

## **Yrityskohtainen tiekartta EU:n päästövähennystavoitteiden täyttämiseksi vuoteen 2030 mennessä**

Sami Selin

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Luonnonvara- ja ympäristöala  
Agrologi (ylempi AMK)  
Biotalouden kehittäminen

Tekijä(t) Selin, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2019
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Yrityskohtainen tiekartta EU:n päästövähennystavoitteiden täyttämiseksi vuoteen 2030 mennessä		
Tutkinto-ohjelma Agrologi (ylempi AMK), Biotalouskehittäminen		
Työn ohjaaja(t) Honkanen, Hannariina & Vesisenaho, Tero		
Toimeksiantaja(t) Meltex Oy Plastics		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ihmiskunta tuottaa toiminnallaan yhä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Euroopan Unioni on asettanut tavoitteeksi vähähiiliseen talouteen siirtymisen vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa 80% vähennystä kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2050 mennessä ja välitavoitteena 40% vähennystä vuoteen 2030 mennessä. Lähtötasona tilastoissa käytetään vuoden 1990 päästöjä. (KOM (2011) 112 lopullinen).</p> <p>Euroopan Unionin alueella teollisuuden prosessit ja tuotteet aiheuttavat suoraan noin 9% kasvihuonekaasupäästöistä. Lisäksi teollisuuden prosessit ja kiinteistöt käyttävät suuren osan alueen energiantuotannosta, jonka osuus kokonaispäästöistä on peräti 75%. (Euroopan parlamentti 2018.)</p> <p>Työssä selvitettiin yksittäisen muovituotetehtaan suurimmat päästölähteet ja etsittiin uusia ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi. Tutkittavaksi tyyppituotteeksi valittiin rotaatiovallettu muovirakenteinen kaivo, joka vastaa ominaisuuksiltaan hyvin tutkittavan tehtaan ja myös muiden alalla toimivien yritysten tyyppillistä tuotetta. Työssä selvitettiin kvalitatiivisella tutkimuksella jo markkinoilla olevien ja yleisesti tunnettujen ratkaisujen käyttökelpoisuutta ja lisäksi erilaisia tulevaisuuden ratkaisuja niin materiaali- kuin valmistustekniikassakin.</p> <p>Tutkimuksen tulosten perusteella laadittiin tiekartta, jonka avulla Euroopan Unionin 40% päästövähennystavoite olisi saavutettavissa yksittäisen tehtaan osalta. Tutkimus suoritettiin Meltex Oy Plastics:n Keuruun tehtaalla, jossa valmistetaan erilaisia kaivotuotteita maanrakennuksen ja vesihuollon tarpeisiin.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Kasvihuonekaasupäästöt, energiatehokkuus, rotaatiovalu		
Muut tiedot ( <a href="#">salassa pidettävät liitteet</a> )		

Author(s) Selin, Sami	Type of publication Master's thesis	Date April 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: x
Title of publication Company-specific roadmap for achieving EU's objective of reducing greenhouse gases by 2030		
Degree programme Master of Natural Resources, Bioeconomy Development		
Supervisor(s) Honkanen, Hannariina & Vesisenaho, Tero		
Assigned by Meltex Oy Plastics		
Abstract  <p>Humanity is producing more and more greenhouse gases, that cause global warming. The European Union aims at moving to a low-carbon economy by 2050. This means 80% reduction in greenhouse gas emissions by 2050 and 40% reducing by 2030. The comparison year is 1990. (KOM (2011) 112 lopullinen).</p> <p>The industrial processes and products in the European Union produce directly around 9% of greenhouse gases. Additionally, industrial processes and facilities use a huge portion of energy production that causes 75% of the total amount of greenhouse gases in the EU. (Euroopan parlamentti 2018.)</p> <p>The aim of this study was to find the biggest emission sources and new solutions to reduce them in a single factory that manufactures plastic products. The study was made from a product, that is very typical for rotational molding companies. This qualitative study investigated the usability of the well-known solutions that are already on the market and also future solutions in material and manufacturing processes.</p> <p>As result of the study a roadmap was designed to guide the company to achieve the EU's objective to reduce greenhouse gases 40%. The study was made for the factory of Meltex Oy Plastics in Keuruu. The factory manufactures different kind of wells for earthmoving companies and water works.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Greenhouse gas emissions, energy efficiency, rotational moulding		
Miscellaneous ( <a href="#">Confidential information</a> )		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Kasvihuonekaasupäästöjen lähteet .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Opinnäytetyön tavoite ja tutkimusmenetelmät.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Tuotantoprosessin nykytilanteen kuvaus .....</b>	<b>12</b>
	4.1 Tuote.....	12
	4.2 Raaka-aine .....	13
	4.3 Tuotteen valmistus .....	14
	4.3.1 Rotaatiovaluprosessi .....	14
	4.3.2 Rotaatiovalukone.....	15
	4.4 Tuotantotilat.....	16
<b>5</b>	<b>Tutkimuksen toteutus.....</b>	<b>18</b>
	5.1 Tuotteen optimoiminen .....	18
	5.1.1 Kestävä tuotesuunnittelu .....	18
	5.1.2 Rotaatiovalukappaleen seinämän ja lujuuden optimoiminen .....	21
	5.2 Ekologisemmat raaka-aineet.....	23
	5.2.1 Polyeteeni .....	23
	5.2.2 Biomuovit.....	25
	5.2.3 Ligniini.....	28
	5.2.4 Kierrätysmateriaalit .....	29
	5.3 Tuotteen valmistuksen optimoiminen .....	30
	5.4 Tuotantotilan energiankulutuksen vähentäminen .....	34

<b>6 Tulokset .....</b>	<b>36</b>
<b>7 Pohdinta.....</b>	<b>39</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>43</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>46</b>
Liite 1. Hiilijalanjäljen laskentataulukko.....	46
Liite 2. Roadmap.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

## **Kuviot**

Kuvio 1. EU:n omien kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen 80%:lla (1990=100%) (Komission tiedonanto KOM(2011) 112 lopullinen) .....	5
Kuvio 2. Maailman suurimmat kasvihuonekaasujen tuottajat 2012 (Kasvihuonepäästöt EU:ssa ja maailmalla 2018.).....	7
Kuvio 3. Kasvihuonekaasupäästölähteet Suomessa 2017. (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017 2018.) .....	8
Kuvio 4. Energiatehokkuuden jatkuva kehittäminen tehdasympäristössä. (Heikkilä ym. 2008, 28.).....	9
Kuvio 5. Rotaatiovalettu kaivo (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.).....	13
Kuvio 6. Rotaatiovaluprosessi (Rrtech n.d.) .....	15
Kuvio 7. Tuotantohalli satelliittikuvassa. (Google maps 2019.) .....	17
Kuvio 8. Tuotantohalli (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.).....	18
Kuvio 9. Muutoksen hinta tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.) .....	19
Kuvio 10. Seinämävahvuuden vaihtelu. (Ervik 2019.).....	22
Kuvio 11. Vaahtomateriaali. (Poly foam composite moulding n.d.).....	23
Kuvio 12. Green PE. (I'm Green PE n.d.) .....	24
Kuvio 13. Biopohjaisten- ja biohajoavien muovien valmistus maailmassa 2018. (What are bioplastics n.d.) .....	26
Kuvio 14. Maailmanlaajuisen maatalousmaan käyttö käyttökohteittain 2018 (What are bioplastics n.d.) .....	27

Kuvio 15. Lasikuitua sisältävästä kierrätysmateriaalista valmistettu säiliö (Recycling thermoset FRP-waste n.d.).....	30
Kuvio 16. Rotaatiovalukone. (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.).....	31
Kuvio 17. Lämpötilaero uunin ja muotin välillä (Crawford & Kearns 2003, 72.).....	32
Kuvio 18. Automaattinen rotaatiovaluprosessi lämmitettävillä muoteilla. (Wandres 2019.).....	34
Kuvio 19. Aurinkopaneeleita teollisuushallin katolla (Mikael Sjöström 2018.) .....	36
Kuvio 20. Kestävän kehityksen neliapila (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2017.) .....	40

### **Taulukot**

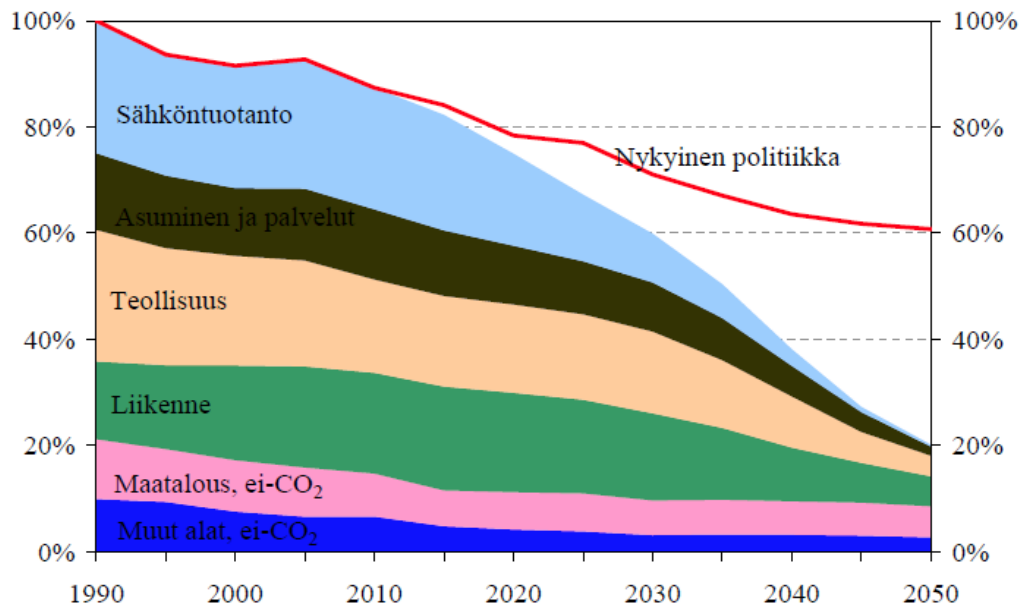
Taulukko 1. Ligniinin sovelluskohteita (Kakko 2015.) .....	29
Taulukko 2. Hiilijalanjäljen pienentäminen eri menetelmillä .....	37
Taulukko 3. Tiekartta.....	39

## 1 Johdanto

Tämän työn tavoite on yrityskohtaisen tiekartan laatiminen EU:n päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi vuoteen 2030 mennessä. Euroopan komissio on julkaissut vuonna 2011 tiekartan vähähiiliseen talouteen siirtymisestä vuoteen 2050 mennessä. Tiekartassa Euroopan unionin kasvihuonekaasupäästöjen tulisi pienentyä 80 % vuoteen 2050 mennessä ja 40 % vuoteen 2030 mennessä. (Ks. Kuvio 1.) Lähtötasona tavoitteissa käytetään vuoden 1990 kasvihuonekaasupäästöjä. (KOM (2011) 112 lopullinen 2011.)

Tiekartalla tarkoitetaan tässä työssä taulukkomuotoon laadittua strategiaa, jonka avulla asetetut tavoitteet on mahdollista saavuttaa asetetussa aikataulussa. Taulukossa on listattuna aloitettavat toimenpiteet vuosittain ja projektien oletetut valmistumisajat.

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka koko 40 % päästövähennystavoite olisi toteutettavissa yksittäisen teollisen tuotantolaitoksen osalta. Tähän työhön on valittu tuotannon prosesseista potentiaalisimpia kehityskohteita, joihin on etsitty uusia toteutusmenetelmiä. Näiden kehityskohteiden perusteella on laadittu tiekartta, kuinka muutokset olisivat toteutettavissa vuoteen 2030 mennessä.



Kuvio 1. EU:n omien kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen 80%:lla (1990=100%) (Komission tiedonanto KOM(2011) 112 lopullinen)

Työn toimeksiantaja Meltex Oy Plastics myy ja valmistaa putkia, kaivotuotteita ja rakennustarvikkeita. Meltexillä on tehtaat viidellä paikkakunnalla Suomessa. Jyväskylässä ja Kuhmoisissa valmistetaan putkea, Keuruulla ja Sipoossa kaivotuotteita sekä Turussa ilmanvaihtokomponentteja. Lisäksi Meltexillä on kahdeksan myymälää.

Tässä työssä selvitettiin Keuruun kaivotuotannon aiheuttamat olennaisimmat kasvihuonekaasupäästölähteet ja etsittiin vaihtoehtoisia materiaaleja ja menetelmiä tuotteiden valmistamiseksi. Vaihtoehtoisten menetelmien löytäminen teolliseen tuotantoon on ensisijaisen tärkeässä roolissa Suomen bio- ja kiertotaloutta kehitettäessä.

Tutkimuksen avulla työn tilaaja tunnistaa tuotannon ja tuotteiden kasvihuonekaasupäästölähteet ja saa uusia vaihtoehtoja päästöjen minimoimiseksi. Lähtökohtaisesti energian- ja materiaalinsäästö tuotannossa parantaa myös yrityksen taloutta ja lisää kilpailukykyä. Suomalaisille päättäjille, yrityksille ja yksityisille resurssitehokkuustietoa tuottava Motiva Oy määrittelee materiaalitehokkuuden näin. ”Materiaalitehokkuus on kilpailukykyisten tuotteiden ja palvelujen aikaansaamista pienenevin materiaalianoksin siten, että haitalliset vaikutukset vähenevät elinkaaren aikana.” (Materiaalitehokkuus n.d.)



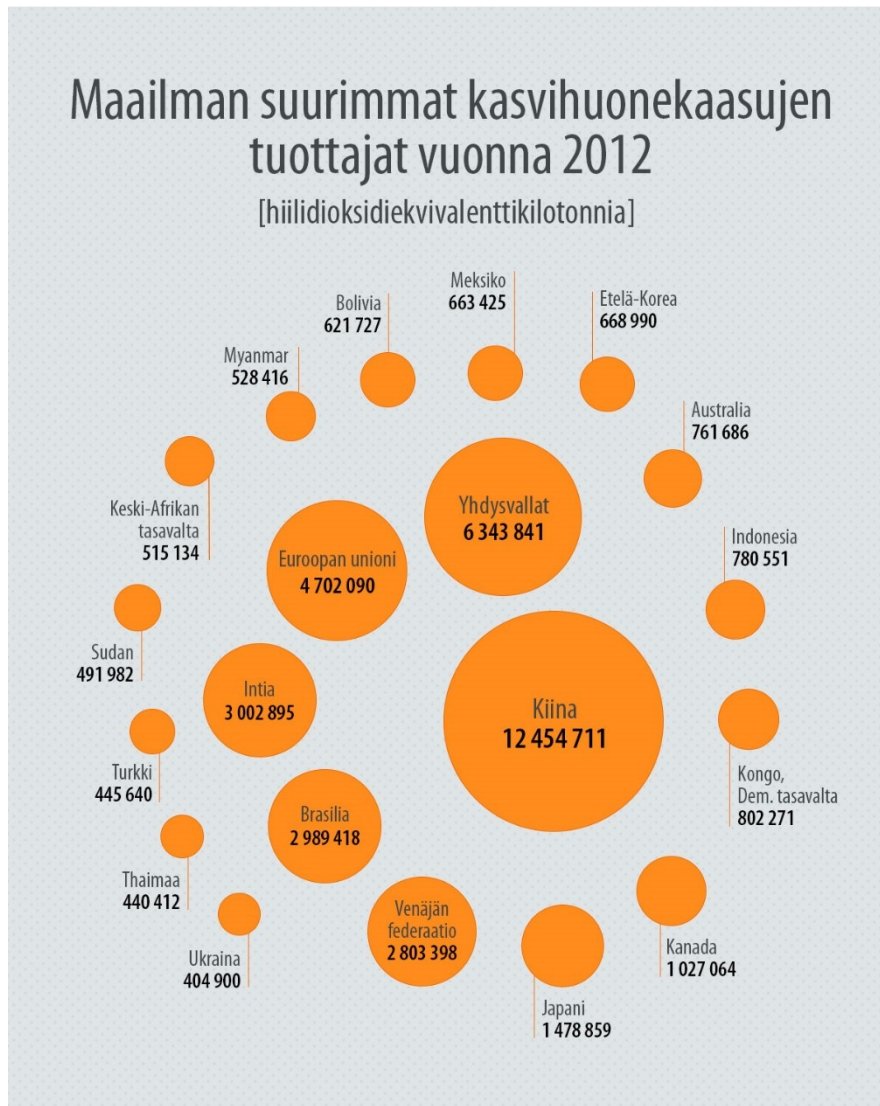
Saatavat tutkimustulokset ovat käytettävissä monissa vastaavanlaisia tuotteita valmistavissa tehtaissa. Opinnäytetyön tulosten perusteella myös muiden yritysten on helpompi tunnistaa omat olennaiset kasvihuonekaasupäästöjen lähteet ja kehityskohteet.

Tutkimuksessa löydettyjä kehittämiskohteita tullaan hyödyntämään Meltex Oy:n tuotantolaitoksella, sekä Keuruulla että mahdollisesti muissa toimipisteissä. Työn tuloksia tullaan hyödyntämään myös ISO 14001 ympäristöjärjestelmässä ja yritysviestinnässä. Tutkimuksen avulla yrityksen kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää huomattavasti. Lisäksi yrityksen kustannustehokkuutta on mahdollista parantaa tehokkaamman materiaalin käytön ja energian säästön myötä.

## 2 Kasvihuonekaasupäästöjen lähteet

Tärkeimpiä ilmakehässä olevia kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni. Näistä vesihöyry, hiilidioksidi ja metaani vaikuttavat kasvihuoneilmistöön. Ihmiskunta tuottaa jatkuvasti toiminnallaan lisää kasvihuonepäästöjä ilmakehään, jolloin ilmaston lämpeneminen kiihtyy. (Kasvihuonekaasut lämmittävät ilmastoa n.d.) Tuotteen tai toiminnan aiheuttamaa ilmastovaikutusta mitataan usein hiilijalanjäljellä. Hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina, CO<sub>2</sub>-ekv. (Mikä hiilijalanjälki on? n.d.)

Maailman suurimpia kasvihuonekaasujen tuottajia ovat Kiina, Yhdysvallat ja Euroopan Unioni. Alla olevassa kuviossa on kuvattu suurimmat päästöt maittain jaoteltuna vuonna 2012. Kasvihuonekaasut kuitenkin muokkaavat ilmakehää ja kiihdyttävät ilmastonmuutosta riippumatta siitä missä maassa päästöjä tuotetaan. Euroopan Unionin kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2012 ovat olleet 4 702 090 hiilidioksidiekvivalenttikilotonnia ja vuonna 2015 vastaavasti 4 451 813 hiilidioksidiekvivalenttikilotonnia. Euroopan Unioni päästöt jakautuvat toimialoittaan niin, että suurin osuus, 75% tulee energian tuotannosta, 10,1% maataloudesta, 8,7% teollisuuden prosesseista ja tuotteista sekä 3,2% jätteiden käsittelystä. Näissä osuuksissa ei ole huomioitu maankäyttöä, maankäytön muutosta, eikä metsien käyttöä. (Kasvihuonekaasupäästöt EU:ssa ja maailmalla 2018.)

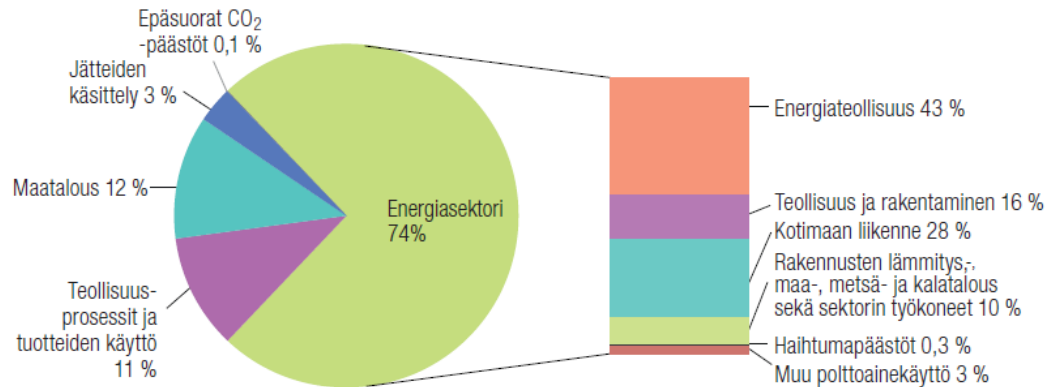


Lähde: Maailmanpankki

Kuvio 2. Maailman suurimmat kasvihuonekaasujen tuottajat 2012 (Kasvihuonepäästöt EU:ssa ja maailmalla 2018.)

Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2015 ovat olleet 55 507 hiilidioksidiekvivalenttikilotonnia. (55,5 milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv.) Ja vuonna 2017 vastaava luku on ollut 56,1 milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. Verrattuna vuoden 1990 päästöihin, joita pidetään lähtötasona kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteissa, Suomen kokonaispäästöt ovat laskeneet 21%. (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017 2018.)

Suomessakin suurin osa päästöistä tulee energiasektorilta. Energiasektorin päästöjä lisää Suomessa merkittävästi pitkien välimatkojen aiheuttama liikenne, rakennusten lämmitys ja energiaintensiivinen teollisuus. Energiasektorin osuus kokonaispäästöistä vuonna 2017 oli 74%. Teollisuuden prosessien ja tuotteiden käytön osuus oli 11%. (Ks. Kuvio 3.) (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017 2018.)



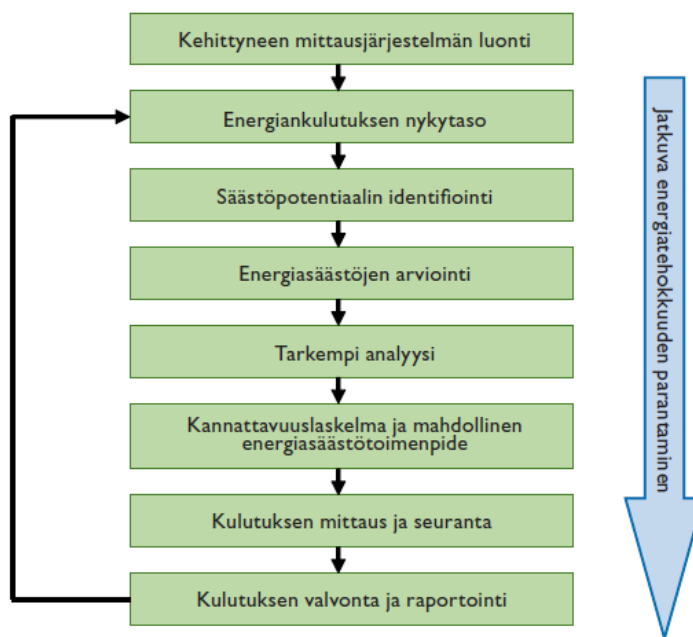
Kuvio 3. Kasvihuonekaasupäästölähteet Suomessa 2017. (Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017 2018.)

Euroopan Unionin neuvosto on jo vuonna 1996 antanut direktiivin (96/61/EY) ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämisen. Direktiivi ohjaa keskisuuria ja suuria yrityksiä minimoimaan teollisuuslaitosten päästöt ilmaan, veteen ja maaperään, sekä jätteiden syntyminen. Direktiivin laatimisen yhteydessä on laadittu laitoksille parhaan käytössä olevan tekniikan vertailuasiakirja (BAT Best Available Techniques), jota voidaan käyttää hyödyksi mm. ympäristölupa hakemuksissa. Direktiivissä edellytetään, että kaikkien direktiivin piirissä olevien teollisuuslaitosten on käytettävä energiaa mahdollisimman tehokkaasti ja parhaan käytössä olevan tekniikan arvioinnissa otetaan huomioon laitteiden energiatehokkuus. BAT-vertailuasiakirjassa on yrityksille käytännön ohjeita muun muassa energian kulutuksen hallintaan ja mittaamiseen. (Heikkilä, Huumo, Siitonen, Seitsalo & Hyytiä 2008, 5-6.)

Teollisuuslaitoksen energiatehokkuuden parantamisella voidaan saavuttaa muun muassa kasvihuonekaasujen ja tuotannon kustannusten alenemista, sekä

huoltovarmuuden parantamista. Energiatehokkuuden parantamisella voidaan tarkoittaa saman tuotantomäärän saavuttamista pienemmällä energiankulutuksella, suuremman tuotantomäärän saavuttamista samalla energian kulutuksella tai tuotantomäärän kasvattamista suhteellisesti pienemmällä energian kulutuksella. Fyysinen energiankulutus suhteutetaan yleensä tuotettuun määrään esimerkiksi tonneihin tai kappaleisiin. (Heikkilä ym. 2008, 20.)

Jotta energiatehokkuutta olisi mahdollista parantaa on tuotantolaitokselle luotava luotettava mittausjärjestelmä ja selvitettävä energiankulutuksen nykytaso. (Ks. Kuvio 4.) Tämän jälkeen prosessi etenee portaittain säästöpotentiaalın yksilöimisen ja arviointien kautta mahdollisiin toimenpiteisiin. Tehtyjen parannustoimenpiteiden jälkeen prosessin seuranta on syytä jatkaa säännöllisesti, jotta voidaan varmistua tehtyjen toimenpiteisen toimivuudesta. (Heikkilä, Huumo, Siitonen, Seitsalo, Hyytiä 2008, 27-28.)



Kuvio 4. Energiatehokkuuden jatkuva kehittäminen tehdasympäristössä. (Heikkilä ym. 2008, 28.)

### 3 Opinnäytetyön tavoite ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia millaisilla toimenpiteillä Keuruun tuotantolaitoksen kasvihuonekaasupäästöjä olisi mahdollista pienentää huomattavasti nykyisestä tilanteesta. Tässä työssä selvitettiin tuotantolaitoksen nykytilanne päästölähteiden osalta sekä etsittiin vaihtoehtoisia ja tehokkaampia ratkaisuja tuotteiden tuottamiseksi. Kerätystä aineistosta selviää suurimmat kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat, jotta resurssit osataan jatkossa kohdistaa oikeisiin asioihin. Tulevaisuuden tehostustoimenpiteiden toteuttamisessa auttaa opinnäytetyön yhteydessä laadittu tiekartta, jonka avulla toimenpiteitä pystytään aikatauluttamaan.

Tutkimuksessa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi käytettiin seuraavia tutkimuskysymyksiä.

- a) Mikä on tyyppituotteen hiilijalanjälki nykyisillä tuotantomenetelmillä?
- b) Mitä uusia menetelmiä ja materiaaleja on käytettävissä tyyppituotteen hiilijalanjäljen pienentämiseksi?
- c) Millä toimenpiteillä ja aikataululla tavoiteltu 40% vähennys kasvihuonekaasupäästöissä olisi mahdollista toteuttaa?

Tutkimus on rajattu koskemaan Keuruun tuotantolaitoksen kaivotuotantoa. Tarkasteluyksiköksi valittiin teoreettinen 2,5 m korkea kaivo. Rajaamalla tarkastelu teoreettiseen tyyppituotteeseen saatiin eri tuotantomenetelmien ja materiaalien erot kohdistettua yhteen tuotettuun tuotteeseen. Valittu tyyppituote edustaa parhaiten Keuruun kaivotuotannon yleisintä tuotetta ja tällaista kaivon runkoa käytetään Suomen markkinoilla hyvin yleisesti mm. pumppaamoiden ja erilaisten laitekaivojen valmistuksessa. Kyseisiä kaivoja käytetään kunnallisten vesilaitosten ja vesiosuuskuntien vedenjakeluverkostoissa puhdas- ja jätevesipumppaamoissa, veden virtauksen mittauksissa ja muun muassa verkoston ilmanpoistossa. Vedenjakeluverkoston pääasiallinen tehtävä on toimittaa puhdasta juomavettä vedenottamoilta kiinteistöille ja toisaalta johtaa jätevesi kiinteistöiltä jätevedenpuhdistamoille. Tyyppituotetta vastaava kaivovaihto on myös lähes kaikkien muidenkin alalla toimivien yritysten valikoimissa ja vesihuollon suunnittelijatkin käyttävät tämän tyyppisiä ratkaisuja suunnitelmissaan.

Valittu kaivotyyppi edustaa siis hyvin Suomen vesihuoltomarkkinoilla yleisesti käytössä olevaa kaivotyyppiä.

Tämän työn tutkimusmenetelmäksi on valittu kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus. Tutkimusotteet jaotellaan yksinkertaisimmillaan kvantitatiiviseen, eli määrälliseen tutkimukseen ja kvalitatiiviseen, eli laadulliseen tutkimiseen. Kvalitatiivinen tutkimus pyrkii hahmottamaan ja määrittämään valitun ilmiön kokonaisuudessaan, kun taas kvantitatiivinen tutkimus perustuu puhtaasti kerättyjen lukujen ja niiden välisten suhteiden käsittelemiseen. Tutkimusmenetelmät eroavat toisistaan myös tutkittavien yksiköiden määrän osalta. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa yksiköitä voi olla jopa satoja, kun taas kvalitatiivisessa keskitytään yleensä yhteen tai korkeintaan muutamaankin tutkittavaan yksikköön (Kananen 2010, 36-39.)

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tietoa voidaan hankkia eri menetelmin, kuten tekemällä omia havaintoja tai teemahaastatteluita tutkittavasta kohteesta. Usein tiedonkeruumenetelmänä käytetään myös erilaisia dokumentteja. (Kananen 2010, 48.) Dokumentteina voidaan käyttöön kaikkea aineistoa, josta on olemassa tietoa tai informaatiota. Myös erilaiset muistiinpanot, kokouspöytäkirjat ja videot ovat käytettävissä olevia aineistoja. (Kananen 2010, 63.)

Tässä työssä on valittu tarkasteltavaksi yksiköksi Keuruun tehtaan kaivotuotanto, jonka kasvihuonekaasupäästöjen mittarina käytetään valitun tyyppituotteen hiilijalanjälkeä. Tiedonkeruun lähteinä on käytetty yrityksen omia dokumentteja, kuten laskuja ja erilaisia tuotannon raportteja.

Työn luotettavuus on varmistettu käyttämällä lähteinä suoraan tutkittavalta yritykseltä saatuja virallisia dokumentteja. Lisäksi teoriapohja on hankittu useista eri ulkomaisista ja kotimaisista lähteistä. Osa laskennassa käytetyistä arvoista on hankittu järjestelmiä tarjoavien yritysten materiaaleista, joiden todenperäisyyttä on vaikea todentaa. Näitä arvoja voikin käyttää vain suuntaa antavina.

## 4 Tuotantoprosessin nykytilanteen kuvaus

### 4.1 Tuote

Tutkittava tyyppituote on kuvion 5. mukainen rotaatiovalettu säiliö, jonka korkeus on 2500 mm ja pohjan halkaisija 1000 mm. Tyypillisiä tällaisen rotaatiovalutuotteen käyttökohteita ovat erilaiset vesihuoltoverkostoon asennettavat toimilaitekaivot ja pumppaamot. Tuotetta voidaan käyttää myös jäte- tai puhdasvesisäiliönä, tai esimerkiksi sadeveden tarkastuskaivoina. Tuote asennetaan maan alle, niin että vain kaivon yläosa ja kansi jää maanpinnalle. Kaivon kannen tulee olla niin suuri, että kaivoon pääsee laskeutumaan asennus- ja huoltotoimenpiteitä varten.

Tuotteen seinämien tulee kestää asennettuna ympäröivän maamassan aiheuttama paine ja lisäksi pohjan tulee kestää pohjaveden aiheuttama noste. Lisäksi kaivon tulee kestää kuljetuksen ja asennuksen aikaiset nostot ja mahdolliset iskut myös kylmissä olosuhteissa.

Tuotteen materiaalina käytetään rotaatiovalulaatuista Polyeteeniä ja materiaalia kuluu yhden kappaleen valmistamiseen 100 kg. Materiaali on Polyeteenijauho, jonka tiheys on  $935 \text{ kg} / \text{m}^3$ .



Kuvio 5. Rotaatiovalettu kaivo (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.)

## 4.2 Raaka-aine

Tuotteen valmistuksessa raaka-aineena käytetään rotaatiovalulaatuista polyeteeni jauhoa. Polyeteeni tuotetaan polymeroimalla eteeniä, jota saadaan raakaöljystä prosessoimalla. (Polyeteeni (PE) n.d.) Raakaöljypohjaisen polyeteeni raaka-aineen tuottamisen hiilijalanjäljeksi on määritelty 1,44 kg CO<sub>2</sub>-ekv. / PE kg. (Ecoprofiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers 2012.) Tyypituotteeseen käytetty muoviraaka-aine aiheuttaa tuotantoprosessin suurimman yksittäisen hiilijalanjäljen 144kg CO<sub>2</sub>-ekv. / tuote. (Ks. Liite 1.)

Erilaisessa säiliötuotannossa rotaatiovalu raaka-aineelta yleisesti vaadittuja ominaisuuksia ovat hyvä isku- ja vetolujuus myös alhaisissa lämpötiloissa. Lisäksi vaadittavia ominaisuuksia ovat mm. sään- ja ympäristönkesto. Jauheen täytyy olla myös fyysisiltä ominaisuuksiltaan rotaatiovaluun sopivaa. Jauheen tulee olla oikean muotoista ja kokoista. Lisäksi jauheen sulaviskositeetti täytyy olla prosessiin soveltuva. (Lehtola 2014, 10.)



## 4.3 Tuotteen valmistus

### 4.3.1 Rotaatiovaluprosessi

Tässä opinnäytetyössä tutkittavan tyyppituotteen pääasiallinen valmistusmenetelmä on rotaatiovalu. Rotaatiovalu on korkeassa lämpötilassa ja matalassa paineessa tapahtuva valuprosessi, jolla tuotetaan onttoja, yksiosaisia kappaleita. Tyypillisiä rotaatiovallettuja muovituotteita ovat esimerkiksi erilaiset säiliöt, kanootit, lelut ja ajoneuvoteollisuuden tuotteet. Rotaatiovalua on perinteisesti käytetty myös suklaa- ja keramiikkatuotteiden valmistuksessa. Polyeteeni rotaatiovalun raaka-aineena tuli laajasti käyttöön 1950 luvulla, jonka jälkeen rotaatiovalun suosio muovituotteiden valmistuksessa on kasvanut vuosittain. (Crawford & Kearns 2003, 1.)

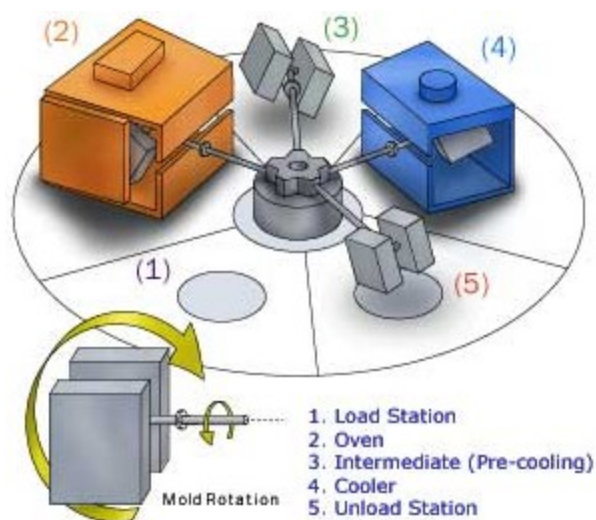
Rotaatiovalulla on muutamia huomattavia etuja verrattuna muihin muovituotteiden valmistusmenetelmiin. Kustannusten kannalta suurin etu tulee muoteissa, sillä suuriakin muotteja pystytään valmistamaan suhteellisen nopeasti ja edullisesti. Paineeton prosessi ei edellytä muotilta suurta rakenteellista lujuutta, joten muotti pystytään valmistamaan ohuesta pellistä muotoilemalla. Matala muottikustannus mahdollistaa myös melko pienten sarjojen valmistamisen kannattavasti. Lisäksi menetelmällä onnistuu hyvinkin monimutkaisen tuotteen valmistaminen, mikäli muottisuunnittelu on tehty oikein. Tuotannosta ei myöskään synny materiaalihukkaa, sillä vähäinenkin tuotteesta yli jäänyt materiaali käytetään uudestaan. (Crawford & Kearns 2003, 20-21.)

Rotaatiovalun suurimpana haittapuolena voidaan puolestaan pitää valuprosessin hitautta verrattuna muihin muovituotteen valmistusmenetelmiin. Lisäksi materiaaliavaliokoima on melko suppea ja materiaalinhintaa on hieman korkeampi. (Crawford & Kearns 2003, 22.)

Rotaatiovaluprosessissa käytettävien suurien uunien lämmitys vaatii runsaasti energiaa. Uunin lämmitys nestekaasulla aiheuttaa tyyppituotteen valmistuksen toiseksi suurimman hiilijalanjäljen 90kg CO<sub>2</sub>-ekv. (Ks. Liite 1.)

### 4.3.2 Rotaatiovalukone

Keuruun tuotantolaitoksella on käytössä karusellityyppinen rotaatiovalukone. (Ks. Kuvio 5.) Koneessa on kolme vaunua, joihin jokaiseen saa kiinnitettyä useita muotteja. Vaunut kiertävät yksi kerrallaan uunin ja jäähdytyspisteen kautta purkupisteelle. Rotaatiovalun ensimmäisessä vaiheessa materiaali, tässä tapauksessa polyeteenijauhe, annostellaan muottiin. Jokaiselle tuotteelle on määritelty oma määrä materiaalia, jotta tuotteista tulee jatkuvasti tasalaatuisia. Tämän jälkeen muotti suljetaan ja vaunu kääntää muotin uuniin. Kun muotti ja muotin sisällä oleva polyeteeni on kuumentunut tarpeeksi, muuttuu jauhe juoksevaksi massaksi. Muotin hidas pyöräminen kahden akselin ympäri saa sulan polyeteenimassan tarrautumaan muotin joka pintaan. Noin 30-60 minuutin paistoaajan jälkeen muotti siirtyy jäähdytyspisteelle. Jäähdytyspisteellä muotti jatkaa pyörimistään ja tuote alkaa jähmettyä muotoonsa. Jäähdytystä tehostetaan vielä suurilla puhaltimilla. Noin puolen tunnin jäähdytyksen jälkeen muotti siirtyy jälleen prosessin ensimmäiselle pisteelle, jossa valmis kappale poistetaan muotista ja uusi jauhoerä ladataan muottiin. Alla olevasta kuviosta poiketen Keuruun tehtaalla muotin lataus ja purku tapahtuu pääsääntöisesti samalla asemalla.



Kuvio 6. Rotaatiovaluprosessi (Rrtech n.d.)

1. Muotin latausasema
2. Uuni
3. Ensimmäinen jäähdytysasema
4. Toinen jäähdytysasema
5. Muotin purkuasema

Tehtaalla käytettävän rotaatiovalukoneen uunin koko on  $125 \text{ m}^3$  ja uuni lämmitetään nestekaasulla. Uunin lämpötila nostetaan paiston ajaksi n. 250 Celsius asteeseen. Nestekaasupoltin tarvitsee lämmityksen aikana  $12 \text{ m}^3$  puhdasta ilmaa / poltettu kilogramma. (Agan nestekaasu n.d.) Lisäksi muotin siirtyessä uuniin ja sieltä poistuessa uunin toinen seinämä aukeaa kokonaisuudessaan, jolloin myös lämpö pääsee poistumaan uunista. Uunissa ei ole käytössä erillistä lämmöntalteenotto järjestelmää. Tämän tyyppisten kaasukäyttöisten uunien energiatehokkuus voi olla jopa alle 50 %. (Lehtonen 2014, 2.)

Muotin jäähdytys tapahtuu puhaltimien avulla vapaassa hallitilassa ja ylimääräinen lämpö tuuletetaan kattoluukkujen kautta hallista ulos. Koneessa ei ole käytössä jäähdytyskammiota.

#### 4.4 Tuotantotilat

Palo- ja vesitekniikka PA-VE:n tuotantotilat sijaitsevat Keuruulla Keski-Suomessa. Tuotantohallin ensimmäinen osuus on rakennettu vuonna 2008 ja osuuden pinta-ala on  $1017 \text{ m}^2$ . Hallin  $1036 \text{ m}^2$  laajennus on toteutettu vuonna 2009, joten tehtaan kokonaispinta-ala on yhteensä  $2053 \text{ m}^2$ . Tästä alasta  $202 \text{ m}^2$  on toimisto- ja sosiaalitilaa. Lämmitettävää tilavuutta kiinteistössä on yhteensä  $19000 \text{ m}^3$ .

Hallin ulkomitat ovat n.  $19 \text{ m} \times 107 \text{ m}$  ja pitkät seinät samoin kuin harjakaton lappeet suuntautuvat itään ja länteen. (Ks. kuvio 7.) Toimistotilojen ikkunat suuntautuvat suoraan etelään. (Ks. Kuvio 8.)

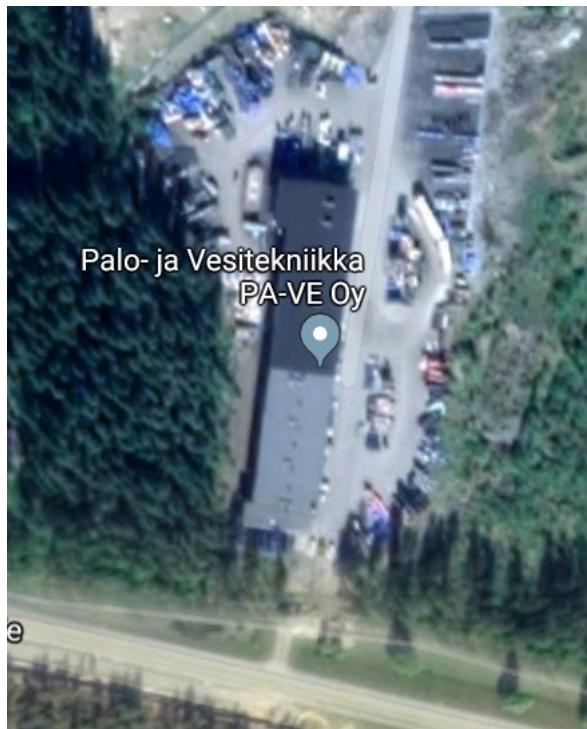
Rakennuksessa on teräsrunko ja seinämateriaalina on villaeristeinen peltielementti. Alapohjana rakennuksessa on betonilaatta.

Tehdas on kytketty Keuruun Energian kaukolämpöverkkoon. Toimisto- ja sosiaaliloissa on käytössä seinälle asennetut kiertovesipatterit. Tuotantotiloissa on käytössä

kattoon asennetut vesikiertoiset lämminilmapuhaltimet. Ilmanvaihtokoneikossa on lämmöntalteenottojärjestelmä.

Tuotantotiloissa ei ole käytössä jäähdytysjärjestelmää. Lämpimänä kesäaikana hallin ovet pidetään usein avoinna. Hallissa on kolme 4 m leveää ja 5 m korkea liukuovea. Toimistotilojen viilennykseen on hankittu erillinen ilmalämpöpumppu, joka on käytössä kesän kuumimpina päivinä.

Rakennuksen tuotantotilojen valaistus on vaihdettu vuonna 2017 LED-valaistukseen. Toimisto- ja sosiaalitiloissa on vielä käytössä loisteputket.



Kuvio 7. Tuotantohalli satelliittikuvassa. (Google maps 2019.)



Kuvio 8. Tuotantohalli (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.)

## 5 Tutkimuksen toteutus

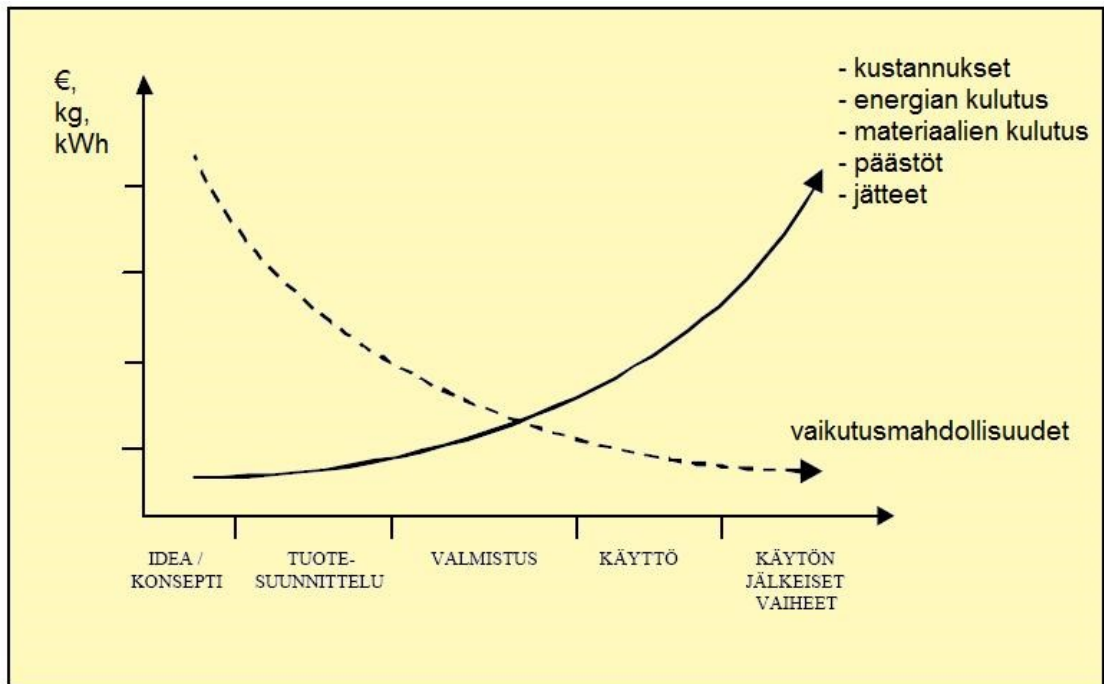
### 5.1 Tuotteen optimoiminen

#### 5.1.1 Kestävä tuotesuunnittelu

Jokaisen tuotteen elinkaari alkaa tuotesuunnittelusta ja kestäväällä tuotesuunnittelulla pystytään vähentämään huomattavasti tuotteiden ympäristövaikutuksia. Kestävässä tuotesuunnittelussa ei huomioida pelkästään tuotteen valmistuksesta tai käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia vaan suunnittelussa huomioidaan tuotteen koko elinkaari raaka-aineista jätteeksi. Tuotteen suunnittelijalla onkin erittäin merkittävä rooli, kun otetaan huomioon tuotteen koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

”Kestävän tuotesuunnittelun tavoitteita ovat materiaali- ja energiatehokkuus, kierrätettävyys, käyttöiän optimointi, korjattavuus ja ympäristölle haitallisten aineiden minimointi.” (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.) Tuotteiden materiaalitehokkuutta valmistusvaiheessa voidaan parantaa bio- tai kierrätysmateriaaleilla. Tuotteen

käyttöikä ja korjattavuutta lisäämällä voidaan pidentää tuotteen elinkaarta ja lisäksi materiaalitehokkuutta voidaan parantaa myös, kun käyttöikä lopuksi tuotteen materiaalit ovat helposti kierrätettäviä. Tuotteen suunnitteluvaiheessa on parhaat mahdollisuudet vaikuttaa koko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia voidaan arvioida elinkaariarvioinnin avulla. (Life Cycle Assessment, LCA n.d.) Alla olevassa kuviossa on esitetty vaikutusmahdollisuuksien ja vaikutusten suhdetta tuotteen elinkaaren aikana. Kuviosta on nähtävillä, kuinka vaikutusmahdollisuudet pienenevät ja kustannukset, energian- ja materiaalinkulutus, päästöt ja jätteet suurenevät, kun tuotteen elinkaarta edetään konseptivaiheesta käytön jälkeisiin vaiheisiin. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)



Kuvio 9. Muutoksen hinta tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

Eri tyyppisillä tuotteilla tuotannon ja käytön aikaisten päästöjen suhde vaihtelee huomattavasti. Esimerkiksi rakennuksilla rakentamisvaiheen osuus koko elinkaaren päästöistä on 10-20 % ja rakennuksen lämmityksen puolestaan noin 30 % Suomen

olosuhteissa. Kokonaisuutena Suomen luonnonvarojen käytöstä suurin osa kuulu erityyppisiin rakentamishankkeisiin. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

Autoilla puolestaan suurin osa ympäristövaikutuksista aiheutuu käytön aikaisista päästöistä. Käytön aikaiset päästöt ovat polttomoottoriautoilla moninkertaiset valmistukseen ja käytöstä poistoon nähden. Autoista ei tämän vuoksi kannata suunnitella ”ikuisesti” kestäviä vaan tarpeeksi nopea autokannan uusiutuminen edistää uuden puhtaamman teknologian saamista liikenteeseen. Sähkö- ja elektroniikkalaitteilla puolestaan uusiutuminen on liiankin nopeaa ja turha vuoden tai kahden välein tapahtuva laitteiden uusiminen lisää huomattavasti ympäristökuormitusta. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

Kolmanneksi suurin päästöjen aiheuttaja asumisen ja liikenteen jälkeen on ruuankulutus. Elintarvikesuunnittelussa voidaan huomioida ympäristövaikutukset tuotteiden pakkauksissa, ruuan alkuperässä, säilyvyydessä ja kuljetuksissa. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

Myös Euroopan Unioni ohjaa tuotesuunnittelua ottamaan ympäristöasiat mahdollisimman hyvin huomioon. EU:n yhdenmety tuotepolitiikka (Integrated Product Policy, IPP) kannustaa kaikkia näiden erialojen tuotesuunnittelijoita parantamaan tuotteiden ympäristöystävällisyyttä. EU:lla on lisäksi käytössä Ekosuunnitteludirektiivi (Eco-design Directive), joka antaa yleisiä suuntaviivoja suunnittelulle asetettaville asetuksille. Tämän yleistason puitedirektiivin lisäksi eri suunnittelualoille on olemassa omat tuoteryhmäkohtaiset toimenpidevaatimukset. Suunnittelua ohjaavien direktiivien lisäksi EU:ssa on käytössä myös tuottajavastuu, joka velvoittaa tuotteiden valmistajat ja maahantuojat hoitamaan tuotteiden käytöstä poiston omalla kustannuksellaan. Käytännössä tämä vastuu on otettava huomioon tuotteiden hinnoittelussa. Suomessa tuottajavastuu koskee muun muassa henkilöautoja, autonrenkaita, sähkö- ja elektroniikkalaitteita, paristoja, sekä kaikkia paperituotteita ja pakkauksia. (Kestävä tuotesuunnittelu 2018.)

Tuotekehitysvaiheessa on mahdollista vaikuttaa suuresti tuotteen valmistuksesta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin. Tuotteen huolellisella suunnittelulla pystytään optimoimaan tarvittavan materiaalin määrä ja ottamalla huomioon myös tuotteen

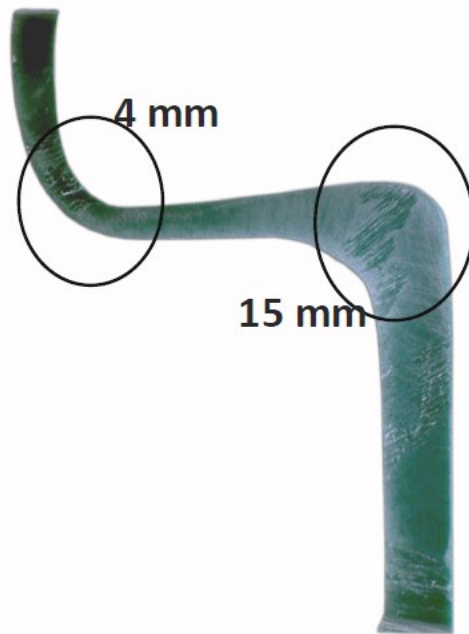
pakattavuus pystytään vaikuttamaan kuljetuksesta aiheutuviin päästöihin. Tuotteet tulisi olla pakattavissa mahdollisimman tiivisti ja korkeisiin pinoihin, jotta mahdollisimman monta tuotetta mahtuisi kerralla rakan kuljetustilaan. Pääsääntöisesti rotaatiovalutuotteet ovat onttoja melko kevyitä tuotteita, joten maksimi kantavuudet eivät tule kuljetuskalustossa rajoitteeksi.

### 5.1.2 Rotaatiovalukappaleen seinämän ja lujuuden optimoiminen

Rotaatiovalu on yksipintainen valuprosessi, eli muotti määrittelee vain kappaleen ulkopinnan laadun. Tällöin myös valmiin kappaleen seinämän vahvuus pääsee vapaasti vaihtelevaan muotin eri osissa. Tältä osin rotaatiovalu eroaa oleellisesti muovin ekstruusio-muovauksesta tai ruiskuvalusta. Rotaatiovalun etuna voidaan toisaalta pitää sitä, että kappaleen seinämävahvuutta voi tarvittaessa muuttaa ilman muottimuutoksia. (Crawford & Kearns 2003, 129.)

Tuotteen optimoimisen kannalta rotaatiovalun haasteena on, että seinämän vahvuus voi vaihdella yleisesti +/-20 %. Yleensä kappaleen seinämälle määritellään tietty minimi seinämän vahvuus, jonka mukaa raaka-aine annostellaan muottiin. Tällöin tietyissä kohdissa, kuten ulkopuolisissa kulmissa seinämävahvuus on tarpeettoman suuri ja raaka-ainetta kuluu hukkaan. (Ks. Kuvio 10.) Raaka-aineen jakautumiseen muotissa vaikuttaa myös muotin pyörimisnopeus ja -suhde kahden eri muottia pyörittävän akselin välillä, sekä muotin seinämän paksuus ja lämpötila muotin eri osissa. Raaka-aine tarttuu aina ensisijaisesti muotin kuumimpaan kohtaan. Parhaimmillaan rotaatiovalussa on mahdollista päästä +/- 10 % seinämävahvuuden vaihteluun. (Crawford & Kearns 2003, 142-144.)



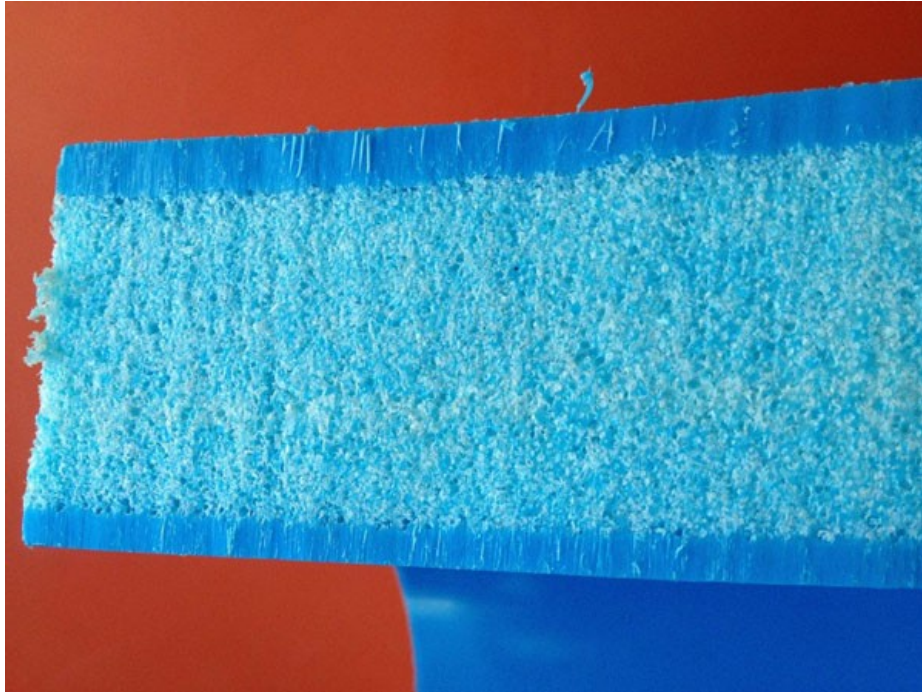


Kuvio 10. Seinämänvahvuuden vaihtelu. (Ervik 2019.)

Jos esimerkiksi kappaleen seinämän minimivahvuudeksi on määritelty 8mm, niin keskimäärin käytössä olevalla +/- 20 % vahvuuden vaihtelulla, keskimääräiseksi seinämän vahvuudeksi on laskettava 10 mm, jolloin paksuimmissa kohdissa materiaalia on jo 12 mm. Optimoimalla valuprosessia niin, että vaihtelu on vain +/-10 % riittää keskimääräiseksi seinämän vahvuudeksi 9 mm. Materiaalin kulutuksessa on saavutettavissa siis 10 % säästö vain valuprosessin pyörimisnopeuksia ja muotin lämpötilaeroja säätämällä.

Rotaatiovalukappaleen lujuutta suhteessa massaansa pystytään lisäämään myös käyttämällä valussa erilaisia vaahtomateriaaleja. (Ks. Kuvio 11.) Vaahtomateriaaleja on markkinoilla useita erilaisia ja vaahtotuksen voi tehdä joko yksi- tai monikerroksisena rakenteena. Monikerroksisessa vaahtotuksessa on erittäin tärkeää, että sisempi vaahtokerros tarttuu pysyvästi ulompaan kuorikerrokseen, jotta tavoiteltu lujuuden lisääminen saavutettaisiin. Tällöin vaahtona käytetään usein polyeteeniä samoin kuin ulkokerroksessakin. Vaahtotusaine voidaan joko sekoittaa suoraan raaka-aineeseen, jolloin koko seinämästä tulee kevyempää tai toinen vaihtoehto on lisätä vaahtomateriaali muottiin paiston aikana, kun ulompi kova kerros on jo muodostunut.

Parhaimmillaan vaahtomateriaalin käyttö rotaatiovalussa vähentää muoviraaka-aineen käyttöä jopa 50 %. (Crawford & Kearns 2003, 163-165.)



Kuvio 11. Vaahtomateriaali. (Poly foam composite moulding n.d.)

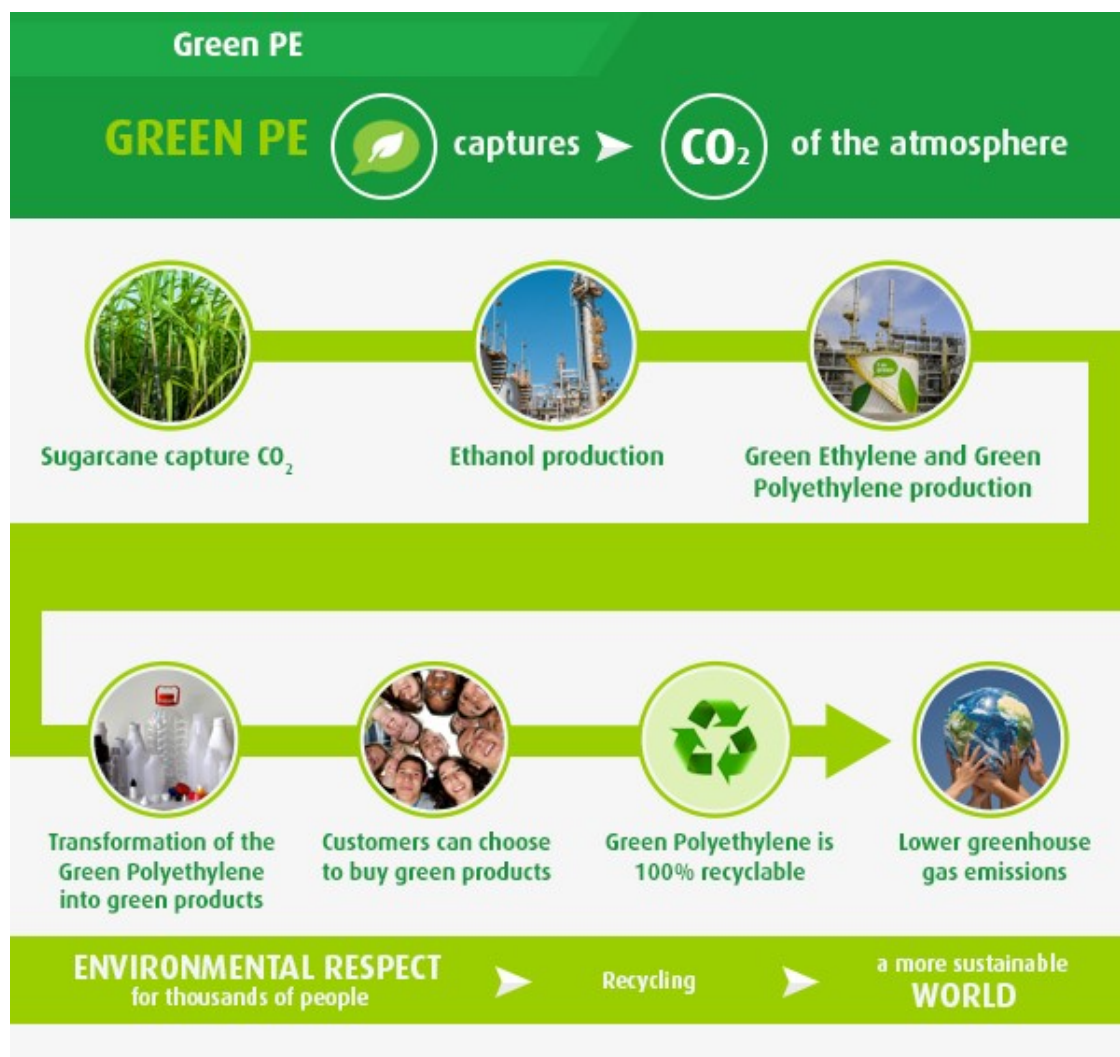
## 5.2 Ekologisemmat raaka-aineet

### 5.2.1 Polyeteeni

Noin 80 % rotaatiovalajista käyttää materiaalina tuotteissaan tavallista öljypohjaista polyeteeniä tai polypropeenaa. Rotaatiovaluprosessin ekologisuutta on parannettavissa huomattavasti valitsemalla polyeteeni- tai polypropeenilaatuja jotka mahdollistavat nopean valmistusajan. Mitä lyhyempi paisto- ja jäähdytysaika kappaleen valmistamiseksi vaaditaan, sitä pienemmällä energian kulutuksella kappale valmistuu. Materiaalitoimittajat kehittävät jatkuvasti uusia materiaaleja, joilla valuprosessin läpimenoaikaa on mahdollista lyhentää. Myös materiaalien lujuusominaisuuksien parantuessa kappaleiden seinämavahvuutta on mahdollista vähentää, jolloin materiaalia kuluu vähemmän. (Crawford & Kearns 2003, 101.)

Markkinoilla on jo saatavilla myös sokeriruokopohjaista polyeteeniä, joka soveltuu rotaatiovalun raaka-aineeksi. Tunnetuin materiaalin toimittaja on Braskem, jonka biopohjaisen etanolin tuotantolaitos avattiin Brasiliassa jo vuonna 2010 ja tuottaa nykyisin 200000 tonnia etanolia vuodessa. (I`m Green PE n.d.)

Alla olevassa kuviossa on esitetty sokeriruokopohjaisen polyeteenin valmistustapa. Kasvatettu sokeriruoko prosessoidaan ensin etanoliksi, jonka jälkeen etanolista valmistetaan etyleeniä ja polyeteeniä. Polyeteenistä voidaan valmistaa sitten kuluttajille biopohjaisia tuotteita, jotka ovat 100 prosenttisesti kierrätettäviä. Tällä tavoin tuotteiden hiilijalanjälkeä pystytään vähentämään oleellisesti.



Kuvio 12. Green PE. (I`m Green PE n.d.)

Braskem on teettänyt ulkopuolisella toimijalla tuotteestaan elinkaarilaskelman, jossa verrataan 1 sokeriruokopohjaisen muovikilon tuottamisen ympäristövaikutuksia raakaöljystä valmistettuun. Tuotettaessa 1 kg l`m Green PE-muovia vapautuu biomassan polttamisesta myös energiaa 0,942 kWh, joka syötetään sähkönä Brasilian sähköverkkoon. Vastaava energian tuotanto on otettu laskelmissa huomioon raakaöljyn tuotannossa vapautuvasta maakaasusta. (l`m Green PE life cycle assessment n.d.)

Fossiilisen HDPE-muovin tuottamisen hiilijalanjälki on määritelty kyseisessä tutkimuksessa 1,35 kg CO<sub>2</sub>ekv. / HDPE kg, kun vastaavan l`m Green HDPE-muovin tuottamisen hiilijalanjälki on -3,09 kg CO<sub>2</sub>ekv. / HDPE kg. (l`m Green PE life cycle assessment n.d.)

Eli käytettäessä biopohjaista muovia tuotteeseen varastoituu sokeriruokoviljelmän sitomaa hiilidioksidia, kun taas fossiilisen tuotteen valmistuksesta hiilidioksidia vapautuu ilmakehään. Tilanne on sama verrattaessa esim. betonin ja puunkäyttöä rakennusteollisuudessa.

Toinen ekologian kannalta merkittävä mittari elinkaariarvioinnissa on maankäyttö tuotettua yksikköä kohti. Raportin mukaan 1 kg l`m Green HDPE-muovia vaatii 5,18 m<sup>2</sup> maata. (l`m Green PE life cycle assessment n.d.) Vastaavaa arvoa ei tietysti öljypohjaiselle tuotteelle ole, mutta esim. maidon tuottamiseen vaaditaan 0,91 m<sup>2</sup> /kg. (Life cycle assesments of milk and cheese n.d.)

Tavallinen 1 litran muovipullo painaa n. 100 g, joten jos 1 maitolitrin tuottamiseen on käytetty maata 0,91 m<sup>2</sup>, niin sen pakkaamiseen vaadittavan biopohjaisen muovipullon tuottamiseen on vaadittu maata vain 0,52 m<sup>2</sup>.

### 5.2.2 Biomuovit

European bioplastics -yhdistys on laatinut raportin biomuovien ominaisuuksista, tuotannosta ja käyttökohteista. Julkaisussa korostetaan muovien tärkeyttä nykyaikaisessa yhteiskunnassa. Maailmassa tuotettiin muovia vuonna 2017 320 miljoonaa tonnia, josta biomuovin osuus oli alle 1 %, vaikka useimmille muovilaaduille on tänä päivänä olemassa korvaava biopohjainen materiaali. Biopohjaisilla materiaaleilla pystytään vähentämään riippuvuutta fossiilista raaka-aineista ja vähentämään

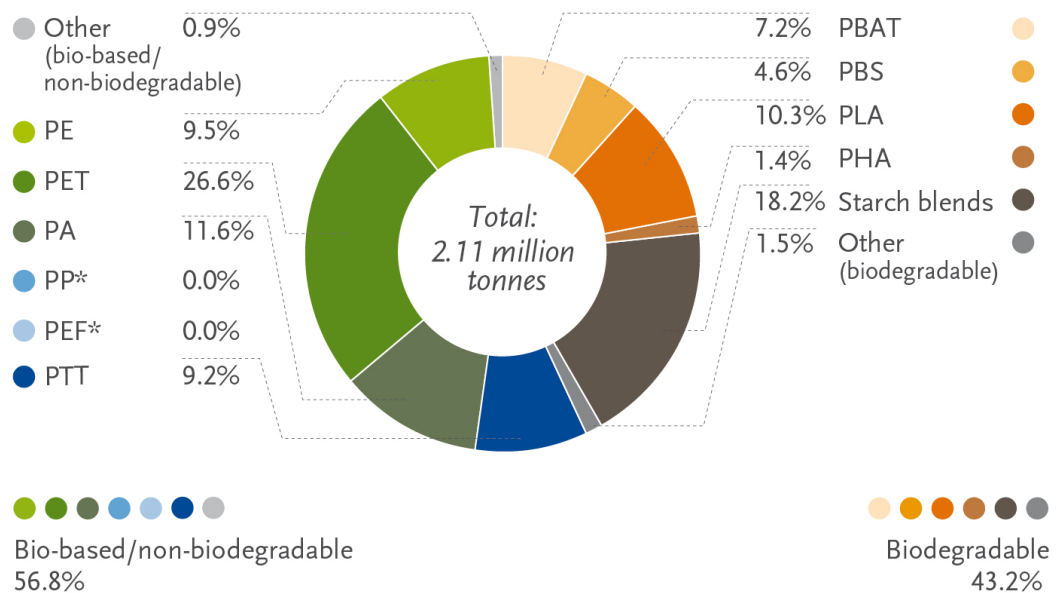
kasvihuonekaasujen syntymistä. Muoveilla onkin keskeinen rooli Euroopan Unionin bio- ja kiertotalouden kehittämishankkeissa. (What are bioplastics n.d.)

Biomuoveiksi luokitellaan muovilaadut, jotka ovat joko biopohjaisia tai biohajoavia.

Monet biomuovit täyttävät nämä molemmat vaatimukset. (Ks. Kuvio 13.)

1. Biopohjaisia: PE, PET, PA, PUR
2. Biopohjaisia ja biohajoavia: PLA, PHA, PBS
3. Biohajoavia: PBAT

Useimmat näistä muovilaaduista pystytään valmistamaan samoilla menetelmillä ja työvälineillä kuin tavallisetkin muovit.

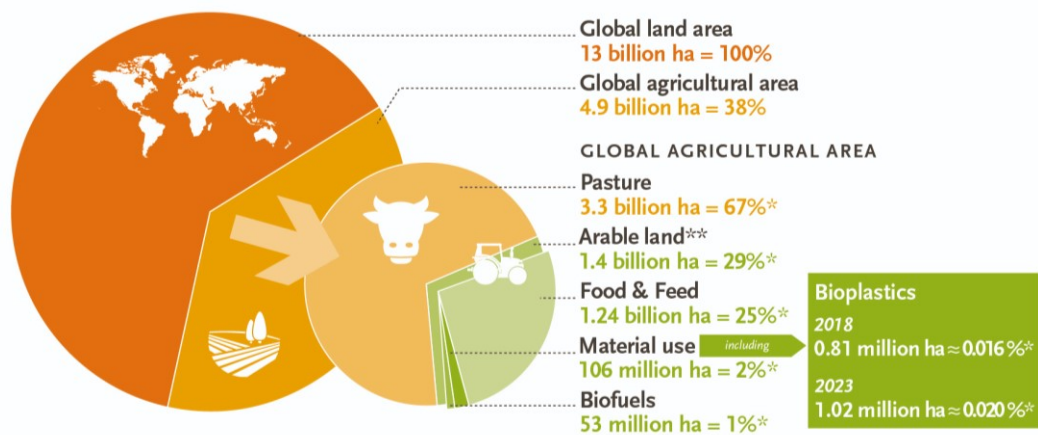


Kuvio 13. Biopohjaisten- ja biohajoavien muovien valmistus maailmassa 2018. (What are bioplastics n.d.)

Biomuovien valmistus on nuori ja nopeasti kasvava teollisuuden ala, joten uusia innovaatioita, valmistusmenetelmiä ja käyttökohteita tulee vuosittain lisää. Biomuvien valmistuksen ennustetaan kasvavan vuoden 2018 2,11 miljoonasta tonnista 2,44 miljoonaan tonniin vuoteen 2022 mennessä. Eniten tällä hetkellä tuotetaan biopohjaista PE- ja PET-muovia. Noin 60 % biomuovista käytetään erilaisiin pakkauksiin. Seuraavaksi suurimpia biomuovien käyttäjiä ovat tekstiili- ja autoteollisuus. (What are bioplastics n.d.)

Tänä päivänä suurin osa biopohjaisista muoveista valmistetaan maatalous- tai ligno-selluloosapohjaisista raaka-aineista. Kustannustehokkaimmat raaka-aineet tällä hetkellä saadaan maissi- ja sokeriruokoviljelmiltä, mutta uusia menetelmiä kehitetään jatkuvasti. Maailman käyttökelpoisesta viljelyspinta-alasta muoviteollisuuden käyttöä on tällä hetkellä n. 0,81 miljoonaa hehtaaria, joka on 0,0016 % käytettävissä olevasta viljelyspinta-alasta. Muoviteollisuuden käyttämän pinta-alan ennustetaan kasvavan n. 1,02 miljoonaa hehtaariin vuoteen 2023 mennessä. Tämä ala vastaa 0,020 % käytettävissä olevasta viljelysalasta, kuten on nähtävissä kuviosta 14. (What are bioplastics n.d.)

### *Land use estimation for bioplastics 2018 and 2023*



Kuvio 14. Maailmanlaajuisen maatalousmaan käyttö käyttökohteittain 2018 (What are bioplastics n.d.)

Biomuovit ovat nopeasti kasvava ja kehittyvä materiaalitekniikan ala, jonka EU:kin on nostanut merkittävään rooliin bio- ja kiertotaloutta kehitettäessä. Julkaisun tietojen perusteella alan kasvun odotetaan kiihtyvän ja biomuoviteollisuuden työllistävän jopa 300 000 henkeä Euroopassa vuonna 2030. Ainakaan tämän hetken tietojen valossa viljelypinta-alan tarve ei muodostu vielä ongelmaksi biopohjaisia muoveja sokeriruosta tai maissista valmistettaessa. (What are bioplastics n.d.) Suomen biotaloutta kehitettäessä tärkeämpi raaka-aine tulee varmasti kuitenkin olemaan selluloosa-pohjaiset materiaalit, joita metsäyhtiöt ja pienemmätkin toimijat jatkuvasti kehittävät. Myös uudet keinot hyödyntää kierrätysmateriaaleja

muovituotteiden tuotannossa tulevat vähentämään fossiilisen materiaalin tarvetta muovituotteiden tuotannossa.

### 5.2.3 Ligniini

Ligniini on yksi luonnon yleisimmistä biopolymeereistä ja sillä voidaan korvata useita käytössä olevia öljypohjaisia kemikaaleja. (Ks. Taulukko 1.) Ligniiniä on saatavilla esimerkiksi selluloosateollisuuden sivutuotteena. Selluloosateollisuuden sulfaattimenetelmässä syntyvää ligniinipitoista seosta kutsutaan mustalipeäksi, joka normaalisti poltetaan tehtaalla energiaksi. Mustalipeästä ligniini pystytään kuitenkin ottamaan myös talteen. Ligniinipitoisuus on seoksessa noin 30-40 massaprosenttia kuiva-aineseoksesta. Ligniinin erottaminen tehtailla on kuitenkin vielä hyvin harvinaista, vaikka uusia tehokkaampia menetelmiä onkin kehitetty, kun kiinnostus ligniiniä kohtaan on kasvanut. Suomen ensimmäinen ligniiniä erottava tehdas on Stora Enson Sunilan tehdas. (Kakko 2015.)

Ligniiniä on saatavilla runsaasti selluteollisuuden sivutuotteena ja sen raaka-aine kustannukset ovat usein pienempiä kuin öljypohjaisilla raaka-aineilla. Ligniiniä voi käyttää mm. materiaaleissa, terveystuotteissa, tuholaismyrkyissä, rehuissa ja viljelyssä. Ligniinejä voidaan käyttää myös muovien lisäaineina mm. parantamaan UV-suojausta, sekä erilaisina komposiittimateriaaleina. Ligniini soveltuu käytettäväksi sekä kerta- että kestopuovien kanssa korvaamaan osittain öljypohjaisia raaka-aineita. Kestomuovien kanssa ligniini tosin heikentää jonkin verran muovin lujuusominaisuuksia. Sen sijaan biohajoavuutta ligniinin avulla pystytään parantamaan. Ligniiniä voidaan lisätä myös erilaisiin hartseihin ja kumituotteisiin. Yksi potentiaalinen käyttökohte on hiilikuidun valmistaminen ligniinistä. Hiilikuidun käytön ennustetaan lisääntyvän lentokone- ja autoteollisuudessa huomattavasti lähivuosina, kun polttoaineenkulutusta pyritään laskemaan rakenteita keventämällä. (Kakko 2015.)

Muita ligniinin sovelluskohteita ovat myös esimerkiksi seokset tärkkelysten ja proteiinien kanssa. Tärkkelyksestä voidaan valmistaa biomuovia, mutta sen lujuusominaisuudet ovat huonoja. Ominaisuuksia voidaan kuitenkin parantaa ligniinin avulla. (Kakko 2015.)

Taulukko 1. Ligniinin sovelluskohteita (Kakko 2015.)

<b>Materiaali</b>	<b>Ligniinin kanssa sekoitettavat polymeerit</b>	<b>Ligniinin käyttötarkoitus polymeeriseoksessa:</b>
<b>Kertamuovit</b>	Fenoli- ja epoksihartsit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öljypohjaisten kemikaalien korvaaminen</li> </ul>
<b>Kestomuovit</b>	Polyolefiinit ja polyvinyylit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiaalin suojaaminen UV-säteilyltä</li> <li>• Prosessoinnin helpottaminen</li> <li>• Materiaalin muuttaminen biohajoavaksi</li> </ul>
<b>Elastomeerit</b>	Luonnonkumi ja synteettinen kumi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekologisten renkaiden valmistus</li> </ul>
<b>Biopolymeerit</b>	Proteiinit, tärkkelys, polyhydroksidialkanaatit ja polylaktidi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomuovien valmistus</li> </ul>

Ligniinin käyttö biomuovien valmistuksessa on kiinnostava sovellus, koska ligniiniä on saatavilla erittäin suuria määriä selluteollisuuden sivutuotteena. Ligniinin erottaminen on myös tehtävissä kohtuullisin kustannuksin vaikka tekniikka on käytössä vasta muutamissa tehtaissa. Ligniinin monipuolisten ominaisuuksien ansiosta sillä pystytään kokonaan korvaamaan tai vähentämään useiden eri öljypohjaisten raaka-aineiden käyttöä. Suurin osa sovelluksista on kuitenkin vasta koikeiluasteella ja kaupallinen toiminta vaatii vielä paljon tutkimus- ja kehitystyötä. Suomalaisen metsäteollisuuden kannalta ligniini on erityisen mielenkiintoinen bio- ja kiertotaloustuote sillä ongelmallisesta sivutuotteesta saataisiinkin valmistettua korkearvoista raaka-ainetta.

#### 5.2.4 Kierrätysmateriaalit

Myös erilaisia kierrätysmateriaaleja on tutkittu Polyeteenin ja Polypropeenin täyteaineena. Suomalainen Conenor Oy on kehittänyt menetelmän, jolla lasikuitujäte saadaan jauhettua muoviraaka-aineen täytemateriaaliksi. Lasikuitujäte täyteaineena parantaa myös muovituotteet lujuusominaisuuksia. Näin ongelmallinen lasikuitujäte



saadaan tehokkaasti hyötykäyttöön. (Recycling thermoset FRP-waste n.d.) Alla olevassa kuviossa 15 esitetty säiliö on valmistettu Corenor Oy:n kierrätysmateriaalista.



Kuvio 15. Lasikuitua sisältävästä kierrätysmateriaalista valmistettu säiliö (Recycling thermoset FRP-waste n.d.)

Rotaatiovaluprosessissa syntyvä muovijäte kierrätetään jo nykyisin kokonaisuudessaan takaisin tuotantoon. Kierrätysmateriaali sekoitetaan neitseellisen materiaalin joukkoon ja kun kierrätysmateriaali on täysin samaa laatua, kuin neitseellinenkin raaka-aine, niin tuotteen lujuusominaisuudet pysyvät tasalaatuisena. Jos kierräysprosessissa sekoitetaan neitseellisen raaka-aineen joukkoon muita muovilaatuja kuten polypropeenaa, niin tasalaatuisen tuotteen valmistaminen muuttuu haastavammaksi. Tuotteesta tulee helposti hauraampi ja seinämään saattaa jäädä ilmakuplia. Sopivilla seossuhteilla on kuitenkin mahdollista saavuttaa kohtuulliset materiaaliominaisuudet. (Lehtola 2014, 40.)

### 5.3 Tuotteen valmistuksen optimoiminen

Tuotteen valmistamiseen käytetty valuprosessi synnyttää raaka-aineen valmistamisen jälkeen toiseksi suurimmat kasvihuonekaasupäästöt. Valussa käytettävä uuni on n. 250 asteinen ja yhden kappaleen uunissa olo aika on n.30 - 60 min. (Ks. Kuvio 16.) Tehostamalla uunin käyttöä esimerkiksi lisäämällä vuorokaudessa valmistuvien

tuotteiden määrä ja optimoimalla paistoaikojä on mahdollista saavuttaa suuriakin säästöjä energian kulutuksessa.

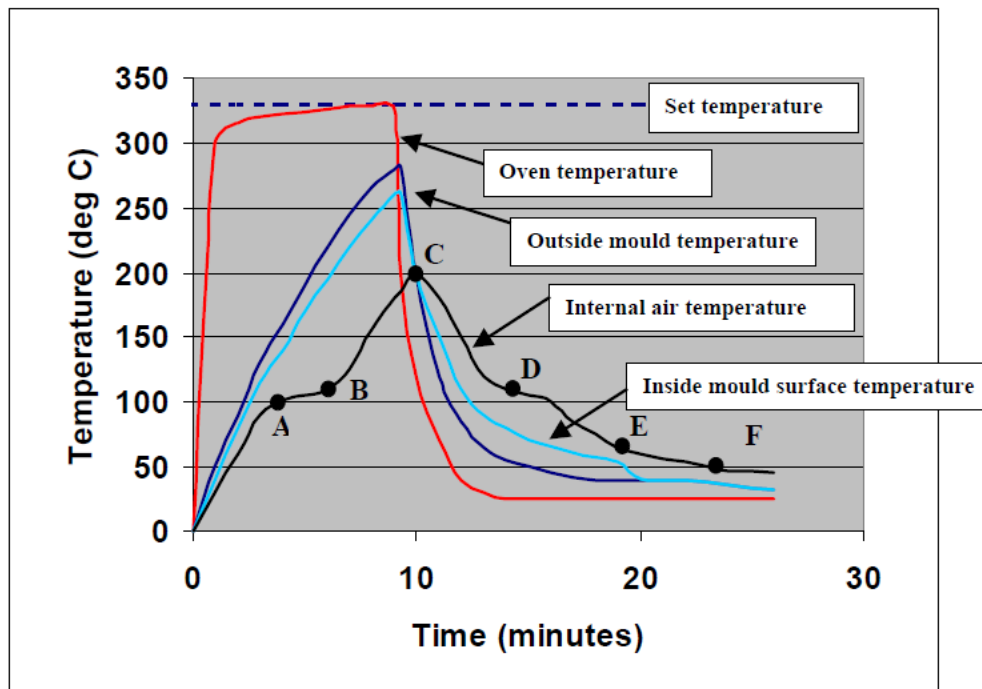


Kuvio 16. Rotaatiovalukone. (Palo- ja Vesitekniikka PA-VE 2019.)

Käytössä olevassa rotaatiovalukoneessa on kolme erillistä vaunua, joihin jokaiseen on kiinnitettävissä useita muotteja. Pieniä muotteja on mahdollista kiinnittää yhteen varteen jopa 10 kappaletta, mutta valitun tyyppituotteen kokoisia kappaleita mahtuu kerralla vain kaksi kappaletta. Prosessia on mahdollista tehostaa vähentämällä uunin lämmitys- ja jäähdytysvaiheita. Optimitilanteessa uuni pidettäisiin asetetussa valulämpötilassa mahdollisimman pitkään kerrallaan ja uusi vaunu siirtyisi heti uunin, kun edellinen on siirtynyt jäähdytysasemalle. Näin vähennettäisiin uunin jäähtymisessä ja uudelleen lämmittämisessä syntyvää energiahukkaa. Uunin lämmönvarauskykyä on myös mahdollista parantaa lisäämällä uuniin lämpöä varaavaa massaa. Uunin pohjalle ja seinämiin on lisättävissä esimerkiksi tiilirakenteita aivan kuten puulämmittämissäkin uuneissa.

Kappaleiden paistoaajan optimoimiseksi on olemassa erilaisia monitorointiratkaisuja. Rotaatiovalu on perinteisesti ollut hyvin riippuvainen koneen käyttäjän osaamisesta

ja usein säädöt onkin tehty kokemukseen perustuen. Jotta prosessin kontrolloiminen olisi tarkempaa, uunin säätöjen ja kappaleiden paistoaajan tulisi perustua kuitenkin ensisijaisesti muotin sisäiseen lämpötilaan, eikä pelkästään uunissa vallitsevaan lämpötilaan. Alla olevassa kuvassa on esitetty tyypillinen muotin lämpötilan käyttäytyminen verrattuna uunin lämpötilaan. Kuvioista nähdään, että lämpötila muotin sisällä nousee ja laskee paljon hitaammin kuin uunin lämpötila. Nykyaikaiset prosessinohjausjärjestelmät mittaavatkin muotin sisältä sekä lämpötilaa että painetta. Näiden tietojen perusteella jokaisen kappaleen paistoaika on mahdollista mitoittaa juuri sopivaksi. (Crawford & Kearns 71-72, 2003.)



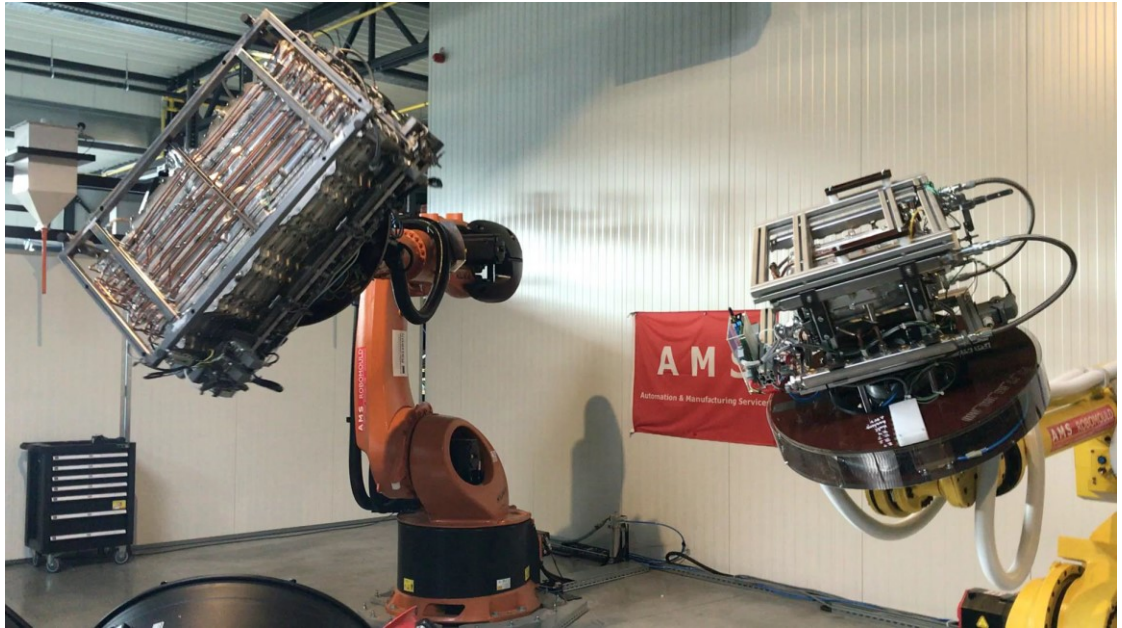
Kuvio 17. Lämpötilaero uunin ja muotin välillä (Crawford & Kearns 2003, 72.)

Uuniin on mahdollista rakentaa myös erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä. Yksinkertaisimmillaan nestekaasupolttimen pakokaasusta ohjataan hukkalämpö polttimen imuilman esilämmittämiseen. Nestekaasupoltin käyttää lämmityksen aikana runsaasti happea, joten uunin läpi virtaava ilmamäärä voi olla jopa  $6700\text{m}^3/\text{h}$ .  $250\text{ }^\circ\text{C}$

asteinen pakokaasu johdetaan 300mm kanavaa pitkin ulkoilmaan. Rakentamalla pakokaasukanavaan ilma/vesi lämmönvaihdin patteristo ja kierrättämällä lämmennyt vesi suoraan lämmönvaihtimen kautta polttimen imuilmakanavaan on mahdollista saavuttaa jopa 18-22 % säästö nestekaasun kulutuksessa. (Covington n.d.) Tällainen järjestely vaatii korkeita lämpötiloja kestävän nestekaasupolttimen.

Toinen vaihtoehto lämmöntalteenotto järjestelmäksi on ohjata pakokaasukanavan hukkalämpö kiinteistön ja käyttöveden lämmittämiseen. Näin saataisiin kiinteistöllä käytetty kaukolämpö korvattua käytännössä kokonaan. Kyseisessä järjestelmässä pakokaasukanavasta otetaan lämpö talteen ilma/vesi lämminvaihtimella ja lämmennyt vesi ohjataan toisen lämmönvaihtimen kautta vesivaraajaan. Vesivaraajasta lämpöä syötetään tarvittaessa kiinteistön lämmitysjärjestelmään kaukolämmön sijasta. Varaajasta saatavan veden lämpötilaa on mahdollista vielä nostaa lämpöpumpulla. Tällä järjestelmällä tyyppituotteen laskennallista hiilijalanjälkeä saataisiin vähennettyä vain noin 2%, mutta samalla saavutettaisiin koko tehdaskiinteistön lämmitys hukkaenergiaa hyödyntämällä.

Tulevaisuuden ratkaisuna rotaatiovaluun on esitetty täysin automatisoitu prosessi, jossa robottivarsi pyörittää sähköllä lämmitettävää ja nesteellä jäähdytettävää muotia. (Ks. Kuvio 18.) Tällöin lämpö saadaan ohjattua suoraan muovimassan sulattamiseen, eikä isoja energiaa hukkaavia uuneja tarvita välttämättä ollenkaan. Tällaisessa ratkaisussa robotti suorittaa myös valmiin kappaleen irrottamisen muotista ja uuden raaka-aineen annostelun. Robotti pystyy täysin itsenäiseen työskentelyyn, jolloin työvoimaa tarvitaan lähinnä prosessin valvontaan. Kehitystä hidastavana puolena on vielä muottien kalleus suhteessa nykyisiin rotaatioalumuotteihin. Edullisia muotteja kun pidetään kuitenkin yhtenä rotaatioalun tärkeimpänä vahvuutena. (Wandres 2019.)



Kuvio 18. Automaattinen rotaatiovaluprosessi lämmitettävillä muoteilla. (Wandres 2019.)

Yhtenä vaihtoehtona uunin lämmitykseen voidaan pitää myös nestekaasun korvaamista biokaasulla. Biokaasu on jalostettavissa ominaisuuksiltaan maakaasua vastaavaksi ja soveltuisi suoraan nykyisen järjestelmän polttimen polttoaineeksi. Keuruulla ei kuitenkaan ole maakaasuverkostoa, eikä lähiseudulla ole myöskään biokaasun tuotantoa. Mikäli lähiseudulla aloitettaisiin biokaasun tuotanto, niin silloin nestekaasun korvaaminen suoraan biokaasulla voisi olla mahdollista. Myös biokomponenteista valmistettua nestekaasua on markkinoilla. Kosangas valmistaa nestekaasua biodieselin valmistuksen sivutuotteena. Tällöin nestekaasun komponentteina käytetään ainoastaan kasviöljyjen ja eläinrasvojen jäännöstuotteita. Valmistajan mukaan BioLPG:tä käyttäessä kasvihuonepäästöt vähenevät jopa 95%. (Kosan Biomix n.d.)

#### 5.4 Tuotantotilan energiankulutuksen vähentäminen

Kiinteistön lämmitysenergian kulutus tuottaa vain noin 2% lopputuotteen laskennallisesta hiilijalanjäljestä, mutta kokonaisuutena tuotanto- ja toimistotilojen lämmitykseen kuluu vuosittain kaukolämpöä n. 180MWh. Suomessa kaukolämmön tuotanto aiheuttaa keskimäärin 0,19 CO<sub>2</sub>-ekv. / kWh. (Energian käyttö Suomessa n.d.) Joten

tuotantotilan lämmityksen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 34 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Kaukolämpö olisi käytännössä kokonaan korvattavissa rotaatiovalukoneen hukkalämmön talteenottojärjestelmällä. Ainoastaan kylmimpinä talviviikonloppuina tarvittaisiin mahdollisesti kaukolämpöä tai muuta varalämmitysjärjestelmää. Lämmön talteenottojärjestelmä olisikin ehdottomastiärkevin ratkaisu hallin lämmitykseen kuluvan energian vähentämiseksi.

Sähköä kiinteistössä kuluu mm. valaistukseen, ilmanvaihtoon ja paineilman tuottamiseen. Tuotantotilaan on jo vaihdettu LED-valaisimet, jotka vähentävät energian kulutusta jopa 90% verrattuna tavallisiin valaisimiin. Toimisto- ja sosiaalitilojen valaisimien yhteen laskettu teho on tällä hetkellä n.1200w, joten LED-valaisimiin vaihtamalla olisi saavutettavissa vielä noin 1kwh säästö joka tunti. Vuodessa tämä tarkoittaisi noin 6000kWh ja 0,780 tonnin CO<sub>2</sub>-ekv. vähennystä, kun keskimääräinen sähkön tuotanto Suomessa tuottaa 0,13 CO<sub>2</sub>-ekv. /kWh (Energiavirasto n.d.) ja toimisto- ja sosiaalilat ovat valaistuna 5 päivää viikossa vuorokauden ympäri.

Ilmanvaihdon ja paineilman tuottamisen energiankulutuksen optimoimiseksi on tärkeintä laitteiden oikeat säädöt ja säännöllinen huolto. Paineilmaverkoston kompressorin ja verkoston paineen sovittamisella käyttötarkoituksen mukaan on saavutettavissa huomattavia säästöjä energian kulutukseen. Myös paineilmatoimisten laitteiden ja työkalujen vaihtaminen sähkö- tai akkutoimisiin vähentää energian kulutusta sillä paineilmatoimisissa laitteissa vain noin 10% kompressorin käyttämästä sähköenergiasta saadaan käytettyä hyödyksi. (Energiatehokas paineilmajärjestelmä n.d.)

Aurinkoenergian käyttö kiinteistön sähköntuotannossa olisi perusteltua, sillä suurin osa tuotannosta ja sähköenergian kulutuksesta tapahtuu päivävuorossa, silloin kun aurinkoenergiaa on eniten saatavilla. Aurinkopaneelit tuottavat auringon säteilyenergiasta sähköä. (Ks. Kuvio 19.) Paneelit tuottavat tasavirtaa, joka on muutettava invertterillä vaihtosähköksi ennen sähköverkkoon syöttöä. Hallin katon pitkät lapheet suuntautuvat tosin itään ja länteen, jolloin paneelien asentaminen suoraan katolle ei ole tehokasta. Suomessa paneelit kannattaa suunnata yleensä etelään, jotta paneeleista saadaan paras mahdollinen tuotto. Paneelit on mahdollista asentaa myös pohjoisreunastaan ylemmäksi, jotta suuntaus saadaan paremmin kohti etelää. (Auringosta sähköä n.d.) Tulevaisuudessa mikäli edes osa rotaatioalumuoteista olisi sähkölämmitteisiä, niin aurinkosähkö voisi korvata nykyisen rotaatioalumuotein

nestekaasun kulutusta. Kiinteistön katolla on noin 1000 m<sup>2</sup> käyttökelpoista pinta-alaa paneelien asennukseen. Aurinkopaneelien teho ja hyötysuhde vaihtelee eri valmistajien välillä, mutta keskimäärin Etelä-Suomessa aurinkopaneelista on saatavilla 800-1000 kWh 6-8 m<sup>2</sup> pinta-alalta vuodessa. 1000 m<sup>2</sup> pinta-alalta olisi siis saatavilla kokonaisuudessaan 100-170 MWh vuodessa. Kiinteistön sähkönkulutus on ollut 380 MWh vuonna 2018, joten oikein mitoitetulla järjestelmällä saataisiin suuri osa päiväajan tuotannon sähkön kulutuksesta korvattua aurinkoenergialla.



Kuvio 19. Aurinkopaneeleita teollisuushallin katolla (Mikael Sjöström 2018.)

## 6 Tulokset

Alla olevasta taulukosta 2 on nähtävillä suunta-antavia kasvihuonekaasupäästöjen vähennysmahdollisuuksia eri menetelmillä. Taulukon tulokset ovat yhteenveto liitteen 1 laskentataulukosta. Liitteen 1 laskentataulukon ensimmäisessä sarakkeessa on laskettu tuotannon seurannan dokumenttien perusteella nykyisen tuotantotavan mukaiset päästöt tuotettua kappaletta kohti. Tuotannon eri päästölähteet on jaoteltu omille riveilleen. Seuraavissa sarakkeissa on otettu huomioon eri kehittämistoimenpiteillä mahdollisesti saavutettavia vähennyksiä liittyen raaka-aineeseen tai

energian käyttöön. Päästövähennykset ovat laskennallisia ja osittain tuotteiden tai järjestelmien toimittajien ilmoittamia. Taulukossa olevia säästöprosentteja on mahdollista muokata esimerkiksi erilaisten lämmöntalteenotto järjestelmien toteutuvien säästöjen mukaan. Taulukosta on kuitenkin nähtävillä, että huomattavan suuretkin päästövähennykset ovat mahdollisia varsinkin tuotteen materiaalia tai uunin polttoainetta vaihtamalla. Käyttämällä sokeriruokopohjaista polyeteeniä tuotteeseen sitoutuu hiilidioksidia enemmän kuin mitä raaka-aineen valmistaminen tuottaa. Tällöin raaka-aineeseen sitoutunut hiilidioksidi kompensoi jopa tuotteen valmistamisesta aiheutuvat päästöt. Koska neitseellisen raaka-aineen osuus tuotteen hiilijalanjäljestä on noin puolet, niin kierrätysmateriaalin käytöllä on myös mahdollista saavuttaa huomattava vähennys päästöihin. Oman tuotannon muovijäte kierrätetään jo kokonaisuudessaan takaisin tuotantoon, mutta tehokkaalla muovinkeräysjärjestelmällä esimerkiksi rakennustyömailta tuleva muovijäte on mahdollista rouhia takaisin rotaatiovalun raaka-aineeksi. Muovilaadut täytyy vain erotella tarkasti toisistaan, jotta kierrätysmuovista valmistettavan tuotteen ominaisuudet säilyvät vaatimusten mukaisina.

Taulukko 2. Hiilijalanjäljen pienentäminen eri menetelmillä

	Hiilijalanjälki		Vähennys alkutilanteeseen	
Lähtötilanne	241,8	kg CO <sub>2</sub> -ekv.		
Painon optimointi	217,6	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	6,0	%
Lämmön kierrätys	223,8	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	7,4	%
Lämmön talteenotto	237,2	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	1,9	%
Aurinkoenergia	240,8	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	0,4	%
Biokaasu	156,3	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	28,2	%
Biomuovi (green PE)	-211,2	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	194,4	%
Kierrätysmateriaali	97,8	kg CO <sub>2</sub> -ekv.	58,8	%

Korvaamalla fossiilinen nestekaasu biopohjaisella on saavutettavissa melkein kolmasosan vähennys päästöissä. Kyseisen biopohjaisen nestekaasun tuottajalla on käytössä kompensointijärjestelmä, jolla tuottaja takaa valmistavansa käytetyn määrän biopohjaista kaasua jakeluun, vaikka tuotteita ei jakeluketjussa eritelläkään eri säiliöihin.

Taulukon laskelmassa on käytetty tuotteen valmistajan ilmoittamaa 95%



kasvihuonekaasupäästöjen vähennystä verrattuna tavalliseen nestekaasuun. Biokaasua on monilla alueilla saatavilla myös paikallisilta tuottajilta esimerkiksi maataloilta tai jätteenkäsittelylaitoksilta. Myös tällainen mädättämällä valmistettu biokaasu soveltuisi jalostettuna rotaatiovalu-uunin lämmittämiseen. Haasteeksi nesteyttämättömän kaasun käytössä muodostuu kaasun kuljetus.

Nykyisillä materiaaleilla ja polttoaineilla energian käyttöä ja kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää muun muassa erilaisilla lämmöntalteenottojärjestelmissä. Kaasupolttimen käyttö rotaatiovalu-uunin lämmönlähteenä aiheuttaa suuren ilmamäärän jatkuvan virtaamisen uunin läpi. Uunista poistuvasta pakokaasusta olisi kierrätettävissä lämpö takaisin kaasupolttimen imuilmaan. Järjestelmätoimittajien mukaan järjestelyllä olisi saavutettavissa noin 20% säästö käytetyn kaasun määrässä. Toinen kohde johon uunin hukkalämpöä saisi käytettyä on kiinteistön lämmitys. Uunista poistuvalla hukkalämmöllä saisi käytännössä korvattua kiinteistössä käytetyn kaukolämmön kokonaisuudessaan. Tyyppituotteen hiilijalanjälkeen tällä ei ole kovin suurta laskennallista merkitystä, koska kiinteistön lämmitysenergian osuus tuotteen valmistamiseen käytetystä energiasta on vuositasolla tarkasteltuna vain noin 2%, mutta kokonaisuudessaan energiaa olisi kiinteistöllä säästettävissä tällä järjestelmällä lähes 180MWh ja kasvihuonekaasuja 34 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. vuosittain.

Aurinkoenergian käytöllä ei myöskään ole saavutettavissa suuria vähennyksiä tyyppituotteen hiilijalanjälkeen, koska sähkön osuus kokonaisenergian käytöstä on nykyisellä prosessilla pieni. Mutta katolle mahtuvalla 1000 m<sup>2</sup> aurinkopaneelijärjestelmällä olisi mahdollista korvata huomattava osa kiinteistön ja muun tuotannon päiväajan sähkönenergian tarpeesta. Kokonaisuudessaan aurinkoenergialla voisi vuodessa säästää kasvihuonekaasupäästöjä noin 11 tonnia CO<sub>2</sub>-ekv.

Tuotekehityksen ja optimoinnin kautta on saavutettavissa rotaatiovalussa yleisesti noin 10% vähennys käytetyssä materiaalissa, joten valmistusprosessia kokonaisuudessaan tarkasteltuna tämä tarkoittaa noin 6 % vähennystä päästöissä. Seinämävahvuuden optimointi on kuitenkin hyvin yksilöllinen prosessi ja saavutettavissa olevat säästöt vaihtelevat eri muottien välillä huomattavasti riippuen muun muassa siitä kuinka tuotesuunnittelu on onnistunut jo ensimmäisellä kerralla. Ja toisaalta käyttämällä vaahdotusmenetelmää on muovin kulutusta mahdollista vähentää huomattavasti enemmänkin.

Erilaisista tulevaisuuden ratkaisuista kuten esimerkiksi ligniini -pohjaisesta raaka-aineesta tai sähkölämmitetyistä muoteista ei ole vielä saatavilla laskentatietoja, joten niitä ei ole taulukkoon otettu mukaan.

Tutkimuksen perusteella tavoiteltu 40 % vähennys kasvihuonekaasupäästöihin on mahdollista toteuttaa vuoteen 2030 mennessä. Alla olevassa tiekartassa (Ks. Taulukko 3.) on listattuna aikajärjestykseen eri toimenpiteitä, joilla tavoiteltu säästö ja jopa hiilineutraalituotanto olisi mahdollista saavuttaa.

Taulukko 3. Tiekartta

Sarake1	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tuote												
		Seinämävahvuuden optimointi										
		Tuotteen suunnittelun optimoiminen										
		Uusi muotti										
Tuotantoprosessi												
		Paistojen optimointi										
		Lämmönkierrätys järjestelmä										
		Eri polttoaine vaihtoehtojen kartoitus										
		Biokaasun käyttö										
		Sähkölämmitettävien muottien käyttö										
Raaka-aine											Automaattinen rotaatiovalukone	
		Eri PE-laatuojen kartoittaminen										
		PE-vaahdon testaaminen										
		Eri täytämateriaalien testaaminen										
		Biopohjaisten materiaalien testaaminen										
		Raaka-aine biopohjaista ja kierrätettyä										
Kiinteistö												
		Lämmöntalteenotto järjestelmä										
		Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönotto										

## 7 Pohdinta

Euroopan Unionin asettama kasvihuonekaasujen 40 % vähennystavoite vuoteen 2030 mennessä tuntuu ensi alkuun ilman tarkempaa tutkimusta melko haasteelliselta saavuttaa. Mutta kun yksittäistä prosessia tarkastelee tarkemmin, löytyy siitä helpposti useita eri vaihtoehtoja, kuinka päästöjä saadaan vähennettyä. Tämän tutkimuksen kohteeksi valittiin yksittäisen toimialan yhden tehtaan yksi tuote. Rajaamalla työ

vain yhteen tuotteeseen oli mahdollista verrata toisiinsa eri prosessien aiheuttamia päästöjä tuotettua kappaletta kohti.



Kuvio 20. Kestävän kehityksen neliapila (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2017.)

Kestävän kehityksen neliopilassa kuviossa 20 esitetyn jaottelun mukaisesti tässä tutkimuksessa käsitellyt aihepiirit ovat jaettavissa neljään eri näkökulmaan. Kestävyyden ekologiseen, teknologiseen, taloudelliseen ja Human factor -näkökulmaan.

Koko työn lähtökohtana oleva kasvihuonekaasupäästöjen vähennys on tänä päivänä ekologisen näkökulman keskeisiä kysymyksiä. Kasvihuonekaasupäästöjen määrän kasvu ilmakehässä aiheuttaa ilmastonmuutoksen, joka nostaa maapallon keskilämpötilaa aiheuttaen suuria muutoksia alueellisiin olosuhteisiin. Kansainväliset yhteisöt ja eri valtiot ovatkin laatineet sopimuksia, joilla ilmastonmuutosta saadaan hillittyä. Ekologisen näkökulman kannalta on tärkeää tarkastella asioita kokonaisuutena, eikä vain pelkän lopputuotteen päästöjen kannalta. Esimerkiksi erilaisissa biopohjaisissa polttoaineissa on otettava huomioon myös biokomponenttien viljelyn tai keräämisen aiheuttamat ympäristövaikutukset.

Teknologisen näkökulman kannalta työssä on esitetty useita erilaisia teknisiä ratkaisuja, joilla tuotannon käyttämän energian ja fossiilisen materiaalin kulutusta saadaan vähennettyä. Erilaiset lämmöntalteenottojärjestelmät ja biopohjaiset materiaalit ja polttoaineet ovat tehokkaita keinoja ilmastomuutoksen torjunnassa. Teollisuuden prosesseista ja kiinteistöistä hukataan jatkuvasti suuria määriä käyttökelpoista lämpöenergiaa ulkoilmaan, kun tehokkailla nykyaikaisilla lämmöntalteenottojärjestelmillä hukkalämpö saataisiin ohjattua kiinteistön omaan käyttöön tai esimerkiksi paikalliseen kaukolämpöverkkoon. Myös täysin uudenlaisia valmistusmenetelmiä kehitetään jatkuvasti. Hyvänä esimerkkinä on sähköllä lämmitettävät rotaatioalumuotit, jolloin nykyisen kaltaisia suuria uuneja ei tarvittaisi enää ollenkaan. Tällöin myös aurinkoenergian hyödyntäminen muuttuisi entistä kannattavammaksi, kun aurinkopaneelilla saatava sähkö voitaisiin ohjata suoraan muottien lämmittämiseen.

Talouden näkökulmasta kaikki energian- ja materiaalinsäästötoimenpiteet pienentävät myös tuotteen valmistamisen kustannuksia. Työssä ei ole erikseen laskettu hintoja materiaaleille tai käytetylle energialle, sillä nämä hinnat vaihtelevat aina yritysjä aluekohtaisesti. Suunniteltaessa lämmöntalteenottojärjestelmiä järjestelmän oikea mitoitus ja sopivimman tekniikan valitseminen on ensisijaisen tärkeää, jotta investointi saadaan taloudellisesti kannattavaksi. Hyvän lämmön talteenottojärjestelmän takaisinmaksuaika saattaa kuitenkin parhaassa tapauksessa olla jopa alle yksi vuosi. Uusien ekologisempien raaka-aineiden markkinoille saatavuuden ratkaisee lopulta materiaalin tuottamisen kustannukset verrattuna vastaavaan fossiiliseen materiaaliin. Mikäli uuden materiaalin tuotantokustannuksia ei saada kilpailukykyisiksi, niin todennäköisesti markkinoiden löytäminen materiaalille voi olla haastavaa.

Human factor -näkökulmasta tuotteen suunnittelijan ja toisaalta ostajan vastuuta ei voi liikaa korostaa, sillä suunnitteluvaiheessa voidaan vielä erittäin helposti ja edullisesti vaikuttaa niin valmistuvaiheen materiaalivalintoihin ja -kulutukseen, kuin käytöstä aiheutuviin ympäristövaikutuksiinkin. Vaikka Euroopan Unioni etäisesti ohjaakin ympäristövaikutusten huomioon ottamista tuotesuunnittelussa, niin silti yritysten suunnitteluosastoilla on monella alalla hyvin vapaat kädet tuotteiden toteutukseen. Käytännössä kuitenkin markkinat ratkaisevat mitä ominaisuuksia tuotteissa tulee painottaa ja mikäli kuluttajat tai ostavat yritykset eivät painota

hankinnoissaan ympäristöarvoja, niin niiden huomioiminen tuotesuunnittelussa jää helposti pieneen rooliin.

Tässä tutkimuksessa laaditun tiekartan avulla yksittäisiä kehityshankkeita on mahdollista alkaa viemään eteenpäin. Jokainen kehityskohta tarvitsee ennen mahdollista toteutusta kuitenkin tarkan selvityksen tekniikan sopivuudesta tuotantoon ja käyttöönoton kustannuksista. Osa tutkimuksessa havaituista kehityskohteista on selkeästi tulevaisuuden ratkaisuja, kuten esimerkiksi sähkölämmitetyt ja robottikäyttöiset muotit tai ligniinin käyttäminen muovin raaka-aineena. Nämä tekniikat vaativat todennäköisesti vielä vuosien kehitystyön, jotta tekniikat ovat kustannustehokkaasti yritysten käytettävissä. Toisaalta toiset kehityskohteet, kuten tuotesuunnittelun avulla toteutettava materiaalin säästö ja rotaatiovalu-uunin lämmöntalteenottojärjestelmä ovat jo nyt taloudellisesti kannattavia projekteja.

Kokonaisuutena kaikkien yritysten olisi hyvä selvittää oman toimintansa aiheuttama ympäristökuormitus ainakin pääpiirteittäin. Vuonna 2015 voimaan tullut energiatehokkuuslaki velvoittaa suuret yli 250 työntekijän tai yli 50 M€ liikevaihdon yritykset selvittämään energiatehokkuutensa neljän vuoden välein, mutta myös pienemmät yritykset olisi hyvä saada selvitysten piiriin. (Suurten yritysten pakolliset katselmukset n.d.) Energiatehokkuus selvityksen yhteydessä olisi hyvä kartoittaa myös bio- ja kiertotalouden tuomat uudet mahdollisuudet. Näin Euroopan Unionin tavoitteita vähähiiliseen talouteen siirtymisestä voisi edistää yrityskohtaisesti.

## Lähteet

Agan nestekaasu. N.d. Viitattu 14.2.2019.

[http://www.aga.fi/fi/images/AGAn%20nestekaasu\\_tcm634-153756.pdf](http://www.aga.fi/fi/images/AGAn%20nestekaasu_tcm634-153756.pdf).

Auringosta sähköä. N.d. Motiva. Viitattu 25.3.2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_p\\_erusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_p_erusteet/auringosta_sahkoa).

Covington, A. N.d. Managing rotational molding machinery energy cost. Viitattu 21.3.2019. <https://rotoworldmag.com/ferry-energy-savings/>.

Crawford, R. & Kearns, M. 2003. Practical guide to rotational moulding. Belfast. Rapra Technology Limited.

Ecoprofiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers. 2012. Plastics Europe. Viitattu 19.03.2019.

<https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>.

Energian käyttö Suomessa. N.d. Viitattu 20.3.2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa).

Energiatehokas paineilmajärjestelmä N.d. koulutusmateriaali. Viitattu 25.3.2019.

[https://www.motiva.fi/files/1568/Energiatehokas\\_paineilmajarjestelma\\_OSA1.pdf](https://www.motiva.fi/files/1568/Energiatehokas_paineilmajarjestelma_OSA1.pdf)

Ervik, R. 2019. Wall thickness distribution. Esitelmä. Nordic ARM academy 2019.

Google maps. 2019. Karttapalvelu. Viitattu 9.4.2019.

<https://www.google.fi/maps/place/Paanutie,+42700+Keuruu/>.

Heikkilä, I., Huumo, M., Siitonen, S., Seitsalo, P. & Hyytiä, H. 2008. Teollisuuden energiatehokkuus. Suomen ympäristö. Viitattu 25.3.2019. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY\\_51\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38378/SY_51_2008.pdf?sequence=1).

I'm Green PE Life Cycle Assessment. N.d. Braskem. Viitattu 26.3.2018.

<http://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/ModuloHTML/Documentos/1191/Life-Cycle-Assessment-v02.pdf>.

I'm green polyethylene. N.d. Braskem. Viitattu 10.12.2017.

<http://www.braskem.com/site.aspx/Im-greenTM-Polyethylene>.

Jyväskylän ammattikorkeakoulu JAMK. 2019. Kurssimateriaali. Agrologi (Ylempi AMK) ,Biotalous kehittäminen

Kakko, K. 2015. Ligniini biotaloudessa. Tekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kemian tekniikan koulutusohjelma.

Kananen, J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja. Tampere. Tampereen Yliopistopaino Oy.

Kasvihuonekaasut lämmittävät. N.d. Ilmasto-opas.fi. Viitattu 10.12.2017.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>.

Kasvihuonekaasupäästöt EU:ssa ja maailmalla. 2018. Viitattu 25.3.2019. <http://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka>.

Kestävän kehityksen neliapila. 2017. Opintomateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kestävä tuotesuunnittelu. 2018. Ilmasto-opas -verkkosivut. Viitattu 1.11.2018. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/e25090fe-19b6-40ae-a65b-78b901433a2a/kestava-tuotesuunnittelu.html>.

KOM(2011) 112 lopullinen. 2011. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. Viitattu 10.12.2017. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>.

Kosan Biomix. N.d. Viitattu 21.3.2019. <https://www.kosangas.fi/miksi-kannattaa-valita-nestekaasu/miksi-kannattaa-valita-nestekaasu/ympaeristoe/kosan-biomix/>.

Lehtola Jarkko. 2014. Muovien kierrätys rotaatiovalussa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaalitekniikan koulutusohjelma.

Life cycle assessment of milk and cheese. N.d. Blonk consultants. Viitattu 26.3.2018. <http://www.blonkconsultants.nl/portfolio-item/lca-of-milk-and-cheese/?lang=en>.

Materiaalitehokkuus. N.d. Motiva Oy. Viitattu 10.12.2017. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/materiaalitehokkuus>.

Mikael Sjöström. 2018. Tulli 5 vuotta 47,6% - Nyt EU luopui kiinalaisten aurinkopaneelien polkumyynnitulleista. Tekniikka ja talous. Viitattu 8.4.2019. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/tulli-5-vuotta-47-6-nyt-eu-luopui-kiinalaisten-aurinkopaneelien-polkumyynnitulleista-6739391>.

Mikä hiilijalanjälki on?. N.d. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. Viitattu 10.12.2017. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankeet/climate-communication-I-II/hiilijalanjalki>.

Muovien kierrätys. N.d. Muoviteollisuus Ry. Viitattu 30.11.2017. [http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit\\_ja\\_ymparisto/muovien\\_kierratys](http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/muovien_kierratys).

Nikander, S. Materiaali- ja energiatehokkuus. N.d. Kemianteollisuus Ry. Viitattu 18.12.2017. <http://www.kemianteollisuus.fi/fi/vastuullisuus/materiaali-ja-energiatehokkuus>.

Polyeteeni (PE). N.d. Valuatlas. Viitattu 17.2.2018. [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PE\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf).

Poly foam composite moulding. N.d. Melro. Viitattu 9.4.2019. <https://www.melro.com.au/poly-foam>.

Polyuretaani. N.d. Polyuretaani. Viitattu 17.2.2018. <http://www.polyuretaani.fi/kemikaalit/>.

Ratkaisut. N.d. Motiva Oy. Viitattu 10.12.2017. [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi).

Recycling thermoset FRP-waste. Conenor Oy. Viitattu 14.3.2019. <http://www.conenor.com/recycling-thermoset-frpwaste>.

Rrtech. N.d. Viitattu 10.12.2018. <http://www.rrtech.com/>

Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017. 2018. Viitattu 25.3.2019. [https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp\\_kahup\\_1990-2017\\_2018\\_19735\\_net.pdf](https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2017_2018_19735_net.pdf).

Suurten yritysten pakolliset katselmukset. N.d. Viitattu 28.3.2019. <https://www.energiavirasto.fi/suurten-yritysten-pakolliset-katselmukset>

Sähköntuotannon päästökerroin n.d. Viitattu 15.1.2019. <https://www.energiavirasto.fi/sahkontuotannon-paastokerroin>

Tekniikka ja talous. 2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/tulli-5-vuotta-47-6-nyt-eu-luopui-kiinalaisten-aurinkopaneelien-polkumyyntitulleista-6739391>.

Wandres, O. 2019. How to optimize wall thickness distribution by manipulating the mould. Esitelmä. Nordic ARM academy 2019.

What are bioplastics. N.d. European bioplastics. Viitattu 21.3.2019. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>.



# Liitteet

## Liite 1. Hiilijalanjäljen laskentataulukko

Typöitytuote Materiaali	Muovirakenteinen kaivo h=2500mm, d=1000mm Polyeteeni, LLD PE									
	Lähtötilanne	Painon optimointi	lämmön kierrätys	Lämmön talteenotto	Aurinkoenergia	Biokaasu	biomuovi (green PE)	Kierrätysmateriaali		
Materiaalin hiilijalanjälki	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	-3,09	0 kg CO2-ekv.	
Tuotteen massa (m)	100	90	100	100	100	100	100	100	100 kg CO2-ekv.	
Käytetyn raaka-aineen hiilijalanjälki = m(tuote) * hiilijalanjälki(materiaali)	144	129,6	144	144	144	144	144	-309	0 kg CO2-ekv.	
Raaka-aineen kulutuksen vähennys		10							%	
Tuotteen valmistus										
Uunin polttoaine										
Propananin hiilijalanjälki		3	3	3	3	3	0,15	3	3	
Polttoaineen kulutus keskimäärin 2018 (m)		0,3	0,3	0,24	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3 kg kaasua / kg PE	
Tuotteen valmistamiseen käytetty kaasu = m(tuote) * m(kaasu)		30	30	24	30	30	30	30	30 kg	
Käytetyn kaasun hiilijalanjälki = m(käytetty kaasu) * hiilijalanjälki(kaasu)		90	90	72	90	90	4,5	90	90 kg CO2-ekv.	
Polttoaineen kulutuksen vähennys			20						%	
Sähkön kulutus keskimäärin 2018 (E)		0,25	0,25	0,25	0,25	0,175	0,25	0,25	0,25 kWh / kg PE	
Sähkön hiilijalanjälki Suomessa 2017		0,1285	0,1285	0,1285	0,1285	0,1285	0,1285	0,1285	0,1285 CO2-ekv. / kWh	
Tuotteeseen käytetyn sähkön hiilijalanjälki = E(sähkö) * hiilijalanjälki(sähkö)		3,2125	3,2125	3,2125	3,2125	2,24875	3,2125	3,2125	3,2125 kg CO2-ekv.	
Sähkön kulutuksen vähennys						30			%	
Kaukolämmön kulutus keskimäärin 2018 (E)		0,24	0,24	0,24	0	0,24	0,24	0,24	0,24 kWh/kg	
Kaukolämmön hiilijalanjälki Suomessa		0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19 CO2-ekv. / kWh	
Tuotteeseen käytetyn kaukolämmön hiilijalanjälki = E(kaukolämpö) * hiilijalanjälki(kaukolämpö)		4,56	4,56	4,56	0	4,56	4,56	4,56	4,56	
Kaukolämmön kulutuksen vähennys				100					%	
Hiilijalanjälki yhteensä	241,8	227,4	223,8	237,2	240,8	156,3	-211,2	97,8	kg CO2-ekv.	
<b>Vähennys % alkutilanteeseen</b>		<b>6,0</b>	<b>7,4</b>	<b>1,9</b>	<b>0,4</b>	<b>31,3</b>	<b>194,4</b>	<b>58,8</b>	<b>% vähennys</b>	
Materiaalin hiilijalanjälki	1,44	kg CO2-ekv.		<a href="https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles">https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles</a>						
Propananin hiilijalanjälki	3	kg CO2-ekv. / kg		<a href="http://www.aga.fi/images/AGAn%20nestekaasu_tcm634-153756.pdf">http://www.aga.fi/images/AGAn%20nestekaasu_tcm634-153756.pdf</a>						
Sähkön hiilijalanjälki Suomessa 2017	0,1285	kg CO2-ekv. / kWh		<a href="https://www.energiavirasto.fi/sahkontuotannon-paastokerroin">https://www.energiavirasto.fi/sahkontuotannon-paastokerroin</a>						
Kaukolämmön hiilijalanjälki Suomessa	0,19	kg CO2-ekv. / kWh		<a href="https://www.motiva.fi/raikaut/energiankaytto-suomessa/">https://www.motiva.fi/raikaut/energiankaytto-suomessa/</a>						
Polttoaineen kulutus keskimäärin 2018	0,3	kg / kg PE		Tuotannon seuranta						
Sähkön kulutus keskimäärin 2018	0,25	kWh / kg PE		Tuotannon seuranta						

## Liite 2. Tiekartta

Vuosi	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tuote												
		Seinämävahvuuden optimointi										
				Tuotteen suunnittelun optimoiminen								
				Uusi muotti								
Tuotantoprosessi												
		Paistojen optimointi										
		Lämmöneristys järjestelmä										
				Eri polttoaine vaihtoehtojen kartoitus								
				Biokaasun käyttö								
										Sähkölämmittävien muottien käyttö		
										Automaattinen rotaatiovalukone		
Raaka-aine												
			Eri PE-laatuja kartoittaminen									
			PE-vaahdon testaaminen									
				Eri täytemateriaalien testaaminen								
				Biopohjaisten materiaalien testaaminen								
												Raaka-aine biopohjaista ja kierrätettyä
Kiinteistö												
			Lämmöntalteenotto järjestelmä									
												Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönotto