijätteestä noin 39 % kierrätetään, 60 % energiahyödynnetään ja 1 % päättyy kaatopaikoille.⁹⁴ Suomessa on vuodesta 2016 asti ollut voimassa orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto, joka estää myös muovien viemisen kaatopaikoille.⁹⁵

Muovijätteestä suurin osa muodostuu pakkausjätteestä. Suomessa syntyi vuonna 2016 107 000 tonnia pantitonta muovipakkausjätettä⁹⁶. Määrä on Euroopan tasolla yksi alhaisimmista.

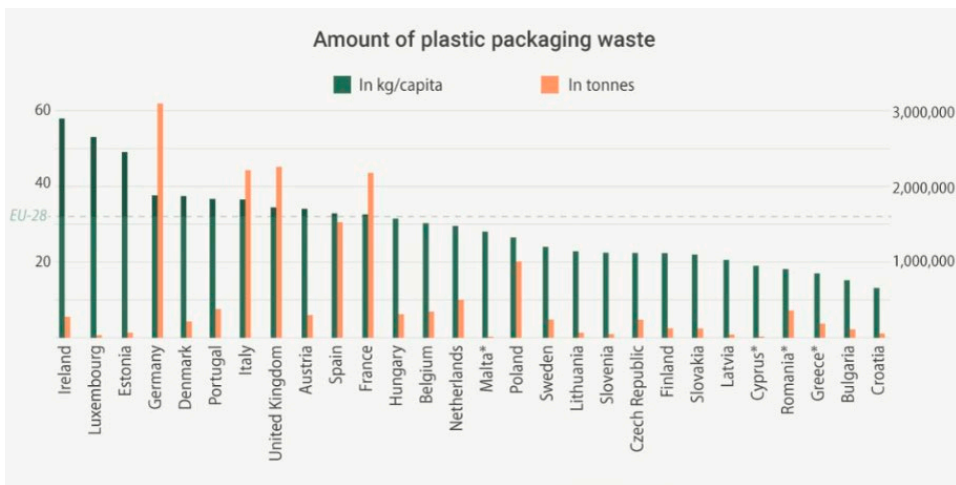
92 Gaia Consulting (2019); keskiarvo moniin lähteisiin perustuvista muovijätevirta-arvioista, joissa muovijätteen määrä vaihtelee 250 000 t – 380 000 t välillä.

93 Gaia Consulting (2019), mm. Tilastokeskuksen (2017) raportoitujen lukujen ja selvitykseen tehtyjen haastattelujen perusteella. Sisältää pakkausmuovijätteen kiinteistökeräyksestä, Rinki-pisteistä, pantilliset muovit sekä yrityksistä kerätyn muovijätteen.

94 Tilastokeskus (2017)

95 Ympäristöministeriö, Kysymyksiä ja vastauksia muoveista

96 CircHubs Yhdyskuntajätteen muovit



Kuva 14. Muovijätteen määrä EU-maissa vuonna 2016.⁹⁷

Suomessa 27,5 % pakkausmuovista kierrätetään. Tämä ylittää EU:n 2020 tavoite-
 rajan 25 %, mutta Euroopan mittakaavassa kierrätysprosentti on alhainen. Suomi
 on kierrätettävän muovin volyymien suhteen huomattavasti jäljessä esim. Ruotsia,
 jossa pakkausmuovin kierrätysaste on noin 40 %. Kun Suomessa kerätään muovia
 reilu kilo asukasta kohti, Ruotsissa sama luku on 8 kiloa.⁹⁸ Pakkausmuovien keräys
 on kuitenkin vahvasti noususuuntaista. Suomen Uusiomuovin vuoden 2018 ennak-
 kotietojen mukaan kotitalouksien muovipakkausten kierrätys kasvoi 59 % vuonna
 2018. Eniten kasvua on kiinteistökeräyksessä, joka kasvoi jopa yli 180 %. Yrityspak-
 kauksissa nousua oli 13 %. Pantilliset pakkaukset mukaan lukien Suomessa kerättiin
 yli 40 000 tonnia muovipakkauksia, noin 30 % markkinoille tuoduista pakkauksista.⁹⁹

97 Euroopan parlamentti (12/2018), Plastic waste and recycling in the EU: facts and figures

98 Hämeensanommat (1/2019), Muovinkeräys elää murrosta mustan muovin jälkeen aletaan kerätä jo pulk-
 kia tai puutarhatuoleja

99 Suomen Uusiomuovi (3/2019) Ennakotietoa vuoden 2018 muovipakkausten kierrätyksestä: kotitalouk-
 sien muovipakkausten kierrätys kasvoi 59 %

Muovijätteen kierrätyksen arvoketju

Suomessa aloitettiin tuottajavastuuseen perustuva muovipakkausten erilliskeräys vuonna 2016. Muovin erilliskeräyksen infrastruktuuri ja prosessit kehittyvät jatkuvasti ja talteen otettavan muovin määrät ovat kasvussa. Erilliskeräystä hoitavat Suomessa kunnalliset ja yksityiset jätehuoltoyritykset. Pakkausten erilliskeräys on pakkausten tuottajien vastuulla. Tuottajavastuuseen sitoutuneet yritykset rahoittavat pakkausten erilliskeräyksen Rinki-keräyspisteiden kautta. Alkuvuodesta 2019 Rinki-keräyspisteiden määrä on noussut 615:aan alkuperäisestä 500:sta pisteestä. Jokaisessa 4000 asukkaan kunnassa on tai tulee lähikuukausina olemaan ainakin yksi keräyspiste.¹⁰⁰ Kunnalliset jätehuollon määräykset voivat jo velvoittaa jotkut taloyhtiöt muovin erilliskeräykseen. Talo- ja asunto-osakeyhtiöissä ollaan kiinnostuneita muovin erilliskeräyksestä ja monilla paikkakunnilla näitä on jo saatavilla joko kunnallisen tai yksityisen jäteyhtiön toimesta. Kiinteistökeräyksen odotetaan ohittavan Rinki-ekopisteiden keräysmäärät vuonna 2020.¹⁰¹

Jotta muovia voidaan kierrättää mekaanisesti, se täytyy esikäsitellä. Tähän kuuluun mm. muovijätteen lajittelu, pesu, murskaaminen, sulattaminen ja granulointi. Tämän jälkeen osa käsitellystä muovimateriaalista jalostetaan uudelleen käytettävään muotoon ja osa energiahyödynnetään. Suomessa kaikki erilliskerätty yhdyskuntien pakkausmuovi käsitellään tällä hetkellä Fortumin laitoksilla Riihimäellä. Samoilla laitoksilla käsitellään myös esimerkiksi teollisuuden ja maatalouden muovijätettä. On myös muita yrityksiä ja laitoksia, jotka prosessoivat ja tuottavat muovijätteestä kierrätettyä muovimateriaalia. Esim. Lassila & Tikanoja prosessoivat muovijätettä omassa laitoksessaan Merikarvialla ja Pohjanmaan Hyötyjättekuljetus Laihialla.

Kaikesta Suomen muovijätteestä noin 62 % päätyy energiahyödyntämiseen¹⁰². Arvioiden mukaan sekajätteeseen päätyy Suomessa edelleen noin 220 000 tonnia muovijätettä, josta valtaosa päätyy energiahyödyntämiseen. Suomessa ei ole yleistä lajitella muovia sekajätteestä ja prosessien tehokkuus tässä suhteessa vaihtelee käytettävän teknologian mukaan. Jälkilajittelun kannattavuus on nykytekniikoilla

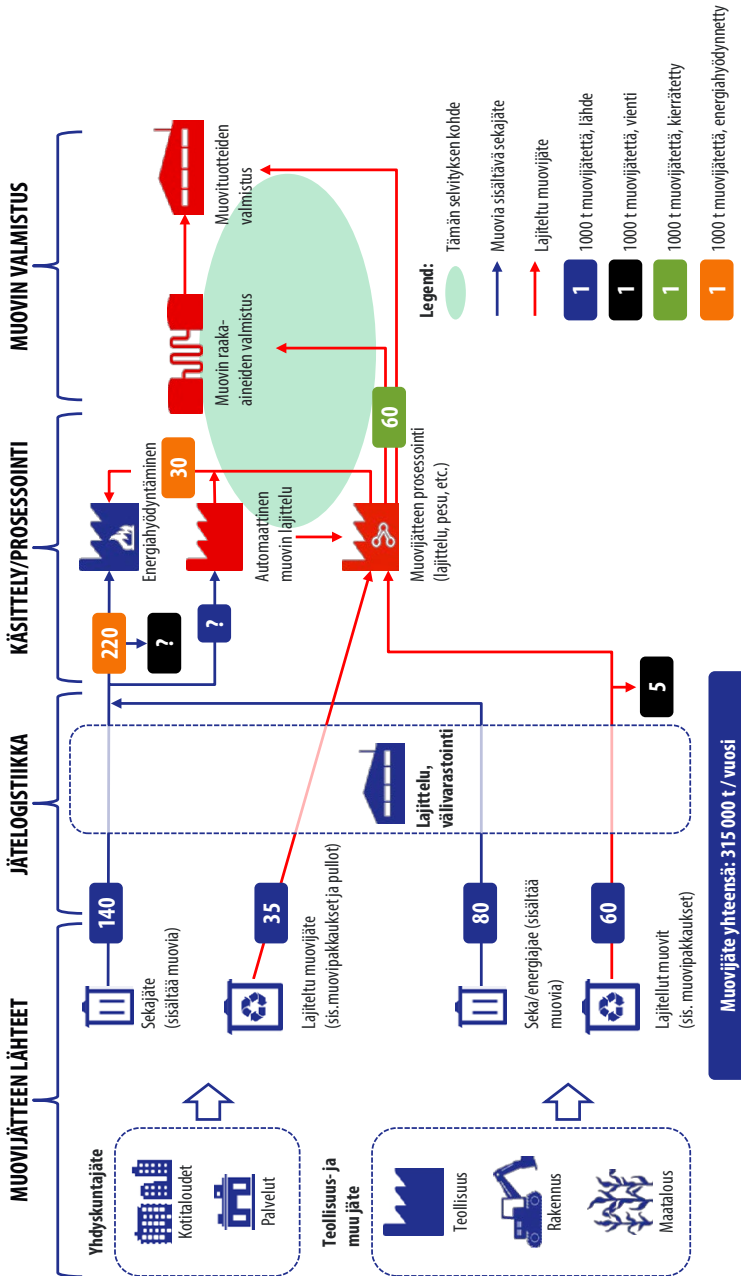
100 Suomen Uusiomuovi (3/2019), Ennakkotietoa vuoden 2018 muovipakkausten kierrätyksestä: kotitalouksien muovipakkausten kierrätys kasvoi 59 %

101 Suomen Uusiomuovi (3/2019), Ennakkotietoa vuoden 2018 muovipakkausten kierrätyksestä: kotitalouksien muovipakkausten kierrätys kasvoi 59 %

102 Tilastokeskus

heikkoa: viimeisen muoviprocentin poistaminen sekajätteestä maksaa joidenkin arvioiden mukaan yhtä paljon kuin ensimmäisen 50 %.

Seuraavassa kuvassa on esitetty Suomen muovin kierrätyksen arvoketju sekä Gaian työstämät arviot arvoketjussa liikkuvista muovijätevirroista.



Kuva 15. Muoviteollisuus ja muovin kierrätys Suomessa. Jätevirrat perustuvat Gaian monista julkisista lähteistä¹⁰³ koostamiin arvioihin.

103 Tilastokeskus, Ympäristöministeriö, Fortum, CircHubs, muovikuuluukiertoon.fi

Suomessa on yhteensä noin 550 muovituotteiden valmistajaa, jotka vuonna 2013 käyttivät noin 650 000 t muoviraaka-ainetta.

