



Niina Raittonen

# PC- ja PP-muovien kierrätysmahdollisuuksien kartoittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

11.5.2023

## Tiivistelmä

Tekijä:	Niina Raittonen
Otsikko:	PC- ja PP-muovien kierrätysmahdollisuuksien kartoittaminen
Sivumäärä:	29 sivua + 1 liite (salainen)
Aika:	11.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	HSEQ/SA Manager Risto Liimatainen Yliopettaja Kari Salmi

---

ABB Oy on sitoutunut lisäämään kierrättämistä ja uudelleenkäyttöä sekä vähentämään jätettä vuoteen 2030 mennessä. Yrityksen yksi pitkäaikaisista tavoitteista on lisätä tuotteiden kierrätysratkaisuja vähintään kahdeksallakymmenellä prosentilla. Tämä insinööri työ toteutettiin yhteistyönä ABB Oy:n kanssa, tukipilariksi mahdollistamaan toimeksiantajan ympäristötavoitteita.

Insinööri työn päätavoitteena oli sekajätteen erottelumahdollisuuksien kartoitus. Sivutavoitteina oli pienentää sekajätteen määrää sekä parantaa kierrätysmahdollisuuksia ABB Oy:n Wiring Accessories -tuotantolaitoksessa. Insinööri työ on toteutettu euroopalaisen jätehierarkian pohjalta, joka perustuu Euroopan direktiiviin 2008/98/EY.

Tuotannon muovijätteet sijoitetaan pääasiallisesti energiajätteeseen ja sitä kautta poltettavaksi. Tässä insinööri työssä pohdittiin mahdollisuuksia vähentää energiajätteeseen päätyvän muovijätteen määrää ja toteutettiin testauksia muovijättemäärän pienentämiseksi käytännössä. Ulkoinen yritys hoitaa kemiallisen kierrätyksen, jota myös käsitellään insinööri työssä.

Insinööri työn tuloksissa ilmenee syitä hukkamuovin syntymiselle sekä minkälaisilla ratkaisuilla hukkamuovin määrää voisi mahdollisesti pienentää. Osa ratkaisuista on pienempiä muutoksia tehtaalla, mutta osa vaatisi suurempia henkilöresursseja tai investointeja. Liite on salainen, sillä se sisältää tarkempia selitteitä mistä tuotteista, puhdistusaineesta, muovilaaduista tai tuotannon yksiköstä on kyse.

Avainsanat: kierrätys, muovi, muovijäte, energiajäte

## Abstract

Author: Niina Raittonen  
Title: Research of Recycling Possibilities for PC and PP Plastics  
Number of Pages: 29 pages + 1 appendices (confidential)  
Date: 11 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering  
Professional Major: Environmental Engineering  
Supervisors: Risto Liimatainen, HSEQ Manager  
Kari Salmi, Principal Lecturer

---

ABB Oy has committed itself to increase recycling and reuse while reducing waste by 2030. One of the company's long-term goals is to increase product recycling solutions by at least eighty percent. This thesis was conducted in collaboration with ABB Oy as a cornerstone to enable the client's environmental objectives.

The primary objective of the thesis was to survey the possibilities for sorting mixed waste. As secondary objectives, the aim was to reduce the amount of mixed waste and improve recycling opportunities at ABB Oy's Wiring Accessories production facility. The thesis was founded on the European waste hierarchy, which is based on the European Directive 2008/98/EC.

The production facility's waste is primarily disposed of as energy waste which is then incinerated. This thesis aimed to explore possibilities for reducing the amount of plastic waste discarded as energy waste. Practical tests were conducted to decrease the amount of plastic waste generated. The thesis also addresses the experimentation of chemical recycling, which is performed by an external company.

The results of the thesis reveal the causes of plastic waste generation and potential solutions for reducing the amount of plastic waste. Some of the solutions involve minor changes at the factory, while others require significant human resources or investments. The attachment is confidential as it contains detailed explanations about which products, cleaning agents, plastic types and production units are involved.

Keywords: recycling, plastic, plastic waste, energy waste

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jätekierrätyksen hierarkia	2
3	Jättemäärät tuotantolaitoksessa	3
3.1	Nykyinen kierrätystilanne	5
3.2	Jätteiden loppusijoitus	7
4	Muovituotannon jätteen aiheuttajat	9
4.1	Tuotantosarjan aloitus tai värin vaihdos	9
4.2	Valukara	10
4.3	Laatuongelmat	11
5	Jätteen muodostumisen ehkäiseminen tehtaalla	12
5.1	Värin vaihdon ongelma	12
5.2	Vanhemmat puhdistusainekokeilut	13
5.3	Selvitystyö ja tulokset	13
5.4	Ratkaisuehdotus ja analysointi	15
6	Valmistelu uudelleenkäyttöön – Yksikkö A	16
6.1	Ongelma	16
6.2	Jaksonajan testaus	17
6.3	Ratkaisuehdotus	17
7	Kierrätysmuovien käyttömahdollisuudet tehtaalla	18
7.1	Kierrätysmuovien testaus	19
7.2	Testauksen tulokset	20
7.3	Uudelleenkäytön ratkaisuehdotus	25
8	Kemiallinen kierrätys	25
9	Yhteenveto	27
	Lähteet	30

Liite 1: Yrityksen sisäinen sanasto (salainen)

## Lyhenteet ja käsitteet

Kylmätulppatasku:	Vangitsee mahdollisen kylmätulpan ja vetää valukaran irti.
PC:	Polykarbonaatti.
PP:	Polypropeeni.
SEBS:	Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene Thermoplastic Elastomer.
Valukara:	Ruiskuvalussa syntyvä ylijäämäosa. Tässä insinööri-työssä tarkoitetaan muovista ylijäämäosaa.

## 1 Johdanto

Tämä insinööriyö toteutettiin yhteistyönä ABB Oy:n kanssa, tukipilariksi mahdollistamaan toimeksiantajan ympäristötavoitteita. Toimeksiantajalla on useampia kunnianhimoisia ympäristötavoitteita, joista osassa ABB Oy:n Wiring Accessories -tuotantolaitos on toiminut edelläkävijänä. Mission to Zero -ohjelman lomassa tuotantolaitos on saavuttanut hiilineutraaliuden. Tuotantolaitoksen energiatehokkuutta on onnistuttu jo lisäämään 21 prosentilla muun muassa aurinkopaneeleilla sekä kierrättämällä tehtaan hukkaenergia lämpökaivon kautta veden-, lämmön- ja jäähdytysenergian kulutukseen. [1.]

ABB Oy on sitoutunut lisäämään kierrättämistä ja uudelleenkäyttöä sekä vähentämään jätettä vuoteen 2030 mennessä. Pitkäaikaisia tavoitteita toimeksiantajalla on muun muassa lisätä tuotteiden kierrätysratkaisuja vähintään kahdeksalakkymmenellä prosentilla sekä lopettaa kokonaan kaatopaikkajätteen tuottaminen, paikallisten mahdollisuuksien ja säädösten salliessa. [2.]

Toimeksiantajan suurena ongelmana on muovijätteen kierrätys. Tehtaan sekajätteeseen päätyy vuosittain suuria määriä muovijätettä, joiden kierrätysmahdollisuuksia pyritään lisäämään asteittain. Sekajäte sisältää muun muassa useampaa eri muovilaatua sekä metalleja. Muovien suurimmat jätemäärät koostuvat PC- ja PP-muovista. Tehtaalla aloitetaan kokeilu, jossa selvitetään PC- ja PP-muovijätteen kemiallisen kierrätyksen mahdollisuuksia. Kokeiluun tarvitaan tietty määrä PC- tai PP-muovijätettä, mutta jäte täytyy kerätä sekä erotella muusta jätteestä.

Insinööriyön päätavoitteena on sekajätteen erottelumahdollisuuksien kartoitus. Tarkemmin PC- tai PP-muovijätteen erottelumahdollisuuksia pyritään kartoittamaan. Kokeilun PC- tai PP-muovijäte saa sisältää metallijätettä, mutta ei muita muoveja tai jätettä. Samalla sivutavoitteina on pienentää sekajätteen määrää sekä parantaa kierrätysmahdollisuuksia tehtaalla. [1; 2.]

## 2 Jätekierrätyksen hierarkia

Insinööriyön sisältöä rajatessa päätettiin, että kartoitusta lähestytään eurooppalaisen jätehierarkian näkökulmasta. Jätehierarkiaa sovelletaan insinööriyössä sillä tavalla, että tuotantolaitoksen sisäpuolella etsitään joihinkin hierarkian askeleihin yksi ratkaisuehdotus. Ratkaisuehdotusta pohdiskellaan pääosin teoriassa, sillä insinööriyön aikatauluun ei mahdu kaikkien ehdotusten kokeilua käytännössä. Kuitenkin joitakin suhteellisen nopeasti toteutettavia ratkaisuja testataan käytännössä. Insinööriyön luvussa kahdeksan käsitellään myös kemiallista kierrätystä. Wastewise Group Oy vastaa ABB Oy:n tuotantolaitoksen jätteiden kemiallisesta kierrätyksestä.

Eurooppalainen jätehierarkia perustuu Euroopan direktiiviin 2008/98/EY. Kyseinen direktiivi on unionin lainsäädäntö, joka määrittää jätteiden hallinnan periaatteet EU-maissa. Direktiivin tavoitteena on edistää kestävästä kehityksestä ja parantaa jätehuollon laatua. Se määrittää jätehuollon vastuut ja velvollisuudet sekä jätteiden kierrätyksen ja hyödyntämisen tavoitteet. Direktiivi painottaa jätteiden minimointia ja jätehuollon huolellista suunnittelua, jotta jätehuolto voidaan toteuttaa tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Direktiivin mukaan jätehuollon on oltava yhdenmukainen kaikissa Euroopan unionin maissa ja jätehuollon tulee perustua kierrätykseen ja uudelleenkäyttöön. Direktiiviä ei voi soveltaa ilman saastumiseen, maaperään saateisiin, rakennustoimissa syntyvään ylijäämämaaperään, radioaktiivisiin jätteisiin, epäkäytettäviin räjähteisiin, ulostuseritteisiin, viemäriverisiin, eläinperäisiin sivutuotteisiin, teurastamattomien eläinten ruumiin tai louhintajätteisiin. Jätteiden direktiivi on tärkeä askel kohti yhtenäisempää ja tehokkaampaa jätehuoltoa Euroopassa. [3.]

Euroopan direktiivi 2008/98/EY jätehierarkia sisältää viisi kohtaa, jotka luetaan alempana. Hierarkian kohdista selkeästi tehokkain on ensimmäinen ja tehokkuusaste madaltuu ensimmäisestä kohdasta viidenteen. Mitä ylempää hierarkian kohtaa soveltaa, sitä vähemmän jätettä pääsee muodostumaan. Jätehierarkian kohdat Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY mukaan ovat

1. ehkäiseminen
2. valmistelu uudelleenkäyttöön
3. kierrätys
4. muu hyödyntäminen esim. energiana
5. loppukäsittely.

Kohtaa yksi, jätteen ehkäiseminen, sovelletaan insinööriyössä testaamalla puhdistusaineen käyttöä värienvaihdon yhteydessä. Turhan muovijätteen valmistusta pyritään vähentämään käyttämällä puhdistusainetta muovituotteiden värienvaihdon yhteydessä. Tuotteiden väriä vaihtaessa syntyy paljon värivirheisiä tuotteita. Puhdistusaineen testausta käsitellään luvussa 4.

Direktiivin kohtaa 2 sovelletaan luvussa 6. Kyseisessä luvussa kerrotaan aiemmin tehdystä testauksesta, jossa jaksonaikaa pidentämällä pyrittiin vähentämään muovijätteen määrää.

Direktiivin hierarkian kohtaa 3 sovelletaan luvussa 7. Edellä mainitussa kappaleessa testataan hukkamuovin uudelleenkäytön ominaisuuksia. Kappaleessa myös pohditaan käyttökohteita mahdollisille kierrätysmuovimateriaaleille.

Tässä insinööriyössä direktiivin kohtaa 4, jätteen hyödyntämistä, sovelletaan niin, että jätettä kierrätetään kemiallisesti. Kemiallisesta kierrätyksestä kerrotaan lisää luvussa 8. Tämä tapahtuu korvaamalla jäte muilla materiaaleilla, jotka oli muuten käytetty erityiseen tarkoitukseen tai valmistelemalla jäte sellaiseen käyttöön, esimerkiksi kierrätys pyrolyysissä, eli kemiallisessa kierrätyksessä. [3.]

### **3 Jättemäärät tuotantolaitoksessa**

ABB Oy:n tuotantolaitoksen jätteenkeräyksen ja loppusijoittamisen hoitaa ulkopuolinen yritys, Urbaser Oy. Tässä kappaleessa käsiteltävät jättemäärät on

selvitetty Urbaser Oy:n laatimista jäteraporteista. Tuotantolaitoksella syntyi aikavälillä 2022 tammikuu – 2022 lokakuu yhteensä noin 114 100 kg jätettä. Kyseinen arvio sisältää tuotannosta syntyvän jätteen lisäksi myös muut jätteet, kuten esimerkiksi ruokalan ja toimistotilojen käytössä syntyvät jätteet. Kuvassa 1 näkyy erilaisten jätemäärien prosenttiosuudet kaikista tehtaan jätteistä. Syntyvästä jätteestä energiajätteen osuus on suurin eli noin 60 400 kg, joka on noin 53 % jätteiden kokonaismäärästä. Energiajätteen keskiarvo kyseisellä aikavälillä on noin 6 040 kg kuukaudessa. Seuraavaksi suurin on kierrätyspahvin osuus, joka on 13 % eli noin 14 600 kg. Kolmanneksi suurin jätelaji on metallijäte eli noin 10 300 kg, ja neljänneksi suurin on puujäte, joka on noin 8 800 kg. Kierrätysmuovien osuus jätteestä on 2 % eli hieman alle 2 700 kg. [4.]

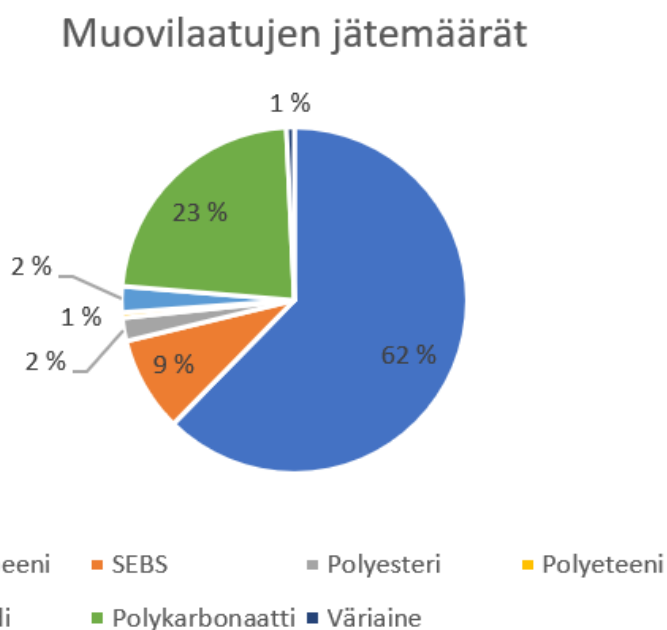
Jätemäärien prosenttiosuus jätelajeittain



Kuva 1. Jätemäärien prosenttiosuus kokonaisjätteen määrästä aikavälillä 2022 tammikuu – 2022 lokakuu [4].

Muovilaatujen tarkemmat jätemäärät selvitettiin insinööriyötä varten yrityksen sisäisestä dokumentista. Kuvassa 2 näkyy jaoteltuna eri muovilaatujen jätemäärät prosentteina aikavälillä 2022 tammikuu – 2022 lokakuu. Energiajätteen osuudesta iso osuus on hukkamuovia. Hukkamuovin osuus on noin 24 000 kilogrammaa koko energiajätteen 60 000 kilogrammasta. Tällä kyseisellä aikavälillä

ei ole vielä kerätty polypropeenia kemialliseen kierrätykseen, sillä kokeilu aloitettiin myöhemmin tammikuussa 2023. Ympyräkaaviosta voidaan päätellä, että muovilaaduista polypropeenia joutuu eniten energiajätteeseen. Seuraavaksi suurimmat määrät muovijätteestä ovat polykarbonaattia. Kolmanneksi suurimmat jätemäärät tulivat SEBS-muovista. Polyamidia ja polyesteriä oli energiajätteessä molempia noin 500 kg. Kaikista vähiten hukkamuovia syntyi väriaineista sekä polyeteenistä, joita molempia oli energiajätteessä alle 200 kg kyseisen kymmenen kuukauden aikana. [4–7.]



Kuva 2. Muovilaatujen jätemäärät prosentteina aikavälillä 2022 tammikuu – 2022 lokakuu [4; 5].

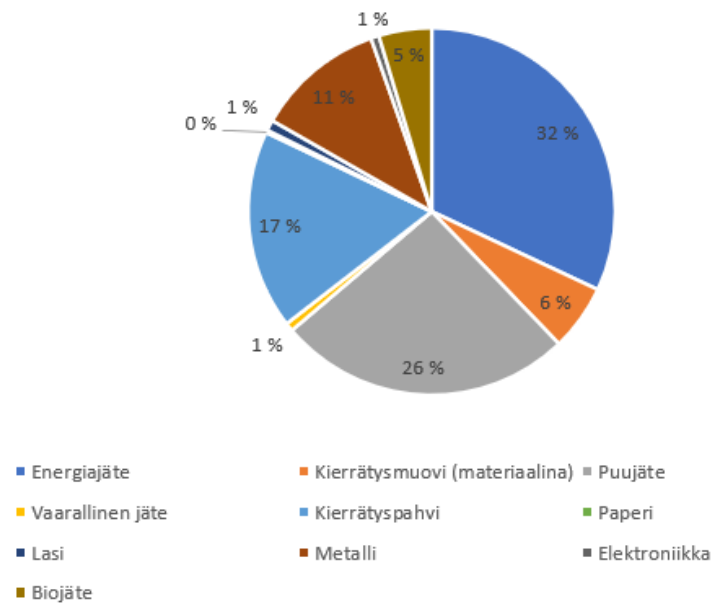
### 3.1 Nykyinen kierrätystilanne

Tuotantolaitoksella jätettä kierrätetään paljon, mutta jätteen kierrätyksessä, erityisesti muovien osalta, on vielä parantamisen varaa. ABB Oy:n tuotantolaitoksen sekajäte käytetään hyödyksi uudelleen energiana, mutta sitä ei hyväksytä ABB Oy:n periaatteiden mukaan kierrätykseksi. Yritys pyrkii käyttämään jätettä hyväksi ensisijaisesti materiaalina ja tämän jälkeen vasta kierrättämään kemiallisesti tai hyödyntämään energiantuotannossa. [7.]

Aikavälillä tammikuu–lokakuu vuonna 2022, ABB Oy:n tuotantolaitoksen muovijätteistä muualla kierrätettäviä muoveja ovat kalvomuovit sekä kulutusmuovipakkaukset. Kierrätetyn muovin osuus kokonaisjätteestä oli kyseisellä aikavälillä noin kaksi prosenttia. Muovin kierrätystä pyritään tehtaalla edistämään testamalla kemiallista kierrätystä. Wastewise Group Oy hoitaa kemiallisen kierrätyksen. Customer Support and Sustainability Specialist Mia Astikainen toimii yhteistyössä Wastewise Group Oy:n kanssa. Osa kappaleen tiedoista pohjautuu Astikaisen tietämykseen. Wastewise Group Oy:n Kemiallisen kierrätyksen kokeilu aloitettiin ensin polypropeenille ja seuraavaksi polykarbonaatille, mikäli kokeilu kantaa hedelmää. Kemiallista kierrätystä on testattu ensin pienellä muovimäärällä. Testaus todettiin onnistuneeksi, joten ABB Oy:n tuotantolaitoksella päätettiin aloittaa kemiallisen kierrätyksen kokeilu isommalla muovimäärällä. Kierrätyskokeilua varten tarvitaan suuri määrä, joka on noin 5 000 kg PP-muovia. PP-muovin kerääminen aloitettiin vuoden 2023 tammikuussa. PP-muovit saatiin kerättyä ja lähetettiin eteenpäin 16.3.2023. Kemiallisen kierrätyksen prosessi ja sen lopputuotteen laadun todentaminen on vielä kesken. Tällä hetkellä myös pienempiä määriä PC-muovia on toimitettu testauksen, mutta tuloksien saamisessa kestää pidempään. [4; 8; 9.]

Vuoden 2022 aikaväliin tammikuu–lokakuu energijätteen kuukausittaiseen keskiarvoon verrattaessa kemiallisen kierrätyskokeilun myötä energijätteen määrä on vähentynyt lähes puoleen. Kyseisen aikavälin energijätteen määrä oli keskiarvoltaan 6 040 kg kuukaudessa. Kuvassa 3 näkyvät jätemäärien prosentiosuudet kokonaisjätteestä vuonna 2023, aikavälillä tammikuu–helmikuu. Tehtaan kaikkia jätteitä on kerätty yhteensä noin 20 600 kg, vuonna 2023 aikavälillä tammikuu–helmikuu, eli jätteiden kokonaismäärä on suhteellisen saman verran kuukausittain kuin edellisenä vuonna. ABB Oy:n tuotantolaitoksen energijätteen määrä on ollut vuonna 2023 tammikuussa 3 080 kg ja helmikuussa 3 520 kg. [5; 11.]

Jättemäärien prosenttiosuus jätelajeittain 2023



Kuva 3. Tuotantolaitoksen koko jätteen lukumäärä jaettuna jätelajien prosenttiosuuksille vuonna 2023 aikavälillä tammikuu–helmikuu [11].

### 3.2 Jätteiden loppusijoitus

Tuotantolaitoksessa syntyvät jätteet voidaan loppusijoittaa neljään eri kategoriaan, joita ovat

- energiahyötykäyttö polttamalla
- uudelleenkäyttö materiaalina
- uudelleenkäyttö biokaasuna
- osittainen uudelleenkäyttö.

Alapuolella sijaitsevassa ympyräkaaviossa Kuvassa 4 näkyy tehtaan kaikki jätteet vuonna 2022, aikavälillä tammikuu–lokakuu, jaoteltuna loppusijoituskohteittain. Materiaalina uudelleenkäytettäviä jätteitä on 27 % tehtaan kokonaisjätteen määrästä. Uusiomateriaalijätteisiin kuuluvat kierrätysmuovit, kuormalavat,

lasijäte, paperijäte, pahvijäte, sähkö- ja elektroniikkaromu sekä metallijäte. Biokaasuna uudelleenkäytettäviä jätteitä oli kokonaisjätteen määrästä 5 %, joka muodostuu biojätteistä. Yhteensä joko biokaasuna tai uusiomateriaalina kokonaisjätteiden määrästä kierrätetään 32 % tehtaan jätteistä. Osittainen uudelleenkäyttö pitää sisällään öljyjätteet ja rakennusjätteet. Kyseiset jätteet pyritään kierrättämään, mutta osa joudutaan loppusijoittamaan energiahyötykäyttöön. Energiahyötykäyttöön sijoitetaan suurin osa eli 67 % tuotantolaitoksen jätteistä. Energiahyötykäyttö pitää sisällään kaikki jätteet, joita ei voida kierrättää materiaalina tai biokaasuna. [4–6; 10.]



Kuva 4. Tuotantolaitoksen jätteet jaettuna loppusijoituskohteisiin vuonna 2022 aikavälillä tammikuu–lokakuu [4; 10].

Jätteiden kierrätyksen loppusijoitus vuoden 2023 tammi- ja helmikuussa näkyy kuvassa 5. Ympyräkaavio ei sisällä kemialliseen kierrätykseen laitettavaa jättemäärää, sillä kemialliseen kierrätykseen sijoitettavat jätteet kerättiin vasta maaliskuun puolella. Maaliskuun jäteraportti ei ollut saatavilla opinnäytetyötä tehdessä. Vuonna 2023 jätteen uudelleenkäyttö materiaalina on kasvanut

kymmenellä prosentilla vuoteen 2022 verrattaessa. Uudelleenkäyttö biokaasuna sekä osittainen uudelleenkäyttö on pysynyt samoissa luvuissa. [4; 8; 10; 11.]



Kuva 5. Tuotantolaitoksen jätteet jaettuna loppusijoituskohteisiin vuonna 2023, aikavälillä tammikuu–helmikuu [10; 11].

## 4 Muovituotannon jätteen aiheuttajat

Tämän kappaleen informaatio on hankittu useammasta eri lähteestä, eli ABB Oy -tuotantolaitoksen tehdaskierroksella, haastatteleamalla muutamaa eri henkilöä sekä internetin verkkosivuilta. Muovijätteen syntyyn on monia eri syitä tuotteita valmistaessa. Esimerkiksi valmistettava tuote voi olla visuaalisesti viallinen, valmistavassa koneessa on vikaa tai tuote ei ole läpäissyt kaikkia laatuvaatimuksia. Tuotteita testataan erilaisilla menetelmillä, mutta myös visuaalinen tarkastus on oleellinen osa laadun varmistamista.

### 4.1 Tuotantosarjan aloitus tai värin vaihdos

Tämän kappaleen tiedot perustuvat haastatteluun ja ABB Oy:n tuotantolaitoksessa tehdaskierroksella tehtyihin havaintoihin. Haastattelussa valmistuksen

tekninen johtaja Markus Broman kertoi värienvaihdosta tuotantolaitoksella sekä puhdistusainekokeilusta, jossa pyrittiin vähentämään hukkamuovin tuottamista. Puhdistusainekokeilusta kerrotaan enemmän luvussa viisi. Lisäksi havaintoja on tehty tuotantolaitoksen tehdaskierroksella.

Värienvaihdosta syntyy paljon hukkamuovia, sillä värivirheisiä tuotteita ja tuotteen komponentteja ei laiteta myyntiin, vaan energiajätteeseen. Yrityksellä ei ole useampia ruiskuvalumuotteja tuotteiden jokaiselle erilaiselle värille. Tuotteiden muovilaadun väri vaihdetaankin niin sanotusti ajamalla kone ja muotit puhtaiksi edellisestä tuoteväristä. Mitä tummempi väri on kyseessä, niin sitä pidempään värienvaihto kestää. Useampien muottien hankkiminen olisi hyvä ratkaisu hukkamuovin vähentämisen osalta, mutta se on investointina hintava ratkaisu. [12.]

## 4.2 Valukara

Osa muoteista valmistaa tuotteen yhteydessä valutapin, eli valukaran. Sulan materiaalin virtaus muottipesiin tapahtuu valukanavien kautta valukaralta. Kun muotissa on useampia pesiä, on tärkeää, että valukanavat ovat tasapainossa ja tarjoavat saman painehäviön kaikille muottipesille, jotta pesät täyttyvät tasaisesti. Muovimateriaali johdetaan sulana muotin pesään joko syötön tai portin kautta. Syötön on oltava mitoitettu täysin oikein, jotta osakiteiset muovimateriaalit eivät viilene tavattoman tehokkaasti. Syötön on myös oltava pyöreän muotoinen, jotta ruiskutuksen kuluessa ei syntyisi korkeita leikkausvoimia, jotka voivat olla haitaksi materiaalille. Syötön sijainti verrattaessa kappaleeseen vaikuttaa suuresti, sillä se yhdistettynä potentiaalisten yhtymäsaumojen kanssa muodostaa tuotteen heikoimman kohdan. Syötön on siksi sijaittava seinämäpaksuudeltaan tuotteen suurimmassa kohdassa. Muussa tapauksessa on riski, että kappaleen supistumista jälkipaineen aikana ei pystytä tasoittamaan. [13.]

Tehtaalla kierrettyä tehtiin seuraavia havaintoja. Valukaran sijoituspaikalle kyseisessä ABB Oy:n tuotantolaitoksessa on kolme vaihtoehtoa. Valukara voidaan sijoittaa joko energiajätteeseen, myllyyn uudelleen rouhittavaksi tai

muovinkeräykseen ja sitä kautta kemialliseen kierrätykseen. Valukara on helppo kierrättää mekaanisesti myllyssä, sillä se sisältää vain yhtä muovilaatua, eikä se sisällä metallisia komponentteja. ABB Oy:n tuotantolaitoksessa kierrätetään mekaanisesti valukaroja, mutta kaikkien tuotteiden valukaroja ei pystytä hyödyntämään uudelleen mekaanisesti. Kaikkien tuotteiden valmistamisesta ei synny valukaroja. Kemiallisesti valukaraa voidaan hyödyntää materiaalista ja kemiallisen kierrätyksen kokeilun tuloksesta riippuen.

### 4.3 Laatuongelmat

Laatuongelmat voivat johtua useammasta eri tekijästä. Tässä kappaleessa kerrotaan vain muutamasta laadullisesta huomiosta, joita on tullut ilmi tehtaalla kierreltyä. Laatuongelmat voivat johtua esimerkiksi muotista, muovipelletistä, viallisesta ruiskuvalukoneen tai valmistettavan tuotteen komponentista ja monesta muusta seikasta. Muovimassojen koostumuksessa tai värissä voi olla poikkeavuuksia, jotka vaikuttavat laatuun visuaalisesti tai tuotteen ominaisuuksiin. Värivirheisistä tuotteista kerrotaan enemmän seuraavassa kappaleessa, jossa käsitellään puhdistusaineen testausta.

Laatuongelmat, jotka johtuvat muotista, voivat johtua esimerkiksi seuraavista tekijöistä: muottirunko tai -levyt ovat liian heikot, syöttökanavat on muotoiltu väärin, valukanavan mitoitus tai muotoilu on virheellinen, muotin lämpötila on väärä, valukaran mitoitus on virheellinen, kylmätulppatasku on vääränlainen tai ilmanpoisto on riittämätön. Muotista johtuvat laatuongelmat ovat hankalia havaita silmämääräisesti. Ongelmat esiintyvät yleensä erilaisissa testauksissa esimerkiksi kappaletta kuormittamalla. [14.]

ABB Oy:n tuotantolaitoksen tuotteiden laatuongelmat voivat johtua myös tehtaan ulkopuolisista tekijöistä. Tehtaalla valmistetaan tuotteita, joista osa sisältää useampia erilaisia komponentteja. Jotkut komponentit saatetaan hankkia ulkopuolisesta yhteistyöyritykseltä. Eräässä tehtaan tuotteen valmistusyksikössä on ongelmia metallisen komponentin kanssa. Tuotteessa käytettävä metallinen

komponentti ei ollut tarpeeksi laadukas ja se vaikutti koko tuotteen laadulliseen arvoon. Kyseisestä laatuongelmasta kerrotaan lisää kappaleessa kuusi. [15.]

## 5 Jätteen muodostumisen ehkäiseminen tehtaalla

Jätteen muodostumisen ennaltaehkäisy on tärkein ja tehokkain teko ympäristön säästämiseksi. Jos jätettä ei muodostu, niin sille ei tarvitse myöskään etsiä sijoituspaikkaa tai mahdollista kierrätyskohdetta. Tässä kappaleessa tutkitaan mahdollisuutta pyrkiä vähentämään muovijätettä käyttämällä puhdistusainetta ruiskuvalukoneen värinvaihdon yhteydessä. Puhdistusaineen käyttöä on kokeiltu tehtaalla aikaisemminkin ajallisen hyödyn ja muovijätteen vähentämisen toivossa. Kokeilusta haastateltiin valmistuksen teknistä johtajaa Markus Bromania, jonka haastattelun pohjalta kappale on kirjoitettu. [3.]

### 5.1 Värin vaihdon ongelma

Tuotteiden valmistuksen alitusvaiheessa syntyy paljon muovijätettä, sillä tuotteiden välillä vaihdetaan yleensä myös muoviraaka-ainetta tai raaka-aineen väriä. Muoviraaka-aineen tai sen värin vaihto aiheuttaa paljon väriltään virheisiä tuotteita. Väri virheiset tuotteet eivät täytä ABB Oy:n laatutavoitteita, joten ne päätyvät tällä hetkellä sekajätteeseen tai jos kyseessä on PP-muovi, niin mahdollisesti kemiallisen kierrätyksen kokeiluun. Tuotteiden värin vaihtaminen hoidetaan tällä hetkellä niin, että kone ajetaan puhtaaksi uudella värillä. Osaa tuotteista valmistetaan useampana eri värinä, joten väri vaihtoa tapahtuu suhteellisen usein. Väri virheiset tuotteet sisältävät yleensä niin kutsuttuja sattumia, eli pieniä pisteitä tai viiruja edellisen muovilaadun väristä. Tietyillä ruiskuvalukoneilla väri vaihdossa syntyvä muovijäte aiheuttaa suurimman osan koko koneen aiheuttamasta muovijätteestä, sillä kaikista ruiskuvalukoneista ei synny valukaraa eikä huonolaatuisten tuotteiden määrä huomattavan ole suurta. [5; 12.]

## 5.2 Vanhemmat puhdistusainekokeilut

ABB Oy:n tuotantolaitoksessa on tehty kokeilu puhdistusaineen käytöstä tuotteen X värinvaihdon yhteydessä noin 5 vuotta sitten.

Kokeilussa testattiin puhdistusainetta Y, jota käytetään syöttämällä puhdistusainetta koneen sisään, samalla tavalla kuin normaalia muoviraaka-ainetta lisätessä. Bromanin [12] mukaan, alkuvaiheessa kokeilua puhdistus näytti auttavan, sillä väri lähti silmämääräisesti vaihtumaan nopeammin, kuin värinvaihdossa ilman puhdistusainetta. Värinvaihdon kokonaiskestoon puhdistus ei kuitenkaan vaikuttanut, sillä pieniä väripisteitä tuli muotista pidempään. Kokonaiskesto puhdistusainetta Y käytettäessä oli saman pituinen, ja hukkamuovia syntyi samoja määriä kuin värinvaihdossa ilman puhdistusainetta.

Kokeilussa todettiin, että kyseinen puhdistusaine ei hyödyttänyt kyseisessä tuotteessa, mutta siitä saatiin silti arvokasta tietoa. Broman suositteli kokeilemaan puhdistusaineen käyttöä uudestaan, mutta eri puhdistusainetuotteella. Puhdistusaineet ruiskuvalukoneille ovat mahdollisesti kerenneet muuttua viiden viime vuoden aikana, joten parempia puhdistusaineita on todennäköisesti markkinoilla. Broman suositteli aloittamaan kokeilun ensin yksinkertaisemmasta tuotteesta, sillä ruiskuvalukoneen muotit ovat yksinkertaisempia sekä edullisempia. [12.]

## 5.3 Selvitystyö ja tulokset

Selvitystyö alkoi keskustelemalla tehtaan henkilökunnan kanssa värinvaihtoon ja puhdistusaineen käyttöön liittyvistä ongelmista ja huomioitavista seikoista. Production Specialist Kim Thuringin ja Quality Specialist Marianne Anderssonin kanssa keskusteltua 28. marraskuuta selvisi selkeämpi suunta oikean puhdistusaineen löytymiseen kokeilua varten. Sähköpostia laitettiin useampaan eri kohteeseen, mukaan lukien ruiskuvalukoneen valmistajalle, ja neljästä eri lähteestä suositeltiin AsaClean-puhdistusainetta. Kyseistä puhdistusainetta

käytetään ABB Oy:n toisessa tuotantolaitoksessa, Suomen ulkopuolella. Puhdistusaine saapui tehtaalle joulukuussa 2022.

Puhdistusainetestauksen suoritti Production Development Specialist Ari Lehto, aikavälillä 9.—10.2.2023. Taulukosta ilmenee värinvaihtoon käytetty aika minuutteina, ruiskuvalukoneen iskujen lukumäärä, hukkamuovin määrä kilogrammoina sekä materiaaleihin käytetty investointi euroina. Testi suoritettiin kahden eri tuotteen valmistuksen yhteydessä, joten tuotteiden massat ovat erilaiset tuotteiden 1 ja 2 välillä. Taulukossa 1 sijaitsevat värinvaihdot on merkitty aikajärjestyksessä vasemmalta oikealle. Tuotteen numero 1 massa on 19,157 grammaa ja tuotteen numero 2 massa on 35,575 grammaa. Molempien tuotteiden muotit valmistavat yhteensä neljä tuotetta yhdellä iskulla, joten tuotteen massa on kerrottu taulukossa 1 neljällä. [16.]

Taulukko 1. Puhdistusaine testauksen hukkamuovin määrä, iskujen määrä, käytetty aika ja materiaalien hinta [16–18].

Väri	Vihreä -> Valkoinen	Valkoinen -> Punainen	Punainen -> Musta	Vihreä -> Valkoinen
Tuote	1	1	1	2
Käytetty aika [min]	25	5	2	20
Iskujen määrä	6	10	2	60
Hukkamuovin määrä [kg]	0,460	0,766	0,153	8,778
Materiaalien hinta yhteensä[€]	56,67	1,82	0,36	25,70
Puhdistusainetta käytetty?	KYLLÄ	EI	EI	EI

Vihreästä valkoiseen siirtyessä tuotteen 1. kohdalla hukkamuovia syntyi puhdistusaineen kanssa 460 grammaa, aikaa siihen kului 25 minuuttia ja materiaaleihin rahaa kului 56,67 euroa. Valkoisesta punaiseen siirtyessä hukkamuovia syntyi ilman puhdistusainetta 766 grammaa, aikaa siihen kului 10 minuuttia ja materiaaleihin kului rahaa 1,82 euroa. Punaisesta mustaan siirtyessä ilman puhdistusainetta, hukkamuovia syntyi 153 grammaa, aikaa siihen kului kaksi minuuttia ja rahaa materiaaleihin kului 36 senttiä. Vihreästä valkoiseen siirtyessä tuotteen 2 kohdalla ilman puhdistusainetta hukkamuovin määrä oli 8,778 kg, aikaa kului 20 minuuttia ja materiaaleihin kului rahaa 25,70 euroa. [16–18.]

#### 5.4 Ratkaisuehdotus ja analysointi

Tuloksissa täytyy ottaa huomioon se, että tuotteet ovat eripainoisia, joten hukkamuovia on suurempia määriä painavammalla tuotteella. Lisäksi täytyy ottaa huomioon myös se, että tummasta vaaleaan sävyyn on huomattavasti vaikeampi siirtyä kuin vaaleasta tummaan. Testauksessa ei ole otettu huomioon energiaan käytettäviä kustannuksia. Tuloksista voidaan päätellä, että puhdistusaineen käyttö vähentää hukkamuovin määrää huomattavasti, mutta kasvattaa värinvaihtoon käytettävää aikaa. Ilman puhdistusainetta hukkamuovin määrä on kymmenkertainen puhdistusaineen käyttöön verrattuna.

Aikaa puhdistusainetta käytettäessä lisääntyy pääasiassa sen takia, että puhdistusaineen täytyy vaikuttaa 10 minuuttia, kunnes sen voi ajaa ulos. Puhdistusainetta käytettäessä kuluu huomattavasti enemmän rahaa, sillä puhdistusaine on kalliimpaa kuin muoviraaka-aine. AsaClean-puhdistusaineen hinta on noin 69 €/kg, riippuen toimittajasta. Tässä testauksessa puhdistusainetta käytettiin 800 grammaa. Rahaa puhdistusainetta käytettäessä kului yli kaksi kertaa enemmän kuin ilman puhdistusainetta. Muoviraaka-aineen hinta vaihtelee valmisteen mukaan. Tässä insinööriyössä hinta on laskettu tuotteen kilohinnan mukaan, joka on materiaalista riippuen noin 2 €/kg. Toistaiseksi ei ole rahallisesti kannattavaa käyttää puhdistusainetta värin vaihdon yhteydessä, mutta jos muoviraaka-aineen hinta nousee tai puhdistusaineen hinta laskee, niin puhdistusaineen käytöstä tulee kannattavampaa. [16–18.]

Muita ratkaisuehdotuksia on esimerkiksi suunnitella ajojärjestys järkevämmiin. Jos mahdollista niin ensin ajetaan musta väri, seuraavaksi harmaat ja muut värit, esimerkiksi punainen, ja viimeisenä valkoinen. Poukkoilua eri tuotevärien välillä pitää pyrkiä vähentämään. Toinen ratkaisuehdotus on valmistaa värillisiä tuotteita suurempia määriä etukäteen varastoon. Positiivista siinä on, että väriä tulee vaihdettua harvemmin ja negatiivisena puolena on, että varastotila on maksullista, sillä yrityksen sisäiset varastotilat ovat rajalliset. Huomioon on otettava se, että hukkamuovi ja siihen käytettävä energia maksaa. Tässä

tapauksessa täytyy arvioida tarkemmin muun muassa sitä, kuinka paljon varastotila maksaa ja miten paljon värillisille tuotteille on kysyntää. [12.]

Kannattaisi myös harkita värivirheisten tuotteiden myyntiä. ABB Oy voisi avata kokonaan uuden, niin kutsutun outlet-linjaston, joka pitäisi sisällään kaikki tuotantolaitoksessa valmistettavat tuotteet. Hinnaltaan outlet-tuotteet olisivat luonnollisesti edullisempia, mutta käyttöominaisuuksiltaan samanlaisia tavalliseen tuotteeseen verrattuna. Tuotteiden kuuluu läpäistä ominaisuuksiltaan kaikki muut laatutavoitteet, lukuun ottamatta visuaalista tarkastusta. Osa tuotteista, jotka ovat käyttöominaisuuksiltaan täysin toimivia, joutuu energiajätteeseen, mekaaniseen tai kemialliseen kierrätykseen visuaalisten poikkeavuuksien vuoksi. Tässä ratkaisussa on selvitettävä, kuinka paljon värivirheisille tuotteille on kysyntää. Osa ABB Oy:n tuotteista asennetaan seinän sisäpuolelle, eivätkä ne välttämättä tule näkyviin ollenkaan. Sellaisissa tapauksissa värivirheisillä tuotteilla ei todennäköisesti ole asiakkaille suurta merkitystä.

## **6 Valmistelu uudelleenkäyttöön – Yksikkö A**

Tässä kappaleessa käsitellään tietyn tuotevalmistuksen yksikön A ongelmia, sen ratkaisuja sekä aikaisemmin suoritettua testausta muovijätteen vähentämiseksi. Kyseisessä yksikkö A:ssa valmistetaan ruiskuvalukoneella yksinkertaista muovituotetta, johon lisätään kaksi ulkoisessa yrityksessä valmistettua metallista komponenttia. Jaksonajalla tarkoitetaan ruiskuvalukoneella yhteen ruiskutukseen käytettävää aikaa muotin täyttämisestä tuotteen ulosottamiseen asti. Tässä kappaleessa käsiteltävästä jaksonajantestauksesta on haastateltu tuotannonsuunnittelija Mira Lindströmiä. Lisäksi tietolähteenä on käytetty tehdaskierroksella tehtyjä havaintoja. [15.]

### **6.1 Ongelma**

Kyseinen yksikkö A on toiseksi suurin hukkamuovin tuottaja tuotantolaitoksen yksiköistä. Yksiköstä syntyi muovijätettä yli 3 000 kg vuonna 2022, aikavälillä tammikuu–lokakuu. Yksikkö A:n hukkamuovin määrä johtuu muutamasta eri

seikasta. Suuri ongelma on metallikomponenttilinjaston hitaus. Metallikomponenttilinjaston puolella komponentit jäävät useammassa kohdassa jumiin tai niiden etenemisvauhti hidastuu. Yksikkö A ei kiinnitä muovikappaleeseen komponentteja tarpeeksi nopeasti, sillä metallikomponentit jäävät jumiin linjastolle. Yksikkö A:n ruiskuvalun puolella muovikappaleet valmistuvat huomattavasti nopeammin, ja kone ei ennätä kiinnittämään metallisia komponentteja tarpeeksi nopealla vauhdilla muovikappaleisiin.

Yksikkö A:n konetta ei ole ohjelmoitu, että se pysähtyisi, kun metallikomponenttilinjasto hidastuu vaan muovikappaleet ohjautuvat sekajätteeseen. Kone on mahdollista ohjelmoida pysähtymään metallikomponenttilinjaston hidastuessa, mutta sen seurauksena tuotanto lakkaisi etenemästä liian nopealla aikavälillä, eikä valmiita tuotteita saada riittävän nopeasti valmistettua. Lisäksi henkilökunnalla ei ole riittävästi resursseja käynnistää tuotantoa uudelleen, sillä työntekijät ovat vastuussa useammasta yksiköstä kerrallaan. Hukkamuovijätteestä osa sisältää metallisia komponentteja, mutta osa ei. [4; 6; 15.]

## 6.2 Jaksonajan testaus

Kokeilussa testattiin kyseisen yksikkö A:n ruiskuvalukoneen jaksonajan ohjelmointia pidemmälle aikavälille, että metallikomponenttilinjaston puoli pysyisi valmistuksen tahdissa perässä. Kokeilua suoritettiin syksyllä, elo- ja syyskuussa 2022. Kokeilu jouduttiin lopettamaan kesken, joten testauksen tulokset jäivät puutteellisiksi. Kokeilu lopetettiin siitä syystä, että huonolaatuiset metallikomponentit vaikuttivat tuotteiden laatuun. Huonolaatuiset tuotteet päätyivät sekajätteeseen, vaikka metallikomponentit saatiin kiinnitettyä tuotteisiin paikoilleen. Ruiskuvalukoneen jaksonajan hidastamisen vaikutuksia ei päästy kunnolla todentamaan. [15.]

## 6.3 Ratkaisuehdotus

Tehdaskierroksella kävi ilmi, että yksikkö A:n yhteydessä on aikaisemmin ollut käytössä rouhintamyly, johon on sijoitettu hukkamuovituotteita, jotka eivät

sisällä metallikomponentteja. Myllyn käyttö kuitenkin lopetettiin, sillä hukkamuovia syntyi niin suuria määriä, että käytettävän hukkamuvirouheen määrä vaikutti valmistettavan tuotteen laatuun.

Metallikomponenttia valmistavan yhteistyöyrityksen kanssa on käyty neuvotte- luita uusista metallikomponenttien malleista, joiden toivotaan helpottavan tava- ran liikkumista metallikomponenttilinjaston puolella. Uusi metallikomponentti- malli on tulossa käyttöön, mutta ajankohta ei ole vielä varmaa. Mira Lindström suosittelee kokeilemaan jaksonajan hidastamista uudelleen päivitettyjen metalli- komponenttien saavuttua ja uskoo kokeilun olevan seuraavassa testauksessa hedelmällisempi. [15.]

Mahdollisesti yksikkö A:n yhteyteen voi lisätä jätemuoville tarkoitetun rouhinta- myllyn uudestaan metallikomponenttien saavuttua, jotta minimoitaisiin hukka- muovin määrä. Jos hukkamuvirouheen määrä tuotteessa on tarpeeksi pieni, niin se ei vaikuta negatiivisesti tuotteen laatuun. Tällä hetkellä tuotteen hukka- muovi menee osittain kemiallisen kierrätyksen kokeiluun, mutta ympäristölle haitattomampi vaihtoehto olisi kierrättää hukkamuovi ABB Oy:n tuotantolaitok- sen sisäpuolella. [3; 19; 20.]

## **7 Kierrätysmuovien käyttömahdollisuudet tehtaalla**

Tässä kappaleessa kartoitetaan mahdollisuutta käyttää hukkamuovia kierrättä- mällä sitä ABB Oy:n tuotantolaitoksen sisäpuolella. Selvitetään, onko mahdol- lista hyödyntää hukkamuovia rouhimalla sitä neitseellisen tai kierrätysmuovi A- materiaalin sekaan, esimerkiksi tuotteen komponentin valmistuksessa, joka ei ole niin kutsuttu näkyvä osa. Testauksessa kerättiin kahta eri PP-muovia eli PP1:ta ja PP2:ta sekä yhtä PC-muovia hukkamuvituotteista, jotka muuten lop- pusijoitettaisiin sekajätteeseen. Hylätyt muovituotteet rouhitaan palasiksi ja sen jälkeen niiden uudelleenkäyttöominaisuuksia vertaillaan tuotteissa jo käytössä olevaan kierrätysmuovimateriaaliin sekä neitseellisiin muovimateriaaleihin. ABB Oy:n yhteistyöyrityksessä A valmistetaan erilaisia muovikappaleita, joista suori- tetaan testauksia. Testauksen tulosten perusteella voidaan päätellä, mitä

kierrätysmuovisekoitteita on mahdollista käyttää kyseisen ABB Oy:n tuotantolaitoksen tuotteissa. Luvussa käytettävissä kuvissa ei näy kaikkia testaustuloksia vaan testaustuloksista lasketut mediaanit.

## 7.1 Kierrätysmuovien testaus

Erilaisista muovilaadusta tuotetaan yhteensä kymmenen eri muovilaatusekoitusta, joista jokaisesta valmistetaan kuusi koiranluun muotoista muoviosaa sekä kaksitoista litteää suorakulmaista muoviosaa. Erilaisista muovilaaduista jokaiselle koiranluuosalle tehdään vetokapulavetotesti sekä jokaiselle suorakulmaiselle ja litteälle osalle tehdään kutistusmittaukset. Muovilaatujen ominaisuuksia vertaillaan keskenään ja arvioidaan niiden uudelleenkäyttöominaisuuksia. Alla sijaitsevasta taulukosta 2 näkee erilaisten testattavien muovilaatujen raaka-ainepitoisuudet.

Taulukko 2. Testauserät muovilajeittain.

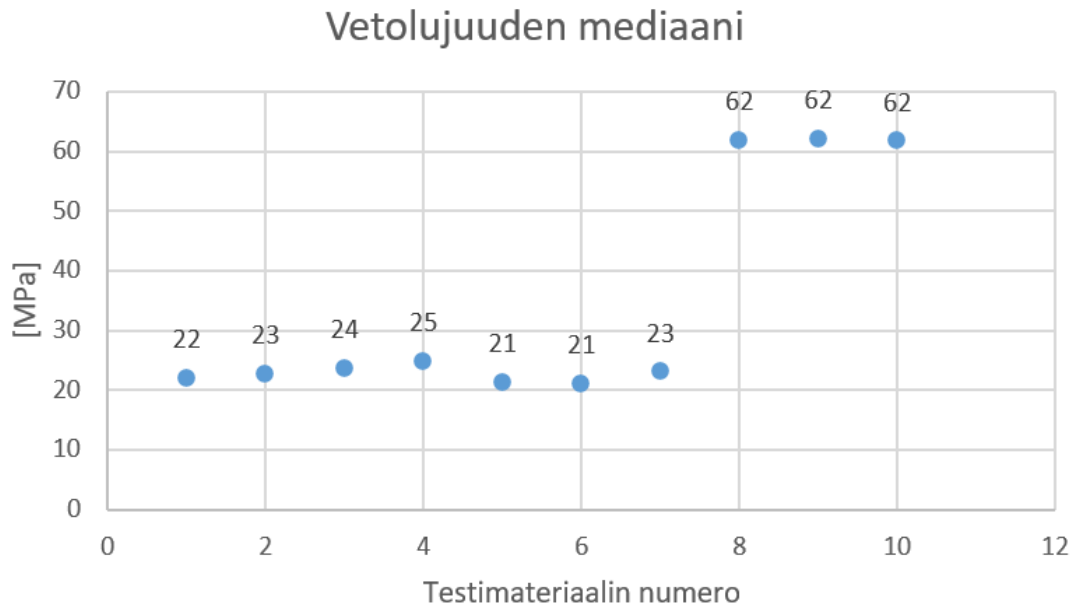
<b>Muovilaatu</b>	<b>Neitseellinen 100 %</b>	<b>Kierrätetty rouhe 100 %</b>	<b>50 % kierrätys- muovi A, 50 % rouhe</b>	<b>50 % rouhe, 50 % neitseel- listä</b>
PP1	materiaali 1.	materiaali 2.	materiaali 3.	
Kierrätysmuovi A	materiaali 4.			
PP2	materiaali 5.	materiaali 6.	materiaali 7.	
PC	materiaali 8.	materiaali 9.		materiaali 10.

Testikappaleet saapuivat ABB Oy:n tuotantolaitokseen 16.12.2022. Quality Specialist Essi Himmanen teki vetokapulavedot sekä kutistusmittaukset

aikavälillä 20–22. joulukuuta 2022. Vetokapulavetotesti tehtiin Instron 3340 Series Single Column Table Frames -vetolaitteella. Kyseisellä mittauslaitteella testattiin vetolujuutta, myötörajaa, venymää sekä kimmokerrointa. Kutistusmittaukset tehtiin Nikon CNC Video Measuring System NEXIV VMR Automeasure -videomittalaitteella. Kutistusmittauksessa mitattiin ruiskuvalutuotteiden kutistumista millimetreinä. Lisäksi kappaleiden väriä tarkastellaan, jotta välttyttäisiin mahdollisilta väriongelmilta. Väriverheitä tarkastellaan silmämääräisesti.

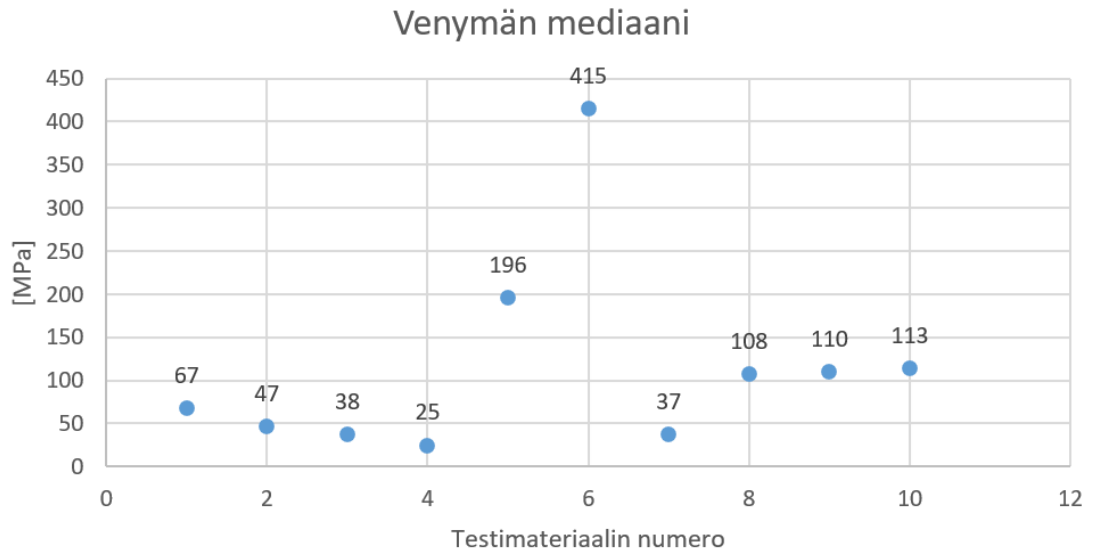
## 7.2 Testauksen tulokset

Muoviraaka-aineet ovat ominaisuuksiltaan erilaisia. Testin absoluuttista kestävyttä eli vetolujuutta tarkastellessa huomataan, että muovilaatujen rouhiminen vaikuttaa muovituotteen kestävyteen positiivisesti, lukuun ottamatta PP2-muovisekoitetta. PP1 ja PC-muovituotteita rouhimalla kestävyys parani neitseelliseen PP1:n ja PC:n verrattuna. Kierrätysmuovi A:n lisääminen muovisekoitettiin paransi absoluuttista kestävyttä entisestään, mutta vähensi hieman kierrätysmuovi A:n kestävyttä PP-muovien kanssa. Myötörajojen testitulokset näyttävät samalta kuin vetolujuuden testitulokset. Alapuolella sijaitsevassa taulukossa on näkyvillä absoluuttisen kestävyden mediaanit muovilajeittain. Taulukon x-akselin numero tarkoittaa testimateriaalin numeroa. [19.]



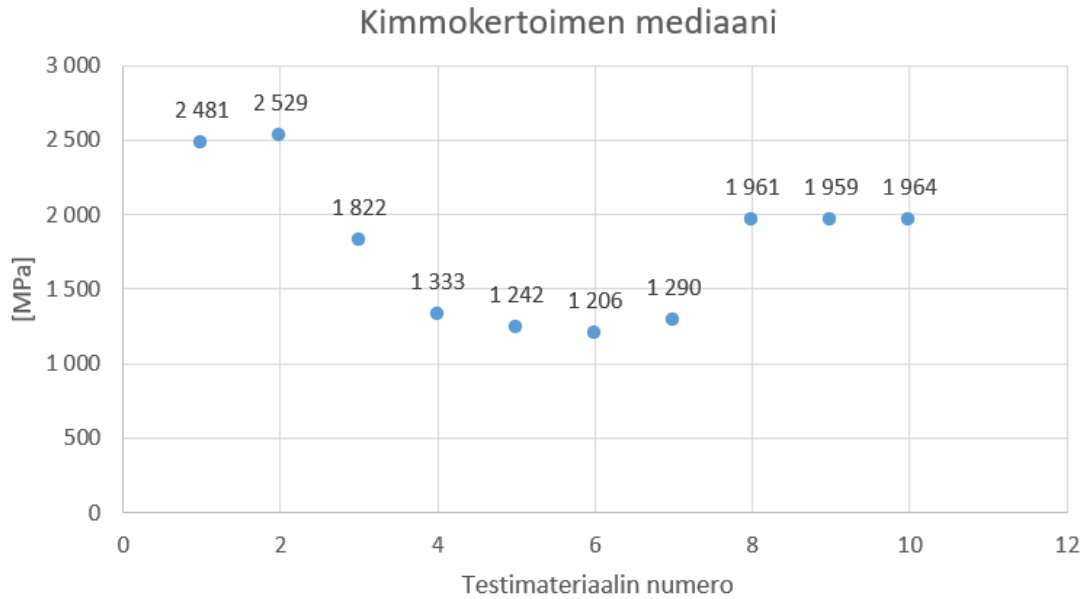
Kuva 6. Vetolujuus mediaanit muovilajeittain [19].

Kuvassa 8 näkyy muovilajien venymien testitulosten mediaanit. Venymän testituloksia tarkastellessa huomataan, että PP1-muovin venymä heikentyy, siihen lisättäessä hukkamuovirouhetta tai kierrätysmuovi A:ta. PP2-muovin ja kierrätysrouheen venymän tulokset ovat ailahtelevampia, mutta mediaani korkeampi kuin neitseellisessä muovissa. PC-muovin venymätulokset ovat kutakuinkin samat neitseellisessä sekä kierrätetyissä. [19.]



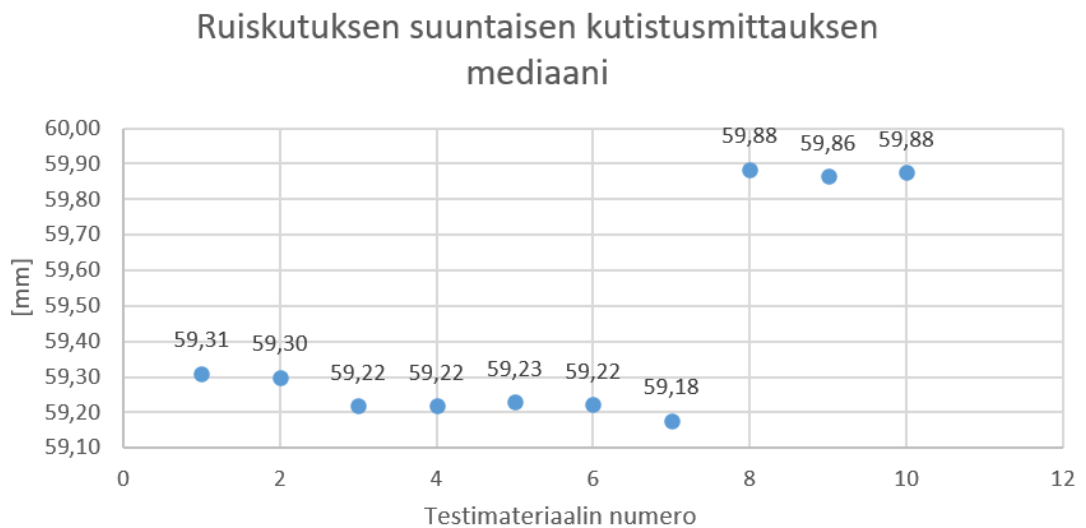
Kuva 7. Venymän mediaanit muovilajeittain [19].

Kimmokertoimien testituloksia tarkastellessa huomataan, että PP1-muovin koostumus on kierrätysmuovi A:n lisättynä venyvämpää kuin neitseellisenä. PP2- sekä PC-muovin testaustulokset ovat suhteellisen samoja neitseellisenä sekä kierrätettynä, mutta molemmissa kierrätysmuovi A-seos on aavistuksen elastisempi. [19.]



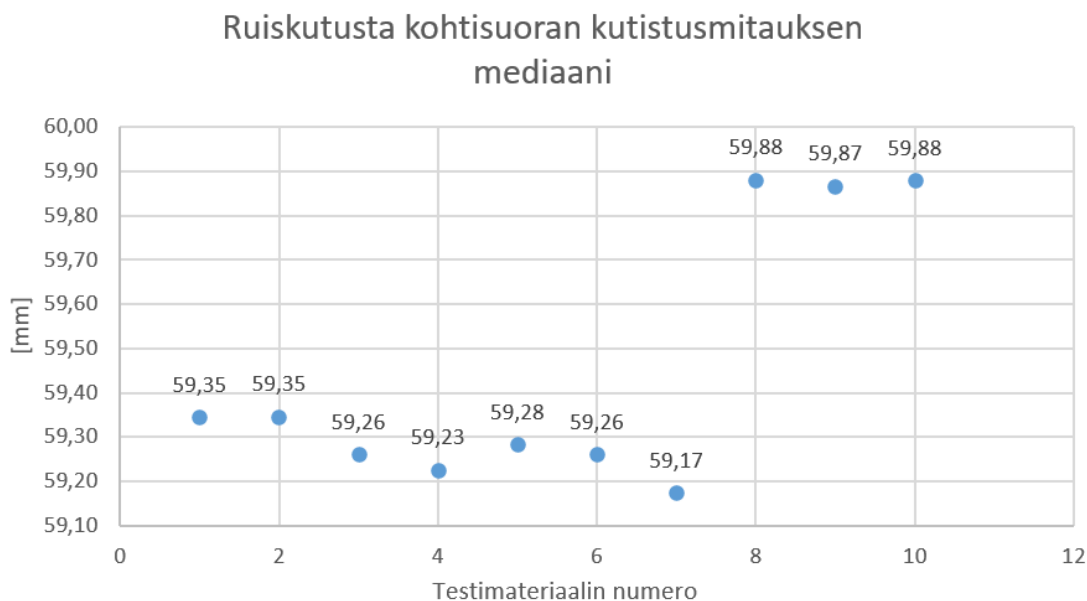
Kuva 8. Kimmokertoimen mediaanit muovilajeittain [19].

Alapuolella sijaitsee kaksi kuvaa. Kuvassa 10 on ruiskutuksen suuntaiset mittaukset. Kuvassa 11 on ruiskutusta kohtisuorat mittaukset. Molemmat kutistusmittaukset ovat tuloksiltaan suhteellisen samanlaiset. [20.]



Kuva 9. Ruiskutuksen suuntaisen kutistusmittauksen mediaanit muovilajeittain [20].

Kutistusmittausten tuloksista huomataan, että PP1- ja PC-muovi kutistuu aavistuksen enemmän kierrätysrouheseoksessa. PP2-muovin kanssa kierrätysmuovin kutistuma on kaikista eniten lähellä kierrätysmuovi A:ta. Ruiskutusta kohtisuoran kutistusmittauksen kuvassa PP2-muovilaadun ja kierrätysmuovi A:n erot näkyvät hieman paremmin, mutta ovat silti lähellä toisiaan. [20.]



Kuva 10. Ruiskutusta kohtisuoran kutistusmittauksen mediaanit muovilajeittain. [20].

Muovituotteissa ei ollut suuria värivirheitä. Tuotteiden isoimmat värivirhesaummat tulivat ilmi vasta vetokokeita tehdessä. Katkenneesta kohdasta värisaummat erotettiin, mutta kokonaisissa osissa ei näkynyt mitään sattumia. Neitseellisistä raaka-aineesta valmistetut kappaleet olivat puhtaan valkoisia, eivätkä ne sisältäneet mitään sattumia tai värivirheitä. Rouhetta sisältävät muovikappaleet olivat väriltään valkoisia, mutta sisälsivät pieniä värieroja eli sattumia, joiden takia kyseisiä tuotteita ei voi käyttää niin kutsuttuihin näkyviin osiin. Rouhetta oli 50 prosentin sekoitussuhteella, joten se selittää sattumat tuotteiden väreissä. Valkoisen seassa oli siis pieniä harmaita pisteitä. Rouhemuovia käytettäessä täytyy valita semmoinen tuote, joka tulee esimerkiksi seinän sisälle piiloon tai moniosaisen tuotteen sisäpuolelle komponentiksi. Kierrätysmuovi A:ta sisältävät

tuotteet olivat väriltään harmaita, sillä kierrätysmuovi A:n raaka-aine on harmaata väriltään. [19; 20.]

### 7.3 Uudelleenkäytön ratkaisuehdotus

Testauksesta ilmeni, että kaikkia kyseisiä muovilaatuja voi rouhia käytettynä saman neutraalisen muovilaadun sekaan. Rouhittu kierrätysmuovimateriaali ei vaikuttanut suuresti muovituotteiden ominaisuuksiin. Testauksessa on käytetty prosentuaalisesti huomattavan suuria määriä kierrätysmuovilaatuja. Käyttöön valmistettavien tuotteiden kierrätysmuovimäärät olisivat suositeltavasti paljon pienempiä. PP-muovien kanssa kierrätettyä muovirouhetta ei pidä lisätä liikaa, sillä muuten se vaikuttaa tuotteen laatuun muun muassa venymän kannalta. Kierrätettyä PP-muovirouhetta on laadulle turvallista lisätä maksimissaan noin kymmenen prosenttia. PC-muovin venymätulokset ovat suhteellisen samankaltaiset neutraalissa sekä kierrätetyissä. Kestävyydeltään kierrätetty PC-muovikappale oli parempilaatuinen neutraaliseen PC-muovikappaleeseen verrattessa. [19; 20.]

Kierrätysmuovi A:han on mahdollista lisätä molempia PP-muovirouheita. PP1-muovirouheen lisääminen jäykistää hiukan muovituotetta, mutta kutistuma on suhteellisen samaa luokkaa. PP2-muovirouheen lisääminen kasvattaa venymää, mutta kutistuma on edelleen suhteellisen sama. Helpoin ja nopeasti toteutettavin uudelleenkäyttöehdotus on sekoittaa PP2 -muovijätteen rouhetta pieniä määriä jokaiseen tehtaan sisäiseen tuotteeseen, joka valmistetaan kierrätysmuovi A:sta. Ominaisuuksille turvallista on lisätä maksimissaan 10 % kierrätysmuovirouhetta kierrätysmuovi A:n joukkoon. Kierrätysmuovi A:ta käytetään kyseisen ABB Oy:n tuotantolaitoksen sisäpuolella, joten kuljetus onnistuu helposti. [19; 20.]

## 8 Kemiallinen kierrätys

Teollisuuden ja ihmisten päivittäisten toimintojen aiheuttamat jätteet ovat yhä suurempi ongelma ympäristölle. Tämän vuoksi kemiallinen kierrätys on tärkeä

tapa hallita jätteiden määrää ja sitä kautta vähentää niiden haitallista vaikutusta ympäristöön. Muovin kemiallinen kierrätys on tekniikka, joka käyttää kemiallisia reaktioita käytetystä muovista uuden muovimateriaalin valmistamiseen. Tämä menetelmä mahdollistaa muovin uudelleenkäytön ja vähentää raaka-aineiden tarvetta, jotka aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Kuitenkaan muovin kemiallinen kierrätys ei ole täydellinen ratkaisu. Se vaatii suuria investointeja ja teknologian kehittämistä, jotta kemiallista kierrätystä voidaan tehdä tehokkaasti ja turvallisesti. Lisäksi haittavaikutuksena on, että kemialliset reaktiot saattavat vapauttaa haitallisia aineita ympäristöön. On tärkeää varmistaa, että prosessi tehdään turvallisesti ja ympäristöä kuormittamatta. [22; 23.]

ABB Oy:n tuotantolaitos suosii ensisijaisesti mekaanista kierrätystä kemiallisen sijaan. Kemiallisella kierrätyksellä saadaan energiajätteeseen muutoin päätyvä materiaali uudelleen kiertoon. Mekaaninen kierrätys on helpompi toteuttaa kyseisen tuotantolaitoksen sisäpuolella, kun taas kemiallinen kierrätys täytyy ulkoistaa toiselle yritykselle. Mekaanisessa kierrätyksessä vältytään kuljetuksen kuluista ja päästöistä. Lisäksi tilan puute tuo haastetta muovijätteen keräämiseen, sillä kemialliseen kierrätykseen tarvitaan noin viisi tonnia käytettyä muovia. Kyseistä muovia säilytetään ABB Oy:n tuotantolaitoksen ulkotiloissa, josta se haetaan Wastewise Group Oy:n toimesta kierrätettäväksi.

Muovien kemiallisella kierrätyksellä tarkoitetaan käytetyn muovin hajottamista takaisin monomeereiksi eli alkuperäisiin komponentteihin. Kemiallisessa kierrätyksessä hyödynnetään pyrolyysiprosessia. Aluksi muovijätteet puhdistetaan ja sen jälkeen materiaali ohjataan pyrolyysiprosessiin. Prosessissa muovijättemateriaalista valmistetaan juoksevaa öljytuotetta. Prosessi suoritetaan suljettuna, hapettomassa tilassa, jonka lämpöaste on erittäin korkea. Polypropeenin mittavan pituinen polymeeriketju katkeilee pyrolyysiprosessissa ja muotoutuu lyhyemmiksi hiilivetyketjuiksi. Öljy kerätään lauhdutuksen avulla. Kaasumuotoiset hiilivedyt, joiden lauhdutus ei onnistunut, käytetään hyödyksi sisäisesti energiaa tuottaessa. Öljyn lisäksi pyrolyysiprosessissa muodostuu myös kiinteää ainetta eli hiiltä. Hiili pystytään käyttämään uudelleen materiaalina. [9; 22; 23.]

## 9 Yhteenveto

Muovinkierrätyksen kiinnostus kasvaa Suomessa kovaa vauhtia ja on tällä hetkellä nouseva trendi. Yhä useampi yritys haluaa kiinnittää enemmän huomiota ympäristön hyvinvointiin ja keskittyä kiertotalouteen lineaarisen toimintamallin sijaan. Kuitenkin ABB Oy:n tuotantolaitos on ensimmäisten joukossa Suomessa kokeilemassa kemiallista kierrätystä, sillä kemiallinen kierrätys toimii suhteellisen uuden teknologian avulla. Yleinen ilmapiiri tuotantolaitoksella kemiallisen kierrätyksen kokeilua kohtaan on ollut positiivinen ja kannattava. Insinööriyön ensisijaisena tavoitteena oli sekajätteen erottelumahdollisuuksien kartoitus. Tarkemmin PC- tai PP-muovijätteen erottelumahdollisuuksien kartoittaminen. Toisena tavoitteina on pienentää sekajätteen määrää sekä parantaa kierrätysmahdollisuuksia tehtaalla. Insinööriyössä onnistuttiin tavoitteessa kartoittaa kierrätysmahdollisuuksia tuotantolaitoksella. Suurimpien muovijätteen aiheuttajat selvitettiin ja niihin on pohdittu tai mahdollisesti testattu ratkaisuja käytännössä.

AsaClean-puhdistusaineen käyttö tuotteen värienvaihdon yhteydessä vähentää muovituotteiden valmistuksessa syntyvän hukkamuovijätteen määrää, mutta lisää kustannuksia yli kaksinkertaisiksi. Puhdistusaineen käyttö ei ole ABB Oy:n tuotantolaitokselle rahallisesti kannattavaa. Puhdistusaineen käytöllä onnistuttiin supistamaan muovijätteen määrää muovituotannossa. Olisi suositeltavaa käyttää jäljelle jääneet puhdistusaineet loppuun, mutta ei investoida siihen enempää rahaa, ellei muovituotteiden valmistusmateriaalien hintataso ole nousemassa radikaalisti tai kyseisen puhdistusaineen myyntihinta laskemassa samalle tasolle muovimateriaalien kanssa. Värienvaihdon yhteyteen on kolme ratkaisuehdotusta. Ensisijaisin ja helposti toteutettavin ratkaisu on, että tuotteiden värien ajojärjestykseen tulee kiinnittää suuremmin huomiota. Ensin ajetaan väriltään mustat tuotteet, sitten seuraavaksi niin kutsutut värilliset tuotteet ja viimeisenä valkoiset tuotteet. Tuotantojärjestystä on koetettu pitää säntillisenä, mutta poikkeuksia on valitettavasti päässyt syntymään. Poikkeuksia tuotantojärjestyksessä täytyy pyrkiä välttämään jatkossa. Mahdolliset testaukset pitää ajoittaa samaan aikaan, kun värillisille tuotteille on kysyntää.

Seuraava ratkaisuehdotus on värillisten tuotteiden valmistaminen varastoon etukäteen. Tässä tapauksessa on tärkeä tehdä lisäselvitystä tarkemmin, mikä on rahallisesti kannattavin ratkaisu. Tuotteiden menekkiä pitää tarkkailla sekä verrata tuotteiden valmistuksen ja varastoinnin tarkkaa hintaa. Jos varastointi tulee halvemmaksi kuin valmistus, niin värillisiä tuotteita voitaisiin valmistaa esimerkiksi kerran vuodessa, jolloin hukkamuoviakin syntyisi vain kerran vuodessa värillistä tuotteista. Sillä tavoin onnistuttaisiin vähentämään henkilöresurssien käyttöä sekä tuotteiden valmistamiseen käytettävää energiaa. Kolmas ratkaisuehdotus on outlet-tuotteet. Avataan uusi tuotesarja, joka sisältää kaikkien tuotteiden värivirheet, mutta muuten ominaisuuksiltaan toimivat tuotteet. Tässä tapauksessa täytyy selvittää tarkemmin riskit ja mahdollisuudet sekä se, kuinka paljon on kysyntää edullisimmille, mutta visuaalisesti virheisille tuotteille. Tämä ratkaisu vaatii ABB Oy:n yksiköltä paljon resursseja ajallisesti sekä henkilöstömäärässä ja mahdollisesti myös kustannuksissa.

Yksikkö A:n ongelmien ratkaiseminen on monimutkainen prosessi. Kyseisen yksikön ongelmakohtia tulee selvittää tarkemmin, mikä vaatii lisää henkilöstöresursseja, mutta pienentää henkilöstöresursseja pidemmällä aikavälillä. Metallikomponenttilinjaston hitauteen sekä katkeiluun on todennäköisesti useampi syy, kuin pelkästään huonolaatuiset metallikomponentit. Uudet metallikomponenttimallit tulee hankkia mahdollisimman nopeasti ja katsoa, auttaako pelkästään komponenttimallin vaihtaminen metallikomponenttilinjaston vauhdin nopeuttamiseen. Metallilinjaston ongelmien korjaus vähentäisi hukkamuovin määrää ja henkilöstöresurssien tarvetta huomattavasti. Uusien metallikomponenttimallien saavuttua on suositeltavaa testata ruiskuvalukonepuolen jaksonajan pidentämistä uudelleen. Jos yksikkö A:n hukkamuovin määrää onnistutaan vähentämään, niin on suositeltavaa investoida rouhintamylyyn, joka sijoitettaisiin kyseisen yksikön yhteyteen. Tällä tavoin onnistuttaisiin minimoimaan hukkamuovin määrää mahdollisesti muutamasta sadasta kilogrammasta kuukaudessa noin muutamiin kymmeniin kilogrammoin kuukaudessa. Yksikön kunnollinen toimiminen nopeuttaisi myyntikelpoisten tuotteiden valmistumista ja vähentäisi yksikön energiankulutusta.

Rouhittavien muovikappaleiden testauksessa kävi ilmi, että kaikkia kyseisiä muovilaatuja on turvallista rouhia saman neitseellisen muovilaadun sekaan tuotteiden laadun puolesta. Testauksessa kierrätysrouhetta lisättiin neitseellisten materiaalien sekaan 50 %, joka on huomattavan suuri määrä. Rouhetta käytettäessä tuotteiden valmistuksessa on syytä olla maltillisempi prosentimäärissä. Hukkamuovirouhetta voi laittaa korkeintaan noin 10 % neitseellisen muoviraaka-aineen sekaan, sillä polypropeenissa se muuten vaikuttaa valmistettavan tuotteen venymään. Kierrätysmuovi A:han voi turvallisesti lisätä molempia testattuja polypropeenirouheita. Kierrätysmuovi A:han lisäämällä hukkamuovirouhetta sen ominaisuudet muuttuvat aavistuksen rouheesta riippuen, mutta ei merkittävästi. Suositeltavaa olisi lisätä kierrätysmuovi A:sta valmistettaviin tuotteisiin rouhittua PP2-muovia maksimissaan 10 %. Kierrätysmuovi A:ta käytetään ABB Oy:n tuotantolaitoksen tuotteissa, joten kuljetuksesta ei aiheudu päästöjä. Helpointa olisi valita tuote, jonka valmistuksen yhteydessä on rouhintamyllly valmiina, jolloin uuteen mylllyyn ei tarvitsisi investoida.

Yritys pyrkii käyttämään jätettä hyväksi ensisijaisesti materiaalina, seuraavaksi kierrättämään kemiallisesti ja viimeisenä vaihtoehtona hyödyntämään energiantuotannossa. Kemiallinen kierrätys on tärkeä tapa vähentää muovijätteen määrää ja sitä kautta vähentää niiden haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Polypropeenin kerääminen aloitettiin tammikuussa 2023 ja se saatiin kerättyä sekä lähetettiin eteenpäin 16.3.2023. Prosessi ja sen lopputuotteen laadun todentaminen on vielä kesken. Pienempiä määriä polykarbonaattia on toimitettu alustavaan testaukseen. Kierrätyskokeilun myötä energijätteen määrän kuukausittainen keskiarvo on vähentynyt miltei puoleen. Tässä täytyy huomioida, että kyseessä eivät ole koko vuoden keskiarvot. Kokonaisjätteen määrä on pysynyt suunnilleen samana molempina vuosina. Insinööriyössä päästiin todentamaan, kuinka paljon kemiallinen kierrätys vähentää energijätteen määrää.

## Lähteet

- 1 Smart Buildings manufacturing operations in Porvoo become carbon-neutral. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy. 10.2022.
- 2 Sustainability Strategy 2030. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 3 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2008. 2008/98/EY.
- 4 Waste reporting Urbaser Oy. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Urbaser Oy.
- 5 Romutus. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 6 Tammi-loka. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 7 Kierrätys ja jätteet – Recycling and waste. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 8 Astikainen, Mia. 2023. Customer support and sustainability specialist, ABB Oy. Teams. 20.4.2023
- 9 Yrityksien edustajat. 2022. Wastewise Group Oy & ABB Oy. Keskustelu 29.11.2022
- 10 Tykkyläinen, Tero. 2023. Suurasiakaspäällikkö, Urbaser Oy. Keskustelu 18.4.2023
- 11 Waste reporting Urbaser Oy. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. Urbaser Oy.
- 12 Broman, Markus. 2022. Valmistuksen tekninen johtaja, ABB Oy. Haastattelu 1.11.2022
- 13 Osa 18 – Ruiskuvalumuotin rakenne. 2016. Verkkoaineisto. Muoviyhdistys Ry. <<https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/22/osa-18-ruiskuvalumuotin-rakenne/>> Luettu 15.3.2023.
- 14 Osa 19 – Ruiskuvalumuotti ja tuotteen laatu. 2016. Verkkoaineisto. Muoviyhdistys Ry. <<https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/22/osa-19-ruiskuvalu-muotti-ja-tuotteen-laatu/>> Luettu 15.3.2023.

- 15 Lindström, Mira. 2022. Tuotannonsuunnittelija, ABB Oy. Haastattelu 1.11.2022.
- 16 Product Structure. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 17 Testaustulokset, puhdistusaine. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 18 Display Material (Costing, Finished product). 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 19 Testaustulokset, vetokokeet. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 20 Testaustulokset, kutistuma. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 21 Liimatainen, Risto. 2023. HSEQ/SA Manager, ABB Oy. Keskustelu 11.1.2023.
- 22 Kemiallinen kierrätys ratkaisuna muovien ympäristöongelmiin. 2020. Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.  
<<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/kemiallinen-kierratys-ratkaisuna-muovien-ymparistoongelmiin-0>> Luettu 20.4.2023
- 23 Wastewise Group, teknologia. Verkkoaineisto. Wastewise Group Oy.  
<<https://www.wastewise.fi/teknologia/>> Luettu 1.4.2023.

## **Yrityksen sisäinen sanasto**