

# Synteettisen kumi- ja muovijätteen vaihtoehtoinen hyötykäyttö

Case: Nocard Renewable Fuel Plant

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Ympäristötekniologia  
Energia-asiat  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Juho Hilden

Lahden ammattikorkeakoulu  
Ympäristötekniikka

HILDEN, JUHO:

Synteettisen kumi- ja muovijätteen  
vaihtoehtoinen hyötykäyttö  
Case: Nocart Renewable Fuel Plant

Energia-asioiden opinnäytetyö, 48 sivua, 4 liitesivua

Syksy 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyö käsittelee vaikeasti kierrätettävien jätevirtojen hyötykäyttöä Suomessa. Työssä luotiin kokonaiskuva käytössä olevien hyötykäyttömenetelmien kannattavuudesta eri näkökulmista ja verrattiin niitä lahtelaisen teknologiayritys Nocart Oy:n Rewable Fuel Plant -laitteistokonseptiin. Työ toteutettiin kirjallisuusselvityksenä.

Työ aloitettiin perehtymällä muovi- ja rengasjätteiden syntyperiin ja -määriin Suomessa, hyötykäytön nykyisiin kohteisiin, sen haasteisiin, niihin liittyvään lainsäädäntöön ja menetelmistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Tämän jälkeen tarkasteltiin Nocart Renewable Fuel Plant -laitteistoa vastaavista näkökulmista ja vertailtiin tuloksia keskenään.

Työn tuloksena muodostettiin arvio Nocart Renewable Fuel Plant -laitteiston taloudellisesta kannattavuudesta, lainsäädännöllisestä taakasta sekä ympäristövaikutuksista käsitellessä tarkasteltuja jätelajeja. Lisäksi tuloksena luotiin perusta laitteiston tarkemmalle tutkimukselle skaalattavuuden ja kannattavuuden parantamiseksi.

Asiasanat: energiahyötykäyttö, jätteenkäsittely, kiertotalous, kumijäte, lainsäädäntö, materiaalihyötykäyttö, muovijäte, pyrolyysi, ympäristövaikutukset

Lahti University of Applied Sciences

Degree Programme in Environmental technology

HILDEN, JUHO:

Alternative utilization of synthetic  
rubber and plastic based waste  
Case: Nocart Renewable Fuel Plant

Bachelor's Thesis in Energy technology, 48 pages, 4 pages of appendices

Autumn 2017

ABSTRACT

---

This thesis studied the utilization of hard-to-recycle waste in Finland. During the study, an overall view was formed of the methods in use for utilizing hard-to-recycle waste from multiple perspectives. Results of the study were then compared to the concept facility Renewable Fuel Plant, from the Lahti-based technology enterprise Nocart Oy. The thesis was carried out as a literature study.

The study was begun by learning and resolving the current origins and volumes of plastic and tyre waste generated in Finland, along with the current uses of the waste streams, their challenges, related regulations and environmental impacts. Next, utilization of the selected waste streams in the Nocart Renewable Fuel Plant -concept facility was studied from the same perspectives, after which the results were compared.

As a final result of the study, an estimate of the Nocart Renewable Fuel Plant's financial feasibility, regulative encumbrance, and environmental impacts was created. In addition, a foundation for further studies regarding the improvement of scalability and financial feasibility of the concept facility was established.

Key words: Circular economy, environmental impacts, material recovery, plastic waste, pyrolysis, regulation, rubber waste, waste-to-energy, waste treatment

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MUOVI- JA KUMIJÄTTEEN OMINAISUUDET	4
2.1	Muovijäte	4
2.1.1	Tyypilliset syntyperät ja määrät	5
2.1.2	Hyötykäytön kohteet ja haasteet	10
2.1.3	Huomioitava sääntely	14
2.1.4	Ympäristövaikutukset	17
2.2	Kumijäte	18
2.2.1	Tyypilliset syntyperät ja määrät	19
2.2.2	Hyötykäytön kohteet ja haasteet	22
2.2.3	Huomioitava sääntely	24
2.2.4	Ympäristövaikutukset	25
3	SELVITYKSEN TAVOITTEET JA TOTEUTUS	27
4	UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO	29
4.1	Raaka-aineet, toimintaperiaate ja lopputuote	30
4.2	Hyötykäyttöön vaikuttava sääntely	31
4.3	Ympäristövaikutukset	34
5	MUOVIJÄTTEEN NYKYINEN HYÖTYKÄYTTÖ JA UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO	36
5.1	Kannattavuuden näkökulma	36
5.1.1	Kierrätysmuovin arvo	36
5.1.2	Muovin materiaalikierrätys	37
5.1.3	Muovin energiahyötykäyttö	38
5.1.4	Käsittely uusiopolttoainelaitteistossa	39
5.2	Sääntelyn näkökulma	39
5.2.1	Muovin materiaalikierrätys	39
5.2.2	Muovin energiahyödyntäminen	40
5.3	Ympäristön näkökulma	40
5.3.1	Muovin materiaalikierrätys	40
5.3.2	Muovin energiahyödyntäminen	41
6	KUMIJÄTTEEN NYKYINEN HYÖTYKÄYTTÖ JA UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO	42
6.1	Kannattavuuden näkökulma	42

6.2	Säätelyn näkökulma	43
6.3	Ympäristön näkökulma	43
7	UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTON HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET	45
7.1	Taloudellinen kilpailukyky	45
7.2	Säätelyn soveltuvuus uusiopolttoainelaitteistoon	46
7.3	Ympäristövaikutukset	47
8	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	54

## 1 JOHDANTO

Kestävä kehitys edellyttää koko maailmalta materiaalien ja energian viisaampaa ja kestävämpää tuottamista ja kulutusta. Maapallon resurssit eivät riitä ylläpitämään yhteiskunnan tarpeita nykyisellä lineaarisen kulutuksen ja talouskasvun mallilla. Vuonna 2017 Suomi kulutti loppuun oman osuutensa maailman luonnonvaroista huhtikuun kolmantena päivänä (WWF 2017).

Ilmastonmuutos on kyseenalaistanut koko maailman energiantuotantomenetelmät. Suuri osa maailmanlaajuisesti tuotetusta energiasta perustuu fossiilisiin polttoaineisiin, joista eniten kivihiiileen. Euroopan unioni on asettanut tavoitteita ohjaamaan jäsenmaidensa päästöjen vähentämistä. Esimerkiksi vuoden 2030 päästötavoitteista on jo päätetty – vuoteen 2030 mennessä jäsenmailta edellytetään 40 prosentin hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen vähennystä, ja 27 prosentin kasvua uusiutuvan energian tuotannossa vertailuvuoteen nähden (Energiateollisuus ry 2017). Uusiutuvan energian käytön kasvun aiheuttamat tuotannonvaihtelut, väestönkasvu ja uusiutuvan energian laskevat kustannukset ovat avanneet yrityksille kokonaan uusia markkinoita, samalla asettaen paineita sähköverkkoyhtiöille sähkön tuotannon ja kulutuksen tasaisuuden ylläpitämiseksi (Qvartz 2016).

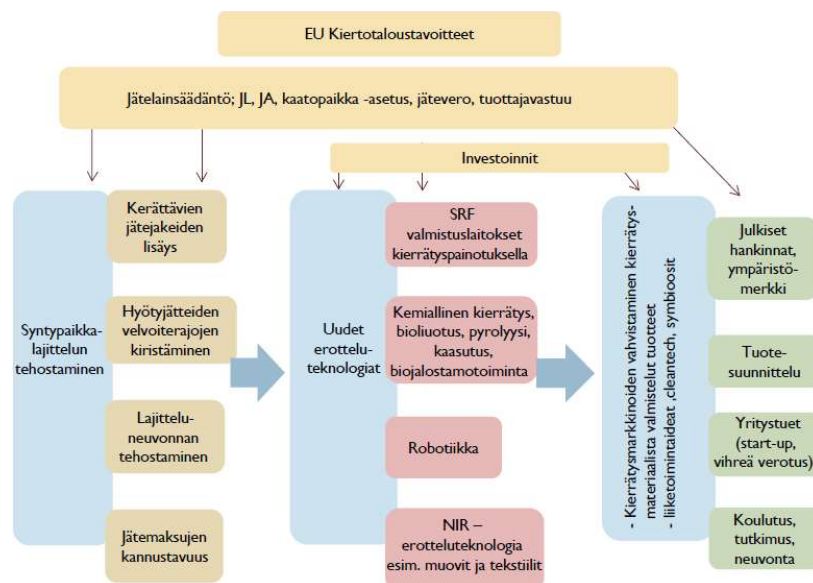
Rajallisten luonnonvarojen paras mahdollinen käyttötapa on pyrkiä säilyttämään tuotteiden ja materiaalien arvo mahdollisimman pitkään niin, että neitseellisten resurssien käyttö minimoidaan samalla, kun jätteiden syntymääriä vähennetään. Vuoden 2015 lopussa Euroopan Komissio hyväksyi kiertotalouspaketin, jolla edistetään Euroopan siirtymistä kiertotalouteen. Paketti sisältää tarkistettuja lainsäädäntöehdotuksia jätteistä sekä kattavan konkreettisen toimintasuunnitelman komission toimikauden ajaksi. Toimintasuunnitelman sisältämät toimenpiteet kohdistuvat suurimmaksi osaksi tiettyjen alojen tai materiaalivirtojen markkinoilla olevien esteiden purkamiseen. Suunnitelmissa on asettaa myös jätehuollolle kiristyneitä tavoitteita. Komissio aikoo esimerkiksi asettaa EU:n yhteiseksi tavoitteeksi pakkausjätteestä kierrätetyn osuuden

kasvun 75 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan komissio 2015.)

Euroopan komission uudistuksista lähtöisin on myös 1.1.2016 alkaen voimaan astunut valtioneuvoston uudistettu asetus kaatopaikoista. Uuden lainsäädännön mukaisesti kaatopaikoille saa jatkossa sijoittaa enää jätettä, jonka orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus on korkeintaan kymmenen prosenttia jätelajista riippuen (VNA kaatopaikoista 2013). Käytännössä tämä tarkoittaa kaatopaikkasijoituksen täyskieltoa muiden muassa muovi-, puu-, bio-, energia- ja käsittelemättömälle sekajätteelle.

Kiertotalouden kehittäminen edellyttää useita eritasoisia aloitteita ja toimenpiteitä. Kierrätykselle otollisen toimintaympäristön rakentaminen vaatii myös monitasoista ohjausta, jota ilman eivät kierrätysmateriaalien markkinat riitä motivoimaan vähempiarvoisten tai vaikeammin kierrätettävien materiaalien talteenottoon. Euroopan unionin, ja viime kädessä Suomen jätelainsäädännön ohjauksella voidaan näyttää markkinoille, energiasektorille ja jätehuollolle kestävä suunta.

Kuviossa 1 on esitetty makrotason kehys kiertotalouden kasvulle Suomessa.



KUVIO 1. Kiertotalouden kasvatuskeinojen kehys (Salmenperä, Moliis & Nevala 2015)

Salmenperä ym. arvioivat selvityksessään uusien erottelu- ja kierrätysteknologioiden tulevan helpottamaan kierrätystä merkittävästi:

*Sellaiset teknologiat, joiden avulla jäte voidaan pilkkoa takaisin lähtöaineiksi, puhtaaksi uudeksi raaka-aineeksi, poistavat kierrätykseltä esteet (Salmenperä ym. 2015, 44).*

Ilmastonmuutoksen ja maapallon resurssien ylikäytön seurauksena EU:n myötävaikutuksella muuttuva lainsäädäntö sekä kierto- ja energiatalouden muuttuva markkinatilanne ovat luoneet paineen uusien ratkaisujen kehittämiseen energian tuotannonvaihtelujen tasaamiseen ja jätteiden uusien hyötykäyttökohteiden etsimiseen. Lahtelaisella teknologiayritys Nocart Oy:llä on hallussaan uusiopolttoainetta tuottava RFP-laitteistokonsepti, joka pyrkii ympäristön ja taloudellisuuden kannoilta kestävän kiertotalouden toteutukseen. Innovaation mahdollisuudet vaativat kuitenkin lisäselvitystä. Tässä työssä selvitettiin tekijöitä, jotka vaikuttavat muovi- ja rengasjätteen soveltuvuuteen ja potentiaaliin tulla käsiteltyksi uudentyypisellä jalostavalla loppukäsittelymenetelmällä.



## 2 MUOVI- JA KUMIJÄTTEEN OMINAISUUDET

Muovin ja kumin pyrolysointi ei ole vielä vakiinnuttanut asemaansa kannattavien hyötykäyttömenetelmien joukossa (Punkkinen, Teerioja, Merta, Moliis, Mroueh & Ollikainen 2011). Kiinnostus tekniikkaa kohtaan on kuitenkin kasvamassa – vuoden 2017 aikana on esimerkiksi suunnitelmissa vihkiä käyttöön 7500 tonnia vuodessa rengasromua pyrolyysimenetelmällä käsittelevä laitos Nokian kolmenkulmalle (Ala-Heikkilä 2016).

Nocart RFP -laitteistokonsepti perustuu kokonaan uuteen pyrolyysireaktorityyppiin, jonka suurin etu on muihin pyrolyysireaktoreihin sekä muihin jätteiden hyötykäyttömenetelmiin verrattuna merkittävästi vähäisempi raaka-aineen esikäsittelyn tarve sekä prosessin skaalautuvuus. Työssä etsittiin jätevirtojen jakeita, joiden hyötykäytössä on vaihtelevien materiaaliominaisuuksien vuoksi havaittu tarve uusien ratkaisujen etsimiseksi, ja jakeiden on testattu soveltuvan teknisesti RFP-laitteiston raaka-aineeksi. Tällaisiksi jakeiksi osoittautuivat kumi- ja muovijäte.

### 2.1 Muovijäte

Muovit ovat pitkiä hiilivetyketjuja ja niiden seoksia, joihin on useimmiten lisätty erilaisia lisäaineita, joilla muunnellaan tai parannellaan muoviseoksen ominaisuuksia käyttöön sopiviksi. Muoveja valmistetaan pääosin fossiilisista polttoaineista öljyn- ja maakaasun tuotannon sivutuotteina.

Muovin tuotanto ja käyttö on lisääntynyt räjähdysmäisesti 1900-luvulla, ja kasvun odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Muovin fossiiliset raaka-aineet, sen huono hajoavuus luonnossa ja viime aikoina havaittu nopea rikastuminen merten ravintoketjussa asettavat paineita uusien ratkaisujen luomiselle muovijätteen hyötykäyttämiseksi ja synnyn ehkäisemiseksi.

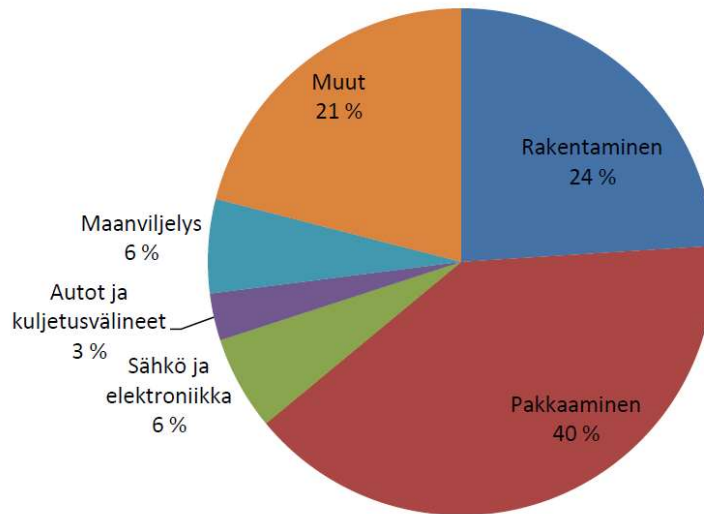
Kierrätysmuovin valmistuksen kannattavuus riippuu suuresti neitseellisen muovin ja välillisesti muovin raaka-aineen, öljyn, markkinahinnasta. Vuonna 2010 kierrätysmuovin hinnan arvioitiin olevan yleensä noin 50-80 % neitseellisen muovin hinnasta. (Turun Teknillinen Yliopisto 2010.)

### 2.1.1 Tyypilliset syntyperät ja määrät

Suomen ympäristökeskuksen Materiaalien arvovirrat (ARVI) -tutkimusohjelman osana vuonna 2016 valmistuneen Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet -selvityksen mukaan vuonna 2013 maailmanlaajuisen muovintuotannon määrä oli 299 miljoonaa tonnia, josta 57 miljoonaa tonnia oli tuotettu Euroopassa. Selvityksen mukaan vuonna 2016 noin 4 % kaikesta tuotetusta neitseellisestä öljystä käytettiin muovin valmistukseen. (Suomen Ympäristökeskus 2016.)

Euroopan komission vuonna 2011 tekemän arvion mukaan EU:n markkinoille saapuu noin 67 miljoonaa tonnia muovia vuonna 2020 (Euroopan komissio 2011). Tällöin määrä kasvaisi vuoden 2013 määrään nähden noin 17 %. Eniten käytössä oleviin, niin kutsuttuihin valtamuoveihin lukeutuvat muiden muassa polypropyleeni PP sekä erilaiset polyetyleenit, kuten PE-LD, PE-LLD, PE-HD ja PE-MD (Eskelinen, Haavisto, Salmenperä & Dahlbo 2016).

Muovijätteen syntyä tarkkaillaan Suomessa markkinoille laskettua muovimäärää tilastoimalla. Kuviossa 2 on esitetty muovien käyttökohteita tuoteryhmittäin.



KUVIO 2. Muovien tuoteryhmäkohtainen käyttäjakauma (Teppola 2005)

Pakkaus- ja rakennusteollisuudessa käytetään suurin osa Suomessa kulutettavasta muovista. Pakkausjätteet kerätään yhdyskuntajätteenä käsiteltäväksi, ja rakennusteollisuuden jätteet käsitellään useimmiten sekajätteenä.

Kirjallisuudessa esitetään suuresti vaihtelevia arvioita Suomessa syntyvän muovijätteen määristä. Pirkanmaan ELY-keskuksen vuonna 2016 teettämän selvityksen mukaan vuonna 2014 Suomessa syntyi muovipohjaista pakkausjätettä noin 120 000 tonnia. Trendi on ollut vuodesta 2009 alkaen lievässä nousussa. Tilasto ei kuitenkaan sisällä kaikkia Suomessa käytettyjä pakkauksia, sillä luvuista puuttuvat muiden muassa alle miljoonan euron liikevaihdon yritykset ja nettikauppa. (Eskelinen ym. 2016.)

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2012 yhdyskuntajätteenä syntyneitä muovina erilliskerättiin muovijätteenä yhteensä noin 36 000 tonnia, josta noin 32 000 tonnia hyödynnettiin energiana (Tilastokeskus 2013). Suomen

ympäristökeskuksen arvion mukaan taas esimerkiksi vuosina 2010 - 2012 Suomessa syntyvän muovista koostuvan yhdyskuntajätteen määrät liikkuvat noin 150 000 ja 340 000 tonnin välillä (Eskelinen ym. 2016).

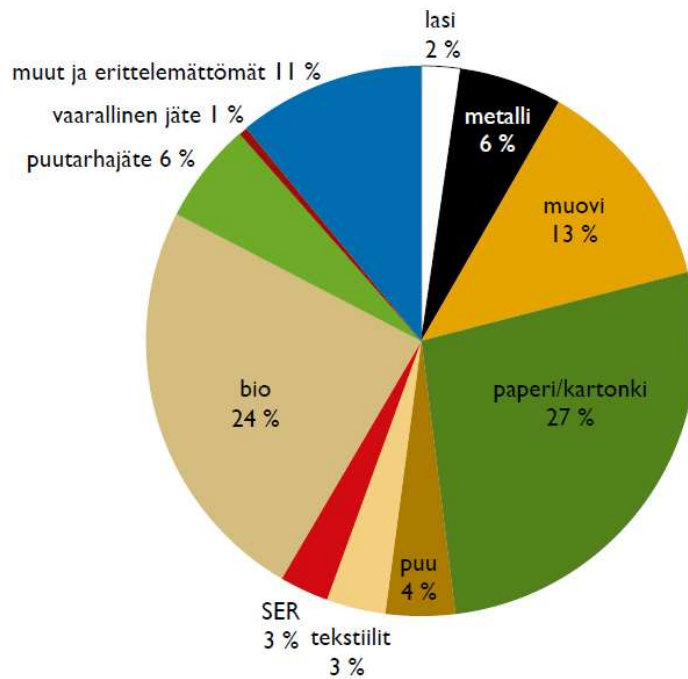
Tilastokeskus seuraa yhdyskuntajätteen kokonaissyntymääriä ja käyttökohteita Suomessa. Taulukossa 1 on esitetty Suomessa syntyvät yhdyskuntajätteet käsittelytavoittain.

TAULUKKO 1. Yhdyskuntajätteet Suomessa käsittelytavoittain, tuhatta tonnia (Tilastokeskus 2013)

Vuosi	Kokonaisjättemäärä	Kaatopaikkasijoitus	Hyödyntäminen energiana	Hyödyntäminen materiaana
2010	2520	1141	557	822
2011	2718	1093	678	947
2012	2738	901	925	912
2013	2682	672	1137	872
2014	2630	458	1316	856
2015	2738	315	1312	1111

Jättemäärien ennakoitiin vuoteen 2030 -selvityksessä muodostettiin useista eri lähteistä arvioita Suomessa syntyvien jätteiden ominaisuuksista. Kuviossa 3 on esitetty selvityksessä tehty yhdyskuntajätteen

koostumusarvio vuonna 2012. Jätejakeisiin sisältyy sekä sekajäte että energiajäte niiden koostumustietojen mukaisesti.



KUVIO 3. Yhdyskuntajätteen koostumus vuonna 2012 (Salmenperä ym. 2015)

Suurin osa yhdyskuntajätteestä koostuu paperi/kartonki- sekä biojätejakeista, joita seuraa muovijäte 13 prosentin osuudella.

Selvityksessä tarkasteltiin myös yhdyskuntajätteiden laskennallisia kierrätysasteita vuonna 2012. Taulukossa 2 on esitetty yhdyskuntajätteiden laskennalliset kierrätysasteet eri yhdyskuntajätejakeille vuonna 2012.

TAULUKKO 2. Yhdyskuntajätejakeiden laskennalliset kierrätysasteet vuonna 2012. (Salmenperä ym. 2015)

Biojäte	40 %
Lasi	50 %
Metalli	77 %
Paperi ja kartonki	46 %
Puutarhajäte	34 %
Muovi	< 1 %
Puu	3 %

Taulukossa esitetty muovin matala, alle yhden prosentin kierrätysaste selittyy sillä, ettei selvityksessä katsottu energiahyödyntämisen olevan kierrätystä.

Syntypaikalla, kuten kotitalouksissa, palvelualoilla ja teollisuudessa, lajiteltu energiajäte ohjataan pääasiassa energiahyötykäyttöön. Energiajätteen koostumus riippuu pitkälti sen syntypaikasta. Esimerkiksi kotitalouksista kerätty energiajäte sisältää suurimmaksi osaksi pakkausjätettä, ja muista lähteistä kerättyä energiajätettä enemmän epäpuhtauksia. Salmenperän ym. mukaan energiajäte sisältää keskimäärin noin kolmasosan muovijätettä. (Salmenperä ym. 2015.)

### 2.1.2 Hyötykäytön kohteet ja haasteet

Muovien kierrätysmenetelmät jakautuvat neljään eri kategoriaan. Primäärisissä, tai ”suljetun kierron” kierrätysmenetelmissä jäte pyritään käyttämään uudelleen sellaisenaan, tai alkuperäiseen tarkoitukseensa ilman arvonmenetystä. Sekundäärisissä ”avoimen kierron” kierrätysmenetelmissä muovijätteen raaka-aine otetaan talteen tai muokataan uusien tuotteiden valmistusmateriaaliksi. Sekundäärisille kierrätysmenetelmille on ominaista, että muovin ominaisuudet kärsivät prosessoinnissa jonkin verran. Esimerkiksi PE-HD-muovista valmistettuja kanistereja kierrätetään avoimen kierron menetelmällä muoviaitojen materiaaliksi (Suomen Uusiomuovi Oy 2017). Tertiäärisessä menetelmässä muovi kierrätetään kemiallisesti takaisin muovin raaka-aineeksi. Kvartiäärisellä menetelmällä tarkoitetaan muovin energiahyödyntämistä, eikä jätelaki määrittele sitä kierrätykseksi. (Eskelinen ym. 2016.)

Aaltosen (2014) mukaan Euroopan mittapuulla muovin kierrätyskohteet jakautuvat karkeasti taulukon 3 esittämin osuuksin.

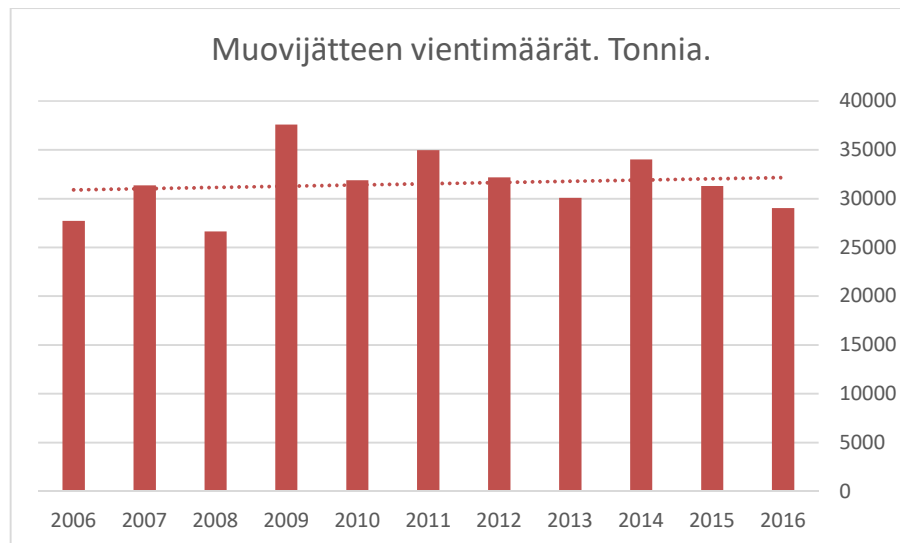
TAULUKKO 3. Kierrätysmuovin kohdejakauma Euroopassa. Prosenttia. (Aaltonen 2014)

Kierrätyskohde	Suhteellinen osuus
Jakelutuotteet (pussit, kalvot)	40 %
Rakennustarvikkeet (putket, eristeet)	30 %
Kotitaloustuotteet (puutarhakalusteet, kompostorit)	20 %
Muut tuotteet (viherrakentaminen, tekstiilit)	10 %

Suomen muovin tuotanto- ja kierrätysjakaumat noudattelevat jossakin määrin Euroopan vastaavia, joten autoteollisuuden ja PET-pullojen kierrätyksen vaikutuksia lukuunottamatta taulukko tarjoaa suuntaa antavaa tietoa myös Suomen kierrätysmuovin hyötykäyttökohteiden jakaumasta.

Kulutuksesta syntynyttä pakkausmuovijätettä kierrätetään pääosin Suomen Uusiomuovi Oy -tuottajayhteisön jäsenyritysten toimesta. Tyypillisiä kierrätysmuovin käyttökohteita ovat esimerkiksi pakkaukset, rakennustarvikkeet, kuten kalvot ja rumpuputket, muun teollisuuden tuotteet kuten profiilit ja ruiskuvalutuotteet sekä muut sekalaiset tuotteet kuten ämpärit, paljut, henkarit ja kompostorit. Näistä kierrätysmuoveja käytetään pääasiassa PET-pulloissa ja muovipusseissa, putkissa, levytuotteissa ja rakennuseristeissä. (Eskelinen ym. 2016.)

Muovijätettä päätyy Suomesta myös jonkin verran vientiin. Tullin Uljas-tilaston mukaan eniten jätettä viedään Kiinaan, Hong Kongiin, Ruotsiin ja Latviaan (Eskelinen ym. 2016). Kuviossa 4 on esitetty Tullin Uljas-tilaston muovijätteen, -leikkeiden ja -romun vuotuiset vientimäärät vuosina 2006 - 2016.



KUVIO 4. Tullin Uljas-tilaston SITC-tavaraluokiteltujen muovijätteen, -leikkeiden ja -romun vientimäärät 2006 - 2016, tonnia (Suomen Tulli 2017)

Kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana trendi osoittautuu hieman kasvavaksi. Kohtalaisen suuren vuotuisen vaihtelun vuoksi ei kuitenkaan



vientimäärien voida varmuudella sanoa olevan selkeässä kasvussa. Vientiin päätyneet muovijättemäärät edustavat joitakin prosentteja kaikesta Suomessa tuotetusta yhdyskuntajätteen muovijakeesta.

Primäärisiin ja sekundäärisiin menetelmiin lukeutuvat Suomen PET-pullojen kierrätysketju sekä esimerkiksi Fortumin kierrätysmuovista valmistetut iskunkestävät profiilit (Uusiomuovi 2017). PET-pullojen suljettu kierto on maailmanlaajuisesti liki ainutlaatuinen, sillä kierrätetystä PET-muovista saadaan kierrätysprosessissa ominaisuuksiltaan neitseellistä muovia vastaavaa. Fortumin kierrätysmuoviprofiilit valmistetaan erilliskerätystä sekalaisesta ja värillisestä kotitalouksien kovamuovijätteestä. Värillisestä raaka-aineesta johtuen ovat uusiotuotteiden värit rajoittuneet tummiin väreihin ja muovin rakenteellinen laatu ei vastaa neitseellistä muovia.

Henna Eskelisen ym. (2016) mukaan muovien kierrätyksen suurimpiin ongelmiin lukeutuu se, etteivät kaikki muovityypit ole keskenään yhteensopivia. Luontainen sekoittumattomuus sekä perustavanlaatuiset erot käsittelyprosesseissa asettavat korkeita vaatimuksia eri muovilaatujen erottelemiseksi toisistaan. Käytännön näkökulmasta tämä tarkoittaa korkeampia investointeja kierrätyslaitoksen esikäsittelyn ja syötteen erottelun linjastoihin.

Järvelä ja Järvelä arvioivat puolestaan muovien kierrätyksen suurimmaksi haasteeksi osoittautuvan kierrätysmuovien rajoitetut markkinat, sillä prosessien kustannustehokkuus kasvaa volyymien myötä, ja ilman kysyntää ei volyymejä voida nostaa. Ongelman taustalla ovat kierrätysmuovien neitseellisiä muoveja usein heikommat materiaaliominaisuudet, jotka rajaavat tuotteiden käyttösovelluksia. (Järvelä & Järvelä 2015.)

Prosessoitaessa jätemuovia uusiomuoviksi korostuu vaatimuksena raaka-aineen puhtaus. Ennen materiaalikierrätystä raaka-aine tulisi puhdistaa kaikista epäpuhtauksista, sillä ne vaikuttavat suoraan muovin prosessoitavuuteen ja ominaisuuksiin. Puhdistusmenetelmiä on olemassa

useita, mutta kierrätysprosessin puhdistusvaihe nostaa investointikustannuksia. Uudelleensulatusta ja prosessointia vaikeuttaa myös vaihtelut muovien polymeeripohjissa. Erityisen hankalaa on erottaa monikerrosrakenteisiin sidotut muovilaadut toisistaan. Muovin ominaisuuksien säilymisen kannalta olennaisinta olisi erotella jätemuovijakeet komponenttiensa perusteella. Kierrätysmuovin, jossa on mukana useita saman muovin eri raaka-aineita, ominaisuudet eroavat huomattavasti neitseellisten muovilajien ominaisuuksista. (Järvelä & Järvelä 2015.)

Kierrätysmuovin neitseellistä muovia heikommat materiaaliominaisuudet voivat johtua lisäksi useista eri ensimmäisen kierron aikaisista tekijöistä. Lämpö, hapettuminen ja UV-säteily vanhentavat muovia pilkkoen polymeeriketjuja, heikentäen muovin rakennetta ja pahimmillaan estäen kierrätyksen. Lisäksi erityisesti elintarvikepakkausmuovit likaantuvat usein käytössä. Osa liasta on mahdollista poistaa pesemällä. Toisaalta muoviin tarttuneet epäpuhtaudet, kuten hiekka, voidaan erotella muovin sulasekoitusvaiheessa suodattamalla. Muoviin imeytyneet kaasut ja nesteet on myös pääsääntöisesti mahdollista poistaa materiaalin sulasekoitusvaiheessa. Viimeksi käytön aikana voivat muoviin lisätyt eri lisä- ja parannusaineet vähentyä. Vähentyneet lisäaineet ovat kuitenkin korvattavissa uusiomuovin valmistuksen aikana. (Järvelä & Järvelä 2015.)

Muun energijätteen mukana muovin energiahyötykäyttö on noussut merkittävään rooliin suomalaisessa jätteenkäsittelyssä kuluneiden 20 vuoden aikana. Valtaosa suomalaisista seka- ja energijätteiden polttolaitoksista perustuvat leijupetikattilaan, missä jäte ensin kaasutetaan, ja prosessikaasu poltetaan höyryn tuottamiseksi. Prosessihöyrystä otetaan energia talteen höyryturbiinin sekä lämmönvaihtimien avulla. Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon laitteistotyyppi ylittää usein yli 90 %:n hyötysuhteeseen, mutta tekniikkaan perustuvat laitokset ovat usein huipputeholtaan useita megawatteja, ja laitokset edellyttävät merkittäviä investointeja. Jätteenpolto on lisäksi tarkkaan säädeltyä, minkä johdosta laitoksissa edellytetään tarkkaa ja säännöllistä savukaasujen sekä tuhkien

haitta-aineiden pitoisuuksien seurantaa ja raportointia, mikä nostaa laitosten investointi- ja ylläpitokustannuksia entisestään.

### 2.1.3 Huomioitava sääntely

Tässä alaluvussa on esitetty muovin kierrätykseen, hyötykäyttöön ja kansainväliseen raaka-ainekauppaan vaikuttavat EU:n ja Suomen valtion tason sääntelyt.

#### **Pakkaus- ja pakkausjätedirektiivit**

Pakkaus- ja pakkausjätedirektiivit 95/62/EY ja 2013/2/EU ovat syntyneet pakkausten ja pakkausjätteiden ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Suomessa direktiivit on toimeenpantu asetuksella vuonna 2014, asettamalla yleisiä kierrätystavoitteita pakkausjätteen uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. Asetuksessa myös määritellään pakkausten tuottajille materiaalien kierrätysastevaatimukset sekä menetelmät, joilla käytettyjen pakkausjätteiden keräys ja kierrätys tulee järjestää. (Eskelinen ym. 2016.)

#### **Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta**

Vuonna 2013 voimaan astunut valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta asettaa vaatimuksia jätteenpolttolaitoksille ja jätteen rinnakkaispolttolaitoksille. Lain sovellusalueeseen eivät kuulu muiden muassa kaasutus- tai pyrolyysilaitokset silloin, jos lämpökäsittelyssä syntyvä kaasu puhdistetaan niin, ettei se ole enää jätettä ennen sen polttamista eikä se voi aiheuttaa päästöjä, jotka ovat suurempia kuin maakaasun polttamisessa aiheutuvat päästöt. Lakia ei myöskään sovelleta koelaitoksiin, joita käytetään tutkimukseen ja testaukseen polttoprosessin kehittämiseksi, ja joissa poltetaan jätettä alle 50 tonnia vuodessa. (VNA jätteenpolto 2013.)

Laki asettaa vaatimuksia sovellusalueeseen kuuluvien laitosten päästöjen hallinnalle ja valvonnalle, käytettäville teknologioille ja tekniikoille, laitoksen operoinnille, polttoaineille sekä loppu- ja sivutuotteiden käsittelylle.

## **EY:n jätteesiirtoasetus**

Euroopan yhteisön jätteesiirtoasetus myöntää luvan hyötykäyttöön tarkoitetun jätteen kuljettamiseen maasta toiseen tiettyjen ehtojen mukaisesti kahden eri luokituksen perusteella. Niin kutsuttuun ”vihreään jäteluetteloon” on sisällytetty eri täydentävien asetusten myötä lukuisia jätelajeja, joiden kuljetuksesta hyödynnettäväksi ei katsota aiheutuvan merkittäviä ympäristöriskejä. Vihreän luettelon jätelajeja saa tyypillisesti kuljettaa OECD:n jäsenmaiden välillä ilman erillistä ilmoitusmenettelyä. OECD-maiden ulkopuolelle suuntautuvat kuljetukset käsitellään ilmoitusmenettelyn kautta tapauskohtaisesti. Puhtaat ja tasalaatuiset muovijätteet kuuluvat pääsääntöisesti vihreään jäteluetteloon. (Eskelinen ym. 2016.)

Jätteesiirtoasetus määrittelee ”keltaisessa luettelossaan” vaarallisiksi jätteiksi määritellyt jätelajit. Näiden jätelajien kuljetus maasta toiseen edellyttää puolestaan lupamenettelyä, joka riippuu kohdemaan lainsäädännöstä. Keltaisen listan jätelajien kuljettaminen loppukäsiteltäväksi EU- tai EFTA-jäsenmaiden ulkopuolelle on kielletty. Jätelajien kuljettaminen hyödynnettäväksi on puolestaan kielletty silloin, kun kohdema on EU- ja OECD-alueen ulkopuolella. (Eskelinen ym. 2016.)

## **Sivutuotteen määritelmä jätelaissa**

Suomen jätelaki määrittelee sivutuotteeksi sellaiset aineet ja esineet, jotka syntyvät tuotantoprosessissa, ja jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole aineen tai esineen valmistaminen, ja täyttää seuraavat ehdot (Jätelaki 646/2011):

- aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;
- ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti;
- aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä
- aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä

sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

### **REACH-asetus**

REACH-asetus (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, 1907/2006) koskee kemikaalien rekisteröintiä, arviointia ja rajoituksia EU:ssa. Asetus siirtää vastuuta erikseen määriteltyjen kemikaalien ympäristö- ja terveysvaikutusten riskittömyyden todistamisesta viranomaisilta teollisuudelle. Asetus koskee määriteltyjä aineita sellaisenaan sekä osana seoksia ja liuoksia. (Eskelinen ym. 2016.)

Muovipakkausten kierrätyksen edistäminen Suomessa -raportin mukaan polymeerit muodostavat asetuksessa poikkeuksen. Puhtaita polymeerejä sekä niistä tehtyjä neutraaleja uusiopolymeerejä ei tarvitse rekisteröidä. Toisaalta monomeerit, joista polymeerit koostuvat, kuuluvat REACH-asetuksen piiriin. (Merta ym. 2012.)

### **Elintarvikekosketuksessa oleva muovi**

Elintarvikekontaktimuovi tarkoittaa pakkausmuovia, joka on tai on tarkoitettu tulemaan kosketukseen elintarvikkeen kanssa. Tällaisia muoveja kutsutaan FCM-muoveiksi (Food Contact Materials). Elintarvikekontaktimuovia ovat esimerkiksi elintarvikepakkaukset, astiat ja keittiövälineet, kahvinkeitin ja niin edelleen. (Eskelinen ym. 2016.)

Elintarvikekontaktimateriaaleja koskeva lainsäädäntö on Suomessa tiettyjä poikkeuksia lukuunottamatta EU-lainsäädäntöä vastaava. Edellä mainituille materiaaleille on asetettu säännöksiä EY:n asetuksessa 1936/2004. FCM-muoveja koskee EU-komission asetus 10/2011. Lisäksi kierrätysmuovista valmistettuja elintarvikekontaktimateriaaleja koskevia säästöjä on asetettu EY:n asetuksessa 282/2008. FCM-käyttöön tarkoitettuja uusiomuoveja saa tuottaa vain Euroopan komission erikseen hyväksymissä uusiokäyttö- ja kierrätysprosesseissa. (Eskelinen ym. 2016.)

## Muut lainsäädännölliset reunaehdot

Muovijätteen kierrätyksessä saatetaan tapauksesta riippuen joutua huomioimaan myös seuraavia säädöksiä (Eskelinen ym. 2016):

- Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden vaarallisia aineita koskeva RoHS-direktiivi (Restriction of Hazardous Substances, 2011/65/EU)
- Romuautodirektiivi (2000/53/EY)
- Valtioneuvoston asetus romuajoneuvoista (123/2015)
- EY:n CLP-asetus (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures, EY1272/2008)
- POP-yhdisteitä (Persistent Organic Pollutant) koskeva Tukholman sopimus, POP-asetus (EY850/2004) sekä niitä täydentävä komission asetus (EU1342/2014).

### 2.1.4 Ympäristövaikutukset

Muovin sisältämien pitkien hiilivetyketjujen hajoamiseen luonnossa voi kuluu aikaa sadoista tuhansiin vuosiin, joten muovijäte aiheuttaa usein ympäristön roskaantumista, ja muovijätteen kulkeutumista ja kasautumista kauas syntypaikastaan. Lisäksi muoveissa käytetyt lisäaineet voivat liueta jätteestä luontoon, aiheuttaen ympäristöhaittoja. Meriin kulkeutunut muovi pilkkoutuu ennen hajoamistaan jopa nanometrien kokoisiksi kappaleiksi, päätyen usein mikromuovina vesieliöihin.

Muovien polttaminen aiheuttaa fossiilisia hiilidioksidipäästöjä, ja niiden sisältämällä lisäaineilla, joista etenkin halogeeniyhdisteillä, voi poltettaessa olla vakavia ilmastovaikutuksia. Esimerkiksi PVC-muovia (polyvinyylidikloridi) poltettaessa vapautuvat kloorivety-yhdisteet ovat ihmiselle myrkyllisiä ja aiheuttavat korroosiota esimerkiksi voimalaitosten polttokattiloissa.

Suomen jätelainsäädäntö luokittelee muovijätteen vaarattomaksi jätteeksi, joten sen vienti EU:n ulkopuolisiin maihin on mahdollista jätteen siirtoasetuksessa säädetyllä tavalla, ellei kohdemaalla kiellä sen tuontia. Muovijätteen kohdemailla ei usein ole riittävän kehittyneitä

jätteenhuoltojärjestelmiä, joten muovijätteen vienti lisää usein ympäristökuormitusta. (Aaltonen 2014.)

Eskelisen ym. mukaan useat lähteet esittävät muovin kierrätyksen tärkeimmän ympäristöhyödyn saavutettavan neitseellisen muovintuotannon välttämällä (Eskelinen ym. 2016). Muovijätteen suhteellisten kierrätysmäärien tulisi kuitenkin olla huomattavasti nykyisiä kierrätysmääriä suuremmat, jotta saavutettaisiin riittävät päästösäästöt kierrätyksen aiheuttamiin päästöihin nähden.

## 2.2 Kumijäte

Kumijätteestä valtaosa syntyy käytetyistä renkaista. Renkaat koostuvat pääasiassa luonnonkumista, synteettisestä kumista, noesta ja öljystä. Renkaan kokonaispainosta yli 80 % on kumia, josta noin puolet on kumipuusta saatavaa luonnonkumia. Loput painosta koostuu erilaisista vahvikemateriaaleista. (Nokian Renkaat Oy 2017.)

Kumi saa muotopysyvyytensä vulkanoinnissa. Lämmön ja ultravioletisäteilyn vaikutuksesta tapahtuvaa kumin vanhenemista pyritään estämään lisäämällä seokseen suoja-aineita. Noin 10 % renkaan kokonaispainosta on vahvikerakenteita, kuten teräs-, polyesteri- tai nailonkuituja. (Jaakola 1997.)

Rengasjäte kuuluu tuottajavastuun alaisuuteen. Rengasjätteen kierrätyksestä Suomessa vastaa ainoa hyväksytty renkaiden tuottajayhteisö Suomen Rengaskierrätys Oy, joka toimii yhteistyössä suomalaisten rengasliikkeiden, sekä rengasjätteen keräykseen keskittyvien operaattoreiden kanssa. Tuottajavastuun mukaan kuluttajalla on oikeus luovuttaa loppuun käytetyt renkaansa maksutta renkaita myyvään liikkeeseen, josta operaattori noutaa renkaat, ja toimittaa eteenpäin hyötykäyttöön. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Vielä vuonna 2015 suurin osa syntyvästä rengasjätteestä rouhittiin ja hyödynnettiin kaatopaikkojen pintakerrosrakenteissa. Suomen uudistunut jätelainsäädäntö ja 1.1.2016 voimaan astunut orgaanisen jätteen

kaatopaikkakielto kuitenkin estää rengasjätteen hyödyntämisen kaatopaikoilla jatkossa, sillä rengas- ja kumijätteen TOC-pitoisuus ylittää lainsäädännön asettaman 10 % raja-arvon.

Rengasjätteen lämpöarvo voi vastata lähes polttoöljyä. Tyypillisiä rengasromun arvoja energiapolton näkökulmasta voivat olla (Ranta 1999):

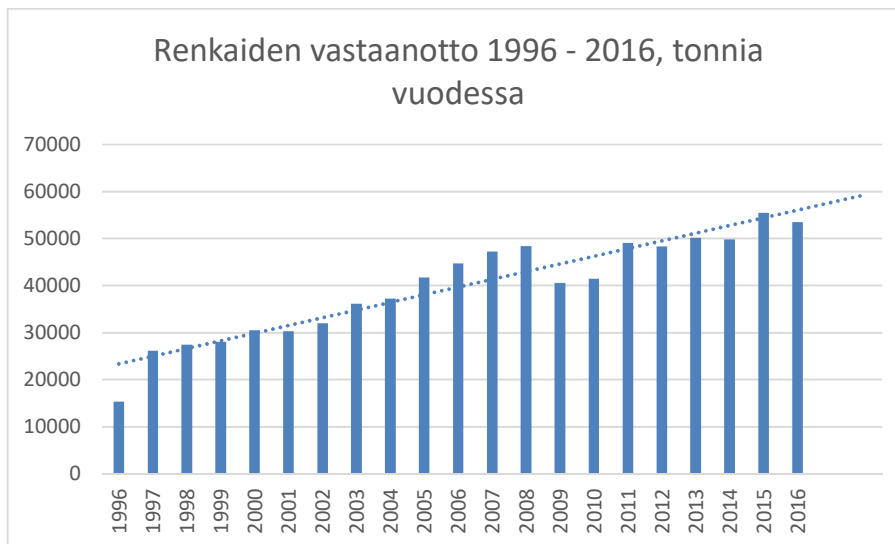
- lämpöarvo n. 33 MJ/kg
- tuhkapitoisuus 12-15 %
- tilavuuspaino kokonaisina noin 150 kg/m<sup>3</sup>
- tilavuuspaino murskattuna noin 450 kg/m<sup>3</sup>
- rikkipitoisuus noin 1 %.

### 2.2.1 Tyypilliset syntyperät ja määrät

Yleisenä nyrkkisääntönä voidaan arvioida teollisuusmaissa henkilöä kohden syntyvän noin yhtä henkilöauton rengasta vastaava määrä rengasjätettä (9 kg) (Reschner 2008). Suomen Rengaskierrätys Oy:n verkkosivuilta on saatavissa puolivuositain päivitettävä tilasto yrityksen elinkaaren aikana Suomessa kerätyn rengasjätteen vuosittaisista määristä ja hyötykäyttökohteista (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016; Liite 1).



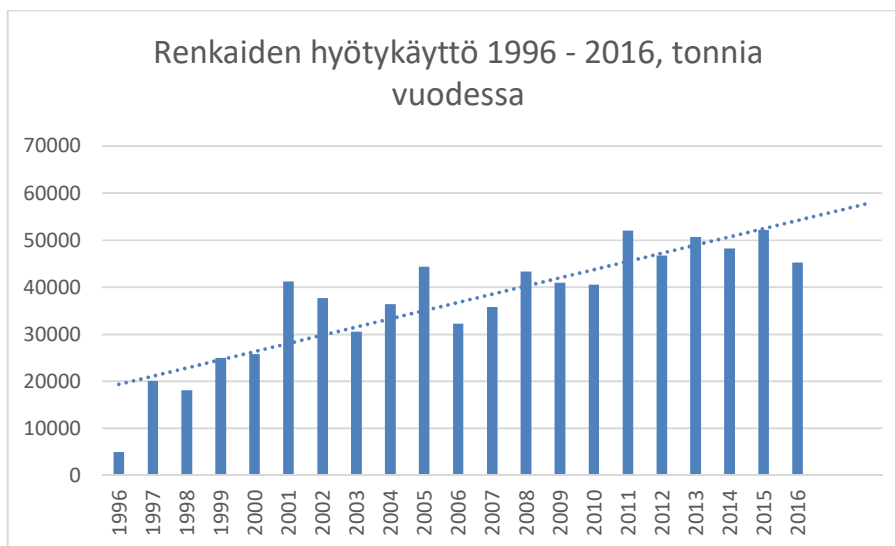
Kuviossa 5 on esitetty Suomen Rengaskierrätys Oy:n vastaanottaman rengasjätteen määrät vuosina 1996 - 2016.



KUVIO 5. Renkaiden vastaanotto 1996 - 2016, tonnia vuodessa (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016)

Kuviosta nähdään, että rengasjätteen syntymäärän trendi on ollut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana kasvava.

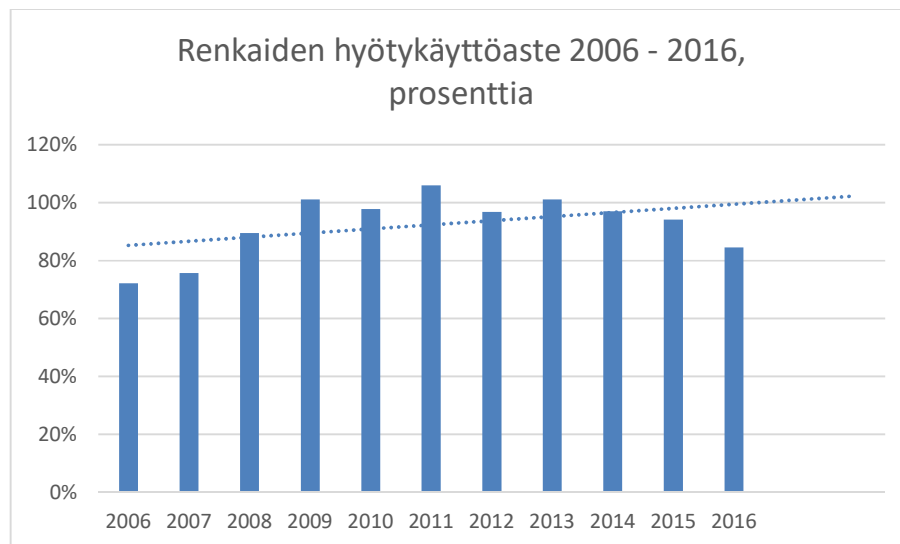
Alla olevassa kuviossa 6 on esitetty Suomen Rengaskierrätys Oy:n hyötykäyttämän rengasjätteen määrät vuosina 1996 - 2016.



KUVIO 6. Renkaiden hyötykäyttö 1996 - 2016, tonnia vuodessa (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016)

Vastaanottomääriä suuremmasta vaihteluvälistä huolimatta nähdään kuviossa 6 myös hyötykäytön määrien kasvaneen viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana. Hyötykäyttömäärien trendi on syntyvän rengasjätteen kehitystä jyrkemmässä kasvussa.

Tilaston perusteella on joinakin vuosina hyötykäytetty enemmän renkaita, kuin mitä on kerätty. Alla olevassa kuviossa 7 on esitetty ylläolevien taulukoiden tiedon perusteella laskettu hyötykäyttöaste vuosien 2006 - 2016 aikana.



KUVIO 7. Renkaiden hyötykäyttöaste 2006 - 2016, prosenttia (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016)

Kymmenen vuoden ajalta laskettu lineaarinen trendi osoittaa hyötykäyttöasteen olevan edelleen kasvussa, mutta viimeisen viiden vuoden ajalta on trendi kuitenkin ollut laskussa. Joinakin vuosina rengasjätettä on ohjattu hyötykäyttöön vastaanotettua rengasjätettä suurempi määrä. Tämä lienee selitettävissä kirjanpidollisilla syillä, ja rengasjätteen varastoinnilla. Vuodet 1996 - 2005 jätettiin hyötykäyttöasteen taulukosta aikajakson keräys- ja hyötykäyttömäärien suuren hajonnan vuoksi.

## 2.2.2 Hyötykäytön kohteet ja haasteet

Renkaiden ja rengasrouheen tyypillisimmät hyötykäyttökohteet Suomessa ovat olleet vuosikymmenten ajan maarakentamisen kevytkerrosrakenteissa, kaatopaikkojen rakenteissa sekä kaatopaikkakaasujen ja -vesien johtamisessa ja keräämisessä. Maarakennuksessa rengasjätettä käytetään kevennyskerroksissa korvaamaan neitseellisiä maamateriaaleja, sillä maarakenteiden kevennysmateriaalien kysyntä kasvaa tulevaisuudessa samalla, kun neitseellisten materiaalien käyttöä rajoitetaan entistä enemmän. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015b.)

Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon myötä on kaatopaikoille sijoitetun rengasjätteen korvaavaksi hyötykäyttökohteeksi alettu kehittää uusia kierrätystuotteita. Kokonaisia renkaita, rengasleikkeitä ja rengasrouhetta on käytetty esimerkiksi ääntä, melua ja tulvia hillitsevissä penkereissä, joissa renkaat toimivat keventävänä ja stabiloivana rakenteena. Rengasjätteen hyötykäyttökohteeksi ovat vakiintuneet myös uusiomateriaalista valmistetut räjäytyssuojapeitteet. Lisäksi kohtalaisen pieniä määriä rengasjätettä on käytetty hyödyksi korvaamaan osin asfaltin bitumia, maneesien, urheilu- ja leikkikenttien pohjissa, tekonurmikentillä sekä osana kotitalouksien ja jäteveden käsittelylaitosten jätevesien suodatusjärjestelmiä. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015b.)

Kohtalainen osa Suomessa kerätyistä renkaista ohjataan energiahyötykäyttöön. Esimerkiksi vuonna 2013 noin 15 % kerätyistä renkaista hyötykäytettiin polttolaitoksissa energiana (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014).

Energiapoltossa renkaiden hyödyntäminen ei ole Suomessa kovinkaan tyypillistä. Rengaskumin palamisominaisuudet ja lämpöarvo voivat poiketa liian paljon laitteiston pääasiallisen polttoaineen ominaisuuksista. Kappalekoolle asetetaan suurempia vaatimuksia ja renkaiden sisältämä teräs voi tarvita muutoksia prosesseihin. Rengasromun polttaminen oli vielä kaksikymmentä vuotta sitten varsin yleistä esimerkiksi Yhdysvalloissa

ja Englannissa, mutta siellä laitokset ovat olleet tuettuja – ilman subventointia voi renkaista tuotettu sähkö olla jopa 50 % kivihiilestä tuotettua sähköä kalliimpaa. (Ranta 1999.)

Renkaiden kierrätystä uusiin hyötykäyttökohteisiin hankaloittavat myös ihmisten yleiset mielikuvat rengasjätteen sisältämistä myrkyistä – renkaan painosta jopa 10 % voi koostua erilaisista renkaan ominaisuuksia parantavista, mahdollisesti myrkyllisistä kemikaaleista ja lisäaineista, joiden pelätään siirtyvän rengasjätteestä joko luontoon tai esimerkiksi pinnoitekäytössä ihmisiin. Euroopan kemikaaliviraston mukaan renkaista tehtyjen uusiomateriaalien tapauksessa riski on hyvin matala, mutta ihmisten mielikuvat materiaaleista säilyvät (Ewan 2017).

Rengasjätteestä jalostettujen uusiomateriaalien käyttöä rajoittavat lisäksi renkaan verraten korkean energiasisällön ja kohtalaisen matalan (322 °C) leimahduspisteen aiheuttamat paloriskit. Esimerkiksi maarakennuskäytössä saa rakentaa korkeintaan 3 m korkeita rengasrouhekerroksia, ja kerrokset tulee peittää riittävän paksulla maakerroksella paloriskien ehkäisemiseksi. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015a.)

Rengaskumin materiaalikierrätystä on tutkittu eri tavoin jo kauan. Kumin monimutkaisesta rakenteesta johtuen renkaan materiaalikierrätys ei ole mahdollista liuottamalla tai sulattamalla. Etenkin renkaan valmistusvaiheessa kumille tehty vulkanointi hankaloittaa kumin raaka-ainekierrätystä, sillä kumin muovautuvuuden palauttaminen edellyttää käänteistä vulkanointia. Devulkanointiprosessissa kumimateriaalin täytyy täyttää tietyt vaatimukset prosessin toimimiseksi ja halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Sofia Mattila kertoo diplomityössään renkaiden kierrätyksen tehostamisesta devulkanointiprosessista riippuen raaka-aineen laatuvaatimuksissa olevan eroja, mutta yleisesti ottaen voidaan katsoa

seuraavien ehtojen määrittävän raaka-aineen soveltuvuuden devulkanointiin (Mattila 2015):

- partikkelien halkaisija on alle 2,0 mm.
- partikkelien ominaispinta-ala on suuri.
- raaka-aine ei saa sisältää metallia tai tekstiilejä.
- molekyyli-tason hajoamista ei ole tapahtunut.

Mattilan mukaan yllä mainittujen laatu-ehtojen kannalta täydellistä raaka-aineen esikäsittelyprosessia ei ole olemassa, sillä suurimmassa osassa renkaan hienontamisprosesseissa tapahtuu jonkinasteisia molekyyli-rakenteen muutoksia. On kuitenkin mahdollista päästä hyvin lähelle tavoiteltua laatutasoa. Lisäksi raaka-aineena käytettävän kumin laadullinen vaihtelu muuttaa devulkanointiprosessin luonnetta, jolloin prosessin lopputuotteen laatu vaihtelee. Osin näistä syistä devulkanoitua kumia ohjeistetaan yleisesti käyttämään uusien renkaiden kumiseoksissa korkeintaan 5 %. Yli puolet maailmassa valmistetuista kumituotteista on renkaita, joten devulkanoidun kumin markkinat ovat rajalliset. (Mattila 2015.)

### 2.2.3 Huomioitava sääntely

Maalla kulkevien ajoneuvojen renkaat kuuluvat Suomen laissa tuottajavastuun piiriin. Tällaisia ajoneuvoja ovat esimerkiksi henkilö-, paketti-, ja kuorma-autot sekä mopot, moottoripyörät ja perävaunut. Tuottajavastuu perustuu jätelakiin (646/2011) ja valtioneuvoston asetukseen käytöstä poistettujen renkaiden erilliskeräyksestä ja hyödyntämisestä (527/2013) (Pirkanmaan ELY-keskus 2017). Valtioneuvoston asetus (527/2013) edellyttää, että tuottajat järjestävät käytöstä poistettujen renkaiden keräyksen ja hyödyntämisen siten, että 95 painoprosenttia markkinoille saatettujen renkaiden määrää vastaavasta määrästä renkaita valmistellaan uudelleenkäyttöön, kierrätetään tai muutoin hyödynnetään. Suomessa renkaiden tuottajavastuun toteutumista valvoo keskitetysti Pirkanmaan ELY-keskus. Käytännössä rengasjätteen laillisesta keräyksestä vastaavat siis renkaiden maahantuojat ja

jälleenmyyjät, eikä renkaiden kierrätystä tai hyötykäyttöä harjoittavalla osapuolella ole tuottajavastuun osalta velvoitteita lukuunottamatta kierrätysmäärien raportointia.

Käytöstä poistettujen renkaiden ja niistä jalostettujen uusiomateriaalien katsotaan lähtökohtaisesti olevan jätettä. Tämä hankaloittaa kierrätystä byrokratian ja lisäkustannusten muodossa. EU:n jätedirektiivi mahdollistaa kuitenkin rengaskumin statuksen muuttamisen jätteestä takaisin materiaalivirraksi, mikäli kumi täyttää tietyt käyttötarkoitusta, kysyntää, ominaisuuksia, standardeja ja ekologisuutta koskevat kriteerit. Vuonna 2010 valmistui materiaalistandardi CEN/TC 366, joka asettaa standardimitat ja testausmenetelmät rengasleikkeelle, -rouheelle, -granulaatille ja -jauheelle. (Suomen Rengaskierrätys Oy 2014.)

Suomen Rengaskierrätys Oy:n mukaan rengasmateriaalin käyttö esimerkiksi maarakentamisessa edellyttää aina hankekohtaista ympäristölupaa, eikä rengasrouhetta saa käyttää pohjavesialueilla (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015a).

#### 2.2.4 Ympäristövaikutukset

Käsitlemättömän rengasjätteen kaatopaikkasijoituksella voi olla huomattavia ja kauaskantoisia vaikutuksia ympäristöön. Näistä vaarallisin esimerkki on tulipaloriski. Salaman tai muun tulenlähteen seurauksena voi rengasjäte syttyä palamaan, aiheuttaen huomattavia hiilidioksidi-, rikki- ja dioksiinipäästöjä ilmaan. (Jouzaladeh 2008.)

Rengasrouheen ja -leikkeen ekologisia vaikutuksia on tutkittu maailmanlaajuisesti eri hyötykäyttökohteissa. Useimpien tutkimusten mukaan rengasrouheesta vapautuneiden haitta-aineiden pitoisuudet ovat olleet erittäin pieniä, ja ne ovat vähentyneet ajan myötä. (Aurinko 2012.)

Tommy Edeskär tutki väitöskirjassaan vuonna 2006 rengaskumin ympäristövaikutuksia käytettäessä maarakentamisessa. Tutkimuksessa ei havaittu merkittäviä haitta-ainepäästöjä maaperään eri pohjoismaisissa kohteissa. (Edeskär 2006.)

Rengasjätteen polttamisessa ja lämpökäsittelyssä on huomioitava mahdolliset syntyvät ja luonnolle hyvin haitalliset dioksiiniyhdisteet. Prosessilämpötila on pidettävä reilusti yli dioksiinin muodostumislämpötilan, joka on korkeimmillaan noin 200 celsiusasteessa (Jouzaladeh 2008).

### 3 SELVITYKSEN TAVOITTEET JA TOTEUTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä kumi- ja muovijätteen hyötykäyttöön sekä luoda kokonaiskuva jätejakeiden kierrätysmenetelmien kannattavuudesta eri näkökulmista. Kannattavuutta verrattiin uuteen Nocart RFP-voimalaitoskonseptiin, joka tuottaa vaikeasti kierrätettävistä muovi- ja kumijätteistä sähköä ja lämpöä hapettoman lämpökäsittelyn avulla. Tarkastelu antaa yleistason raamit tarkasteltujen jätejakeiden hyödynnettävyydelle uudentyyppisellä teknologialla. Työ tehtiin toimeksiantona uusiutuvan energian laitteistojen vientiyritys Nocart Oy:lle.

Nocart Oy toimittaa pieniä ja keskikokoisia uusiutuvan energian sähköntuotantoratkaisuja maailmanlaajuisesti, lähinnä kehittyviin maihin. Tiettyjen hankkeiden asiakkaalle räätälöidyissä ratkaisuisissa on ilmennyt tarve uusiopolttoainelaitteiston hyödyntämiselle.

Työ toteutettiin kirjallisuusselvityksenä, jossa verrattiin useita eri verkko- ja painettuja lähteitä kattavan kokonaiskuvan muodostamiseksi. Lisäksi työssä tehtiin kaksi asiantuntijahaastattelua puhelimitse. Työssä haastateltiin Nocart Oy:n Technical Director Janne Kaasista, sekä Wipak Group:n Recycling Manager Kari Aaltosta.

Työssä tarkastellaan ja verrataan Suomessa syntyvien muovijätteen ja kumijätteen:

- syntymääriä
- olemassa olevia hyötykäyttömenetelmiä
- hyötykäytön haasteita
- hyötykäyttömenetelmien taloudellista kannattavuutta
- hyötykäyttömenetelmiin liittyvää säätelyä
- hyötykäyttömenetelmien ympäristövaikutuksia.

Työn edetessä tunnistettiin rengas- ja muovijätteen olemassa olevien hyötykäyttömenetelmien kannalta ongelmallisimmiksi osoittautuvat jakeet ja tilanteet.



Työn käytännön osuudessa selvitettiin valittujen jakeiden tyypillisimmät hyötykäyttökohteet Suomessa, ja vertailtiin niiden piirteitä Nocart Oy:n RFP-laitoskonseptiin. Vertailun perusteella saadaan pohjatietoa siitä, missä tapauksissa uuden teknologian käytölle on tunnistettavissa taloudellisesti kannattavat lähtökohdat, sekä kuinka olemassa olevat lainsäädäntö- ja lupa-asiat soveltuvat uudentyyppisen teknologian implementointiin ja käyttöön verrattuna tarkasteltavien jakeiden nykyisiin hyötykäyttökohteisiin. Lisäksi uuden teknologian ympäristönäkökulmaa tarkasteltiin arvioimalla karkeasti eri teknologioiden ekologisia jalanjälkiä, ja niihin vaikuttavien seikkojen verrattavuutta uuteen teknologiakonseptiin. Työn toivotaan antavan kuvaa uusiopolttoainelaitteiston mahdollisuuksista ja pullonkauloista sekä nostavan esille mahdollisuuksia, joilla parantaa muovi- ja rengasjätteiden uusiokäyttöä kiertotalousyhteiskunnan edellyttämällä tavalla.

#### 4 UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO

Nocart Oy on vuonna 2010 perustettu uusiutuvan energian sähkönhallintayksiköitä ja tuotantolaitoksia suunnitteleva ja valmistava yritys. Yrityksen tuotannosta merkittävä osa suuntautuu vientiin. Nocart Oy:n tuoteportfolioon sisältyy RFP-uusiopolttoainelaitteisto, joka voi käyttää raaka-aineenaan esimerkiksi rengaskumia, muovia, synteettisiä kuituja, jäteöljyä tai pilaantuneita maa-aineksia sekä muita orgaanisia ja synteettisiä jätteitä ja sivuvirtoja. Raaka-aine käsitellään jatkuvatoimisessa reaktorissa, jossa siitä muodostuu prosessikaasua ja erilaisia sivuvirtoja. Sivuvirrat jatkokäsitellään laitoksessa useiksi eri lopputuotteiksi, kuten nestemäisiksi ja kaasumaisiksi polttoaineiksi, hiilimustaksi ja metallilangaksi. Palavat jakeet hyödynnetään laitoksen sisällä prosessin ylläpitämiseen ja sähkön sekä lämmön tuotantoon.

Laitteiston peruskokoonpano koostuu seitsemästä osasta:

- raaka-aineen esikäsitely
- reaktori
- prosessikaasun puhdistuslaitteisto
- tislaujärjestelmä
- varastointi
- moottori-generaattoriyksiköt ja sähkönhallintayksikkö
- soihtu.

Työssä tehdyssä asiantuntijahaastattelussa Nocart Oy:n teknologiajohtaja Janne Kaasisen mukaan uusiopolttoainelaitteiston hyödyntämä prosessi esiintyy luonnossa, ja ihmiset ovat käyttäneet sitä eri tavoin vuosisatojen ajan. Kyseessä olevassa synteettisen tai orgaanisen raaka-aineen hapettomassa lämpökäsittelyssä raaka-aine jalostetaan halutuiksi lopputuotteiksi. Suomessa pyrolyysia ja sitä muistuttavia prosesseja on hyödynnetty esimerkiksi biohiilen valmistuksessa, polttoaineiden jalostuksessa ja tervanpoltossa. (Kaasinen 2017; Liite 2.)

Uusiopolttoainelaitteisto on usean kehityspolven tulos. Aikaisempiin reaktorityyppeihin lukeutuu panostyyppeiksi, puolijatkuvia ja jatkuvia

prosesseja, ja nykyinen kehitysvaihe on edellä mainittujen parhaita puolia yhdistelevä hybridiratkaisu. (Kaasinen 2017; Liite 2)

#### 4.1 Raaka-aineet, toimintaperiaate ja lopputuote

Raaka-aine murskataan kaasutukseen soveltuvaan palakokoon esikäsitteilylinjastossa. Esikäsitteilylinjasto voi koostua esimerkiksi silppureista ja ruuvikuljettimista. Raaka-aine siirtyy kuljettimia pitkin reaktoriin.

Raaka-aine lämmitetään yli 400 asteen lämpötilaan hapettomissa olosuhteissa, jolloin raaka-aine kaasuuntuu. Reaktorissa syntyy vesihöyryä, kaasuja (vety, häkä, metaani, etaani) sekä kiinteitä aineita (hiilimusta, metallit). Kiinteät jakeet siirtyvät arinalla reaktorin pohjalta jatkokäsiteltäväksi. Syntyvä prosessikaasu puhdistetaan ja ohjataan jalostukseen ja lauhdutukseen. Osa nesteytymättömästä fraktiosta ohjataan jatkokäsittelyn ja varastoinnin jälkeen reaktorin yhteydessä olevaan kaasupolttimeen, jolla ylläpidetään prosessia. Syntyvät palokaasut puhdistetaan ennen niiden ohjaamista piipun kautta ulos.

Valmistuneet uusiopolttoaineet siirtyvät erillissäiliöihin, joista ne siirretään puhdistettavaksi, laitoksen käyttötarkoituksesta riippuen kuljetettavaksi muualle käyttöön tai hyödynnettäväksi laitteiston yhteyteen rakennetuissa lämmön- ja sähköntuotantoyksiköissä.

Tuotettu sähkö ohjataan käytettäväksi paikallisessa saarekeverkossa, tai myydään valtakunnanverkkoon. Prosessissa syntyvä ylimääräinen lämpö on mahdollista hyödyntää paikallisesti tai myydä kaukolämpöverkkoon. Prosessin sivutuotteena syntyy hiilimustaa, ja mikäli raaka-aineena käytetään kumia, syntyy lisäksi metallilankaa. Hiilimusta voidaan hyödyntää sellaisenaan tai jatkojalostaa. Metallilanka kierrätetään uusiometalliksi.

## 4.2 Hyötykäyttöön vaikuttava sääntely

Nocart Oy:n RFP-laitoskonsepti perustuu laitteistotyyppiin, joka hyödyntää vaikeasti kierrätettäviä raaka-aineita energiantuotannossa, tuottaen samalla sellaisenaan käytettäväksi tai jatkojalostukseen soveltuvia materiaalivirtoja. Suomeen suunnitteilla oleva yhtiön omaan tutkimus- ja kehityskäyttöön tarkoitettu koelaitos on pilottikokoisena sähköteholtaan noin 250-500 kW, ja lämpöteholtaan noin 0.5-1 MW. Laitoksen huippukapasiteetti kuluttaisi noin 4-8 tn puhdasta raaka-ainetta vuorokaudessa. Pyrolyysiin perustuvia laitteistoja on rakennettu aikaisemmin Suomessa ja maailmalla. Suomessa olemassa olevat pyrolyysiin perustuvat laitteistot ovat lähinnä pieniä tutkimusmittakaavan laitteistoja lukuunottamatta Fortumin Joensuun sähkön- ja lämmöntuotantolaitokseen integroitua bioöjylaitosta, joka tuottaa pyrolyysiöljyä puu- ja turvepohjaisista raaka-aineista. Tarkasteltavana oleva uusiopolttoainelaitteisto perustuu uudentyyppiseen teknologiaan, jollaista ei vielä työn laatimisen aikana ole rakennettu, mikä hankaloittaa laitteistoon vaikuttavan sääntelyn tarkastelua ja arviointia. Seuraavissa kappaleissa pyrolyysilaitteistoihin vaikuttavaa sääntelyä tarkastellaan lainsäädännön ja esimerkitapausten kautta.

### **Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta ja Ympäristönsuojelulaki**

Valtioneuvoston asetusta 14.2.2013/151 jätteen polttamisesta sovelletaan ympäristönsuojelulain 527/2014 107 §:n 1 momentissa tarkoitettuun jätteenpolttolaitokseen ja jätteen rinnakkaispolttolaitokseen mainitun pykälän 2 momentissa säädetyin poikkeuksin.

Edellä mainittua ympäristönsuojelulakia ei puolestaan sovelleta kaasutus- tai pyrolyysilaitoksiin, jos jätteen lämpökäsittelyssä syntyvä kaasu puhdistetaan niin, että se ei ole enää jätettä ennen sen polttamista eikä se voi aiheuttaa päästöjä, jotka ovat suurempia kuin maakaasun polttamisesta aiheutuvat päästöt. Laissa kuitenkin tarkoitetaan jätteenpolttolaitoksella yksikköä, joka on tarkoitettu jätteiden

lämpökäsittelyyn, riippumatta siitä, hyödynnetäänkö poltossa syntyvä lämpö vai ei, siten, että jäte poltetaan hapettamalla tai käytetään pyrolyysiä, kaasutusta tai plasmakäsittelyä taikka muuta lämpökäsittelyä, jos käsittelyssä syntyvät aineet tämän jälkeen poltetaan.

(Ympäristönsuojelulaki 527/2014.)

### **Ympäristövaikutusten arviointi**

Pirkanmaan ELY-keskus on antanut Peatec Oy:n rengaspyrolyysilaitosta varten vuonna 2013 hakemaan YVA-hakemukseen päätöksen, jonka mukaan suunnitteilla olleeseen, kapasiteetiltaan noin 80-90 tonnia vuorokaudessa rengasjätettä käsittelevään laitokseen ei sovellettaisi ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. Päätös perusteltiin sillä, että ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun asetuksen 6 § hankeluettelon 11b-kohdan mukaan menettelyä sovelletaan hankkeeseen, jossa käsitellään jätteitä fysikaalis-kemiallisesti enemmän kuin 100 tonnia vuorokaudessa. 11b-kohta koskee myös jätteiden polttamista, mutta hankkeeseen kuuluva puhdistetun jätekaasun poltto ei ole luettelon tarkoittamaa jätteiden käsittelyä. (Pirkanmaan ELY-keskus 2013.)

Itä-Suomen aluehallintovirasto myönsi vuonna 2012 Fortum Power and Heat Oy:lle ympäristöluvan Joensuussa toimivan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen yhteyteen rakennettavalle pyrolyysilaitteistolle, joka käyttää raaka-aineenaan lähinnä puuhaketta ja turvetta, tuottaen niistä bioöljyä. Ympäristölupapäätöksessä lausutaan, ettei laitos ole lain ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 4 §:n 1 momentin ja valtioneuvoston asetuksen ympäristövaikutuksen arvioinnista 6 §:n (hankeluettelo) mukaista toimintaan, minkä vuoksi hankkeeseen ei sovellettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2012).

Lain ympäristövaikutusten arvioinnista 252/2017 liitteen 1 hankeluettelon mukaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyä sovelletaan hankkeisiin, joissa käsitellään muita kuin vaarallisia jätteitä fysikaalis-kemiallisesti tai polttamalla, ja joiden mitoitus on enemmän kuin 100 tonnia jätettä

vuorokaudessa, sekä kattila- tai voimalaitoksiin, joiden suurin polttoaineteho on vähintään 300 megawattia. Lisäksi arviontimenettelyä sovelletaan lain 3 §:n mukaan yksittäistapauksissa hankkeisiin ja niiden muutoksiin, joilla todennäköisesti on laatunsa ja laajuutensa vuoksi, myös eri hankkeiden yhteisvaikutukset huomioon ottaen, merkittäviä ympäristövaikutuksia. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017.)

### **Jätteiden hyödyntämisluokka ja pyrolyysikäsitteily**

Ympäristöministeriön vuonna 2014 julkaiseman muistion mukaan orgaanisten jätteiden kaasutuksen ja pyrolyysin katsotaan kuuluvan jätteiden käsittelyn osalta jätteiden hyödyntämisluokkaan R03D silloin, kun syntyviä ainesosia käytetään kemikaaleina. Mikäli ainoastaan jätteen energiasisältö hyödynnetään, kuuluu hyödyntämistoiminta luokkaan R01B – ”Käyttö polttoaineena rinnakkaispolttolaitoksissa kuten voima- tai lämpökattilalaitoksessa tai prosessiuunissa”. (Ympäristöministeriö 2014). Ympäristönsuojelulaki asettaa aluehallintovirastoille ja kuntien ympäristönsuojeluviranomaisille toimivallan asettaa rajat jätteen käsittelyä harjoittavien laitteistojen vuosittaiselle vastaanotto- ja käsittelymäärille (Ympäristönsuojelulaki 527/2014).

### **Ympäristölupa**

Ympäristönsuojelulain liitteen 1 mukaan energiantuotantolaitteisto edellyttää ympäristölupaa, mikäli laitoksessa poltetaan kiinteitä polttoaineita yksiköissä, joiden polttoaineteho ei ylitä 20 megawattia, tai mikäli koko laitosalueella toimivien energiantuotantoyksiköiden yhteenlaskettu polttoaineteho ei ylitä 50 megawattia.

Ympäristönsuojelulain liitteen 2 mukaan energiantuotantolaitteiston toiminta katsotaan rekisteröitäväksi toiminnaksi, mikäli laitteiston polttoainetehoon lasketaan kaikki samalla laitosalueella sijaitsevat polttoaineteholtaan vähintään yhden megawatin energiantuotantoyksiköt ja jonka polttoaineteho on vähintään 5 megawattia. Lisäksi ympäristönsuojelulaissa energiantuotantolaitoksen toimintaan on oltava

ympäristölupa, jos toiminta sijoitetaan tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.)

Ympäristönsuojelulain mukaan ympäristölupaa ei tarvita koeluonteiseen lyhytaikaiseen toimintaan, jonka tarkoituksena on kokeilla uutta tekniikkaa, raaka-ainetta tai polttoainetta, valmistus- tai polttomenetelmää tai puhdistuslaitetta taikka käsitellä jätettä laitos- tai ammattimaisesti tällaisen toiminnan vaikutusten, käyttökelpoisuuden tai muun näihin rinnastettavan seikan selvittämiseksi. Ympäristölupaa ei myöskään tarvitse kiinteää tai nestemäistä jätettä polttava jätteenpolttolaitos tai jätteen rinnakkaispolttolaitos, jonka kapasiteetti muiden kuin vaarallisten jätteiden osalta on enintään 3 tonnia tunnissa ja vaarallisten jätteiden osalta enintään 10 tonnia vuorokaudessa. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.)

#### 4.3 Ympäristövaikutukset

Nocart RFP-laitteistokonseptissa jäteraaka-aine käsitellään termisesti välituotteiksi, jotka hyödynnetään generaattoriyksiköiden sekä kaasupolttimen polttoaineena. Valtaosa raaka-aineesta hyödynnetään siis energiana, mistä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ilmaan.

Hiilidioksidipäästövaikutuksien arviointi edellyttää, että laskennassa määritellään, millä energiamuodolla tuotettua energiaa laitteiston tuottama energia korvaa; korvattaessa esimerkiksi kivihiltä tai polttoöljyä ovat laitteiston tuottaman energian päästösäästöt merkittäviä.

Pyrolysoinnin etuna tavanomaiseen jätteenpolttoon verrattuna ovat alhaisemmat NO<sub>x</sub>-päästöt alhaisempien lämpötilojen ja pelkistävempien reaktio-olosuhteiden ansiosta (Myllymaa ym. 2008). Lisäksi pyrolyysi tarjoaa mahdollisuuden tehokkaaseen ja vähäpäästöiseen hyödyntämiseen myös pienessä mittakaavassa. Prosessin välituotteiden varastoitavuus mahdollistaa sähkön tuotantolaitteiston käytön sähköverkon tuotannonvaihtelujen tasaamiseen. Käytettäessä RFP-laitteiston generaattoreita sähköntuotantoon etenkin kulutuspiikkien aikana, on mahdollista korvata sähköverkon tehoreservissä käytettäviä

fossiilisia polttoaineita käyttäviä generaattoreita ja voimalaitoksia. Sekä muovi- että kumijätteen pyrolysointiprosessissa syntyy jakeita, joille on mahdollista kehittää materiaalihyötykäyttökohteita. Tällöin välttyttäisiin jätejakeiden sisältämän hiilen joutumiselta ilmakehään.



## 5 MUOVIJÄTTEEN NYKYINEN HYÖTYKÄYTTÖ JA UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO

Sekalaisen jätemuovin kierrätys on kehittynyt viimeisen vuosikymmenen aikana suurin harppauksin. Kiertotalouteen perustuva ajattelu on hitaasti leviämässä myös tuotteen elinkaarisuunnittelun myötä itse muovituotteiden suunnitteluvaiheeseen. Tästä huolimatta muovijätteitä ei Suomessa tai Euroopassa kyetä kierrättämään täysin materiaalina. Tässä luvussa verrataan muovijätteen nykyisiä hyötykäyttömenetelmiä käsittelyyn uusiopolttoainelaitteistossa.

### 5.1 Kannattavuuden näkökulma

Kierrätysmuovin käyttökohteet ja markkinat ovat Suomessa valitettavan rajoittuneet, mikä johtuu pääasiassa jätteen syntypaikkojen hajautuneisuudesta, pitkistä välimatkoista ja valtakunnallisen muovijätekeräyksen sekä kierrätysliiketoiminnan puutteista.

Kierrätysliiketoimintaa ei ole kannattavaa aloittaa, ellei kierrätykseen soveltuvaa materiaalia ole riittävästi saatavilla, ja vaihtelevat jätemäärät sekä pitkät kuljetusetäisyydet hankaloittavat materiaalin saatavuutta ennestään. (Aaltonen 2014.)

#### 5.1.1 Kierrätysmuovin arvo

Kierrätysmuovin hinta seuraa neitseellisen muovin hintaa, joka puolestaan korreloi öljyn markkinahintaa (TTY 2010; Aaltonen 2014). Työn laatimisaikana neitseellisten valtamuovigranulaattien hinnat olivat noin 1 - 1,5 euroa kilogrammaa kohden. Kierrätysmuovin hinta nousee raaka-aineen edellyttämien prosessivaiheiden myötä, mutta nyrkkisääntönä voidaan ajatella kierrätysmuovin olevan arvoltaan noin 90 % ominaisuuksiltaan vastaavan neitseellisen muovin arvosta. Muovijätteen erilliskeräystä toteutetaan Suomessa vielä todella pienessä mittakaavassa, minkä vuoksi muovijäte on usein likaista tai sekoittuneena muihin kierrätyksen kannalta epätoivottuihin jakeisiin. Kierrätykseen tarkoitetun muovin puhdistus ja erottelu lisää investointikustannuksia

kierrätysprosessiin, mikä kuroo neitseellisen- ja kierrätysmuovin hintaeroa pienemmäksi, haitaten kierrätysliiketoiminnan kannattavuutta.

### 5.1.2 Muovin materiaalkierrätys

Muovijätteen primäärisen ja sekundäärisen kierrätyksen voidaan arvioida olevan taloudellisesti kannattavinta silloin, kun muovijäte on tasalaatuista ja homogeenista. Wipak Groupin kierrätyspäällikkö Kari Aaltosen mukaan useita vaikeasti erotettavia muovilaatuja sisältävän muovijätevirran kierrätys ei usein ole taloudellisesti kannattavaa, sillä muovin kierrätysprosessi voi hidastua merkittävästi, jos muovilaatujen välillä esiintyy yhteensopivuusongelmia (Aaltonen 2017; Liite 3). Joissakin vaativammissa käyttökohteissa on kierrätysmuovin koostumuksen oltava tasalaatuista, ja sen sisällön oltava tarkasti selvillä. Heterogeenisten raaka-aineiden koostumuksen valvonta ei tällaisissa tapauksissa ole kustannustehokasta, mikä rajaa kierrätysmuovin käyttökohteita ja täten myös markkinoita.

Kirjallisista lähteistä ei juuri ole saatavilla ajantasaisia, konkreettisia tietoja muovin kierrätyslaitteistojen investointikustannuksista ja takaisinmaksuajoista. Aaltosen mukaan käyttäjätasoisesta, kolmesta viiteensataan kilogrammaa tunnissa käsittelevän uusiogranulointilaitteiston voidaan arvioida maksavan noin 500 000 euroa, jolloin laitteisto kuluttaisi täydellä kapasiteetilla arviolta 100 - 150 kWh sähkö- ja jäähdytysenergiaa tunnissa (Aaltonen 2017). Mikäli raaka-aineena on käytettävissä puhdasta, tasalaatuista monomeeriä, laskee laitteiston takaisinmaksuaika taloudellisesti kannattavalle tasolle. Kyse on kuitenkin kierrätyslaitteistosta, jolle syötetään riittävän tasalaatuista muoviraaka-ainetta, joka ei vaadi erillistä esikäsittelylinjastoa.

Energiamarkkinaviraston mukaan elokuun aikana 2017 pienteollisuuden (Sähkön käyttö 600 000 kWh/vuosi, tehontarve 200 kW) ostosähkön siirron keskihinta Suomessa kaikkine kuluineen on noin 3,50 snt/kWh (Energiamarkkinavirasto 2017; Liite 4).

Mikäli oletetaan itse sähköenergian maksavan kierrättäjälle 4,00 snt/kWh, syntyy muovin kierrätyslaitteiston sähkönkulutuksesta edellä esitetyn karkean arvion mukaan vain noin 23 euroa kustannuksia kierrätettyä muovitonnia kohden, mikäli laitteiston kuluttama jäähdytysenergia joudutaan tuottamaan 1:1 hyötysuhteella sähköllä. Mikäli lisäksi oletetaan kierrätysmuovigranulaatin arvon olevan noin 90 % neitseellisen valtamuovigranulaatin arvosta, voidaan yhden muovitonnin kierrätyksestä odottaa noin 850 - 1300 euron arvonlisäystä.

Laskelma perustuu karkeisiin arvioihin tuotantomääristä, energiankulutuksesta sekä sähkön arvosta, joten arvio muovitonnin arvonlisäyksestä on hyvin epätarkka. Laskelmassa ei myöskään ole huomioitu koroista, laitteiston operoinnista tai muusta liiketoiminnasta aiheutuvia kustannuksia. Laskelma osoittaa kuitenkin, että ainakin teoriassa muovin sekundäärisestä kierrätyksestä on mahdollista tehdä kannattavaa liiketoimintaa oikeissa olosuhteissa. Suurimpia kannattavuuden epävarmuustekijöitä ovat raaka-aineen hinta, raaka-aineen ja lopputuotteen kuljetuskustannukset, lopputuotteen hinta sekä raaka-aineen puhtaus.

### 5.1.3 Muovin energiahyötykäyttö

Etenkin raaka-aineen heterogeenisuudesta johtuen valtaosa yhdyskuntajätteenä syntyvästä muovista hyödynnetään energiana muiden energijakeiden, kuten pahvipakkausjätteen seassa. Muovin korkean energiasisällön vuoksi on energijätteen poltossa jopa toivottavaa, että polttoaine sisältäisi mahdollisimman paljon muovia. Seka- ja energijätteiden poltto- ja rinnakkaispolttolaitokset ovat Suomessa tyypillisesti mahdollisimman suuria ja keskitettyjä hyötysuhteen kasvattamiseksi ja täten suhteellisten kustannusten minimoimiseksi. Uusien muovin energiahyötykäyttöä harjoittavien yritysten liiketoiminnan luominen on hankalaa, sillä hyötytehokkaan polttolaitoksen on oltava suurikokoinen, jolloin myös alkuinvestointien on oltava merkittäviä.

#### 5.1.4 Käsittely uusiopolttoainelaitteistossa

Muovijätteen materiaalikierrätys nojaa käytettävissä olevan raaka-aineen puhtauteen. Kun käytettävissä on riittävän puhdasta raaka-ainetta, vaikuttaa muovin materiaalikierrätys olevan taloudellisesti kannattavinta. Mikäli käytössä oleva muovijäte on heterogeenista, sekoittuneena muihin jätevirtoihin tai erityisen likaista, päätyy se useimmiten energiahyötykäyttöön suurissa jätteenpolto- tai rinnakkaispolttolaitoksissa. Tarkastelussa oleva uusiopolttoainelaitteisto on mahdollista rakentaa hyötytehokkaasti alle yhden megawatin teholuokassa. Tämän taustalla on pyrolyysiprosessissa syntyvien kaasujen kaasutusta ja polttoa merkittävästi pienempi määrä (Scheirs 1998), minkä ansiosta heterogeenista muovijätettä, kuten pakkausjätteet, yhdyskuntajätteen muovijäe tai teollisuuden sekalaiset muovijätteet, energiaksi korkealla hyötysuhteella hyödyntävä laitteisto voi olla mahdollista toteuttaa polttolaitosta merkittävästi pienemmällä alkuinvestoinnilla, joskin alkuinvestoinnit ovat pyrolyysilaitteistojen tapauksessa usein suhteellisesti suurempia. Pienen mittakaavan laitteisto olisi mahdollista rakentaa polttolaitoksia pienempään tilaan ja lähemmäs jätteen syntypaikkaa, jolloin raaka-aineen kuljetusmatkat ja niiden aiheuttamat kustannukset vähenevät.

### 5.2 Sääntelyn näkökulma

Tässä alaluvussa tarkastellaan muovin materiaali- ja energiahyödyntämiseen vaikuttavaa sääntelyä verrattuna muovin käyttöön uusiopolttoainelaitteistossa. Sääntelyä tarkastellaan materiaali- ja energiahyödyntämisen näkökulmista.

#### 5.2.1 Muovin materiaalikierrätys

Suomen jätelaki määrittelee muovin kierrätyksen olevan sellaista toimintaa, jossa jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen; jätteen kierrätyksenä ei puolestaan pidetä jätteen hyödyntämistä energiana eikä jätteen

valmistamista polttoaineeksi tai maantäyttöön käytettäväksi aineeksi (Jätelaki 646/2011). Käytettäessä kierrätysmuovia muuhun tarkoitukseen, kuin lääketieteellisiin käyttökohteisiin tai elintarvikekontaktimuovin materiaaliksi, ei Suomen lainsäädäntö aseta juurikaan vaatimuksia materiaalikierrätykselle tai siitä raportoinnille yksittäisen liiketoiminnanharjoittajan näkökulmasta.

### 5.2.2 Muovin energiahyödyntäminen

Muovijätteen energiahyödyntämiselle muun jätteen ohella on puolestaan asetettu tarkkoja säädöksiä, mikä osaltaan hankaloittaa pienen mittakaavan polttolaitosten laatimista. Muovijätteen pyrolysointi katsotaan jätteenpoltoksi, mikäli pyrolyysiprosessin lopputuotteet hyödynnetään samassa laitoksessa energiana, eikä raaka-aineesta oteta erikseen kemikaaleja tai tuotteita talteen materiaalina. Lainsäädännöllisten reunaehtojen tarkastelun perusteella uusiopolttoainelaitteiston toiminta tulkittaisiin muovijätteen kierrätykseksi, jos kaasutusprosessista saadaan talteen kemikaaleja, jotka ohjattaisiin materiaalihyötykäyttöön.

## 5.3 Ympäristön näkökulma

Tässä alaluvussa vertaillaan muovijätteen nykyisiä hyötykäyttökohteita sekä hyödyntämistä uusiopolttoainelaitteistossa ympäristön näkökulmasta. Hyödyntämistä tarkastellaan materiaalikierrätyksen ja energiahyödyntämisen kannoilta.

### 5.3.1 Muovin materiaalikierrätys

Muovin valmistus öljystä ja maakaasusta vaatii noin 20 gigajoulea energiaa muovitonnia kohden. Tuuli Myllymaan ym. tutkimus vuonna 2008 vertaili neitseellisen muovin valmistusta korvaavaa käsittelyketjua, jossa tasalaatuinen jätemuovi murskataan ja granuloidaan, minkä jälkeen se käytetään viemäriputken valmistuksen raaka-aineena. Tutkimuksessa todettiin, että huolimatta menetelmän korkeasta energiankulutuksesta,

saavutetaan sillä noin 1750 kg CO<sub>2</sub>e päästösäästöt muovitonnia kohden neitseellisen muovin valmistukseen verrattuna. (Myllymaa ym. 2008.)

Kierrätettäessä muovi materiaalina vältytään muovin polttamiselta, jolloin materiaalin sisältämä hiili ei päädy ilmakehään. Huolimatta siitä, että uusiopolttoainelaitteistolla voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, voidaan muovin materiaalikierrätyksen arvioida olevan ilmaston ja ympäristön kannalta tehokkain hyödyntämiskeino.

### 5.3.2 Muovin energiahyödyntäminen

Energiajätteen, ja siitä etenkin muovijakeen tilavuus on painoon nähden suuri. Jätteiden kuljetus keskitettyihin polttolaitoksiin muodostaa merkittävän osan jätehuollon kasvihuonekaasupäästöistä. Jätteiden käsittelypaikkojen keskittäminen yhä harvempiin ja suurempiin laitoksiin kasvattaa kuljetusmatkoja ja siten kuljetuksista aiheutuvia päästöjä. (Pipatti, ym. 1996.)

Uusiopolttoainelaitteiston suunnitteilla oleva neljäs kehityspolvi pohjautuu uuteen reaktorityyppiin, jonka toiminnasta aiheutuvia päästöjä käytettäessä sekalaista muovijätettä ei vielä tunneta tarkkaan. Kirjallisuuskatsauksen perusteella on laitteiston avulla mahdollista korvata valtakunnan tehoreservissä olevien voimalaitosten käyttämiä fossiilisia polttoaineita, ja täten saavuttaa hiilidioksidipäästösäästöjä. Laitteistolla vaikuttaa olevan mahdollista myös saavuttaa suoraan energiapolttoon suurissa voimalaitoksissa rinnastettavat pakokaasujen haitta-ainepitoisuudet huomattavasti pienemmässä laitosmittakaavassa kustannustehokkaasti. Lähelle jätteen syntypaikkaa rakennettavalla laitteistolla voidaan välttää raaka-aineiden kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä, jotka vaikuttavat jätteiden käsittelyn kokonaispäästöihin verrattuna suuren mittakaavan energiapolttoon.

## 6 KUMIJÄTTEEN NYKYINEN HYÖTYKÄYTTÖ JA UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTO

Kumijätteen eri jakeista eniten jalostettavilla rengasrouheella ja -granulaatilla on tyypillisesti korvattu luonnon kiviainesta maarakentamisessa. Kierrätysrengasmateriaaleille ei vielä ole kansainvälisesti hyväksytyjä geoteknisiä mitoitusperusteita, minkä vuoksi materiaaleja on käytetty lähinnä yksinkertaisiin käyttökohteisiin.

### 6.1 Kannattavuuden näkökulma

Kumin materiaalikierrätys takaisin kumin raaka-aineeksi edellyttää devulkanointia. Kaupallisessa mittakaavassa toimivia rengaskumin devulkanointimenetelmiä on olemassa vain muutamia, joista potentiaalisimmaksi on osoittautunut ultraääniaaltoihin perustuva devulkanointiteknologia. Ultraääneen perustuva menetelmä ei tosin ole vielä kehittynyt rengasjätteen kierrätykseen soveltuvaksi teollisessa mittakaavassa. (Mattila 2015.)

Rengasjätettä kyetään hyödyntämään sellaisenaan verraten vähän, ja kierrätettävyyden tehostaminen vaatii rengaskumin hienontamista. Rengasjätteen kierrätysprosessoinnin kustannukset koostuvat suurimmalta osalta rengasjätteen hienontamislaitteistojen energiankulutuksesta. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että energiankulutus ja sen myötä kustannukset kasvavat tuotetun kumipartikkelin koon pienentyessä. (Mattila 2015.)

Energiankulutusta voidaan kompensoida laitteiston kokoa kasvattamalla, jolloin kertainvestointikustannukset kasvavat, ja rengasjätteen kuljetusetäisyyksien aiheuttamat kustannukset nousevat. Suuremman käsittelylaitoksen myötä myös tuotetun kierrätysrengasmateriaalin tai -tuotteen volyyymi kasvaa, eivätkä tuotanto ja kysyntä enää välttämättä kohtaa. Uusiopolttoainelaitteisto ei kykene hyödyntämään esikäsittelemätöntä rengasjätettä tai -romua, mutta laitteiston asettamat ehdot raaka-aineen partikkelikoolle (enintään 20 x 20 mm) ovat useita

hyötykäyttökohteita matalampia, mikä vaikuttaa sekä raaka-aineen hintaan että investointikustannuksiin.

Vuosien 2014 - 2016 aikana vastaanotetusta rengasjätteestä ohjattiin materiaalihyötykäyttöön noin 60 %, noin 1,4 % pinnoitettiin uudelleen, noin 17 % hyödynnettiin energiana, ja noin 0,4 % päätyi vientiin (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016). Hyötykäyttökohteiden suhteelliset määrät antavat suuntaa markkinoilla vallitsevasta rengasjätteen kierrätystuotteiden kysynnästä ja materiaalikierrätyksen kannattavuudesta. Suomessa on työn laatimishetkellä valmisteilla rengasjätettä pyrolyysiöljyksi käsittelevä laitos, mikä puoltaa väittämää uusien hyötykäyttökohteiden tarpeesta Suomessa.

## 6.2 Sääntelyn näkökulma

Selvityksen perusteella rengasjätteestä valmistetuille kierrätysmateriaaleille on haettava aina hankekohtainen ympäristölupa, eikä rengasrouhetta saa käyttää pohjavesialueilla. Käytöstä poistettujen renkaiden ja niistä jalostettujen uusiomateriaalien jätetestaus myös rajaa renkaiden materiaalihyötykäyttöä, mikäli kierrätystuote ei täytä ominaisuuksiltaan materiaalistandardia CEN/TC 366. Standardi ei ota kantaa kierrätyskumin kemialliseen koostumukseen tai kemiallisiin ominaisuuksiin. Standardi määrittelee laboratoriotestausmenetelmän, -ympäristön ja työkalut, joiden avulla voidaan määrittellä kierrätyskumin tyyppi sekä sen sisältämien teräs- ja tekstiilimateriaalien sekä muiden epäpuhtauksien suhteelliset määrät.

## 6.3 Ympäristön näkökulma

Rengasjätteestä valmistetut kierrätysmateriaalit ovat ominaisuuksiltaan hyvin inerttejä. Ne hajoavat luonnossa hitaasti, vapauttavat marginaalisia määriä epäpuhtauksia ympäristöön, ja niitä käytetään usein maarakentamisessa. Rengasjätteen muiden kierrätyskohteiden kysyntämäärät ovat rajallisia sekä hajallaan. Rengasjätteen materiaalihyötykäytön ympäristövaikutuksissa siis korostuvat materiaalin



kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Nocart RFP-laitteistolla käsittelemällä tuotetaan renkaista sähköä ja lämpöä, jolloin toiminnasta aiheutuvat päästöt eivät ole suoraan verrannollisia keskenään. Laitteiston ympäristövaikutuksia verratessa tulee kuitenkin samoin kiinnittää huomiota jätteen kuljetusetäisyyksiin – etäisyyksiä on mahdollista lyhentää muihin hyötykäyttökohteisiin nähden, sillä laitteisto voidaan rakentaa rengasjätteiden keräyspisteiden tai esikäsittelylaitosten tuntumaan siinä, missä maarakennuskohteiden sijainnit vaihtelevat hankkeesta riippuen.

## 7 UUSIOPOLTTOAINELAITTEISTON HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET

Sekä sekalaisen muovijätteen että rengasjätteen syntymäärät ovat Suomessa kasvussa. EU:n ja Suomen valtion kiristyvän lainsäädännön sekä ilmastomuutoksen ympäristökuorman tuomat paineet ohjaavat markkinoita kehittämään uusia ratkaisuja jätteiden käsittelemiseksi. Sekä kierrätysmuoville että kumista valmistetuille kierrätystuotteille on olemassa, ja kehitetään jatkuvasti uusia käyttökohteita. Kierrätystuotteiden matalan kysynnän sekä hajautetun energiantuotannon ja sähkön tuotannonvaihtelun kasvun vuoksi on Suomessa tunnistettavissa markkinat uusiopolttoainelaitteiston lopputuotteille. Jätteiden kierrätyksen etusijajärjestyksen mukaan olisi jätteiden primääristä ja sekundääristä kierrätystä kuitenkin suositettava ennen uusiopolttoainelaitteiston prosessin edustamaa tertiääristä kierrätysmenetelmää.

Tertiääristä raaka-ainekierrätystä on tutkittu paljon. Raaka-ainekierrätyksen on usein mainittu olevan lupaava keino kierrätyksen tehostamiseksi lähitulevaisuudessa. Kuitenkin muiden raaka-ainekierrätysmenetelmien ohella pyrolyysitekniikan käyttö ollut vielä vähäistä samalla, kun mekaanisen kierrätyksen tekniikoiden käyttö on kasvanut tasaisesti. Euroopan tasolla raaka-ainekierrätykseen päätyy vain noin 2 % syntyvästä muovijätteestä. (Punkkinen, ym. 2011.)

Etenkin muovin raaka-ainekierrätyksen vähäisyys selittyy työssä selvinneillä raaka-aineiden vaatimuksilla, jotka asettavat teknisiä ja taloudellisia haasteita kannattavalle hyötykäytölle. Pyrolyysitekniikan osalta huomioitava seikka on kuitenkin Suomessa ja muualla maailmassa olemassa olevien, kaupallisessa mittakaavassa toimivien laitteistojen puute teknologian runsaasta tutkimuksesta huolimatta.

### 7.1 Taloudellinen kilpailukyky

Selvityksen perusteella uusiopolttoainelaitteisto vaikuttaa taloudellisesti kannattavimmalta silloin, kun saatavilla on edullista, sekalaista jätettä, joka

sisältää vähintään 30 - 50 % valtamuoveja, muttei lainkaan PVC-muovia. Laitteisto tulisi rakentaa pienessä mittakaavassa lähelle jätteiden syntypaikkaa, jolloin vältetään jätteen kuljetuksesta aiheutuneita päästöjä ja kustannuksia. Rengasjätteen tapauksessa uusiopolttoainelaitteisto vaikuttaa kilpailukykyiseltä vaihtoehdolta silloin, kun jätteen keräys- tai esikäsittelypaikan läheisyydessä ei ennalta ole riittävää kysyntää rengasjätteestä valmistetuille kierrätystuotteille. Kummankin jätelajin tapauksessa vaikuttaa vaihtoehtoinen käsittelymenetelmä kannattavimmalta silloin, kun jätteenkäsittelyä tulisi harjoittaa teollisen mittakaavan jätteenpoltto- ja kierrätyslaitteistoja merkittävästi pienemmässä mittakaavassa. Laitteiston taloudellista kannattavuutta parantaisi erityisesti sähköenergiaa huomattavasti kannattavamman lämpöenergian myynti kaukolämpöverkkoon.

Tarkempia arvioita laitteiston taloudellisesta kannattavuudesta tulisi muodostaa tekemällä kohdennettuja ja tarkkaan rajattuja business case - tutkimuksia yksittäisten materiaalivirtojen uudelleen ohjaamisesta hyödynnettäväksi uusiopolttoainelaitteistossa. Potentiaalinen tarkastelukohde voisi olla esimerkiksi heterogeenisen muovijätteen tai rengasjätteen tuonti ulkomailta, kuten esimerkiksi Venäjältä, käsiteltäväksi uusiopolttoainelaitteistossa.

## 7.2 Sääntelyn soveltuvuus uusiopolttoainelaitteistoon

Lainsäädäntö sekä energiaa tuottavan että materiaalia kierrättävän laitteiston osalta on sekavaa ja ei tällä hetkellä vaikuta tunnistavan riittävässä määrin uusia kiertotaloutta toteuttavia ratkaisuja. Suomen ajantasainen lainsäädäntö on sellaisenaan kuitenkin sovellettavissa uusiopolttoainelaitteiston kaltaisen jätteenkäsittely- ja energiantuotantolaitoksen toimintaan. Selvityksen perusteella vaikuttaa, että kaupallisen mittakaavan laitteiston lainsäädännöllinen taakka osoittautuu olemassa olevia muovi- ja rengasjätteen kierrätysmenetelmiä raskaammaksi. Mahdollinen pilottilaitteisto on mahdollista toteuttaa koeluonteisen toiminnan luvalla, jonka avulla voitaisiin tutkia laitteiston,

raaka-aineiden, lopputuotteiden, palokaasujen ja itse prosessin ominaisuuksia keveämmällä lainsäädännöllisellä taakalla.

Uuteen teknologiaan perustuvaa pilottilaitosta voidaan ympäristönsuojelulain nojalla alkaa rakentaa koetoimintaluvalla, sillä pilottilaitos on suunniteltu rakentaa juuri lain tarkoittamaan tutkimus- ja kehityskäyttöön. Ympäristönsuojelulain mukaan koeluonteisessa toiminnassa voidaan käyttää raaka-aineena jätettä korkeintaan 3 tonnia tunnissa, ja vaarallisia jätteitä korkeintaan 10 tonnia vuorokaudessa.

### 7.3 Ympäristövaikutukset

Uuden, vaihtoehtoisen jätteenkäsittelylaitteiston ympäristövaikutusten ennakoiminen on pilottilaitoksen puuttuessa vielä haastavaa. Jätteiden etusijajärjestyksen perusteella jätevirtojen materiaalihyötykäyttö on ympäristön kannalta suotuisampaa jätteiden energiahyötykäytön sijaan. Laitteiston prosessin välituotteiden varastoitavuuden ansiosta kuitenkin energiantuotannon suhteelliset päästövaikutukset voivat olla jatkuvaa ja tasaista energiantuotantoa matalampia ja prosessista on mahdollista ottaa talteen sivutuotteita hyödynnettäväksi materiaalina ja kemikaaleina.

Mahdollisessa pilottilaitteistossa olisi ympäristövaikutusten tutkimuksen kannalta olennaista keskittyä prosessissa syntyvien hiilidioksidipäästöjen ja raaka-aineiden kuljetusetäisyyksien päästöjen suhteeseen. Tärkeää olisi myös vertailla laitteiston päästöjen suhdetta olemassa olevien kierrätysmenetelmien päästöihin sovellettavissa olevien päästökertoimien puutteen vuoksi. Tutkimuksissa voitaisiin tarkastella eri raaka-aineiden materiaaliominaisuuksien vaikutuksia pyrolyysiprosessissa syntyvien fraktioiden soveltuvuuteen materiaalihyötykäyttöön, jolloin esimerkiksi kemianteollisuudessa tai liikennepolttoaineen tuotannossa voitaisiin korvata fossiilisten raaka-aineiden käyttöä ja täten merkittävästi vähentää laitteiston toiminnasta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Esimerkiksi laivaliikenteessä kiristyvät rikkipäästörajat pakottavat laivanvarustamoita etsimään uusia ratkaisuja laivan moottoreille, ja muovipyrolyysiöljyn on tutkittu sisältävän fossiilista polttoöljyä merkittävästi vähemmän rikkiä.

## 8 YHTEENVETO

Nocart RFP-laitteisto vaikuttaa kirjallisuusselvityksen perusteella kilpailukykyiseltä sekalaisen muovijätteen sekä kohtalaisen suuren palakoon rengasrouheen hyötykäyttömenetelmältä. Muovi- ja rengasjätteiden kierrätystuotteet kärsivät Suomessa vielä matalasta kysynnästä, minkä vuoksi niiden taloudellinen kannattavuus on rajallista. Jätteiden syntymäärien ja hyötykäyttömäärien epätasapainon vuoksi uusiopolttoainelaitteisto osoittaa merkkejä lupaavasta uudesta vaihtoehtoisesta jätteiden käsittelymenetelmästä, joka auttaisi vastaamaan orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon asettamiin haasteisiin.

Uusiopolttoainelaitteisto vaikuttaa taloudellisesti kannattavimmalta ratkaisulta niissä tapauksissa, kun muovi- tai rengasjätteen syntypaikan läheisyydessä ei jätevirralle ole puhtaus- tai kysyntäongelmien vuoksi ennalta saatavilla taloudellisesti kannattavaa materiaalkierrätyskohdetta. Suomen edullinen sähkön hinta muodostaa haasteen Nocart Renewable Fuel Plant -laitoskonseptin kannattavuudelle. Tämän vuoksi erityistä huomiota tulisi kiinnittää pilottilaitteiston prosessissa syntyvän lämmön talteenottoon ja myyntiin kaukolämpöverkkoon, sekä kaupallisen mittakaavan laitteiston sijaintiin. Suomen lainsäädäntö mahdollistaa periaatteessa uusiopolttoainelaitteiston rakentamisen ja toiminnan olemassa olevien jätteiden käsittelymenetelmien sääntelyyn rinnastettuna kohtalaisella lainsäädännöllisellä taakalla. Sovellettava sääntely on Nocartin laitteistotyypin tapauksessa kuitenkin kohtalaisen hankalasti tulkittavaa, mikä hankaloittaa laitosten rakentamista kaupallisessa mittakaavassa.

Laitteistokonseptin skaalatuveduuden ja teknologian kehitysnäkymien vuoksi suunnitteilla olevan pilottilaitteiston mahdollistamat tarkemmat tutkimukset ovat perusteltuja laitoksenkonseptin taloudellisen kannattavuuden validoimiseksi. Pilottilaitteistolla osoitetut lupaavat tulokset voisivat osaltaan vaikuttaa lainsäätäjän suhtautumiseen uusiopolttoainelaitteiston lisäksi myös muita uusia teknologioita kohtaan.

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Recycling Manager, Wipak Group. 2017.  
Asiantuntijahaastattelu 18.8.2017.

Aaltonen, L. 2014. Teknisten muovien kierrätys. Diplomityö. Tampere:  
Tampereen teknillinen yliopisto.

Ala-Heikkilä, M. 2016. Uusi laitos Nokialle: nyt autonrenkaat pystytään  
hyödyntämään uudelleen. Aamulehti [viitattu 27.8.2017]. Tampere: Alma  
Media. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/kotimaa/uusi-laitos-nokialle-nyt-autonrenkaat-pystytaan-hyodyntamaan-uudelleen-24046079/>

Aurinko, H. 2012. Selvitys rengasrouheen käyttömahdollisuuksista rata- ja  
tierakenteissa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 42/2012.  
Helsinki: Liikennevirasto.

Energiamarkkinavirasto 2017. Sähköenergian ja siirron hinnan kehitys.  
Energiamarkkinavirasto [viitattu 26.8.2017]. Saatavissa:  
<https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Energiateollisuus ry 2017. Ilmastonmuutoksen hillintä ohjaa  
energiantuotantoa. Energiateollisuus ry [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa:  
[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto)

Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. & Dahlbo, H. 2016. Muovien  
kierrätyksen tilanne ja haasteet. Helsinki: CLIC Innovation.

Euroopan komissio 2011. Plastic waste in the environment. Belgia:  
Euroopan Komissio [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa:  
<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf>

Euroopan komissio 2015. Kiertotalouspaketti: Kysymyksiä ja vastauksia -  
taustatiedote. Belgia: Euroopan Komissio [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa:  
[http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-15-6204\\_fi.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_fi.htm)

Ewan, S. 2017. European Tyre Recycling Conference – The Circular  
Economy. Tyre & Rubber Recycling Magazine 2/2017 [viitattu 2.8.2017].

Saatavissa: <http://origin.misc.pagesuite.com/pdfdownload/f879e273-271e-4b7d-a764-f243fb10e3a5.pdf>

Itä-Suomen Aluehallintovirasto 2012. Joensuun voimalaitoksen, pyrolyysilaitoksen, kaatopaikan ja lämpökeskuksen ympäristölupa sekä pyrolyysilaitoksen toiminnanaloittamislupa, Joensuu. Päätös 13/2012/1. Joensuu: Itä-Suomen Aluehallintovirasto.

Jaakola, P. 1997. Rengaskierrätys Oulussa 1996. Oulu: Oulun kaupungin ympäristövirasto.

Jouzaladeh, M. H. 2008. Using Scrap Tires in EAFs as a substitute for carbon [viitattu 27.8]. International Journal of ISSI, Vol.5, No.1.

Saatavissa: [http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/103520080106.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/103520080106.pdf)

Järvelä, Pentti & Järvelä, Pirkko. 2015. Teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö. Lahti: Ympäristöministeriö.

Jätelaki 646/2011. Suomen laki [viitattu 4.8.2017]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi>

Kaasinen, J., Technical Director, Nocart Oy. 2017. Asiantuntijahaastattelu 4.8.2017.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Suomen laki [viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>

Mattila, S. Käytöstä poistetun renkaan kierrätettävyyden tehostaminen kumin partikkelikokoa pienentämällä. Diplomityö. 2015. Helsinki: Aalto-yliopiston Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos.

Merta, E., Mroueh, U.-M., Meinander, M., Punkkinen, H., Vähä-Nissi, M. & Kortet, S. 2012. Muovipakkausten kierrätyksen edistäminen Suomessa. TEM raportteja 11/2012.

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton

ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.

Nokian Renkaat Oy 2017. Renkaan tuotantoprosessi [viitattu 31.7.2017].

Saatavissa:

<https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/renkaan-tuotantoprosessi/>

Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I.

1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus

kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Julkaisuja 811. Espoo: VTT.

Pirkanmaan ELY-keskus 2017. Renkaiden tuottajavastuu.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu [viitattu 1.8.2017]. Saatavissa:

[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Jatteet\\_ja\\_jatehuolto/Tuottajavastuu/Renkaat](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteet_ja_jatehuolto/Tuottajavastuu/Renkaat)

Punkkinen, H., Teerioja, N., Merta, E., Moliis, K., Mroueh, U. & Ollikainen,

M. 2011. Pyrolyysin potentiaali jätemuovin käsittelymenetelmänä. VTT

Working Papers 176. VTT.

Qvartz 2016. Emergence of hybrid renewable energy systems [viitattu

19.1.17]. Qvartz Ltd. Saatavissa: [http://qvartz.com/wp-](http://qvartz.com/wp-content/uploads/Emergence-of-hybrid.pdf)

[content/uploads/Emergence-of-hybrid.pdf](http://qvartz.com/wp-content/uploads/Emergence-of-hybrid.pdf)

Ranta, J. 1999. Autonpaloittelujätteen ja rengasromun terminen konversio

energiaksi ja raaka-aineeksi. VTT tiedotteita 1960. Espoo: VTT.

Salmenperä, H., Moliis, K. & Nevala, S. 2015. Jättemäärien ennakointi

vuoteen 2030. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Suomen Rengaskierrätys Oy 2014. Toimiva tuottajavastuu –

rengaskierrätyksen edelläkävijät Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa [viitattu

31.7.2017]. Saatavissa:

[https://www.rengaskierratys.com/files/89/Toimiva\\_tuottajavastuu\\_2014.pdf](https://www.rengaskierratys.com/files/89/Toimiva_tuottajavastuu_2014.pdf)



Suomen Rengaskierrätys Oy 2015a. Rengasrouheen käyttö maarakennuskohteissa – Sovelluskohteet ja tutkimustulokset [viitattu 2.8.2017]. Saatavissa:

[https://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe\\_maarakentamisesa\\_6.2015.pdf](https://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe_maarakentamisesa_6.2015.pdf)

Suomen Rengaskierrätys Oy 2015b. Tilastokatsaus 2015 [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa:

[https://www.rengaskierratys.com/files/341/Edistyksellista\\_Renkaan\\_Kierratysta.pdf](https://www.rengaskierratys.com/files/341/Edistyksellista_Renkaan_Kierratysta.pdf)

Suomen Rengaskierrätys Oy 2016. Käytöstä poistuneiden renkaiden keräys ja hyötykäyttö -tilasto. Kierrätystilastot [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa:

[https://www.rengaskierratys.com/laki\\_ja\\_tilastot/kierratystilastot](https://www.rengaskierratys.com/laki_ja_tilastot/kierratystilastot)

Suomen Uusiomuovi Oy 2017. Kuluttajapakkausten uusi elämä sahapukkina [viitattu 2.8.2017]. Saatavissa:

[http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi\\_kiertaa/yritysesimerkkeja/fortumin\\_kierratys\\_ja\\_jateratkaisut\\_aik\\_ekokem/](http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/yritysesimerkkeja/fortumin_kierratys_ja_jateratkaisut_aik_ekokem/)

Suomen ympäristökeskus SYKE 2016. Materiaalien arvovirrat (ARVI) - tutkimusohjelma. Suomen ympäristökeskus [viitattu 21.6.2017].

Saatavissa: <http://www.syke.fi/hankkeet/arvi>

Teppola, K. 2005. RePlast FinEst-seminaari: Muovin käyttökohteet Suomessa. Esitelmä seminaarissa Lahdessa 16.11.2005. Helsinki: Koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia [viitattu 1.7.2017]. Saatavissa:

[http://www.palmenia.helsinki.fi/replastfinest/ws1/kari\\_teppola.pdf](http://www.palmenia.helsinki.fi/replastfinest/ws1/kari_teppola.pdf)

Tilastokeskus 2013. Suomen virallinen tilasto (SVT): Yhdyskuntajätteet vuonna 2012, tonnia. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 30.6.2017].

Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2012/jate\\_2012\\_2013-11-26\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2012/jate_2012_2013-11-26_tau_001_fi.html)

Turun Teknillinen Yliopisto 2010. Polymeerimateriaalien perusteet osa 3 - luentokalvosarja [viitattu 2.8.2017]. Saatavissa:

<https://www.yumpu.com/fi/document/view/.../polymeerimateriaalien-perusteet-osa-3>

Scheirs, J. 1998. Polymer recycling: science, technology and applications. Englanti: John Wiley & Sons Ltd.

Suomen Tulli 2017. Uljas -tilastotietokanta [viitattu 3.8.2017]. Saatavissa: <http://uljas.tulli.fi/>

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013. Suomen laki [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013. Suomen laki [viitattu 30.7.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>

Valtioneuvoston asetus käytöstä poistettujen renkaiden erilliskeräyksestä ja hyödyntämisestä 527/2013. Suomen laki [viitattu 3.8.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>

WWF 2017. Ylikulutus. WWF Suomi [viitattu 4.8.2017]. Saatavissa: <https://wwf.fi/uhat/ylikulutus/>

Ympäristöministeriö 2014. Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia. Ympäristönsuojeluosaston muistio 19.12.2014 [viitattu 18.8.2017]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BCD7F8935-DBAB-46D0-B606-4DF92D0F82DA%7D/106176>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Suomen laki [viitattu 27.8.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>

## LIITTEET

## LIITE 1. Suomen Rengaskierrätys Oy:n käytöstä poistuneiden renkaiden keräys ja hyötykäyttö vuosina 1996-2016 (Suomen Rengaskierrätys Oy 2016)

Vuosi	Renkaiden vastaanotto	Pinnoitukseen	Materiaalihyötykäyttö	Muu hyötykäyttö	Energia	Vienti	Hyötykäyttö yhteensä
1996	15372	1352	357		3276		4985
1997	26140	2223	13404		4428		20055
1998	27457	1694	16135		299		18128
1999	28064	1673	23052		248		24973
2000	30474	1241	24563		0		25804
2001	30301	953	40268		0		41222
2002	31986	1039	36674		0		37713
2003	36156	1329	29243		6		30578
2004	37240	1144	35262		0		36406
2005	41774	1633	42746		0		44379
2006	44698	1930	30348		0		32278
2007	47259	295	35500		0		35796
2008	48394	471	42881		0		43352
2009	40523	339	40629		0	29	40997
2010	41435	263	40299		0	0	40562
2011	49137	325	45719	3719	1756	524	52043
2012	48343	744	34512	5129	5497	892	46774
2013	50111	719	37771	4102	7710	379	50681
2014	49805	923	33943	4013	9141	272	48292
2015	55453	831	34567	6459	10100	296	52253
2016	53534	495	27613	5963	8495	95	45234
Yht	833655	21616	665486	29385	50956	2487	772505

## LIITE 2. Nocart Oy:n tekninen johtaja Janne Kaasisen asiantuntijahaastattelu 4.8.2017 koskien Renewable Fuel Plant -laitteistoa (Kaasinen 2017)

Janne Kaasinen  
Technical Director  
Nocart Oy  
Lahdessa 4.8.2017

### Miten Renewable Fuel Plant -ratkaisu syntyi?

Itse prosessi ilmenee luonnossa, ja ihminen on käyttänyt sitä eri muodoissa satojen vuosien ajan. Kyseessä on siis orgaanisten tai synteettisten raaka-aineiden lämpökäsittely hapettomissa olosuhteissa. Suomessa pyrolyysia ja sitä muistuttavia prosesseja on käytetty esimerkiksi biohiilen ja polttoaineiden jalostuksessa sekä tervanpoltossa.

Uusiopolttoainelaitos on useamman kehityspolven tulos. Aikaisempien kehitysvaiheiden reaktorit ovat olleet tyypiltään panostyyppisiä, puolijatkuvia ja jatkuvia. Nykyinen laitteisto on hybridiratkaisu, jossa yhdistellään useiden kehitysvaiheiden parhaita puolia. Nocart Oy toimittaa pieni- ja keskikokoisia uusiutuvan energian sähköntuotantoratkaisuja maailmanlaajuisesti, pääasiassa kehittyviin maihin. Tietyissä hankkeissa, joissa sähköntuotantoratkaisu on räätälöity yksilöidysti asiakkaan tarpeisiin, on noussut tarve RFP-laitteiston hyödyntämiselle. Tämä on ollut ajavana voimana laitteiston kehityksessä ja tuotteistuksessa.

### Mitä laitteisto tekee?

Laitteistoa on olemassa kahta eri tyyppiä. Toinen kykenee käsittelemään puupohjaisia, ja toinen synteettisiä raaka-aineita. Tarkasteltavana oleva synteettisille raaka-aineille optimoitu laitteistotyyppi kykenee käsittelemään vaikeasti kierrätettäviä jätelajeja, kuten rengas- ja muovijätteen sekä öljyjätteen ja öljyisiä maa-aineksia. Raaka-aine lämpökäsitellään hapettomissa olosuhteissa, josta syntyy prosessikaasu tislataan lopputuotteiksi. Tuotteet hyödynnetään laitoksen yhteydessä prosessin ylläpitämiseen sekä sähkön- ja lämmöntuotantoon. Laitoksen lopputuotteena syntyy sähköä ja lämpöä, sekä muita hyödynnettäviä materiaalivirtoja. Tarvittaessa laitteistoa on mahdollista käyttää myös säätövoimana.

### Onko laitteiston raaka-aineille rajoitteita?

Laitteistolla ei käsitellä esimerkiksi PVC-muovia sen sisältämän kloorin korrosoivan sekä ympäristölle haitallisen luonteen vuoksi. Laitteiston on testattu kykenevän käsittelemään prosessin häiriintymättä raaka-ainetta, josta 5-7 painoprosenttia on epäpuhtauksia. Arvioin prosessin toimivan kuitenkin raaka-aineella, joka sisältää jopa 30 painoprosenttia epäpuhtauksia. Muilta osin laitteisto kykenee hybridirakenteensa ansiosta käsittelemään sekalaista muovi- ja rengasjätettä samanaikaisesti. Raaka-aineiden osalta tullaan tekemään lisätutkimuksia suunnitteilla olevassa koelaitoksessa.

LIITE 3. Wipak Groupin kierrätyspäällikkö Kari Aaltosen  
 asiantuntijahaastattelu 18.8.2017 koskien muovin kierrätystä (Aaltonen  
 2017)

## Puhelinhaastattelu

Kari Aaltonen  
 Recycling Manager, Wipak Group  
 Wipak Oy  
 Lahdessa 18.8.2017

### Minkä kokoisia ovat muovien kierrätyslaitosten investointikustannukset?

Esimerkiksi modernin ja käyttäjäystävällisen laitteiston, joka kierrättää 300-500 kg muovijätettä tunnissa uusiogranulaatiksi, voidaan arvioida maksavan noin 500 000 euroa. Laitteiston energiankulutus vaihtelee, mutta hihvakiona voidaan laitteiston arvioida kuluttavan noin 0,3 kWh energiaa (sähkö- ja jäähdytysenergia) käsiteltyä kilogrammaa kohden.

### Minkälaisia lainsäädännöllisiä rajoitteita liittyy muovin kierrätykseen?

Lainsäädännölliset rajoitteet riippuvat muovin kierrätyskohteesta. Esimerkiksi elintarvikekontaktimuoveja sekä lääketieteen- ja terveydenhuoltokohteissa käytettäviä mjuoveja koskevat tarkat säännökset edellyttävät usein tarkkaa jäljitettävyyttä sekä todistuksia raaka-aineen sisältämistä kemikaaleista ja epäpuhtauksista. Mikäli kierrätysmuovia käytetään puolestaan tavanomaisempiin käyttökohteisiin, ei lainsäädännöllisiä rasitteita useimmiten juurikaan ole.

### Minkä luonnehtisit olevan muovin kierrätyksen suurin haaste materiaaliominaisuuksien näkökulmasta?

Muovia kierrätettäessä uusiogranulaatiksi on raaka-aineen homogeenisuudella suuri vaikutus granulointiprosessin tehokkuuteen. Laitteistoa, jolle syötetään monomateriaalia, voidaan ajaa korkealla kapasiteetilla erityisesti, jos materiaali soveltuu korkeanopeuksiseen prosessointiin. Mikäli raaka-aine puolestaan sisältää useita eri muovilaatuja, voi käsittely hidastua merkittävästi muovien yhteensopivuusongelmien vuoksi. Jotkin materiaalit ja niiden yhdistelmät vaativat rauhallisemman prosessoinnin, jotta ne eivät menetä ominaisuuksiaan esimerkiksi polymeeriketjujen pilkkoutumisen seurauksena.

Muovilaatujen yhteensopivuutta voidaan parantaa erilaisin menetelmin ja lisäainein. Menetelmiä sekä lisäaineita koskevat teknologiat ovat ottaneet suuria harppauksia eteenpäin viime aikoina. Tästä huolimatta raaka-aineen heterogeenisuus luo haasteita muovin kierrätykselle etenkin, jos eri muovilaadut ovat vaikeasti eroteltavissa. Esimerkiksi monikerroskalvomuovien erottaminen toisistaan on osoittautunut teknisesti hyvin haastavaksi. Erotukseen on olemassa teknologiaa ja pilottilaitoksia, mahdollisesti jopa tuotantomittakaavassa.

## LIITE 4. Energiamarkkinaviraston sähköenergian ja siirron hinnan kehitys - tilasto. Editoitu – tilastosta poistettu muut, kuin tarkasteltavana oleva aikajakso (Energiamarkkinavirasto 2017)

### Energiamarkkinavirasto

#### SÄHKÖENERGIAN JA SIIRRON HINNAN KEHITYS

Oheisissa taulukoissa on esitetty sähkön toimitusvelvollisuushinnan ja siirtohinnan (snt/kWh) koko maan painotettu keskiarvo sekä kulloinkin voimassa olleet verot. Hinnat ja sähköverot (snt/kWh) sisältävät arvonlisäveron, siirtohintoihin ei ole lisätty sähköveroa.

#### Siirtohintana

	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
1.8.2017	8,64	6,81	4,28	3,70	6,29	3,99	4,03	3,50	2,69	2,41

Tyyppikäyttäjien määritteilyt:

<i>K1</i>	<i>Kerrostalohuoneisto, ei sähkökiusta, pääsulake 1x25 A, sähkön käyttö 2 000 kWh/vuosi</i>
<i>K2</i>	<i>Pientalo, sähkökiusta, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 5 000 kWh/vuosi</i>
<i>M1</i>	<i>Maatilatalous, peltonviljely, ei sähkölämmitystä, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 10 000 kWh/vuosi</i>
<i>M2</i>	<i>Maatilatalous, karjatalous, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x35 A, sähkön käyttö 35 000 kWh/vuosi</i>
<i>L1</i>	<i>Pientalo, huonekohtainen sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 18 000 kWh/vuosi</i>
<i>L2</i>	<i>Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/vuosi</i>
<i>T1</i>	<i>Pienteollisuus, sähkön käyttö 150 000 kWh/vuosi, tehontarve 75 kW</i>
<i>T2</i>	<i>Pienteollisuus, sähkön käyttö 600 000 kWh/vuosi, tehontarve 200 kW</i>
<i>T3</i>	<i>Keskisuuri teollisuus, sähkön käyttö 2 000 000 kWh/vuosi, tehontarve 500 kW</i>
<i>T4</i>	<i>Keskisuuri teollisuus, sähkön käyttö 10 000 000 kWh/vuosi, tehontarve 2 500 kW</i>

Tyyppikäyttäjien K1, K2, L1, L2, M1, M2, T1 ja T2 oletetaan liittyneen sähköverkkoon 0,4 kV jännitteellä ja tyyppikäyttäjien T3 ja T4 oletetaan liittyneen sähköverkkoon 20 kV jännitteellä.