Osa Suomen muovintuottajista käyttää tuotantoprosesseissaan kierrätettyä muovia. Vuonna 2011 Suomessa käytettiin noin 54 000 t kierrätettyä muovia, joista 14 000 t tuli pullopanteista, 20 000 t Riihimäellä prosessoidusta muovipakkausjätteestä ja 20 000 t teollisuuden syötöistä. Kierrätettyä muovia käytetään Suomessa pakkauksissa, maataloudessa, rakentamisessa, muovituotteiden valmistuksessa ja muissa teollisissa prosesseissa. Niistä tehdään esimerkiksi muovipussien, muoviputkien, siivoustuotteiden, kastelukannujen ja muiden puutarhatuotteiden sekä puutarha- ja ulkotilarakentamisen komposiittilautojen materiaalina¹⁰⁴.

Suomen muovimarkkinat ja muovijätemarkkinat ovat Euroopan ja maailman mitta-kaavassa pienet. Yli puolet (50,1 %) maailman muovista tuotetaan Aasiassa. Lähes 30 % maailman muovintuotannosta on Kiinassa. Eurooppa kattaa maailman muovin valmistuksesta 18,5 %. Myös muovin kysyntä Suomessa on Euroopan tasolla alhaista, samalla myös muovijätettä syntyy vähän.¹⁰⁵ Muovijäte kuitenkin liikkuu Euroopan sisämarkkinoilla markkinasääntöjen mukaisesti, joten tilannetta ei voi tarkastella ainoastaan Suomen volyymien näkökulmasta.

Muovijätteen omistajuus

Muovin kierrätyksen arvoketjussa toimii sekä yksityisiä ja julkisia toimijoita, ja monet arvoketjun alkupään toimijoista ovat yleisesti jätehuollon toimijoita. Kenelle mikäkin muovijätejäte kuuluu, ei aina ole yksinkertainen kysymys, ja se voi määrittellä alan liiketoiminnallista kannattavuutta aluekohtaisesti.

Yhdyskuntajäte, ja myös yhdyskuntien muovijäte, on kunnallisten jätehuoltoyritysten omistamaa. Nämä kilpailuttavat muovijätteen keräilyä ja käsittelyä, ja päättävät sen myötä myös miten muovijäte kierrätetään, tai vaihtoehtoisesti energiahyödynnetään.

104 PlasticsEurope, Plastics - the Facts 2018

105 CIRCUBS, Yhdyskuntajätteen muovit

Muovisen pakkausjätteen kohdalla tilanne on erilainen, sillä muovisia pakkauksia tuotteissaan käyttävät tuottajat ja muoviin pakattujen tuotteiden maahantuojat toimivat tuottajavastuun alaisina. Heidät on veloitettu pakkausjätteiden keräyksen järjestämiseen. Tuottajavastuun toteutuksesta Suomessa vastaa muovipakkausalan tuottajayhteisö Suomen Uusiomuovi Oy. Käytännössä tämä on järjestetty Rinki-ekopisteiden avulla joita on sijoitettu jokaiseen yli 10 000 asukkaan taajamaan. Näihin pisteisiin toimitettu pakkausmuovijäte kuuluu tuottajavastuuyhteisölle. Tällä hetkellä niistä muovijäte kuljetetaan Fortumin muovin käsittely- ja prosessointilaitokseen. Lisäksi Suomen Uusiomuovilla on yli 600 sopimusterminaalia yritysten muovipakkauksien vastaanottamiselle.¹⁰⁶

Yritykset taas voivat myydä puhtaita muovijakeitaan vapaasti ja ne voivat ostaa muovijätteen logistiset- ja käsittelypalvelut vapaasti keneltä tahansa toimijalta. Heitä velvoittaa jätelaki ja tietyissä toiminnoissa ympäristöluvut. Kaupan alan toimijat toimivat näin myös pakkausjätteen suhteen.

Käytännössä muovijätehuollon logistiikan toimijat voivat myydä palvelujaan sekä yhdyskuntien että yritysten muovijätteen käsittelyyn, jolloin molemmilta sektoreilta tullut muovi voi päätyä samaan käsittelyyn. Logistiikan, käsittelyn ja kierrätyksen teknologiatoimittajat toimivat usein monien jättemateriaalien ja sektoreiden kanssa.

Liite 3 Haastattelujen tuloksia

Muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnan kannattavuuden edellytyksiä

Muovin kemiallinen kierrätys on ns. upcycling-prosessi ja sellaisena sen pitäisi lähtökohtaisesti olla liiketoiminnallisesti kannattavaa. Upcycling-prosessissa materiaalin arvo saadaan kasvamaan jätteestä raaka-aineeksi ja luodaan tuotteita, jotka ovat vähintään samanarvoisia tai jopa arvokkaampia kuin alkuperäinen muovituote on ollut. Haasteena tässä on, että kemiallinen kierrätys säilyttää kyllä materiaalin arvon, mutta vaatii resursseja arvoketjun varrella. Muovien kemiallinen kierrätys on aina ylimääräinen askel tuotantoketjussa neitseellisen materiaalin tuotantoketjuun verrattuna ja siten myös ylimääräinen kustannustekijä lopputuotteen hinnassa.

Muovien kemiallinen kierrätys voi helpottaa uusien, innovatiivisten materiaalien ja niitä kaupallistavien uusien yritysten tuloa markkinoille, koska tällaiset materiaalit harvoin soveltuvat mekaanisen kierrätyksen syötteeksi. Uusien materiaalien ollessa kyseessä materiaalivirrat ovat etenkin aluksi hyvin pieniä, mutta niitä koskee siitä huolimatta samat kierrätysveloitteet kuin suurissa määrin tuotettavia materiaaleja, joilla myös monesti on etabloituneet kierrätyskanavat. Tämä yhtälö heikentää uusien materiaalien kaupallistumista, ja tähän kemiallinen kierrätys voi tuoda kustannustehokkaan vaihtoehdon nimenomaan materiaalin loppukäyttäjän näkökulmasta.

Toisaalta riskinä on, että muovin kemiallisen kierrätyksen menetelmien, kuten pyrolyysin edistäminen voi olla ristiriidassa panostusten kanssa, joita yritykset tekevät sellaisten muovituotteiden kehittämiseksi, joiden kannattavin kierrättäminen perustuu mekaaniseen kierrätykseen.¹⁰⁷

107 Boston Consulting Group (2019), A Circular Solution to Plastic Waste

Kierrätysmuovi vs. neitseellinen materiaali

Muovin kemiallinen kierrätys tuottaa raaka-ainetta, joka on kalliimpaa kuin neitseellinen raaka-aine. Periaatteessa kemiallisesti kierrätetty muovi raaka-aineena on näistä syistä kuluttajalle kalliimpi vaihtoehto kuin neitseellisestä raaka-aineesta tehty, vaikka muovin teknisessä suorituskyvyssä ei ole eroa. Myös teknologian saaminen riittävän hyväksi ja kaupallisesti kannattavaksi on edelleen haaste, erityisesti kun neitseellisen muovin tuottaminen on edelleen edullista.

Tuotannon liiketoiminnallinen kannattavuuslaskelma perustuu öljyn hintaan. Polymeerien hinta on kehittynyt suurin piirtein käsikädessä öljyn hinnan kanssa, mutta suhteessa se on pysynyt korkeana öljyn hinnan pudotessa voimakkaammin. Raakaöljyn hinta vaikuttaa myös biopolymeerien hintaan. Monien toimijoiden mielestä olisi suotavaa, että kierrätetyn muovin hinta olisi jollain tavalla sidottu raakaöljyn hinnan kehitykseen, koska kiinnostus vaihtoehtoisia tuotteita kohtaan kasvaa öljyn hinnan noustessa.

Raakaöljylle on olemassa vuosien saatossa kehittyneet ja kustannusmielessä tehosteet tuotantoketjut ja toiminta ovat riittävän suuren mittakaavan massatuotantoa, mikä laskee kustannuksia. Kemiallinen kierrätys ei vielä ole niin laajamittaista toimintaa, että sillä olisi mittakaavaetua laskemassa kustannuksia. Toisaalta auton sähköistyminen voi myös vaikuttaa tähän muuttajaan: aluksi öljyn hinta laskevasti, jos tarjolla alkaa olla markkinoiden tarpeita enemmän naftaa, mutta myöhemmin mahdollisesti öljyn hintaa korottavasti, jos sähköistyminen etenee niin pitkälle, että ala menettää mittakaavaetunsa. Tällä hetkellä raakaöljystä vain 4 % menee muovin tuottamiseen, suurin osa liikenteeseen ja asumiseen. Esim. sähköautojen markkinaosuuksien kasvaessa ja tehokkaampien lämmitys- ja jäähdytysmenetelmien yleistyessä, muovin suhteellinen osuus öljyn käytöstä voi nousta jopa 30 %. Tämän voi olettaa vaikuttavan muovien hintakehitykseen ja myös raakaöljyn hintakehitykseen.

Esillä on myös ollut ns. *premium-hinta* -keskustelu: uusiomuovin valmistajalle sekä petrokemian toimijoille voi olla edullisempaa ottaa prosessiin kemiallisesti kierrätettyä muovia, koska se voi vaatia vähemmän jalostus- ja esikäsittelyvaiheita. Tämä kehitys voi olla ajuri petrokemian yhtiöille siirtää liiketoimintastrategiassaan tuotantoon muoviraaka-aineen tuotantoon energiakäytön mahdollisesti hiipussa pitkällä aikavälillä.

Teknologiat vs. liiketoimintamallit ja investointitarpeet

Verrattaessa termokemiallisia muovin kemiallisen kierrätyksen prosesseja liiketoiminnan näkökulmasta, pyrolyysi näyttäytyy toimijoiden silmissä kaasutusprosessia edullisempänä vaihtoehtona. Pieni pyrolyysilaitos vaatii kohtuullisen investoinnin, jonka riski ei ole liian suuri uusien markkinoiden vasta muotoutuessa. Pyrolyysi mahdollistaa myös hajautetun ratkaisun, jossa paikallisesti voidaan käsitellä kohtuullisen pieniäkin jätevirtoja. Kyse on liiketoimintamallin valinnasta: valitaanko malli, jossa tavoitteena on skaalautuminen vai malli, jossa tavoitteena on verkosto pieniä laitoksia paikallisten jätteenkäsittelylaitosten yhteydessä. Yksi visio on, että muovin kemiallisen kierrätyksen laitoksista tulisi osa paikallista infrastruktuuria vesienkäsittelylaitosten tapaan.

Kaiken kaikkiaan pyrolyysiin tai laajemmin nesteytykseen perustuvassa muovin kemiallisessa kierrätyksessä nähdään liiketoiminnallista potentiaalia, mutta potentiaalin saavuttaminen vaatii, että koko arvo- ja tuotantoketju toimii tehokkaasti ja yhtenäisesti. Haastatteluissa nousi esiin neljä tekijää, jotka määrittävät suoraan pyrolyysin taloudellisen kannattavuuden, ja ne vaihtelevat huomattavasti alueittain ja markkinoittain. Nämä tekijät ovat 1) muovijätteen määrä, 2) raaka-aineiden hankinta- ja käsittelykustannukset, 3) pyrolyysilaitosten kapasiteetti ja käyttökustannukset, sekä 4) pyrolyysinesteen ja muiden lopputuotteiden myynnistä saatavat tulot. Näihin tekijöihin vaikuttavat myös useat rakenteellisiin ja ympäristökysymyksiin liittyvät kehityssuunnat ja pyrolyysin toteutettavuus eri markkinoilla.¹⁰⁸

Toiminta voi perustua lokaaleihin, ympäri Eurooppaa hajautettuihin pyrolyysiöljyn tuotantolaitoksiin, joista öljyä kuljetetaan suurempiin, harvoin kemiallisiin tuotantolaitoksiin. Tämän puolesta puhuvat myös logistiikan kustannukset: on tehokkaampaa kuljettaa jätettä lyhyitä etäisyyksiä ja öljyä pidempiä matkoja jalostuslaitoksiin. Jos pyrolyysiöljystä valmistetaan polttoainetta, sitä on mahdollista varastoida ja käyttää varavoimana tukemassa lisääntyvää uusiutuvien energioiden tuotantoa. Automatisoinnin ja lajitteluteknologioiden kehittyminen edesauttaa hajautetun laitosten verkoston perustamista kannattavasti.

Toisaalta monissa tapauksissa skaalautuminen saattaa olla liiketoiminnan kannalta kannattavin malli. Hajautetummassa vaihtoehdossa myös kemianteollisuuteen

108 Boston Consulting Group (2019), A Circular Solution to Plastic Waste

kuuluvat turvallisuuskysymykset voivat vähentää kustannustehokkuutta. Eräiden näkemysten mukaan vuoteen 2030 mennessä Euroopassa olisi 10–20 suurehkoa muovin kemiallisen käsittelyn laitosta.

Pyrolyysiprosessille kaupallisesti kaikkein kannattavinta on käsitellä polystyreeniä, koska prosessilla saadaan suoraan styreenimonomeeriä erittäin suurella saannolla. Myös polyamidien pilkkominen monomeereiksi pyrolyysillä on kustannustehokasta. Näiden kannattavuuden eroihin vaikuttaa kuitenkin oleellisesti se, että polystyreenille on olemassa erilliskeräys ja polyamidille ei. Yleisesti ottaen teknologian liiketoiminnallisuuteen vaikuttaa se, kuinka hyvin eri muovilaatuja saadaan erilliskerättyä ja/tai lajiteltua ennen tuotantoprosessia. Jos systeemiin syötetään sekalaista muovia, saatu öljy joudutaan puhdistamaan petrokemian teollisuudelle kelpaavaksi, etenkin jos siitä halutaan valmistaa polttoöljyä korkealaatuisempia lopputuotteita, ja tämä voidaan nähdä prosessin liiketaloudellisena pullonkaulana. Pyrolyysiöljyn puhdistus tarvitsee vähintään sellaisen kokoluokan yrityksen, jolla on riittävät resurssit ja osaaminen vastata kemiallisesta prosessista, jossa käsitellään potentiaalisesti myös myrkyllisiä kemikaaleja.

Kaasutus prosessina vaatii kannattaakseen liiketoiminnallisesti suuren tuotantolaitoksen ja myös suuren jätevirran. Prosessin vaatimukset jätteiden lajittelun suhteen ovat kuitenkin vähäisemmät kuin pyrolyysin osalta. Laitoksen riippuvuus jätevirroista aiheuttaa logistisia kustannuksia. Vaihtelevista jätevirroista seuraa myös vaihtelevat virtausnopeudet ja vaihteleva lopputuotteen eli synteesikaasun koostumus tuotantokompleksin kaasuverkossa, mikä voi aiheuttaa haasteita tuotannossa.¹⁰⁹

Laitosten optimaalinen koko on yhteydessä käytettyjen teknologioiden pääomaintensiivisyyteen. Kun tarvitaan korkeita lämpötiloja ja/tai kallista prosessiteknikkaa, kuten kaasutuksessa, kannattavinta on rakentaa suuria yksiköitä, jotka vaativat paljon rahoituspääomaa. Tämän mittakaavan investointeihin vaadittavat resurssit löytyvät yleensä ainoastaan suuryrityksistä. Suuri tuotantolaitos olisi hyvä sijoittaa osaksi jotakin kemian teollisuuden keskittymää.

Biotekniset muovin kemiallisen kierrätyksen menetelmät eivät kilpaile samassa skaalassa termokemiallisten kierrätysmenetelmien kanssa. Jos tarjolla on

109 Euractive (2019), Chemical recycling of plastic: waste no more

rutiininomaisia kemiallisia menetelmiä, ne tarjoavat aina kustannustehokkaamman vaihtoehdon kuin mitä biotekninen vaihtoehto pystyy tarjoamaan.

Massatasejärjestelmä

Yleisesti ottaen kuluttajan täytyy käytännössä aktiivisesti haluta maksaa kierrätys-tuotteesta enemmän. Haastatteluissa nousi esiin, että tällä hetkellä ei ole perus-teltua, neutraalia ja sertifioitua tapaa kertoa kuluttajalle siitä, kuinka paljon tuote itse asiassa sisältää kierrätettyä materiaalia kalliimman hinnan perusteluksi. Jo nyt on nähtävissä, että tässä asiassa tarvitaan selkeät pelisäännöt ja tämän takia yri-tykset ovat aloittaneet työn massataseeseen (mass-balance) perustuvan järjestel-män aikaan saamiseksi¹¹⁰ (lisätietoja laatikossa). Euroopan Standardointiorganisaatio (CEN/CENELEC) on vienyt asiaa eteenpäin julkaisemalla raportin laskentaperi-aatteista, joilla tuotteelle voidaan laskea kierrätetyn sisällön osuus¹¹¹. Myös USA:ssa toimiva standardointiorganisaatio UL (Underwriters Laboratories) on sisällyttänyt massataseen laskentamenetelmät olemassa olevaan kierrätetyn sisällön standardiin UL 2809¹¹².

Käsite mahdollistaa hallitun markkinan kehittymisen sellaisille lopputuotteille, joissa käytetään kierrätetyn ja neitseellisen raaka-aineen sekoitetta. Kun puhutaan suurista monikansallisista petrokemian ja kemian yrityksistä, niiden suuriltakin kuu-lostavat luvut kierrätysmateriaalin käytön suhteen voivat niiden kokonaistuotan-nosta muodostaa vain pienen osan. Esimerkiksi Nesteen tavoite käyttää miljoona tonnia kierrätysmuovimateriaalia vuosittain prosessissaan vuonna 2030 on vain 10 % Nesteen tämän hetken vuosittaisesta kokonaissyötöstä. Massatasejärjestelmä olisi esimerkiksi jonkun sertifiointilaitoksen sertifioima tapa ilmoittaa vaikkapa pro-sentteina, kuinka suuri osuus tuotteesta on tehty kierrätysraaka-aineesta.

Järjestelmä hyödyttäisi erityisesti lopputuotevalmistajia ja brändinomistajia. Esi-merkiksi BASF käyttää lähestymistapaa ChemCycling-projektissaan ja näkee, että se näin voi edesauttaa myös asiakkaitaan saavuttamaan kestävyystavoitteensa¹¹³.

110 Ellen MacArthur Foundation (2019), Enabling a circular economy for the chemicals with the mass balance approach. A white paper from co.project mass balance

111 Pinfa (1/2019), Standards for chemicals for the Circular Economy

112 UL (6/2019), Standards for chemicals for the Circular Economy

113 Recycling magazine (7/2019), Prototypes made from chemically recycled material

Myös SABIC käyttää massatasejärjestelmää kierrätettyjen polymeerien laskennassa: jokaista krakkausyksikköön syötettyä muovitonnitonia kohden voidaan konversio-kertoimen perusteella määrittellä, kuinka paljon lopputuotemuovia voidaan sanoa kierrätetyksi¹⁴.

Muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistumisen kannalta tärkeää olisi, että massatasapainon käsite ja toimintatapa saisi myös julkisten tahojen hyväksynnän. Siksi massatasejärjestelmän kehittämiseen tarvitaan myös julkisten toimijoiden kuten EU:n tai kansallisten relevanttien ministeriöiden tukea. Pohjoismaiset ja Alankomaiden julkinen sektori nähdään Euroopan tasolla kaikkein avoimimmaksi tällaiselle keskustelulle.

Kierrätettyjen tuotteiden määritelmä

Kierrätystavoitteiden kiristyessä niiden täyttäminen voi olla yleisesti ottaen liiketoiminnallisesti haastavaa ellei määritelmiä sille, mitkä lopputuotteet lasketaan kierrätetyiksi selkeytetä. Määritelmiä tarkasteltaessa on tärkeää tarkastella koko arvoketjua.

Ainakin kemiallisen kierrätyksen kaupallistamisprosessin alkuvaiheessa, jotta prosessi saadaan mahdollisimman nopeasti liiketoiminnallisesti kannattavaksi, haastateluissa nousi esiin tarve harkita polttoaineen roolia kierrätystuotteena. Kierrätysmuovista valmistettu polttoaine vähentää riippuvuutta raakaöljystä ja monet tahot katsovat, että siinä käytetään kierrätyshiiltä, minkä takia on myös ehdotettu, että se tulisi laskea uusiutuvien polttoaineiden kategoriaan. Tähän tarkasteluun liittyy myös meneillään oleva pohdinta siitä, minkä sääntöjen mukaan hiilijalanjälki kierrätysmuovista tehdyille polttoaineelle tulisi laskea. Tämän työn odotetaan valmistuvan vuonna 2021 ja se tulee merkittävästi määrittämään muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnallista perustaa.

Siitä, pitäisikö polttoainevalmistus hyväksyä kierrätykseksi on monia mielipiteitä. Hyväksyntä saatetaan nähdä myös siten, että polttoainekäyttö hidastaisi kemiallisesti kierrätetyn raaka-aineen käyttöä muoviteollisuuden raaka-aineena. Toisaalta nähdään, että suuret brändinomistajaryitykset haluavat lisätä kierrätysmateriaalin

114 ISCC (4/2019), Cracking the problem of waste plastics

käyttöä tuotepakkauksissaan, mikä on kasvattamassa kovaa vauhtia kysyntää muovista-muoviksi käytölle. Kaiken kaikkiaan kysyntä ratkaisee loppujen lopuksi markkinoiden kehittymisen, mutta lainsäädännöllä on tärkeä ohjaava rooli sen suhteen, miten prosessit saadaan kaupallistettua kannattavaksi liiketoiminnaksi.

Kaupallistaminen vaatii uusia arvoketjuja

Muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistumiseksi tarvitaan sellainen ratkaisu, joka mahdollistaa liiketoiminnan sekä sitä kautta myös rahoitusmahdollisuudet kaikille arvoketjun varrella oleville toimijoille. Nämä arvoketjun varrella olevat toimijat voidaan karkeasti jakaa neljään kategoriaan: 1) jäte- ja jätteenlajittelu-yhtiöt, jotka myös omistavat jätteen, 2) muovijätteen prosessoijat, esimerkiksi pyrolyysiprosessin omistajat, jotka monesti voivat olla myös startuppeja tai pk-yrityksiä, 3) kemian- ja petrokemian suuret yritykset, jotka edelleen käsittelevät edellisen vaiheen lopputuotetta, sekä lopuksi 4) muovituotteita valmistavat yritykset yhdessä brändinomistajien kanssa, jotka ovat koko prosessiketjun loppuasiakkaita ja käyttävät kemiallisesti kierrätettyä muovia raaka-aineenaan tuotteissaan ja pakkauksissaan. Prosessinomistajat ovat usein itse teknologiaa kehittäneitä ja kaupallistavia tahoja ja siten teknologian omistajia. Kaikkien näiden toimijoiden olisi saumattomasti löydettävä paikkansa arvoketjussa sekä löydettävä rahoitusta ja liiketoiminnallisia mahdollisuuksia kierrätysmuoveista, jotta muovin kemiallisen kierrättämisen olisi mahdollista kaupallistua.

Muovin kemiallinen kierrätys mahdollistaa muovin valmistus- ja käyttöketjussa siirtymisen lineaarisesta arvoketjusta kiertotalouden suljetun ympyrän arvoketjuun. Nykyinen jätteiden käsittelyn ja muovin valmistuksen infrastruktuurimme perustuu pitkälti suuresta pieneen skaalautuvaan lineaarisuuteen: alkupiste on suuren mittakaavan petrokemian teollisuus, joka tuottaa yksittäisiä muovituotteita, usein kertakäyttöpakkauksia, jotka ovat käytännössä paikallisia yksittäisiä jätteitä, joista paikallinen, hajautettu jätehuolto huolehtii. Uudessa kiertotalouden järjestelmässä skaalautuminen tapahtuu suljetusti ja pienestä suureen: alkupiste on hajautettu ja paikallinen jätteenkeräysjärjestelmä, joka huolehtii yksittäisten jätteiden keräyksestä syötteenä suuren skaalan petrokemian teollisuuden tuotantoon. Tämä

vaatii arvoketjun toimijoilta uudenlaista näkökulmaa tuotannon ja liiketoiminnan perusteisiin.¹¹⁵

Muovin kemiallisen kierrätyksen arvoketjut ovat kansainvälisiä eikä asiaa voi tarkastella pelkästään yhden yksittäisen maan perspektiivistä. Mukana on myös suuria monikansallisia yhtiöitä. Nykyisellään monet uuden arvoketjun varrella olevista toimijoista eivät ole aiemmin toimineet yhdessä samassa arvoketjussa, ja myös markkina on osalle uusi. Osa on myös nykyisellään osana pitkään toimineita ja ajan myötä tehostuneita arvoketjuja, joille uusi toimintamalli on kilpailija. Jätevirtojen ohjautuvuuden tasolla pelikenttä on hyvinkin epähomogeeninen: jokaisella maalla on omia tapoja toimia asiassa. Ainakin toistaiseksi perinteisesti muovin kierrätyksen arvoketjun loppupäässä olevat toimijat katsovat parhaimmaksi ennemmin partneroitua arvoketjun alkupään toimijoiden kanssa sen sijaan, että investoisivat vaikkapa jätehuoltojärjestelmiin tai kemiallisen kierrätyksen laitoksiin.

Kaiken kaikkiaan on nähtävissä, että muovin kemiallisen kierrätyksen osalta suuret yritykset hakevat innovaatioita uuden liiketoiminnan tueksi partneroitumalla pk-yritysten ja startuppien kanssa. Esimerkiksi Nouryon (entinen AkzoNobel Specialty Chemicals) on virallisesti julkaissut Imagine Chemistry -yhteistyöinnovaatiohaasteensa kolmannen version. Ohjelma liittyy Rotterdamiin perustettavan kaasutuslaitoksen kehitystyöhön. Ohjelman kautta yritys kutsuu startuppeja, skaalautumisvaiheessa olevia yrityksiä sekä yliopistojen spin-outteja sekä myös muita potentiaalisia kumppaneita vastaamaan kemiaan liittyviin haasteisiin ja paljastamaan uusia tapoja luoda arvoa asiakkaille. Yritys on partneroitunut haasteen tiimoilta myös muiden suuryritysten, kuten Unilever, startup-kiihdyttämöjen sekä riskipääomarahojittajien kanssa.¹¹⁶ Myös uusien mahdollisuuksien luominen pyrolyysin avulla kierätetylle muoville mahdollistuu parhaiten, kun käsittelyä kaupallistavat startupit, joita alalla on ja on myös tulossa lisää, partneroituvat suurten pakkaus-, kuluttajatuote- ja jätteenkäsittely-yritysten kanssa arvoketjun varrella¹¹⁷.

Bioteknologisiin prosesseihin liittyen entsyymien valmistajat ovat hyvä esimerkki uusien arvoketjujen haasteista. Tällä hetkellä entsyymien valmistajat eivät ole vielä

115 Closed Loop Partners (4/2019), Circular Supply Chains for Plastics

116 BiofuelsDigest (3/2019), Shell joins Air Liquide, Nouryon in Enerkem waste-to-chemicals project in Rotterdam: the complete story

117 Boston Consulting Group (2019), A Circular Solution to Plastic Waste

olleet kovinkaan tietoisia tai kiinnostuneita markkinoista liittyen muovin kemialliseen kierrätykseen bioteknologisin keinoin. Teknologiakehitys on kaiken kaikkiaan vielä aika alkutekijöissään, mutta kun alalle aletaan saada konkreettisia esimerkkejä ja sitä kautta markkinapotentiaalille konkreettisia näkymiä, on luultavaa, että myös entsyymien valmistajien kiinnostus herää tätä kehittyvää markkinaa kohtaan.

Erilaiset kemiallista kierrätystä koskevat tuotannolliset ratkaisut tulisi tehdä konsortioina, mutta tällaisessa uudessa arvoketjussa eri toimijat eivät välttämättä ymmärrä toistensa vaatimuksia. Tämän vuoksi on tärkeää saada aikaiseksi yhteistyöhön perustuva tapa toimia. Yhteistyön saaminen nopeammin toimivaksi on koko alan kehityksen kannalta oleellisin asia. Esimerkiksi joku kansallinen julkinen tai EU:n kaltaisen toimija voisi edesauttaa näiden erilaisten toimijoiden yhteen saattamista ja samalla myös sitä kautta helpottaa muovin kemiallisen kierrätyksen muotoutumista uudeksi, potentiaalisesti globaalistikin merkitykselliseksi teollisuudenalaksi.

Teknologioiden ja markkinoiden kypsyyt

Uudet teknologiat tarvitsevat usein ainakin 10 vuotta, jotta ne skaalautuvat riittävästi kaupallistuaakseen. Muovin kemiallisen kierrätyksen teknologiat eivät sinällään ole uusia, mutta kemianteollisuuden markkinaympäristö on vasta viime aikoina alkanut muovautua aihealueelle suosiolliseksi. Ei riitä, että teknologia on valmista käytettäväksi vaan asia etenee vasta kun petrokemian- ja kemianteollisuus on valmis muuttamaan raaka-ainepohjaansa. Kemiallinen kierrätys antaa mahdollisuuden sekoittaa neitseellistä ja kierrätettyä raaka-ainetta ja se alentaa kynnystä lähteä käyttämään kierrätettyjä raaka-aineita osana kemianteollisuuden perusprosesseja. Kuluttajien valinnat ovat ennenkin vaikuttaneet petrokemianteollisuuden muutoskohdissa, ja muovin osalta teollisuus näkee tällaisen muutoskohdan olevan edessä. Liiketoiminnallinen yhtälö kierrätyksestä johtuvien kustannusten ja kuluttajien maksuvalmiuden välillä on yrityksillä mietinnässä. Kysymys on myös markkinoiden skaalautumisesta riittävän suuriksi.

Pyrolyysiteknologian osalta markkinoilla on jo pk- ja startupyriityksiä, jotka ovat kaupallistaneet tai ovat kaupallistamassa muovien kemiallista kierrätystä tämän teknologian avulla. Seuraavaksi tarvetta olisi toiminnan skaalaukselle ja/tai modularisoinnille, jotta investointikustannuksia saataisiin alaspäin. Arvoketjussa on myös optimointipotentiaalia. Tulisi esimerkiksi ratkaista onko kannattavampaa lajitella

muovijäte tehokkaasti ennen pyrolyysiprosessia vai puhdistaa saatu pyrolyysiöljy prosessin jälkeen.

Biotekniset ratkaisut termokemiallisten ratkaisujen rinnalla ovat vielä kohtuullisen uusia, eikä niitä juurikaan ole vielä täysin kaupallisessa käytössä. Ranskassa Carbios -yritys on kaupallistamisessa pisimmällä. He ovat tehneet työtä ratkaisunsa kaupallistamiseksi 4–5 vuoden aikajänteellä. Samalla aikaskaalalla ajatellen, suomalaista bioteknistä osaamista, joka on myös Euroopan skaalassa eturintamassa, voitaisiin kaupallistaa siten, että vuonna 2030 teknologia olisi demonstroitu laitostasolla jollain tietyllä muovimateriaalilla siten, että lopputuote olisi jotakin muuta vielä siinä vaiheessa kuin muovin prekursori.

Kaupallistamisen polulla laitosten rakentaminen demonstroitivaiheessa on usein raskas investoinneiltaan, eikä siihen ole useinkaan oikeanlaisia rahoitusinstrumentteja tarjolla. Samoin pienemmille yrityksille rahoituksen saaminen ensimmäiselle kaupalliselle laitokselle voi olla ongelma. Koska monikansalliset petrokemian- ja kemianteollisuuden yritykset ja merkittävät brändinomistajayritykset osoittavat enenevässä määrin kiinnostusta muovin kemiallista kierrätystä kohtaan, on oletettavaa, että kymmenen seuraavan vuoden aikana tullaan rakentamaan useita eri kokoisia ja eri teknologioita käyttäviä muovin kemiallisen kierrätyksen laitoksia sekä Euroopan tasolla että globaalisti.

Muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistamisen kannalta voisi olla kannattavaa, että samassa laitospaikassa, lähellä jätteiden käsittelyä, olisi sekä mekaanisen, termokemiallisen että bioteknisen käsittelyn mahdollisuudet tarjolla. Esimerkiksi biotekninen ratkaisu on prosessina hidas eikä sen kannata lähteä kilpailemaan pyrolyysin kanssa. Sen sijaan pyrolyysissä lopputuotteena voi tulla myös sellaisia tuotteita, joita voisi edelleen bioteknisesti hyödyntää. Tällaisessa kierrätyskeskuksessa jätteiden materiaalivirtaa voitaisiin liikuttaa helposti ja tehokkaasti tarvittaviin prosesseihin siten, että käsittelyn hyötysuhde saataisiin maksimoitua. Tällaista ratkaisua voitaisiin lähteä demonstroimaan vaikkapa jonkinlaisen kehitettävän ekosysteemin avulla.

Polttoainekäyttö ponnahduslautana kaupallistumiselle?

Monet toimijat näkevät, että polttoainekäyttö antaisi kaupallistamisen polulla mahdollisuuden demonstroida teknologiaa ja rakentaa pohjaa muiden lopputuotteiden

kehitystyölle. Pienen, aloittavan tuottajan on tärkeää lähteä tuottamaan lopputuotteita mahdollisimman nopeasti ja polttoainekäyttö on usein pienimmän kynnyksen takana alkavassa toiminnassa.

Kaiken kaikkiaan Suomi voisi olla hyvä koeponnistuskohde testilaitokselle, jonka pohjalta teknologiaa ja osaamista olisi mahdollista monistaa maailmalle. Täälläkin tärkeää olisi lähteä jostain liikkeelle ja liikennepolttoaine nähdään helposti kaupallistettavana ensimmäisenä liiketoiminnan reittinä. Toimijoiden mukaan se loisi Suomeen pohjan, josta aiheeseen liittyvää kehitystyötä voitaisiin jatkaa eteenpäin myös muiden lopputuotteiden aikaansaamiseksi. Toimijat peräänkuuluttavat myös päätöksenteon ja liikkeelle lähdön nopeuttamiseksi jonkinlaista kannustinta, esimerkiksi investointitukea.

Lopputuotteet liiketoiminnan perustana

Pyrolyysi- ja nesteytysprosessien lopputuotteena syntyy pääasiassa öljyä, noin 70 %, joka petrokemianteollisuuden jalostamoon syötettynä tuottaa naftaa, joka taas on kemianteollisuuden alkupiste, josta se voi päätyä oikeastaan miksi tahansa muoviteollisuuden lopputuotteeksi. Prosessissa hyvä puoli on, että lopputuote vastaa neitseellisestä raaka-aineesta eli lähinnä raakaöljystä valmistettua tuotetta, eli yksinkertaistettuna esimerkiksi vaikkapa prosessissa vanhasta likaisesta makkara-paketista, joka ei kelpaa mekaaniseen kierrätykseen, saadaan epäpuhtaudet katoamaan ja muovi uuteen käyttöön. 15–17% pyrolyysin lopputuotteesta on synteesikaasua, joka yleisesti ottaen käytetään tuottamaan prosessia tarvittavaa lämpöä. Kaikki muovijätteen kontaminaatio tuottaa hiiltä, jota prosessista syntyy noin 10 %. Toimijat etsivät sille mahdollisia hyötykäyttöjä. Sen potentiaalisia käyttökohteita voisi olla aktiivihiihi, ja myös käyttöä autojen akkujen raaka-aineena tutkitaan. Jos prosessiin laitetaan biomateriaaleja muovin lisäksi, ne toisaalta ovat kontaminaatiota ja tuottavat hiiltä, mutta jotkut toimijat ovat myös nähneet biomateriaalin tuottavan jopa 20 % etikkahappoa, joka myös on kemianteollisuuden raaka-aine.

Kaasutuksessa lopputuotteena saadaan synteesikaasua, joka koostuu hiilimonoksidista ja vedystä, ja josta puhdistettuna voidaan valmistaa sellaisia peruskemikaaleja kuten metanoli. Prosessi vaatii suuria volyymejä ollakseen kannattava.

Biotekninen kemiallinen kierrätysmenetelmä tuottaa ensimmäisenä lopputuotteena etanolia. Lopputuotteet voivat myös olla happoja, joilla on arvoa

kemianteollisuuden raaka-aineena, esimerkiksi atselaiinihappo (azelaic acid). Kaiken kaikkiaan bioteknisiä kierrätysmenetelmiä pyritään kehittämään sellaiseen suuntaan, että lopputuloksena saataisiin suoraan sellainen tuote, joka olisi heti hyödynnettävissä.

Erinomainen esimerkki siitä, miten muovin kemiallinen kierrätys on ns. upcycling-toimintaa, on biotekninen menetelmä, jossa mikrobien avulla PET-muovista, joka ei ole biohajoava, voidaan tehdä PHA-muovia eli polyhydroksialkanoidia, joka on luonnossa biohajoava. Prosessissa mikrobi hajottaa PET-muovin, käyttää sitä hiilen lähteenä ja bakteeri tuottaa siitä sen jälkeen PHA:ta lopputuotteena. Bioplastech Ltd pk-yritys Isossa Britanniassa on jo lähtenyt kaupallistamaan tätä menetelmää¹¹⁸ ja kaiken kaikkiaan suurten kuluttajabrändien omistajayritykset kuten PepsiCo näkevät PHA:ssa paljon mahdollisuuksia korvaamaan perinteistä öljypohjaista muovia¹¹⁹.

Kemiallisen kierrätyksen avulla saadaan teknisesti samanlaatuista raaka-ainetta kuin neitseellinen on, mikä avaa ovia erilaisille lopputuotemarkkinoille. Tärkeää on lopputuotteen soveltuvuus elintarvikkeiden yhteydessä käytettäväksi. Yleisesti ottaen kemiallisesti kierrätettyä muovia voidaan käyttää myös elintarvikepakkauksissa toisin kuin suurinta osaa mekaanisesti kierrätetyistä muoveista. Elintarvikekelpoisuus on myös osoitettu käytännössä, kun Unilever elokuussa 2019 uutisoi tuoneensa myyntiin jäätelöpakkauksia, jotka on valmistettu osaksi kemiallisesti kierrätetystä muovista yhteistyössä Sabcin kanssa¹²⁰. Pakkausten sanotaan sisältävän 25 % kierrätysmateriaali, mikä olisi määritetty massatasejärjestelmää käyttäen.

Bioteknisessä prosessissa voidaan käyttää myös mikrobeja. Tällöin prosessin kaupallistuminen siten, että lopputuotetta olisi mahdollista käyttää myös elintarviketeollisuudessa voi olla kysymysmerkki. Kaiken kaikkiaan lopputuote myös mikrobi- tai entsyymiavusteisesta prosessista on kemikaali, josta käytetty mikrobi tai entsyymi on puhdistettu pois ja se kelpaa sellaisenaan kemianteollisuuden prekursoriksi.

118 p4sb.eu

119 BioplasticsNEWS (1/2019), Why 2019 may be a Promising Year for PHA

120 Plastics News Europe (8/2019), Magnum launches recycled plastic ice cream tubs

Kun teknologian kehityksen myötä lopputuotteen hinta saadaan järkevälle tasolle, kierrätysmateriaalin käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Kuluttajatuotteissa kuluttaja loppujen lopuksi päättää, paljonko hän on valmis maksamaan lisää kierrätetystä materiaalista. Muoviteollisuudessa on huomattu ainakin toistaiseksi, että mekaanisesti kierrätettyä muoviraaka-ainetta käytettäessä kuluttajien kipuraja tulee vastaan, jos tuote on 20 % kalliimpi kuin neitseellisestä raaka-aineesta valmistettu vaihtoehto. Toisaalta materiaali voi liiketoiminnallisesti toimia neitseellistä kalliimpana vaihtoehtona sellaisissa tuotteissa kuten kodin elektroniikka, auton osat, kaiuttimet yms., joissa muoviosan kustannus ei ole kokonaisuudessaan kovin suuri verrattuna lopputuotteen kustannukseen. Myös esimerkiksi lääke- ja lääkintälaitteollisuudessa hinta ei aina välttämättä ole ratkaisevin tekijä ja kierrätyksen mahdollistama valmistus hyvinkin puhtaasta raaka-aineseoksesta voi olla teknisiltä ominaisuuksiltaan joihinkin sovelluksiin jopa parempi vaihtoehto kuin neitseellisestä raaka-aineesta valmistetut vaihtoehdot. Muun muassa näiden loppukäyttömahdollisuuksien takia markkinoiden tarve kemiallisesti kierrätetylle materiaalille voi edesauttaa tuotannon kehittymistä nopeammin kuin on ajateltu.

Materiaalivirtatarpeet muovin kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnalle

Tarvittavat muovijättemäärät

Kemiallisen kierrätyksen prosessiin syötettävän muovijätteen määrän tulee olla riittävän suuri, jotta tuotanto olisi taloudellisesti kannattavaa ilman subventioita. Keski-Euroopassa muutamat suuryritykset rakensivat muovin kemiallista kierrätystä jo 90-luvulla, mutta tuotantoa ei koskaan saatu käynnistettyä muoviraaka-aineen vähäisyyden takia. Keski-Euroopassa rakenteilla olevat pk-yrityspohjaiset pyrolyysilaitokset laskevat tarvittavaksi lähtökohdaksi 20 t muovijätettä päivässä, mutta kaiken kaikkiaan laitosten kapasiteetti on 60–75 t/päivä.

Haastateltavat korostivat miten kemiallisen kierrätyksen potentiaali kasvaa, mikäli prosesseja saadaan kehitettyä sellaisiksi, että niihin voidaan syöttää erilaisia muovimateriaalia, muoviyhdisteitä ja mahdollisesti myös muita materiaaleja, kuten biopohjaisia materiaaleja. Esimerkiksi kannattavuutta voisi parantaa, jos syötteenä voitaisiin käyttää muovia ja puuta yhdessä, mutta tällaisessa prosessissa on edelleen teknologisia haasteita. Potentiaalia nähdään myös erityisesti muovien ja kumin

yhdistämisessä, koska kierrätettävien autonrenkaiden volyymit ovat merkittäviä. Lisäksi esim. muovipohjaisten tekstiilikuitujen kierrätys voisi taata merkittävän materiaalivirran kierrätykselle, sekä olisi osa ratkaisua kehittyviin talouksiin kasautuville tekstiilien kaatopaikoille.

Mekaaninen vs. kemiallinen kierrätys materiaalivirtojen näkökulmasta

Mekaaninen ja kemiallinen kierrätys täydentävät hyvin toisiaan materiaalivirtojen näkökulmasta. Jos jätemateriaali on syntypaikkalajiteltua ja hyvin homogeenistä ja puhdasta, mekaaninen kierrätys tulee edelleen olemaan tulevaisuudessakin kannattavin vaihtoehto.

Muovien kemiallinen kierrätys on tavallaan kierrätyksen munuainen: sen avulla pystytään käsittelemään kaikki se, jota ei tavallaan voi käyttää hyödyksi muissa prosesseissa. Jos esimerkiksi muovijätteessä on paljon monikerroskalvoja tai vaikkapa öljykontaminaatioita, joka aiheuttaa vesiongelmia, kemiallinen kierrätys on mekaanista parempi. Polymeerit voivat mennä mekaanisen kierrätyksen läpi maksimissaan neljä kertaa, jonka jälkeen kemiallinen kierrätys tarjoaa myös tähän vaihtoehdon jatkaa kiertoa.

Mitä haastavampi mekaanisen kierrätysprosessin rejekti on, sitä kalliimpaa on myös sen käsittely. Tällaisia haasteellisia jätteitä ovat mm. komposiittimuovien ja kontaminaation yhdistelmä vaikkapa elintarvikepakkauksissa, tai vaikkapa lasikuidut. Aina, kun raaka-aineita sekoitetaan, käy kierrättäminen hankalammaksi. Myös rakennusteollisuuden jätteessä on paljon kontaminaatiota, kun muovien kanssa käsitellään paljon vaikkapa sementtiä tai betonia. Tällöin mekaaninen kierrätys on hankalaa ja kemiallinen kierrätys voisi tarjota hyvän vaihtoehdon.

Muovin lopputuottajan näkökulmasta haaste on, että mekaanisesti kierrätetyt raaka-aineet eivät ole tällä hetkellä tasalaatuisia, mikä joudutaan huomioimaan tuotannossa. Myös tästä syystä muovin kemiallinen kierrätys voi tarjota mielenkiintoisen vaihtoehdon mekaanisen kierrätyksen rinnalle. Kemiallisesti kierrätetty materiaali tulisi olla toimitettu samassa muodossa pelletteinä kuin neitseellinen tai mekaanisesti kierrätetty raaka-aine. Siten toimitusketju olisi samankaltainen kuin nykyisille raaka-aineille ja uusi materiaali saataisiin tehokkaasti prosessiin.

Materiaalien elinkaaren hallinnointi

Kemiallisen kierrätyksen nähdään myös pystyvän nostamaan kierrätysprosenttia. Kemiallisesti kierrätetty muovi on raaka-aineena neitseellisen raaka-aineen veroista ja käy siten lopputuotteisiin samoin periaattein kuin neitseellinen raaka-aine. Toimijat näkevät, että vuoteen 2030 mennessä kaiken kaikkiaan muovimateriaali on kehittynyt nykyistä helpommin kierrätettäväksi. Myös hankalimmasta materiaalista PVC:stä olisi päästy tuolloin eroon pakkausmateriaalina. Polyeteeni (PE), polypropenei (PP) sekä PET olisivat tuolloin yleisimmin käytössä olevat muovimateriaalit. Kemiallinen kierrätys vartenotettavana mahdollisuutena auttaa myös tuomaan markkinoille sellaisia uusia komposiittimateriaaleja, joilla on ympäristön kannalta positiivisia vaikutuksia esimerkiksi sitä kautta, että ne kevyempinä vähentävät logistiikan tuottamia päästöjä.

Yleisesti ottaen materiaalin elinkaari olisi hyvä olla mietitty valmiiksi jo osana tuotesuunnittelua. Tuotteen elinkaaren hallinnoinnissa voisi myös käyttää digitaalisia teknologioita, mikä voisi toisaalta helpottaa lajittelua, mutta myös tuottaa vaikkapa dataa tuottajille materiaalista ja tuotteen kierrätyksestä.

Raaka-ainevaatimukset

Raaka-aineiden riittävyys ja saatavuus voi olla pullonkaula, erityisesti jos halutaan rakentaa suuria kemiallisen kierrätyksen prosessointiyksiköitä. Kemiallisen kierrätyksen kannattavuus riippuu sopivan muoviraaka-aineen riittävydestä ja pyrolyysi- ja kaasutusmenetelmien jatkokehityksestä siihen suuntaan, että ne ottaisivat riittävän suuria määriä tasalaatuisia kierrätystuotteita kilpailukykyiseen hintaan¹²¹. Tasalaatuisuus on tärkeää ja se tarkoittaa, että vaikka jäte olisi sekalaista, sen olisi hyvä olla mahdollisimman paljon aina samalla tavalla sekalaista eikä esimerkiksi päivittäinen variaatio ole suotavaa. Tämän takia laitokset mielellään ottavat raaka-ainetta aina samoilta, tietyiltä toimittajilta ja solmivat pitkäaikaisia sopimuksia. Jäteraa-ka-aineen hinnasta myös neuvotellaan siltä pohjalta, miten paljon esimerkiksi pyrolyysitoimijan täytyy tehdä sille esikäsittelyä ennen prosessointia.

Suurin osa nykyisistä teknologioista vaatii kohtuullisen puhdasta syöttöainetta eli tarvitaan joko jätteen lajittelu ennen kemiallisen kierrätyksen prosessia tai

121 Euractive (2019) Chemical recycling of plastic: waste no more

vaihtoehtoisesti prosessin jälkeinen lopputuote tulee puhdistaa seuraavan vaiheen laatuvaatimuksia vastaavaksi. Jotkut Euroopassa rakenteilla olevien laitosten suunnitelmat sisältävätkin itse kemiallisen kierrätyksen prosessia edeltävän perinteisen jätteenkäsittelylaitoksen, joka sijoitetaan kemiallisen kierrätyslaitoksen yhteyteen. Vaikkapa pyrolyysiprosessin lopputuotteena saadun öljyn, joka sitten syötetään eteenpäin petrokemianteollisuuden prosessiin, on oltava laadultaan neutseellisen materiaalin eli raakaöljyn veroista. Kontaminaatiota voi olla noin 5–10%, muussa tapauksessa jätemateriaalia täytyy esikäsitellä ennen prosessia. Erityisen hankalia kontaminaatioita petrokemian- ja kemianteollisuuden kannalta ovat happi, vety ja kloori. Periaatteessa pyrolyysiprosessiin voi laittaa mitä vain sekajätettä, mutta silloin myös lopputuote on huonolaatuista öljyä, jonka käyttökohteet ovat rajatut ja prosessi on hankala saada kannattavaksi.

Myös biotekninen prosessi tavoittelee mekaanisen kierrätyksen rejektistä syntyvää materiaalivirtaa, joka normaalisti poltettaisiin. Keskimäärin 30 % mekaanisen kierrätyksen syöttövirrasta on rejektiä, jos tästä 10 % käsiteltäisiin bioteknisessä prosessissa, se olisi jo kohtuullinen materiaalivirta kyseiselle prosessille. Biotekninen prosessi voitaisiin myös nähdä tavallaan esikäsitellynä mekaaniselle tai muulle kemialliselle kierrätykselle. Esimerkiksi polyetyleenijakeiden tapauksessa, osasta voitaisiin tehdä bioteknisen menetelmin jotakin arvokasta lopputuotetta ja loppu voitaisiin ohjata muuhun kemialliseen kierrätykseen. Toisaalta biotekniset menetelmät voivat myös tarjota ratkaisuja pyrolyysin kannalta haasteellisille muovilaaduille.

Myös bioteknisiä prosesseja käytettäessä tarvitaan esikäsitely, sillä sen myötä taataan, että entsyymit ja mikrobit pääsevät riittävän nopeasti käsiksi oikeisiin lähtö- materiaaleihin. Siten myös bioteknisiin prosesseihin paras olisi riittävän tasalaatuinen muovijäte. Myös monikerrosmuovien käsittely on bioteknisille prosesseille vielä haaste.

Kaiken kaikkiaan lajittelu parantaa lopputuotteen laatua merkittävästi sekä prosessin toimivuutta myös kemiallisen kierrätyksen osalta, mikä synnyttää tarvetta investoida lajitteluteknologioihin. Lajittelu ja jätteen keräyksen organisointi nähdään jopa tärkeämpänä tuotantoon vaikuttavan asiana kuin jätteen kontaminaatio. Toimijoiden mukaan tarvitaankin enemmän vertikaalisesti integroituja malleja kustannusrakenteiden vähentämiseksi ja muovin kierrätyksen ekonomian takaamiseksi. Vaikka kierrätysmallit olisi todettu taloudellisesti kannattaviksi mekaanisen kierrätyksen osalta, ne eivät välttämättä päde muiden, kuten muovin kemiallisen

kierrätyksen osalta. Teknologiatoimijalle tämä voi tarkoittaa esimerkiksi lajitteluun liittyvien esikäsittelyvaiheiden lisäämistä itse prosessiin syötteen ollessa sekalaista materiaalia tai varmistaa, että partneri tai asiakas huolehtii tällaisesta vaiheesta teknologiatoimijan tuotantolaitoksen yhteydessä. Tällainen lisäintegraatio joko strategisten kumppanuuksien tai ydinliiketoimintamallin laajennuksen kautta auttaa vähentämään kustannusrakenteita.¹²²

Kilpailu jäteraaka-aineesta

On nähtävissä, että muovijättemateriaalista tullaan jollain aikavälillä kilpailemaan, jolloin myös sen vastaanottamisesta maksettava porttimaksu (gate fee) tulee laskemaan, mikä tulee vaikuttamaan kemiallisen kierrätyksen liiketoiminnallisiin edellytyksiin. Jos kemiallista kierrätystä ei lasketa kierrätystilastoihin, jättemateriaali kilpailee myös jätteenpoltoon menevän materiaalivirran kanssa ja myös tällöin porttimaksu tulee laskemaan tai materiaalista saattaa joutua jopa maksamaan. On odotettavissa, että joka tapauksessa 5–10 vuoden aikajänteellä muovijätteestä materiaalina tulee alkaa maksaa kaikkialla Euroopassa. Tällä hetkellä esimerkiksi Euroopassa toimivat kemiallisen kierrätyksen toimijat ottavat sisään muovijättemateriaalia, jolla ei ole arvoa ja josta muutoin joutuisi maksamaan kaatopaikka- tai monissa maissa harkinnassa olevaa jätteen polton veroa. Toisaalta on oletettavissa myös, että muovijätevirrat tulevat kasvamaan, koska kemiallinen kierrätys tarjoaa insentiivin helpottaa ja tehostaa jätteiden kierrätystä kaiken kaikkiaan.

Nyt jo on nähtävissä kehitys solmia toimitusketjun takaamiseksi strategisia pitkäaikaisia kumppanuuksia petrokemian- ja kemianteollisuuden ja jätteiden keräämisestä ja lajittelusta vastaavien yritysten välille. Esimerkkinä tällaisesta sopimuksesta on Dow:n ja Suezin välinen sopimus. Tulevaisuudessa on myös odotettavissa, että kemianteollisuuden yritykset alkavat hankkimaan kemiallisen kierrätyksen prosessista vastaavia yrityksiä. Jo nyt kemianteollisuuden yritykset saattavat omistaa mekaanisen kierrätyksen yrityksiä. Kuitenkin ainakin vielä toistaiseksi yhteistyötä haetaan kumppanuuksien, ennemmin kuin omistuksien kautta. Perusideana on, että jäteyritykset keräävät ja lajittelevat jätteet paikallisesti ja myös nesteytys tapahtuu paikallisesti. Tällaisen nesteytetyn muovijätteen kuljetus vastaa sen jälkeen raakaöljyn kuljetusta ja voi tapahtua samoin periaattein, ainakin jos lainsäädäntö

122 Closed Loop Partners (4/2019), Circular Supply Chains for Plastics

saadaan yhtenäiseksi Euroopassa tältä osin. Ajurina tällaiselle disruptiiviselle toiminnalle on, että jos halutaan taata tietty määrä kierrätysmateriaalia tuotettavassa muovimateriaalissa, yritykset haluavat pystyä kontrolloimaan omaa laitokseensa sisään menevää materiaalivirtaansa. Kaiken kaikkiaan materiaalivirtojen ketjussa yhdistyy sekä paikallinen että kansainvälinen toiminta eikä näitä ketjuja voi katsoa pelkästään kansallisesta näkökulmasta.

Suomalaisten toimijoiden osaaminen ja vahvuudet

Keski-Euroopassa on pitkään tutkittu sekä pyrolyysiä että kaasutusta nimenomaan muovinkierrätyksen näkökulmasta. Suomessa kummankin teknologian osaaminen on myös vahvaa, mutta ei nimenomaan muovinkierrätyksen näkökulmasta etenkin teollisessa kokoluokassa. Toisaalta sekä teknologia- että prosessiosaamisen perusta on olemassa, mikä mahdollistaisi kohtuullisen pienellä askeleella teknologian luomisen myös muovin kierrätykselle sopivaksi, mikäli markkinat kehittyisivät tällaisen investoinnin mahdollistavaan suuntaan.

Kaasutuksen osalta Suomessa on Lahdessa jätteen polttoon tarkoitettu kaasutuslaitos ja sitä kautta myös kaasutusteknologian osaamista. Laitoksessa käytetty teknologia ei kuitenkaan suoraan sovellu muovin kemialliseen kierrätykseen, sillä se tuottaa typpeä, joka haittaa lopputuotteen käyttöä korkeamman jalostusarvon tuotteiksi kemianteollisuudessa. Kaasutuslaitos vaatii myös jatkojalostuksen osaksi tuotantoprosessikokonaisuutta.

Suomi on liian pieni markkina kaasutukseen perustuvan laitoksen sijoituspaikaksi. Kaasutukseen perustuva laitos vaatii kannattaakseen ympärilleen riittävän materiaalityön ja siten sellaisia laitoksia on kannattavinta sijoittaa keskiseen Eurooppaan. Periaatteessa siis osaamisen osalta pyrolyysi ja kaasutus ovat teknologioina samalla viivalla, mutta asia on enemmän kokoluokka kysymys. Termokemiallisista prosesseista pyrolyysin tai nesteytyksen arvoketjun osalta Suomessa löytyy toimijoita ja teknologia-infrastruktuuria myös jo ketjun loppupäästä, sillä Suomessa on sekä öljynjalostamoja että myös krakkeri, jossa prosessin välituotteita saadaan käsiteltyä edelleen muovin raaka-aineeksi.

Bioteknisen muovin kemiallisen kierrätyksen kaupallistamisen ketjua tarkasteltaessa, Suomesta löytyy teknologista osaamista itse prosessista, mutta sen lisäksi myös entsyymien tuottajia. Jos bioteknisen prosessin ajateltaisiin kaupallistuvan jonkinlaisena liikkuvana ratkaisuna, Suomesta löytyy myös konepajateollisuutta, jonka kanssa yhteistyössä olisi mahdollista suunnitella ja toteuttaa tarvittavia kontti-tyyppisiä ratkaisuja tai vaikkapa muovinkeräysaluksia, joissa muovi voitaisiin jo aluksessa käsitellä eteenpäin bioteknisin menetelmin. Tarvittava fermentori voitaisiin asentaa vaikkapa vanhaan öljytankkeriin.

Ainakin toistaiseksi liki kaikki muovin kemiallisen kierrätyksen teknologiat tarvitsevat jonkinasteista erilliskeräystä ja lajittelua riittävän laadukkaan ja kustannustehokkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Suomessa on vahvaa osaamista ja kokemusta erilliskeräyksestä paperinkeräykseen ja metsäteollisuuteen liittyvän historian kautta. Paperinkeräys Oy on sodan jälkeen metsäteollisuuden perustama yritys täyttämään teollisuuden tarpeita käyttäen materiaalia entistä tehokkaammin. Tältä osin asiassa voidaan nähdä analogiaa muovin kierrätykseen ja petrokemianteollisuuden kiinnostukseen kierrätysmuovin käyttöön raaka-aineena. Kuitenkin ajat, lainsäädäntö ja käytettävissä oleva infrastruktuuri ovat nyt toiset kuin paperinkeräystä käynnistettäessä. Toisaalta voi ajatella, että vapaaehtoisuus esimerkiksi green deal-tyyppisten sopimusten avulla voi olla parempi vaihtoehto kuin puolipakolla implementoidut ohjaukset: parhaiten asioita saadaan eteenpäin, jos kierrätetylle materiaalille on olemassa tarve ja käyttötarkoitus lähdeettäessä rakentamaan kierrätyksen arvoketjua. Tavallaan paperinkeräys on ollut aikansa green deal yritysten ja yhteiskunnan välillä ja ehkä siitä siinä mielessä voisi ottaa oppia myös muovinkierrätyksen toimia järjestettäessä ei vain Suomessa vaan Euroopassa ja myös globaalisti.

Suomessa on osaamista myös jätejakeiden erotteluun ja lajitteluun liittyen ja muutama suomalainen yritys on kaupallistanut siihen liittyvää teknologiaa (ZenRobotics¹²³ ja Specim¹²⁴). Sen sijaan muovin kemiallinen kierrätys on tärkeässä osassa, kun siirrytään kiertotaloudessa jätteiden käsittelyn näkökulmasta materiaalien hallinnoinnin näkökulmaan, ja tämän siirtymän myötä tarvitaan osaamisten siirtymää: mm. jätehuolto tulee tarvitsemaan molekyyli-tason kemian osaamista myös Suomessa.

123 zenrobotics.com

124 specim.fi

Kaiken kaikkiaan haastatteluissa nähtiin, että Suomi ja Pohjoismaat voisivat olla eturintamassa uuden muovitalouden rakentamisessa. Suomella voisi olla erittäin hyvä rooli kehittää ja demonstroida toimintatapoja ja teknologioita, joita täältä koe-toiminnassa saatujen tulosten perusteella olisi hyvä monistaa ja skaalata eteenpäin muualla. Suomessa demonstrointi myös auttaisi nostamaan jo olemassa olevan osaamisen sellaiselle tasolla, joka mahdollistaisi pääsyn globaaleihin arvoketjuihin ja sitä kautta monistamaan toimintaa. Esimerkiksi Saksassa toimijat ovat miettimässä samoja asioita. Heillä on kuitenkin jo olemassa olevat verkostot lähtökohtana. Suomalaisten on vaikeaa päästä näihin samoihin verkostoihin ilman liiketoiminnallisia referenssejä, joita demonstrointilaitoksella Suomessa voitaisiin saada.

Korkeatasoisella osaamisella ja sen myymisellä sekä osaamisyhteistyöllä partneriyriyten kanssa on tärkeä rooli. Toisaalta on myös hyvä ymmärtää, mitkä ratkaisut ovat monistettavissa ja vietävissä toisiin maihin. Jätehuollon toimintatavat ja keräysjärjestelmät voivat olla hyvinkin paikallisia ja erota toisistaan huomattavasti, myös liiketoiminnallisen mallin osalta. Suomen kannalta muovin kemiallista kiertäystä voidaan ajatella merkittävänä vientialana siitä näkökulmasta, että kyse on satojen miljoonien eurojen liiketoimintaa, missä raaka-ainetta eli esimerkiksi nesteytettyä muovijätettä tuodaan Suomeen muualta, jalostetaan täällä ja myydään jalostustuotteita takaisin kansainvälisille markkinoille.

Toimijoiden mukaan kehityskaari kohti demostraatiolaitosta Suomessa voitaisiin aloittaa esimerkiksi perustamalla foorumi, jossa oikeanlainen arvoketju toiminnan pohjaksi saataisiin kehittymään. Lisäksi toivotaan jonkinlaista piristysruisketta riittävän kokoluokan demonstroinnin mahdollistajaksi.

Liiketoiminnan kannalta olennaiset kestävyysnäkökulmat

Hiilitaseen näkökulma

Muovin kemiallisen kierrätyksen kannalta olennainen markkinoita muovaava tekijä on menetelmän rooli vähentämässä hiilijalanjälkeä (ks luku 2). Energiakäytön ja hiilijalanjäljen kannalta arvoketjun eri osissa käytössä oleva infrastruktuuri ja arvoketjujen rakentuminen voi olla ratkaiseva tekijä. Esimerkiksi prosessin osien määrä ja tehokkuus (esim. pesu) arvoketjun alkupäässä sekä osien määrän vähentäminen

vaikkapa tehostetun lähtöpaikkalajittelun avulla voivat vaikuttaa merkittävästi kokonaisprosessin kestävyYTEEN.

Avainkysymys on, miten LCA ja hiilijalanjälki lasketaan kemiallisen kierrätyksen lopputuotteille yhteisesti sovituilla tavoilla. Tämä on kemiallisen kierrätyksen toimijoiden yhteinen haaste. Asiassa sovelletaan eri sääntöjä riippuen siitä, onko lopputuotteena jätemuovista tehty uusi muoviraaka-aine vai tehdäänkö jätemuovista polttoainetta.

Prosesseihin liittyvät ympäristö- ja turvallisuuskysymykset

Riippuen käsiteltävästä muovimateriaalista, kemiallisen kierrätyksen prosesseissa, esimerkiksi pyrolyysissä, syntyy haitallisia ja myrkyllisiä sivutuotteita, kaasuja ja jäämiä, joiden loppusijoitus voi olla toimijalle todellinen haaste. Myös osa bioteknisen muovin kemiallisen kierrätyksen hajoamisprosessin lopputuotteista on samoja kuin vaikkapa pyrolyysissä. Esimerkiksi polystyreenin hajoaminen tuottaa styreeniä, joka on myrkyllistä ja vaatii erityistä käsittelyä.

Pienet toimijat alalla voivat olla potentiaalinen ympäristöllinen riskitekijä, jos heillä ei ole riittävää osaamista ja resursseja huolehtia prosessiin liittyvistä ympäristökysymyksistä ja erityisesti prosessin tuottamien mahdollisten myrkyllisten lopputuotteiden oikeanlaisesta käsittelystä. Potentiaaliset päästöt ilmaan tulee estää asianmukaisesti ja lakeja noudattaen. Prosessien ollessa vasta kehitysvaiheessa niiden aiheuttamat ympäristölle haitallisten sivutuotteiden ja päästöjen määrät saattavat olla yllättävän korkeita, ja niiden loppusijoituksesta johtuvat kustannukset voivat myös vaikuttaa oleellisesti kokeilujen kannattavuuteen ja kaataa pilotteja ennen kuin prosesseista saatavat lopputuotteet ovat saavuttaneet halutun laadun. Osaltaan nämä haasteet on ratkaistavissa siten, että laitoksen tuotantopaikka valitaan oikein, esimerkiksi osana kemianteollisuuden keskittymää, jossa on jo paljon valmiita oikeanlaista infrastruktuuria tarjolla.

Bioteknisessä prosessissa vaarana on, että jos kemiallista prosessia ei saateta loppuun asti, päädytään tuottamaan mikromuovia. Hyrdokatalyyttinen nesteytyksessä taas käytetään superkriittistä vettä, mikä tarkoittaa käytännössä suuria paineita ja siten potentiaalista turvallisuusriskiä.

Pääsääntöisesti muovien kierrätyksen, riippumatta kierrätysreitistä, lopputuotteilta puuttuvat turvallisuusselvitykset eli kaiken kaikkiaan kierrätystuotteiden turvallisuudesta ei ole olemassa selkeää tietoa. Tuotteesta pitää tehdä Reach-rekisteröinti ja se tällä hetkellä puuttuu monelta kierrätysmateriaalilta. Reach-rekisteröinti kertoo, onko tuote ihmisille tai ympäristölle vaarallinen. Muovin kemiallisen kierrätyksen prosessin lopputuote voi toki olla myös välituote, jolloin rekisteröintiä sille erikseen ei tarvita, rekisteröinti tarvitaan vain, jos välituotetta käytetään muuten kuin teollisessa prosessissa raaka-aineena. Esimerkiksi styreeni voi mennä suoraan osana teollista prosessia lateksin valmistukseen, joka taasen lopputuotteena on rekisteröity, joten siltä osin asia on kunnossa. Reach-rekisteröinti on kuitenkin asia, johon muovin kemiallisen kierrätyksen toimijoiden tulee kiinnittää huomiota osana prosessin arvoketjua.

Ympäristövaikutukset kehityksen ajurina

Kaiken kaikkiaan muovin kemiallisen kierrätyksen prosesseja on syytä kehittää eteenpäin myös niiden hiilijalanjäljen ja yleisesti ympäristön kestävyuden näkökulmasta. Esiin myös tullut hieman radikaalimpi ajatus on, että jos kemiallisen kierrätyksen ympäristövaikutukset saadaan muun muassa hiilidioksidipäästöjen ja kierrätysaannon osalta samalle tasolle kuin mekaanisessa kierrätyksessä, ja prosessit kaiken kaikkiaan erittäin tehokkaiksi, voi olla mahdollista, että hyvin pitkällä aikavälillä kemiallinen kierrätys jopa syrjäyttäisi mekaanisen kierrätyksen.

Joka tapauksessa tämän hetken tilanteessa voidaan sanoa, että muovien kierrätyksen ja muoviongelman kokonaiskuvassa nykyisin käytössä tai näköpiirissä olevien ratkaisujen hierarkiassa erilaisilla muovin kemiallisilla konversioteknologioilla, kuten esimerkiksi pyrolyysillä, kaasutuksella ja bioteknisillä menetelmillä on tärkeä rooli muovien ympäristövaikutusten lieventämisessä ainakin lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä¹²⁵. Rotterdamin jätteistä kemikaaleiksi -hanke on esimerkki siitä, miten hankkeessa mukana olevat tahot näkevät, että hanke tarjoaa vaihtoehdon jätteiden kaatopaikkasijoitukselle ja polttamiselle ja samalla mahdollisuuden toteuttaa kiertotaloutta vähentämällä fossiilisten raaka-aineiden käyttöä uusissa materiaaleissa, monipuolistamalla energialähteiden yhdistelmää ja tekemällä päivittäistavaroista vähähiilisempiä. Hankkeen toteuttajat näkevät, että hanke voi

125 Boston Consulting Group (2019), A Circular Solution to Plastic Waste

auttaa Alankomaita toteuttamaan tavoitteensa tulla käytännössä hiili-neutraaliksi vuoteen 2050 mennessä.¹²⁶

Sääntely-ympäristö mahdollistajana

Haastatteluissa korostui sääntely-ympäristön vaikutus kemiallisen kierrätyksen kehittymiseen ja sen arvoketjun toimijoihin. Sääntelyn ei tule ainoastaan ohjata arvoketjun alkupäässä enemmän muovia kierrätysprosesseihin vaan edistää myös muovin tuottajien insentiivejä ja mahdollisuuksia käyttää kierrätysmuovia. Koko arvoketjun laajuudelta kierrätystä edistää kierrätysmuovituotteiden kysyntä, jota ohjaavat sääntelyn lisäksi markkinavoimat. Sääntelyyn liittyviä avainkysymyksiä ovat esimerkiksi seuraavat: Luoko lainsäädäntö kysyntää kierrätetyille muoville? Kannustaako se kuluttajaa käyttämään kierrätysmuovia? Ohjaako se muovin tuottajaa käyttämään tuotteissaan kierrätettyä muovia? Mahdollistaako se muovin kemiallisen kierrätyksen teknologioiden ja prosessien kehittämisen ja kokeilut?

Tällä hetkellä kierrätykseen lasketaan mukaan kaikki jäte, joka menee kierrätysprosessiin. Tämä tulee muuttumaan, kun kierrätysprosenttiin tullaan laskemaan vain kierrätysprosessista ulos tuleva uuteen tuotteeseen päätynyt materiaalivirta. Aluksi tämä tulee laskemaan kierrätysastetta, sillä esimerkiksi tälläkin hetkellä iso osa mekaaniseen kierrätykseen menevästä materiaalista päättyy rejektiin ja käytännössä poltettavaksi. Pidemmällä aikavälillä tiukentuvat muovin kierrätystavoitteet ohjaavat yhä enemmän muovia kierrätykseen. Erilliskeräystä lisäävät ja eri muovilaatuihin laajentavat toimenpiteet kasvattavat kierrätykseen tulevan muovin määrää ja laatuja. Nämä jätemuovien volyymin ja heterogeenisuuden kasvuun ohjaavat keinot luovat tarpeen myös muovin kemialliselle kierrätykselle.

Muovin kemiallisen kierrätyksen lopputuotteet ja niiden käyttökohteet ovat mekaaniseen kierrätykseen verrattuna huomattavasti moninaisempia. Niitä voidaan hyödyntää muovituotteiden lisäksi esim. polttoaineissa, maaleissa, liimoissa, liuottimissa ja muissa kemikaaleissa. Nykyisessä sääntelykentässä kierrätykseksi lasketaan

¹²⁶ BiofuelsDigest (3/2019), Shell joins Air Liquide, Nouryon in Enerkem waste-to-chemicals project in Rotterdam: the complete story

sellaiset hyödyntämistoimet, jossa jättemateriaalit käsitellään uudelleen tuotteiksi, materiaaleiksi tai aineiksi joko alkuperäiseen tarkoitukseen tai muihin tarkoituksiin. Tähän ei sisälly energian hyödyntäminen eikä uudelleenkäsittely materiaaleiksi, joita käytetään polttoaineina tai maantäyttötoimiin. Tulkinta kierrätykseksi lasketavista lopputuotteista on monitahoinen ja monille toimijoille epäselvä. On myös epäselvyyttä siitä, mitä lainsäädännön osalta tarkoitetaan käytännössä termeillä ”hyödyntäminen” ja ”kierrätys” (eng. recovery vs. recycling). Esimerkiksi on vielä epäselvää muovin kemiallisesta kierrätyksestä puhuttaessa, tullaanko uudessa säädöksessä sellaiset kemikaalit, kuten esimerkiksi erilaiset vahat, laskemaan lopputuotteeksi ja mukaan kierrätysprosenttiin.

Tällä hetkellä liikennepolttoaineet ovat lainsäädännön kannalta energiatuotantoa, eikä niitä lasketa tuotteeksi, vaikka tavallaan polttoaine käyttäytyy kuin tuote ja on varastoitavissa toisin kuin energia. Eri toimijoilla on erilaisia mielipiteitä siitä, pitäisikö polttoaineet laskea kierrätetyksi lopputuotteeksi, ja osa on sitä mieltä, että markkinoiden tulisi antaa määritellä loppukäyttökohteet. Myös sellaisia näkökulmia on esitetty että sähköautoihin siirtymä tulee toteutumaan hybridi-autojen kautta ja silloin polttoaineella ja siihen liittyvällä lainsäädännöllä on edelleen roolia mietittäessä liikenteen kestävyyttä. Oma keskustelunsa on myös se, tulisiko kierrätysmuovista valmistetun polttoaineen olla myös uusiutuvien polttoaineiden kategoriassa ja saada siten kompensatiota esimerkiksi mäntyöljystä saatavan biodieselin tavoin. Kun muovijäte tulisi ohjata prosesseihin, jotka lasketaan kierrätykseksi, tulisi toimijoilla olla selvä käsitys siitä, mikä kierrätykseksi kelpuutetaan.

Toimijoiden mukaan myös end-of-waste-lainsäädäntö aiheuttaa ongelmia, erityisesti kun operointialueena on Eurooppa eikä yksittäinen maa. Tämä lainsäädäntö asettaa kierrätyksen ja neitseellisen raaka-aineen eriarvoiseen asemaan, sillä fossiilinen raaka-aine nähdään vain raaka-aineena, kun taas periaatteessa samanlainen kemiallisen kierrätyksen prosessilla tuotettu raaka-aine nähdään jätteenä. Joissakin maissa kemiantehtaalle tuotava tavara on end-of-waste ja siten jätelainsäädännön ulkopuolella, koska kemiantehdas ei ole jätteenkäsittelylaitos eivätkä ne voi ottaa jätettä vastaan. Asiaa ei ole harmonisoitu EU:ssa, mikä vaikeuttaa Euroopan-laajuista toimintaa. Tällä hetkellä esimerkiksi pyrolyysiöljyn siirtäminen maasta toiseen

voi törmätä Baselin sopimukseen¹²⁷. Tämä lisää byrokratiaa ja siten aiheuttaa kustannuksia, sekä voi rajoittaa materiaalin käyttöä lopputuotteissa.

Kemiallisessa kierrätyksessä voidaan tuottaa neitseellisen kaltaisia aineita, joita ei aikaisemmin ole käytetty kierrätettynä. Uudet kierrätysmateriaalit / raaka-aineet voivat vaatia hyväksyntää esim. soveltuvuudessa elintarvikekäyttöön. Kemiallisesti kierrätetyille raaka-aineella pullonkauloja voivatkin olla sekä Reach-lainsäädäntö että myös jäljitettävyyden eli tietä, mistä jätte on peräisin. Tarvitaan myös Reach and End-of-Waste-säädösten katsomista enemmän kokonaisuutena sekä prosessien yhtenäistämistä, jotta esimerkiksi yritys, jolla on Euroopan tason Reach-rekisteröinti pyrolyysiöljylle tuotteena ei törmää sen luovuttamisessa kemiantehtaan prosessiin kansalliseen End-of-Waste lainsäädännön tulkintaan samaisen öljyn suhteen.

Jos bioteknologista kierrätystä tullaan tulevaisuudessa tekemään geneettisesti muunneltujen mikrobikantojen avulla, tulee prosessissa huomioida jätelainsäädännön lisäksi myös GMO lainsäädäntö, mikä saattaa hidastaa alan kehittymistä. Lisäksi ympäristölupat koetaan monesti hankaliksi ja hitaiksi prosesseiksi. Ympäristölupien käsittelyyn toiveena on esitetty suurempaa yhteistyötä eri maiden viranomaisten kesken. Aihealue on kaiken kaikkiaan uusi, ja käsittelyaikoja voitaisiin lyhentää, jos viranomaiset voisivat oppia toisiltaan erityisesti, jos jollain alueella ollaan jo pidemmällä lupien käsittelyssä. Myös nykyisen Suomen lainsäädännön puitteissa joidenkin paikallisten toimijoiden pääsy jättemateriaaliin voi olla rajoittunut jätteen omistajuuteen liittyen, mikä voi olla estävä tekijä liiketoiminnan syntymiselle.

Toivomuksena on esitetty, että lainsäädäntö tukisi mykyistä paremmin sitä, miten lopputuotteessa tulee ilmoittaa siinä käytetty kierrätysraaka-aineen määrä. Tällä hetkellä yritysten markkinoinnissa käyttämiä erilaisia väitteitä eivät säätele mitkään lait. Siten rehelliset yritykset saattavat jäädä huonompaan kilpailulliseen asemaan markkinoilla. Tärkeää olisi myös saada elintarvikehyväksyntä kemiallisesti kierrätetyille muoviraaka-aineelle.

Parhaimmillaan lainsäädäntö voi luoda insentiivejä ja ajureita viedä kehitystä esimerkiksi ympäristöllisesti kestävämpään suuntaan. Tarvitaan oikeanlainen politiikkakehikko, joka antaa jätetoimijoille lainsäädännölliset kannustimet ohjata

127 UNEP, Basel Convention

jätevirtoja osaltaan myös kemialliseen kierrätykseen mekaanisen rinnalla. Vain näin syntyy mahdollisuuksia lähteä kehittämään muovin kemiallisen kierrätyksen aihealuetta ja investoimaan siihen. Tällä hetkellä Suomessa lähes kaiken jätemuovi ohjautuu polttoon. Kannustimien osalta toimijat ovat esittäneet vaihtoehtoja joko tukea tiettyjä toimintatapoja tai nostaa tavalla tai toisella kynnystä käyttää jotain toisia toimintatapoja, mikä tosin nähdään myös ongelmallisena mekaanisen kierrätyksen osalta. Esimerkiksi on esitetty jätteenpolton verottamista, mitä ollaan joissakin Euroopan maissa miettimässä tai jo otettu käyttöön. Myös sellainen ehdotus on esitetty, että kannustimia rakennettaisiin portaittaisesti eri toimintatavoille, esimerkiksi perustuen jonkinlaiseen pisteitykseen. Nämä portaat rakentuisivat esimerkiksi niin, että käytöstä uusiomuovissa saisi eniten pisteitä, kemikaaleissa hieman vähemmän, polttoaineena taasen hieman vähemmän ja poltossa kaikkein vähiten. Julkiset tuet voisi rakentaa sitten tätä pisteitysjärjestelmää vastaavaksi.

Liite 4 Haastatellut henkilöt ja ohjausryhmä

Haastatellut henkilöt ja organisaatiot:

Mika Aalto	Kemianteollisuus ry
Helena Dahlbo	Suomen ympäristökeskus, SYKE
Arthur Garforth	University of Manchester
Andreas Kircherer	BASF
Mika Horttanainen	Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
Mikko Koivuniemi	Fortum
Kari Koivuranta	Teknologian tutkimuskeskus VTT
Vesa Kärhä	Muoviteollisuus ry
Mikko Lammi	Pohjanmaan Hyötyjätekuljetus
Seppo Loikkanen	Neste
Tuuli Myllymaa	Suomen ympäristökeskus, SYKE
Jukka Mäkinen	Valmet
Anja Oasmaa	Teknologian tutkimuskeskus VTT
Tuomas Ouni	Borealis Polymers
Tommi Pajala	Ecomation
Sanna Peltola	Lassila & Tikanoja
Maija Pohjakallio	Sulapac
Cloé Ragot	Plastic Energy (member of Chemical Recycling Europe)
Salla Roni-Poronen	Borealis Polymers
Alexander Rosenlew	Orthex Group
Vesa Soini	Suomen Uusiomuovi
Kaisa Suvilampi	Kiertoketju
William Thompson	RenewELP (member of Chemical Recycling Europe)
Adrian Whyte	Plastics Europe
Carl-Eric Wilén	Åbo Akademi

Hankkeen ohjausryhmän kokoonpano:

Tuula Savola	Työ- ja elinkeinoministeriö
Mika Honkanen	Työ- ja elinkeinoministeriö
Merja Saarnilehto	Ympäristöministeriö

Sisko Sipilä

Juha-Matti Katajajuuri

Pia Vilenius

Business Finland

Luonnonvarakeskus Luke

Kemianteollisuus ry

Liite 5 Haastattelukysymykset

Mitä esteitä ja puutteita on toimivien muovien kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntymiseksi Suomessa? Liittyvätkö ne, esim:

- ympäristö- ja turvallisuuskysymyksiin?
- lainsäädännölliset esteisiin?
- kaupallistamiseen?
- puutteellinen osaamiseen? (-> voisiko ottaa mallia ulkomailta?)
- kierrätysmuovin markkinoiden kehittämättömyyteen?
- kierrätettävän raaka-aineen riittävyyteen ja kiristyvään kilpailuun materiaalista?
- sopiviin raaka-ainelähteisiin, erilaisten muovien käyttömahdollisuuksiin ja niiden erilliskeräykseen?

Mitkä ovat kemiallisen kierrätyksen lopputuotteena syntyvän öljyn määrä ja sen potentiaalisia käyttökohteita?

- Syntykö prosessissa muita lopputuotteita? Entä niiden määrät?
- Miten potentiaaliset käyttökohteet jakautuvat määrällisesti?
- Onko kierrätysprosessista syntyville lopputuotteille erityisiä rajoitteita?

Mitkä tekijät luovat potentiaalia kemialliselle kierrätykselle Suomessa? Mitä tällaisia tekijöitä pitäisi kehittää eteenpäin?

- Mitä pitäisi tehdä Suomen/Pohjoismaiden/Euroopan tasolla/yhteistyössä?
- Mitkä voisivat olla Suomen kilpailulliset vientikärjet (tuotteet ja teknologiat) kansainvälisillä markkinoilla kierrätysmuovin kemiallisen kierrätyksen ratkaisuisissa?
- Osaaminen? Kehitteillä, käytössä tai kaupallistamisen vaiheessa olevat tuotteet ja teknologiat? Muut Suomen vahvuudet, mitkä?

- Minkälaisilla liiketoimintamalleilla voitaisiin synnyttää kasvumahdollisuuksia liittyen muovin kemiallisen kierrättämisen ratkaisuihin? Onko muovien kemiallinen kierrätys ainoastaan suurten materiaaliyritysten toimintaa vai luoko se mahdollisuuksia myös pk-yritysten toiminnalle? Ja minkälaiselle toiminnalle?
- Kuinka tärkeäksi näet kemiallisen kierrätyksen muovin kierrätyksen kokonaiskuvassa? Näetkö ristiriitaa kemiallisen kierrätyksen ja lainmukaisen kierrätyshierarkian välillä?
- Mitkä ovat muovijätteen kemiallisen kierrätyksen vaikutukset Suomessa?
- Minkälaisessa roolissa muovin kemiallinen kierrätys on esim. vuonna 2030 osana muovin kierrätystä?
- Kuinka suurta liiketoimintaa muovin kemiallinen kierrätys voisi parhaimmillaan olla Suomessa vuonna 2030?

Muovijätteen kemialliset hyödyntämiskäytännöt ja -markkinat kiertotaloudessa

Selvityksessä arvioidaan muovijätteen kemiallisen kierrätyksen soveltuvuutta Suomessa, sen potentiaalia ja siihen liittyviä reunaehtoja. Selvityksessä kuvataan haastatteluihin perustuen muovin kemiallisen kierrätyksen markkinoiden syntymisen esteitä ja ajureita sekä Suomen potentiaalisia kilpailullisia vahvuuksia markkinoilla.

Verkkajulkaisu
ISSN 1797-3562
ISBN 978-952-327-476-1

Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi
Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi