



# LUJITEMUOVIJÄTTEEN MATERIAALIN JA ENERGIAN KIERRÄTYS SEMENTTIUUNISSA

Dick Blom, Kari Dufva



© Tekijät ja Mikkelin ammattikorkeakoulu  
Taitto: Mainostoimisto Grafical Oy  
ISBN: 978-951-588-548-7(PDF)  
ISSN: 1458-7629

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUJITEMUOVIJÄTTEEN MATERIAALIN JA ENERGIAN KIERRÄTYS SEMENTTIUUNISSA

---

Dick Blom • Kari Dufva



MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2016

D: VAPAAMUOTOISIA JULKAISUJA – FREE-FORM PUBLICATIONS 71

# ESIPUHE

Julkaisu pohjautuu Mikkelin ammattikorkeakoulussa vuosina 2012 - 2016 toteutettuihin lujitemuovimateriaalien kierrätystä käsitteleviin tutkimushankkeisiin ja on toteutettu Käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden materiaalin ja energian kierrätys sementtiuunissa – hankkeen avulla. Hanke on Tekesin rahoittama EAKR-hanke. Lisäksi hankkeen yhteistyökumppaneita ovat, Kuusakoski Oy, Metsäsairila Oy, Lassila & Tikanoja Oyj sekä Hyötypaperi Oy. Tuloksena julkaistava raportti perustuu hankkeen aikana toteutettuihin toimenpiteisiin sekä lähdekirjallisuuden hyväksikäyttöön. Raportti kokoaa yhteen myös aikaisempien tutkimusten tuloksia yhtenäiseksi teokseksi lujitemuovin kierrätysmahdollisuuksista Suomessa. Työn pohjalta muodostuneen näkemyksen ja hankkeen aikana kerätyn tiedon avulla lujitemuovijätteen hyödyntämistä voidaan suunnitella osana sementin valmistusta, energian hyötykäyttöä tai sen tarjoamien lähtötietojen avulla suunnitella kokonaan uutta hyödyntämismenetelmää. Julkaisun tavoitteena on jakaa tietoa lujitemuovijätteestä sekä auttaa sen hyödyntämismahdollisuudessa.

## **Toteuttajat:**

Mikkelin Ammattikorkeakoulu Oy

Dick Blom  
Kari Dufva

# JOHDANTO

Vuoden 2016 alusta voimaan tulleen jätelain mukaan valtioneuvoston asetuksen 331/2013 28 § ja 53 § vaatimukset kieltävät yli 10 % orgaanista ainetta sisältävien jätteiden sijoittamisen kaatopaikalle 1.1.2016 alkaen. Tällaiseksi jätteeksi luetaan myös käytöstä poistuvat lujitemuovituotteet, jotka tähän saakka on pääasiallisesti kaatopaikattu. Tyypillisessä lujitemuovijätteessä on yli 50 % kestumuovihartsia, joten lujitemuovijätettä ei saa sijoittaa kaatopaikoille 1.1.2016 jälkeen, mikä luo merkittävän ongelman alan teollisuudelle ja jätehuoltoyrityksille.

Maailmalla, mm Saksassa on jo käytössä kierrätysjärjestelmiä, joilla lujitemuovijäte kerätään, murskataan ja lisäjätejakeilla muokataan sellaiseksi, että jäte käy sementinvalmistuksen raaka-aineeksi. Sementtiuunissa lujitemuovijätteen muovikomponentit palavat tuottaen sementinpolttoon vaadittavaa energiaa. Lujitemuovijätteen lasikuitu sekoittuu muuhun kiviainekseen muodostaen sementin kiintoainesta. Mikkelin ammattikorkeakoulu ja Teknologiaskeskus KETEK toteuttivat hankkeen, jonka pohjalta suomalaisen lujitemuoviteollisuuden tuotantojätteet on teknillisesti mahdollista kierrättää sementtiuuniin. Oman haasteensa muodostavat kuitenkin käytöstä poistettavat lujitemuovituotteet: veneet, urheiluvälineet, säiliöt, putkistot jne. Mikkelin ammattikorkeakoulun toteuttamassa tutkimuksessa selvitettiin käytöstä poistetuille lujitemuovituotteille soveltuvaa kierrätysmallia.

Tutkimuksen tavoitteena on edistää omalta osaltaan EU:n kierrätystavoitteiden saavuttamista. Vastaavaa kierrätysmallia ei ole tällä hetkellä Suomessa olemassa, mutta vuonna 2016 voimaan tulleen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vuoksi sen luominen oli tullut välttämättömäksi. Tämän yleishyödyllisen hankkeen tarkoituksena oli kehittää suomalaista kierrätysliiketoimintaa. Hankkeen toteutukseen osallistui Mikkelin ammattikorkeakoulun lisäksi neljä kierrätys- ja jätehuoltoalan yritystä.

Suurimmat haasteet käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden kierrätyksessä ovat pieniksi eriksi jakautuneen jättemateriaalin talteenotto, onnistunut alkulajittelu, materiaalivirran prosessointi vastaamaan ominaisuuksiltaan kierrätyspoltoaineelle ja korkealaatuiselle sementille asetettavia vaatimuksia sekä ansaintalogiikan ja motivaation aikaansaaminen koko kierrätysverkostolle.

Työssä tarkasteltiin käytöstä poistuvien lujitemuovituotteiden määriä, rakenteita sekä niiden sisältämiä muita materiaaleja. Jätteen prosessointi kierrätyksessä riippuu näistä tekijöistä. Liiketoiminnan suunnittelussa huomioitiin myös vaihtoehtoisena menetelmänä jätteen polttaminen jätevoimalassa.

# SISÄLTÖ

<b>ESIPUHE</b> .....	<b>4</b>
<b>JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>I MUOVIMATERIAALIEN KIERRÄTYS</b> .....	<b>8</b>
1.1 Mitä lujitemuovi on .....	10
1.2 Lujitemuovien kierrätys .....	11
1.2.1 Lainsäädäntö.....	11
1.2.2 EU:n jätedirektiivi (2008/98/EY).....	11
1.2.3 Jätelaki (646/2011) .....	12
1.2.4 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista .....	13
1.2.5 Valtioneuvoston asetus romuajoneuvoista .....	13
1.2.6 Jätevero .....	13
1.3 Lujitemuovien kierrätysteknologiat .....	13
1.3.1 Primääri- ja sekundäärikierrätys .....	14
1.3.2 Tertiäärinen kierrätys .....	14
1.3.3 Jättemateriaalin käyttö energiana - kvartenäärinen kierrätys .....	14
<b>2 LUJITEMUOVI SEMENTTIUUNISSA</b> .....	<b>16</b>
2.1 Sementinvalmistusprosessi .....	16
2.2 Kierrätyspolttoaineen (SRF/REF) vaatimukset sementtiuunilla .....	18
<b>3 LUJITEMUOVIJÄTTEEN JÄTEVIRRRAT</b> .....	<b>20</b>
3.1 Lujitemuoviteollisuuden lujitemuovijäte Suomessa .....	21
3.1.1 Teollisuuden lujitemuovijätteen määrä ja sijainti .....	23
3.2 Käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden jätevirrat .....	24
3.3 Jätevirtojen analysointi .....	27
<b>4 KÄYTÖSTÄ POISTETUT LUJITEMUOVITUOTTEET</b> .....	<b>29</b>
4.1 Lujitemuovituotteiden luokittelu .....	29
4.2 Teollisuuden laitteistot .....	30
4.3 Loka- ja öljysäiliöt .....	32
4.4 Urheiluvälineet .....	33
4.5 Veneet .....	33
4.5.1 Veneiden muotit .....	35
4.6 Lipputangot .....	36
4.7 Liikennevälineet .....	36
4.8 Tuulienergiavoimalat .....	37
4.9 Piirikortit .....	37
4.10 Työkalut .....	37
4.11 Puolustustarvikkeet .....	37

<b>5 JÄTTEEN ANALYSOINTI</b> .....	<b>38</b>
5.1 Sukset ja sauvat .....	38
5.2 Moottoripyöräilijän kypärät .....	40
5.3 Vene .....	42
5.4 Lokasäiliö .....	42
5.5 Polttokokeet .....	43
<b>6 KIERRÄTYSOIMINNAN MAHDOLLISUUDET</b> .....	<b>48</b>
6.1 Materiaalivirta .....	48
6.2 Monimateriaalisen lujitemuovijätteen käsittely .....	48
6.2.1 PVC- muovit .....	49
6.2.2 Ydinmateriaalit .....	50
6.2.3 Metallit .....	50
6.2.4 Muu kuin lujitemuovia sisältävä materiaali .....	50
6.3 Lujitemuovijätteen käsittelyn toiminnan mallit .....	51
6.3.1 Jalustus sementtiteollisuuden raaka- ja polttoaineeksi .....	51
6.3.2 Poltto jätevoimaloissa .....	53
6.3.3 Lujitemuovin vienti jalostettavaksi .....	54
6.4 Johtopäätöksiä vaihtoehtoisista toimintamalleista .....	54
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>56</b>

# I MUOVIMATERIAALIEN KIERRÄTYS

Euroopan unioni ja valtakunnallinen jätesuunnitelma velvoittavat Suomea panostamaan jätteen ennaltaehkäisyyn, kierrätykseen ja energiahyötykäyttöön paljon nykyistä enemmän.

EU on asettanut sitovia tavoitteita jätteiden kierrätykselle, ja Suomi on sitoutunut näihin tavoitteisiin. Vuonna 2016 yhdyskuntajätteestä tulee kierrättää 50 % ja hyödyntää energiana 30 %. Yhdyskuntajätteen kierrätysaste on Suomessa edelleen vain noin 20 % (vuoden 2010 Eurostat -tilastot) ja alle EU:n keskiarvon.

Jätteiden hyötykäyttöä tulee tehostaa sekä raaka-aineiden kallistumisen että ympäristön hyvinvoinnin vuoksi. EU on ottanut jätedirektiivissään tiukan linjan: jätteiden synnyn ehkäisy ja hyötykäyttö ovat ensisijaiset toimenpiteet. Myös valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa ja uudistuneessa jätelaissa jätehierarkian ylin taso on luonnollisesti jätteen synnyn ehkäisy.

Yksityiset yritykset ovat viime vuosikymmeninä kehittäneet runsaasti ratkaisuja materiaalikierrätyksen ja kierrätyspolttoaineen valmistuksessa.

## **Uudelleenkäyttö**

Jätehierarkiassa uudelleenkäytöllä tarkoitetaan sitä että jätteeksi muuttunut jollekin tarpeeton tuote voidaan hyödyntää ja käyttää uudelleen sellaisenaan. Yksinkertainen tapa toteuttaa tätä periaatetta on viedä käyttökelpoiset tavarat kirpputorille tai antaa ne tutuille jolloin tuotteet löytävät uuden elämän kierrätyksen sijaan.

## **Uusiokäyttö**

Uusiokäyttö tarkoittaa käytöstä poistetun aineen, esineen tai muun hyötyjätteen käyttämistä uudelleen.

## **Uusioraaka-aine**

Uusioraaka-aineella tarkoitetaan jätteestä valmistettua raaka-ainetta. Esimerkiksi kierrätyspaperista valmistettu paperimassa on uusioraaka-ainetta.

## **Materiaalihyödyntäminen**

Materiaalihyödyntämisellä tarkoitetaan jätteiden sisältämän materiaalin, esim. juomapullon kuoren, käyttämistä uusien muovituotteiden valmistuksessa. Tällöin käytetystä muovipullostaa valmistetaan ensin uusioraaka-ainetta, josta puolestaan valmistetaan uusia tuotteita. Lujitemuovijätettä on kokeiltu lujitteena mm. puumuovikomposiiteissa sekä kaksikomponenttisissä nestemäisissä keraameissa.

## **Energiahyödyntäminen**

Jäte on arvokasta raaka-ainetta. Materiaalin hyötykäytön avulla voidaan korvata neitseellisiä raaka-aineita, kuten puuta, öljyä ja hiiltä. Jätteen jatkokäsittely riippuu jätteen laadusta.








Jätelainsäädäntö edistää luonnonvarojen järkevää käyttöä ja ehkäisee jätteistä aiheutuvia haittoja

Jätelainsäädännön tavoitteena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto sekä ehkäistä roskaantumista.

Kierrätys on yleisnimitys prosessille, jossa pyritään uudelleenkäyttämään jo käytössä olleita materiaaleja. Muovien kierrätyksessä on kyse koko prosessista, jossa muovit ensin kerätään (logistiikka), sitten käsitellään sopivaan muo-



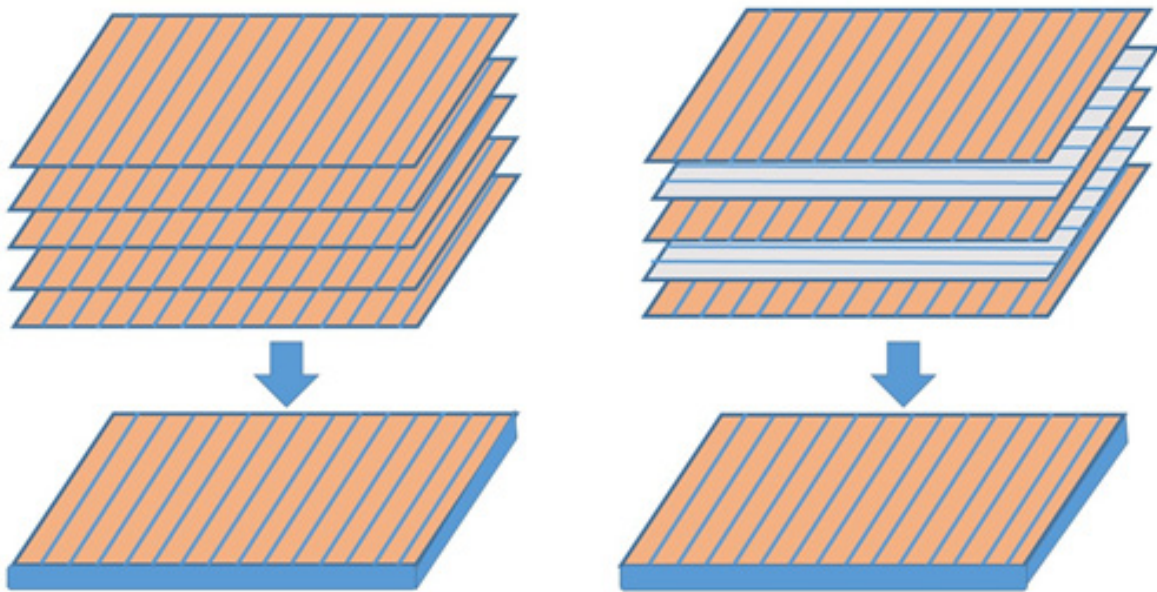
toon (lajittelu) ja tämän jälkeen joko uusiokäytetään materiaalina (materiaalikierrätys) tai hyötykäytetään energiana (poltto). Yleisimmillä muoveilla on oma materiaaliluokitus, joka näkyy oheisessa kuvassa. Tätä luokitusta voidaan käyttää kerätessä muoveja kierrätystä varten.

MUOVITYYPPI OMINAISUUDET	YLEISET OMINAISUUDET	ESIMERKKEJÄ KÄYTTÖKOhteista JA HYÖTYKÄYTÖSTÄ	
Polyeteeni- tereftalaatti PET		Kirkas, kova, kemikaaleja kestävä	Virvoitusjuoma- ym. pullot, tekstiilit.  Pullot voi palauttaa kauppojen automaatteihin.
Polyeteeni high-density PE-HD		Samea tai värillinen, joustava, vahamainen pinta	Mehupullot, ämpärit, virvoitusjuomakorit.  Soveltuvat energiajätteen keräykseen. Eräillä paikkakunnilla on PE-HD-muovip- akkausten kierrätyspisteitä, katso <a href="http://www.uusiomuovi.fi">www.uusiomuovi.fi</a> .
Polyvinyyli- kloridi PVC		Erittäin moni- muotoinen ja -piirteinen	Putket, letkut, rakennusmateriaalit.  PVC-muovia ei saa polttaa eikä laittaa energiajätteen keräykseen, katso <a href="http://www.uusiomuovi.fi">www.uusiomuovi.fi</a> .
Polyeteeni low-density PE-LD		Pehmeä, joustava, vahamainen pinta	Muovikassit, pussit, kalvot.  Soveltuvat energiajätteen keräykseen. Pieniä määriä voi polttaa puun seassa. Pussit voi palauttaa kauppojen palautus- automaattien yhteydessä oleviin muovi- jätteen keräysastioihin.
Polypropeeni PP		Jäykkä, sitkeä, hyvin moni- käyttöinen	Narut, rasiat, tekniset osat, kalvot.  Soveltuvat energiajätteen keräykseen.
Polystyreeni PS		Lasin kirkas tai värjätty, hauras	Rasiat, purkit.  Soveltuvat energiajätteen keräykseen.
Muut		Kaikkien ylläolevien yhdistelmät ja muut materiaalit	Soveltuvat vain laitosmaiseen polttoon, joten tämän merkin sisältävien tuotteiden soveltuminen muualle kuin sekajätteeseen pitää tarkistaa paikalliselta jätehuollolta.

Kuva 1. Yleisimpien muovien materiaaliluokitus, jota voidaan käyttää hyväksi muovien lajittelussa ja kierrätyksessä (Kuva Muoviteollisuus ry)

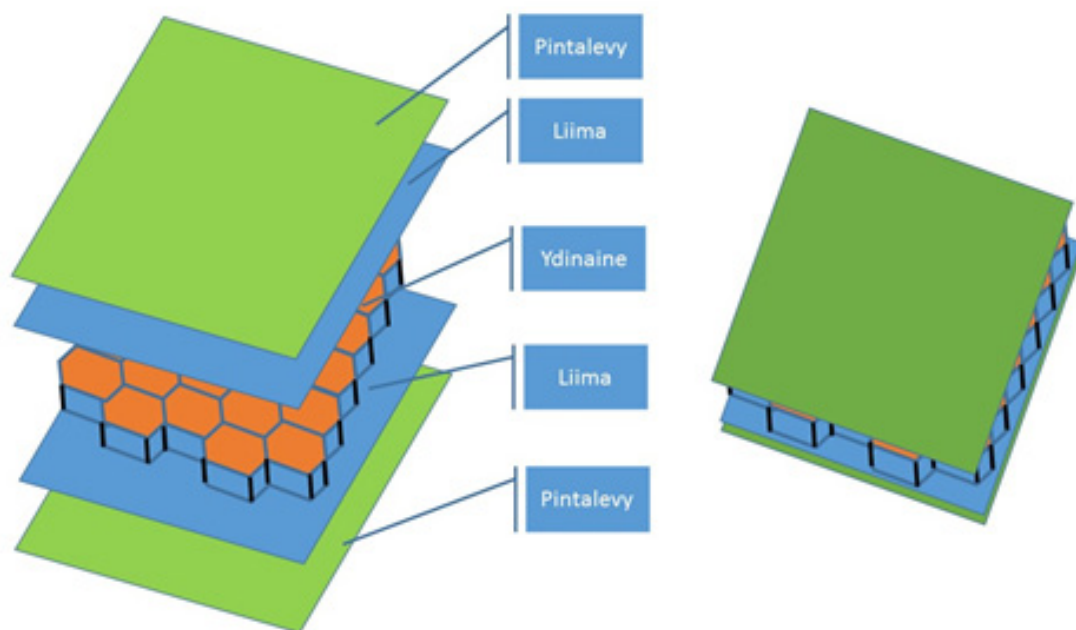
## 1.1 MITÄ LUJITEMUOVI ON

Tässä tutkimuksessa lujitemuovilla tarkoitetaan kertamuoveista kuten, polyesteri-, epoksi- ja fenolihartseista valmistettuja muovituotteita. Käytettyjen matriisimuovien lujitteina käytetään yleisimmin lasi- tai hiilikuituja. Matriisimuovit eivät kovettumisen jälkeen ole enää uudelleen muokattavissa, jolloin niiden hyödyntäminen uusiomuovina ei ole mahdollista. Matriisimateriaalin ja kuidun muodostamaa lujitemuovikomposiittia kutsutaan laminaatiksi. Kertamuovien sisältämiä polymeeriketjujen ristosilloituksia ei lämmön avulla ole enää mahdollista purkaa, vaan nyky menetelmillä ne voidaan ainoastaan polttaa. Kuvassa 1 on esitetty tyypillisen lujitemuovituotteen rakenteesta.



Kuva 2. Tyypillinen laminaattikomposiitin rakenne. Lujitteiden suunta vaikuttaa laminaatin ominaisuuksiin. Vasemmanpuoleisen komposiitin ominaisuudet ovat tason suunnassa anisotrooppiset. Oikeanpuoleisen ominaisuudet ovat isotrooppiset (Kuva Dick Blom)

Kuvassa esitetyt lujitekuidut ovat pitkiä, jatkuvia kuituja ja niiden osuus laminaatin tilavuudesta on valmistusmenetelmästä riippuen tyypillisesti 10 - 60 tilavuusprosenttia. Tällaista pelkästään kuitulujitetuista kerroksista koostuvaa laminaattia kutsutaan monoliittiseksi laminaatiksi. Kerroslevy taas on laminaattirakenne, joka valmistetaan liimamalla kahden pintalevyn väliin kevyt ydinaine. Kerroslevy on kevyt ja jäykkä, ja sitä voidaan käyttää myös lämpöä ja ääntä eristävissä rakenteissa. Kerroslevyn pintalevyt ovat usein kuitulujitettuja laminaatteja. Ydinaineina käytetään mm. solumuoveja, balsaa sekä alumiinista, muoveista tai lujitemuovista valmistettuja kennolevyjä. Kennorakenteiden tyypillisiä käyttökohteita ovat mm. eräät muoviveneet ja sukset. Kuvassa 3. on tyypillinen kerroslevyn rakenne.



Kuva 3. Tyypillinen lujitemuovirakenteissa käytettävä kennorakenne, jossa hunajakennorakenne toimii jäykistäjänä ja rakenteen keventäjänä (Kuva Dick Blom)

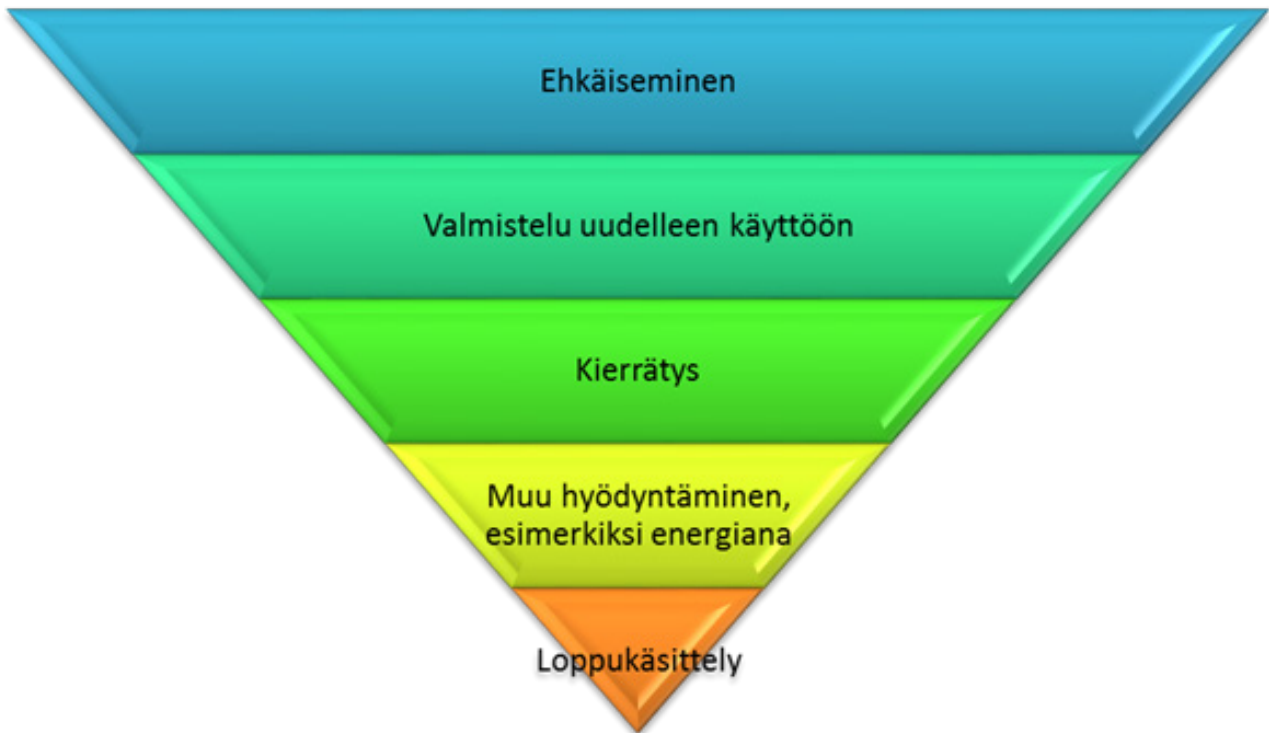
## 1.2 LUJITEMUOVIENTEN KIERRÄTYS

### 1.2.1 Lainsäädäntö

Lujitemuoviteollisuuden toimintaa säädelään monilla eri säädöksillä ja direktiiveillä. Suurin osa toimintaa säätelevistä ohjauskeinoista on peräisin EU:sta. Suomessa lujitemuovi on päätyntä lähes poikkeuksetta kaatopaikoille. EU:n uusi jätedirektiivi pyrkii ohjaamaan jätteitä yhä enemmän kierrätykseen kaatopaikkasijoituksen tai polttamisen sijaan. Seuraavassa on esitelty lujitemuovien kierrättämisen kannalta tärkeimmät lait ja asetukset.

### 1.2.2 EU:n jätedirektiivi (2008/98/EY)

EU:n jätepolitiikan keskeisimpiä tavoitteita on siirtyä kohti ekotehokasta kierrätys- ja hyödyntämisysteemiä. Suomen jätelaki pohjautuu EU:n jätedirektiiviin (2008/98/EY), jossa tärkein tavoite on jätteiden syntyä ehkäiseminen ja jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen. Direktiivissä on säädetty jätehierarkia, jota sovelletaan ensisijaisjärjestyksellä jätteen syntyä ehkäisemisessä ja jätehuoltoa koskevassa lainsäädännössä ja politiikassa. Kuvassa 1. jätehierarkian eri tasot.[2]



Kuva 4. Jätehierarkia 2008/98/EY

### 1.2.3 Jätelaki (646/2011)

Jätelain (646/2011) mukaisesti jätehuollon periaatteena on niin sanottu etusijajärjestys. Etusijajärjestyksen mukaisesti on:

1. Ensisijaisesti on pyrittävä välttämään jätteen syntymistä.
2. Jos jätettä syntyy, se on valmistettava uudelleenkäyttöä varten tai kierrätettävä.
3. Ellei kierrätys ole mahdollista, jäte on hyödynnettävä ensisijaisesti aineena ja toissijaisesti energiana.
4. Kaatopaikoille jäte voidaan sijoittaa vain, jos sen hyödyntäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista.

Jätelainsäädännön mukaisesta etusijajärjestyksestä voidaan poiketa, jos jokin muu vaihtoehto on ympäristön kannalta parempi. Etusijajärjestyksen mukaista jätehuoltovaihtoehtoa valittaessa otetaan huomioon jätteen elinkaari-vaikutukset, ympäristönsuojelu sekä jätehuollosta vastaavan tekniset ja taloudelliset edellytykset noudattaen etusijajärjestyksiä. Valtioneuvoston asetuksessa jätteistä VNa (179/2013) 14§:ssä (yhdyskuntajätteen erilliskeräys ja kierrätys) on säädetty, että teollisuus-, palvelu- ja muun elinkeinotoiminnan harjoittajan, muun jätteen haltijan sekä kunnan on jätelain §:ssä 8, 13 ja 15 säädettyin edellytyksin järjestettävä vastuulleen kuuluvan paperi-, kartonki-, lasi-, metalli-, muovi- ja biojätteen erilliskeräys ja kierrätys. Asetuksen antamana tavoitteena on, että vähintään 50 painoprosenttia yhdyskuntajätteestä kierrätetään viimeistään vuoden 2016 alusta alkaen. Asetus määrittää, että tuottajan velvollisuus järjestää käytöstä poistettujen tuotteiden erilliskeräys ja kierrätys koskee: paperituotteita, ja paperi-, kartonki-, lasi-, metalli- ja muovipakkauksia. Toteutetussa hankkeessa selvitettiin Suomeen soveltuvaa käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden uutta kierrätysmallia, joka edistäisi omalta osaltaan EU:n kierrätystavoitteiden ja Suomen kansallisen lainsäädännön tavoitteiden saavuttamista.[3]

## 1.2.4 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista

Valtioneuvoston asetuksen kaatopaikoista (331/2013) 28 § ja 53 § kieltävät sellaisten tavanomaisten jätteiden, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus ylittää 10 % sijoittamisen kaatopaikalle 1.1.2016 alkaen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lujitemuovikomposiittien kaatopaikkasijoittaminen on kiellettyä 1.1.2016 alkaen.

## 1.2.5 Valtioneuvoston asetus romuajoneuvoista

Valtioneuvoston asetus romuajoneuvoista määrää, että 1. päivään tammikuuta 2015 mennessä romuajoneuvoista käytetään uudelleen tai hyödynnetään vuodessa yhteensä vähintään 95 prosenttia sekä käytetään uudelleen tai kierrätetään vuodessa yhteensä vähintään 85 prosenttia. Asetus perustuu EU:n romuajoneuvodirektiiviin 2000/53/EY. Direktiivi ohjaa autonvalmistajia valitsemaan sellaisia materiaaleja, joiden kierrätys on mahdollista. Komposiitit ovat tärkeitä kuljetusvälineiteollisuudessa ja niiden kilpailuasema suhteessa metallituotteisiin heikkenee oleellisesti, mikäli toimivaa komposiittienkierrätysjärjestelmää ei ole tarjolla.

## 1.2.6 Jätevero

Jätevero säädetään jäteverolaissa (1126/2010). Jätevero koskee niitä kaatopaikalle toimitettavia jätteitä, joiden hyötykäyttö on teknisesti ja ympäristöperusteisesti mahdollista. Jätevero on tällä hetkellä 70 €/t + alv. Jäteveron lisäksi kaatopaikan pitäjä perii maksua jätteiden vastaanottamisesta. Teollisuusjätteiden vastaanottomaksu on keskimäärin 124€/t, joka sisältää jäteveron ja alv:n. Jätevero on yksi ohjauskeino, jolla jätteiden päätymistä kierrätykseen pyritään lisäämään.[4]

## 1.3 LUJITEMUOVIEEN KIERRÄTYSKÄRÄKÖLOGIAT

Kierrätysmenetelmät voidaan luokitella monella tavalla. Yksi tapa on jakaa muovijätteen kierrätysmenetelmät neljään ryhmään:[5]

1. Primäärikierrätys – jättemateriaalin muuntaminen materiaaliksi, jolla on samat ominaisuudet kuin alkuperäisellä materiaalilla
2. Sekundäärinen kierrätys – jättemateriaalin muuttaminen materiaaliksi, jonka ominaisuudet ovat alkuperäistä heikommat
3. Tertiäärinen kierrätys – jättemateriaalin muuttaminen kemikaaleiksi ja polttoaineeksi
4. Kvartenäärinen kierrätys – jättemateriaalin käyttö energiana

Useimmiten käytetyissä menetelmissä, primääri- ja sekundäärikierrätyksessä, kierrätysmateriaalia sekoitetaan neutraalisen materiaalin sekaan ja se käytetään kuten neutraalinen materiaali. Primääri- ja sekundäärikierrätyksen ero määräytyy siitä, kuinka jättemateriaali vaikuttaa lopputuotteen ominaisuuksiin. Tertiärisestä kierrätyksestä voidaan käyttää myös nimitystä kemiallinen kierrätys. Menetelmässä materiaalin kemiallista rakennetta muokataan siten, että lopputuotetta voidaan käyttää kemikaaleina tai polttoaineena. Kvartenärisessä kierrätyksessä materiaalin sisältämä energia hyödynnetään esimerkiksi polttamalla. Polttamista ilman energian talteenottoa ei voida sanoa kierrätykseksi.

Materiaalin hyötykäytön kannalta primääri- ja sekundääriset menetelmät ovat parempia, mutta kaikissa tapauksissa niille ei ole taloudellisia tai teknisiä edellytyksiä. Energiahyödyntäminen on yleensä yksikertaista eikä vaadi erityistoimenpiteitä, mutta sitä ei voida pitää kierrätyksenä. [6]



### 1.3.1 Primääri- ja sekundäärikierrätys

Mekaanisessa kierrätyksessä komposiittijäte murskataan ja jauhetaan hienojakoiseksi materiaaliksi. Valmistetulla materiaalilla voidaan esimerkiksi korvata komposiitin valmistuksessa käytettäviä täyteaineita, kuten kalsiumkarbonaattia. Menetelmä on yksinkertainen, mutta yleensä kaupalliset täyteaineet ovat murskattua lujitemateriaalia edullisempia ja teknisesti parempia. Lujitemuovin murskaaminen tarpeeksi hienoksi materiaaliksi vaatii erikoislaitteistoa. [7]

Maailmalla on muutamia esimerkkejä, joissa lujitemuoviyritys murskaa omat lujitemuovijätteensä käytettäviksi omissa tuotteissaan. Britanniassa kaksi katonvalmistajaa on investoinut kierrätyslaitteistoihin ja käyttää kierrätettyä lujitemuovijätettä omissa tuotteissaan. [8]

Tällainen toiminta on Suomessa erittäin harvinaista. Tietävästi vain Wavin-Labko Oy käyttää lujitemuovijätettä omien tuotteiden raaka-aineena. Yritys valmistaa jätteestä ankkurointilevyjä.

### 1.3.2 Tertiäärinen kierrätys

#### **Pyrolyysi**

Pyrolyysissä komposiittijätettä hehkutetaan hapettomassa tilassa 700–1000°C lämpötilassa. Seurauksena matriisimateriaali, lujite- ja täyteaineet saadaan eroteltua. Orgaaninen materiaali hajoaa prosessissa nesteeksi ja kaasuksi, joita voidaan hyödyntää polttoaineena tai kemikaalilähteenä ja kuituja ja muita täyteaineita voidaan hyödyntää sellaisenaan. Menetelmää käytetään lähinnä hiilikuitukomposiitin kierrätykseen ja sitä voidaan soveltaa myös lasikuitulujitetun komposiitin kierrättämiseen. Kierrätetyn lasikuidun mekaaniset ominaisuudet heikkenevät pyrolyysissä selvästi, eikä kierrätetylle lasikuidulle ole juuri markkinoita. Kierrätetylle hiilikuidulle sen sijaan on kysyntää, eivätkä sen mekaaniset ominaisuudet heikkene prosessissa niin selvästi kuin lasikuidun kohdalla. [7]

#### **Leijupeti**

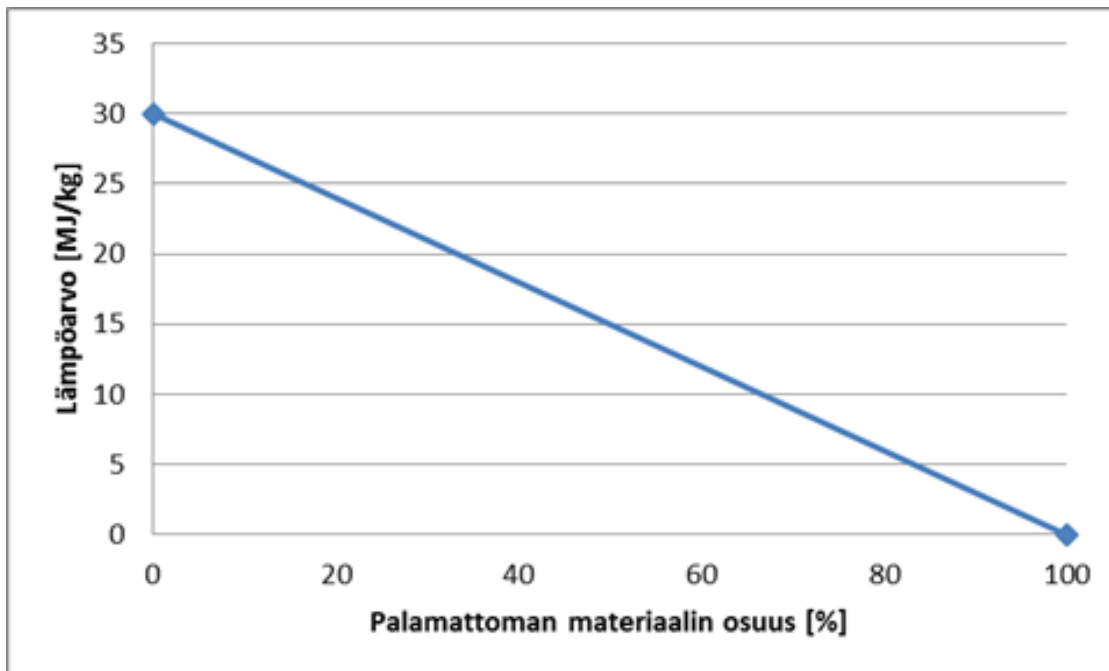
Leijupetimenetelmässä lujitemuovijäte poltetaan hiekkapedissä puhaltamalla petiin kuumaa ilmaa. Matriisimateriaali palaa lämmöksi ja kuidut ja täyteaineet poistuvat palokaasujen mukana ja erotellaan erilaisia suodattimia hyväksikäyttäen. Kuidut voidaan käyttää uudelleen, mutta niiden mekaaniset ominaisuudet heikkenevät. Menetelmän hyviä puolia on se, että prosessi sietää epäpuhtauksia ja sekalaisia lujitemuovijätteitä. Menetelmän huono puoli on se, että kuitujen puhdistuminen vaatii korkean lämpötilan, joka taas johtaa lasikuidun kohdalla mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen. [7]

Iso-Britanniassa tehtyjen kannattavuuslaskelmien perusteella menetelmä vaatii 10 000 tonnin lasikuitukomposiittijättemäärän, jotta menetelmä olisi taloudellisesti kannattava. Tarvittava jätevirta on kuitenkin niin suuri, ettei sellaista löydy Iso-Britanniasta pelkästään. [8]

### 1.3.3 Jättemateriaalin käyttö energiana - kvartenäärinen kierrätys

#### **Polttaminen**

Lujitemuovikomposiitin polttaminen on mahdollista. Polton lämpöarvo riippuu pitkälti orgaanisen materiaalin osuudesta komposiitissa. Kuvasta 5. voidaan nähdä miten palamattoman aineen osuus vaikuttaa kestumuovikomposiitin lämpöarvoon. [7]



Kuva 5. Palamattoman materiaalin osuuden vaikutus lujitemuovin lämpöarvoon [7]

### **Poltto ja materiaalinkierrätys sementtitiunissa**

Sementtitiunissa poltettaessa suurin osa lujitemuovijätteestä, noin kaksi kolmasosaa hyödynnetään sementin raaka-aineena ja yksi kolmasosa jätteestä toimii polttoaineena. Menetelmää voidaan pitää kierrätyksenä, koska se on suurimmaksi osaksi materiaalin uudelleenkäyttöä. Lujitemuovijätteen polttaminen sementtitiunissa on maailmalla käytetty menetelmä ja se on muista lujitemuovinkierrätysmenetelmistä poiketen sekä teknisesti että usein myös taloudellisesti toimiva.

## 2 LUJITEMUOVI SEMENTTIUUNISSA

Nykyaikainen, kestäväan kehitykseen pyrkivä yhteiskunta pyrkii kierrättämään jätteensä ja energian uusiksi raaka-aineiksi mahdollisimman tehokkaasti. Muovien ja komposiittien osalta käydyissä keskusteluissa on kiinnitetty huomiota muovituotteiden kierrätykseen raaka-aineiksi pelkän energian talteenoton sijaan. Kestomuovinen prosessijäte kiertääkin usein takaisin valmistusprosessiin rouhinnan jälkeen. Lujitemuovien kohdalla tilanne on toisenlainen: tavanomaisesti kertamuovista valmistettua hartsimatriisia ei voi kierrättää kestomuovin tavoin, minkä ohella kierrättämisen vaikeusastetta lisäävät lujitemuovin sisältämät lujitekuidut.

Suomessa lujitemuovijätettä syntyy sekä teollisuuden prosessijätteenä että käytöstä poistettavina tuotteina. Näitä jätteitä ei juurikaan kierrätetä, vaan jäteyritykset ovat kuljettaneet jätteen kaatopaikoille ja osittain energiahyötykäyttöön polttolaitoksissa. Jäte on valtaosaltaan lasikuidulla lujitettua kertamuovia, tavanomaisimmin polyesterihartsia.

Lujitemuovin kierrätystä on tutkittu pitkään, mutta teknisesti ja taloudellisesti toimivan kierrätysmenetelmän löytäminen on ollut vaikeaa. Lujitemuovijätteen polttaminen sementtiuunissa on yksi harvoista menetelmistä, mikä on osoittautunut maailmalla toimivaksi. Menetelmässä lujitemuovi poltetaan sementtiuunissa, jolloin suurin osa lujitemuovijätteestä, noin kaksi kolmasosaa, hyödynnetään sementin raaka-aineena ja yksi kolmasosa jätteestä toimii polttoaineena. Menetelmää voidaan pitää kierrätyksenä, koska se on suurimmaksi osaksi materiaalin uudelleenkäyttöä.

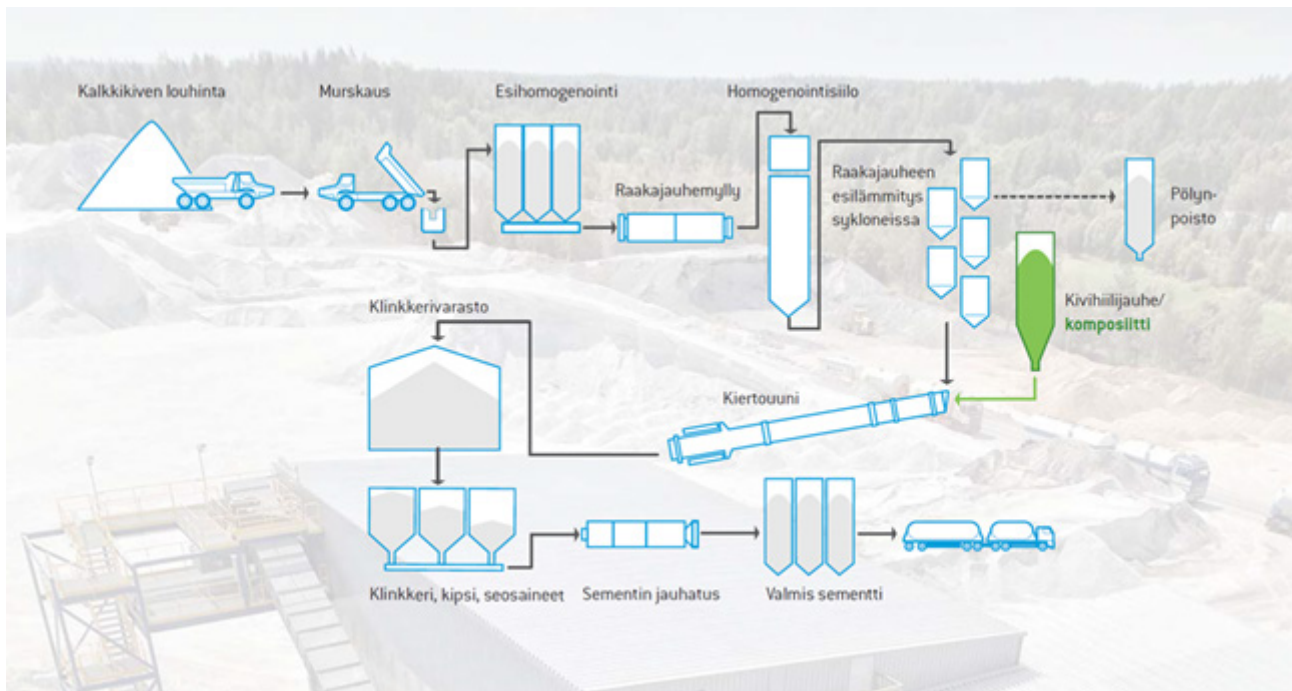
Vuosina 2013- 2014 ja 2015 – 2016 toteutettujen Tekes- rahoitteisten hankkeiden päätavoitteena on ollut luoda Suomeen lujitemuovin kierrätysjärjestelmä, jossa lujitemuovi kierrätetään sementtiuunissa. Lujitemuovijätteen soveltuvuutta suomalaisen sementtiteollisuuden raaka- ja polttoaineeksi on tutkittu sekä laboratoriokokein että teollisuusmittakaavan kokein.

### 2.1 SEMENTINVALMISTUSPROSESSI

Sementinvalmistus voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen. Sementinvalmistuksen prosessi selviää kuvasta 6. (Finnsementti)

1. Kalkkikiven louhinta, murskaus ja raakajauhatus
2. Portlandklinkkerin poltto kiertouunissa
3. Sementin jauhatus





Kuva 6. Sementin valmistusprosessi [28]

Sementin valmistusprosessi alkaa kalkkikiven louhinnalla, jonka jälkeen se murskataan ja lajitellaan. Kalkkikivestä saatavan kalsiumkarbonaatin ( $\text{CaCO}_3$ ) lisäksi valmistusprosessissa tarvitaan piioksidia ( $\text{SiO}_2$ ), rautaoksidia ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ja alumiinioksidia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Raaka-aineita saadaan kalkkikivilouhoksen sivukivistä ja muun teollisuuden sivutuotteista. Raaka-aineiden kemiallisen koostumuksen perusteella määritetään oikeat syöttösuhteet ja aineet syötetään raakajauhemyllyyn, jossa ne jauhetaan hienoksi. [27]



Kuva 7. Finnsementti Oy: n Lappeenrannan sementtiuuni (Kuva Dick Blom)

Sementtiklinkkerin poltto alkaa raakajauhatuksella, homogenisoituneen jauheen esilämmityksellä ja esikalsinoinnilla, jonka jälkeen se syötetään uuniin. Sementtiuuni on noin 100 m pitkä kiertouuni. Poltossa uunin lämpötilan noustessa 1450 °C:een muuttuvat kalkki-, pii-, alumiini- ja rautayhdisteet kalsiumyhdisteiksi ja sintraantuvat sementtiklinkkeriksi. Uunin loppuosassa sementtiklinkkeri jäädytetään nopeasti noin 200 °C:een. Klinkkeri on koostumukseltaan tässä vaiheessa karkeaa soraa. [27]

Sementti valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, kipsiä ja mahdollisia muita mineraaleja kuten kalkkikiveä ja granulointua masuunikuonaa. Muita sementtiin lisättäviä aineita voi olla esim. ferrosulfaatti (FeSO<sub>4</sub>). Jauhettu tuote lajitellaan ja karkeat partikkelit ohjataan takaisin jauhatukseen. Hienoksi jauhettu valmis sementti siirretään varastosiiloihin, joista se kuljetetaan asiakkaille säiliöautossa tai säkkeihin pakattuna. [27]

## 2.2 KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN (SRF/REF) VAATIMUKSET SEMENTTIUUNILLA

Sementtitehtaalle toimitettava kierrätyspolttoaine tulee olla standardin SFS 15359, KIINTEÄT KIERRÄTYS-  
POLTTOAINEET VAATIMUKSET JA LUOKAT, mukaisesti valmistettua. Standardissa on esitetty kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitus ja spesifikaatioperiaatteet. Sementtitehtailla on myös omia laitoskohtaisia vaatimuksia polttoaineen laadulle.

Standardissa on esitetty kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä sekä vaatimukset polttoaineluokille. Sementtiteollisuudessa käytettävän kiinteän kierrätyspolttoaineen tulee täyttää vähintään luokan 2 vaatimukset. Taulukossa 1 on kuvattu kierrätyspolttoaineluokat 1 ja 2 vaatimukset.

Taulukko 1 Standardin SFS 15359 mukaiset vaatimukset luokkien 1 ja 2 mukaisille kiinteille kierrätyspolttoaineille [20]

Luokitus-ominaisuus	Tilastollinen mitta	Yksikkö	Luokka 1	Luokka 2
Tehollinen lämpöarvo	Keskiarvo	MJ/kg	≥ 25	≥ 20
Klooripitoisuus	Keskiarvo	%	≤ 0,2	≤ 0,6
Elohopeapitoisuus	Mediaani 80. prosentti-piste	mg/MJ mg/MJ	≤ 0,02 ≤ 0,04	≤ 0,03 ≤ 0,06

Jokaisesta polttoaine-erästä tulee määrittää:

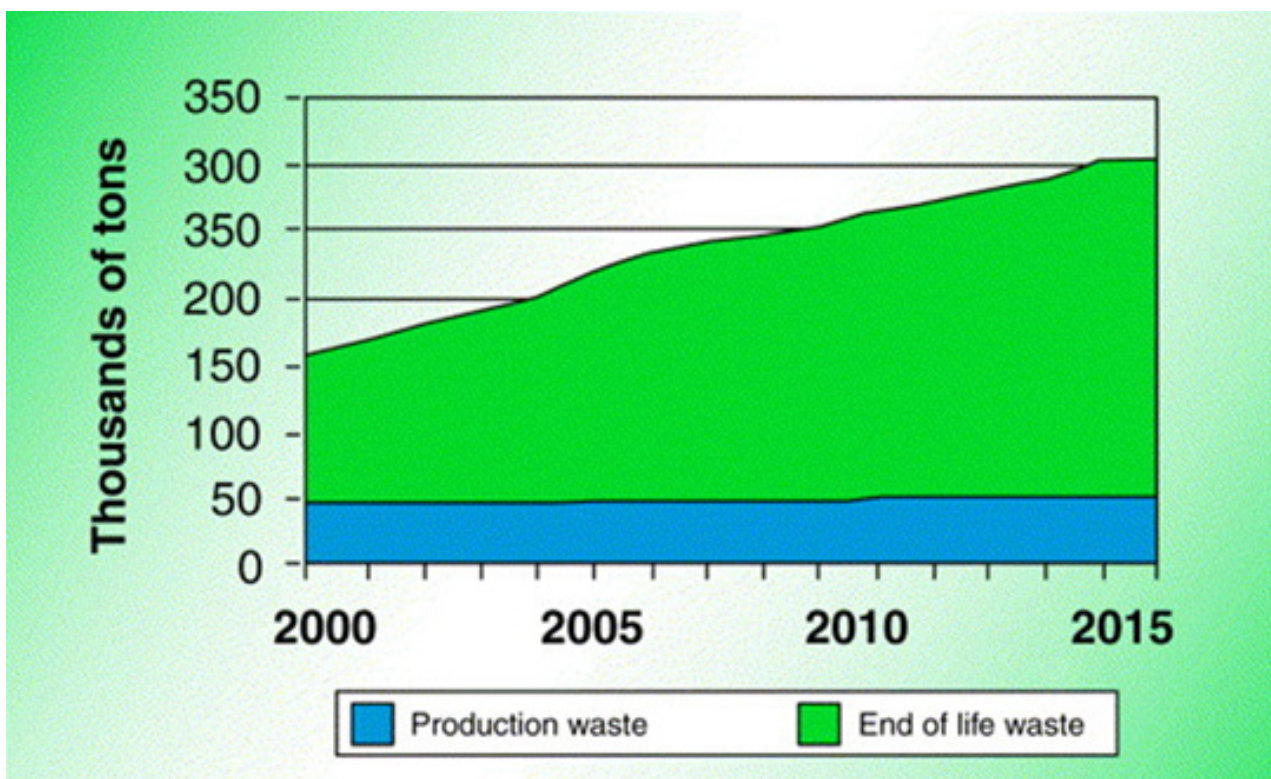
- Taulukossa 1 kuvattu **luokkakoodi**: Luokitusjärjestelmän mukaiset vaatimukset tulee täyttää.
- Alkuperä: alkuperä voidaan kuvata joko tekstimuodossa tai käyttämällä Euroopan jäteluettelon (EWC, European Waste List) mukaisia neli- tai kuusinumeroisia koodeja. [3]
- **Partikkelimuoto**: esim. pelletit, paalit, briketit, lastut, hake, fluffi, jauhe jne.
- **Partikkelikoko**: määritellään seulonnalla tai vastaavilla menetelmillä.
- **Tuhkapitoisuus**: määrittely standardin EN 15403 mukaisesti.
- **Kosteuspitoisuus**: määrittely saapumistilassa teknisten spesifikaatioiden CEN/TS 15414-1 ja CEN/TS 15414-2 sekä standardin EN 15414-3 mukaisesti.
- **Tehollinen lämpöarvo**: määrittely sekä saapumistilassa että kuiva-aineesta standardin EN 15400 mukaisesti.
- **Kemialliset ominaisuudet**:
  - **Klooripitoisuus**
  - Jokaisen jätteenpolttodirektiivissä mainitun **yksittäisen raskasmetallin pitoisuus** sekä kyseisten pitoisuuksien yhteissumma kuiva-aineesta standardin EN 15411 mukaisesti: **antimoni, arseeni, kadmium, kromi, koboltti, kupari, lyijy, mangaani, elohopea, nikkeli, tallium ja vanadiini**. Kadmiumia, elohopeaa ja talliumia ei lisätä yhteissummaan.

Näiden standardin mukaisten määritysten lisäksi asettavat sementtitehtaat omia erityisvaatimuksiaan vastaanotettavalle kierrätyspolttoaineelle, esimerkiksi:

- Korkea **liekin lämpötila**: Polttoaineen liekin tuottaman adiabaattisen lämpötilan on oltava **2200 oC**, jotta saavutettaisiin sementtipetiin lämpötilaksi n. 1500 oC.
- **Lasi** on ei-toivottu materiaali. Lasi muodostaa alkaleja, joiden aiheuttamat kasvannaiset tukkivat paikkoja.
- **Lämpöarvo**: sementtiuunin polttoaineen lämpöarvovaatimus on 22 MJ/kg.
- **Palakoko**: riippuu siitä, miten polttoaine syötetään sementtiuuniin. Syöttötapa on sementtitehdaskohtainen.
  - Pääpolttimoa käytettäessä on palakoon on oltava pieni (korkeintaan 5 mm).
  - Kalsinaattorin kautta syötettäessä palakoko voi olla suurempi, esimerkiksi noin 50 mm.
- Kierrätyspolttoaine **ei** saa sisältää **PVC- muoveja**, sillä ne tuovat uuniin klorideja (alkali).
- **Kierrätyspolttoaineen tiheys**: Tavanomaisen SRF:n paino on 120- 150 kg/m<sup>3</sup>. Polttoaine saisi olla raskaampaakin.
- **Hiilikuidut**: joillakin laitoksilla on asetettu nollatoleranssi hiilikuiduille.

### 3 LUJITEMUOVIJÄTTEEN JÄTEVIRRRAT

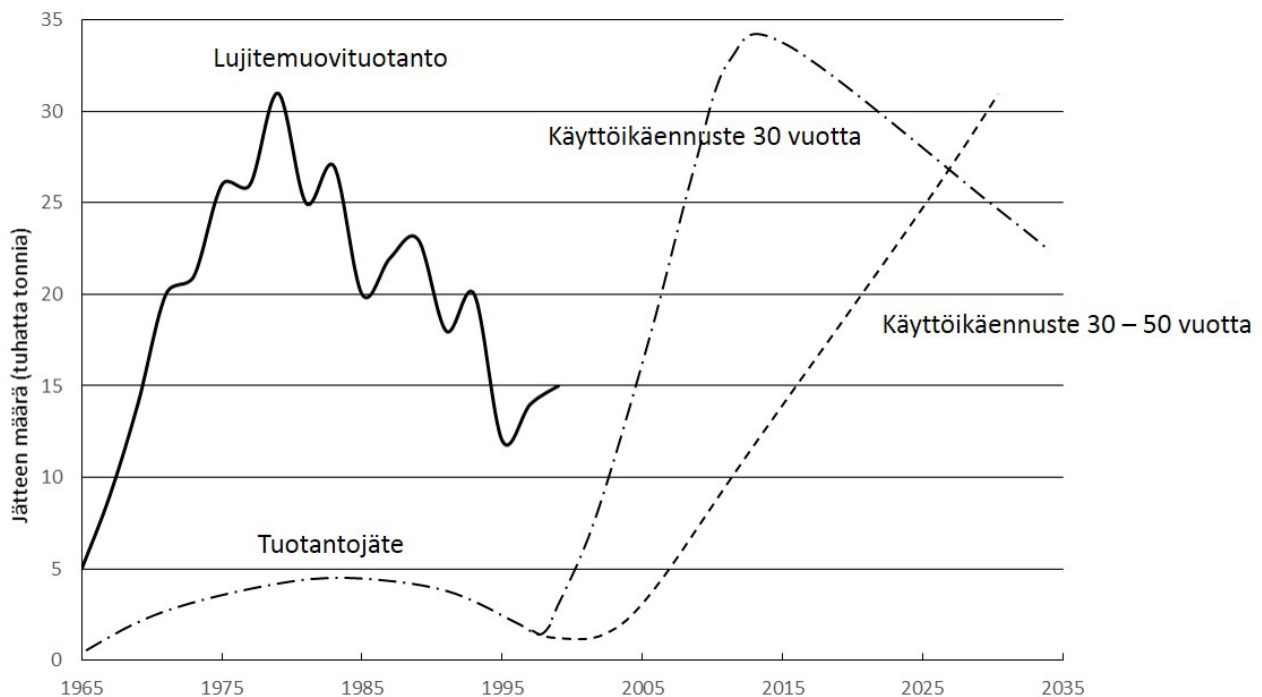
Lujitemuovijätettä syntyy teollisuusjätteenä lujitemuovituotteiden valmistuksessa sekä käytöstä poistuvien lujitemuovirakenteisten tuotteiden muodossa. Euroopassa syntyy vuosittain noin 300 000 tonnia lujitemuovijätettä, josta yli 80 % on käytöstä poistettuja tuotteita ja loput tuotantojätettä. Tuotantojätteen määrä on pysynyt pitkään samalla tasolla, mutta käytöstä poistetun lujitemuovijätteen määrä kasvaa tasaisesti, kun tuotteet tulevat elinkaarensa päähän. Euroopassa tuotetaan noin miljoona tonnia lujitemuovituotteita vuodessa, tuotantojätteen määrä on tästä noin 5 %. Tuotannossa syntyvän lujitemuovijätteen syntymiseen vaikuttaa käytetyt materiaalit ja valmistusprosessi. [9] [10]



Kuva 8. Läntisen Euroopan jätevirrat vuosina 2000 -2015 [10]

Lujitemuovi on kestävä materiaali, ja siitä valmistetut tuotteet ovat yleisesti arvokkaita. Näin tuotteiden elinkaari muodostuu pitkäksi ja tuotantomäärien muutokset näkyvät jätemäärissä vasta vuosien kuluttua. Kuvassa 15. esitetään arvio Ruotsissa syntyvästä lujitemuovijätteestä kahdella eri skenaariolla tuotteiden elinkaaren pituudesta. Lujitemuovijättemäärien tulisi olla Ruotsissa nykypäivinä vuositasolla noin 25 000 - 30 000 t/v. Tällaista huippua ei kuitenkaan ole havaittu. Tämän oletetaan johtuvan siitä, että lujitemuovituotteiden todellinen käyttöikä on huomattavasti pitempi tai lujitemuovijätteen todellista määrää ei ole kyetty luotettavasti toteamaan kokonaisuutensa seasta.





Kuva 9. Arvio Ruotsissa syntyvästä lujitemuovimäärästä suhteutettuna tuotantomääriin vuosina 1965 - 1995 ja oletettuun tuotteiden käyttöikäen. Käyttöikä 30 vuotta ja käyttöikä 30 -50 vuotta [1]

### 3.1 LUJITEMUOVITEOLLISUUDEN LUJITEMUOVIJÄTE SUOMESSA

LUMI- hankkeiden ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin teollisuuden lujitemuovijätteen määrät, laatu ja jätehuolto. Selvitys tehtiin vuosina 2013 – 2014, jolloin orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto ei ollut vielä astunut voimaan. Tämän Suomessa syntyvän lujitemuoviteollisuuden tuottaman lujitemuovijätteen selvittämiseksi käytettiin lujitemuovituotteiden valmistajien selvittämiseksi Muoviteollisuus ry:n jäsenyrityslistaa. Lisäksi hyödynnettiin Ketekin aiemmin toteuttaman Hyöty-projektin tuottamat tiedot. Tutkimuksessa huomioitiin myös kaikki muut tunnetut toimijat sekä haettiin lujitemuovituotteiden tuottajia käyttäen apuna internetin hakukonetta. Selvityksen kohde-ryhmään saatiin 54 yritystä, joilla on lujitemuovituotteiden valmistusta Suomessa. Kaikkein pienimpiä, muutaman työntekijän pienyrityksiä ei aktiivisesti pyydetty osallistumaan. Kokonaisjättemäärä lujitemuovituotteita valmistavissa yrityksissä on noin 4 000 tonnia vuodessa, josta huomattava osa on puhdasta lasikuitua ja sekajätettä.

Jätetiedot selvitettiin joko käymällä yrityksissä vierailulla, puhelinhaastattelulla tai kyselykaavakkeella. Kyselylomake muotoiltiin tarvetta vastaavaksi muutaman yrityskäynnin perusteella. Lähes kaikki tietojen keräykseen osaa ottaneet yritykset suhtautuivat positiivisesti hankkeeseen ja toivoivat jätteille hyötykäyttöä. Yksi yritys haastatelluista jatkjalosti romukappaleensa uudeksi kaupalliseksi tuotteeksi.

Monessa yrityksessä myös arveltiin kierrätyksen nousevan kustannuksiltaan liian kalliiksi. Muutamassa yrityksessä oli jo käytössä toimintatapoja, joilla saataisiin jätemäärä pienemmään muissakin yrityksissä. Nämä toimet eivät ole vaikeita toteuttaa, kuten esimerkiksi hartsijäämien irrottaminen kovettumisen jälkeen astiasta, sekä tynnyreiden uudelleenkäyttö pesun jälkeen. Myös energiajätteen tehokkaampi hyödyntäminen sekajätteen sijaan toisi monelle yrittäjälle säästöjä jättekustannuksissa. Monessa yrityksessä on yritetty panostaa jätteiden lajitteluun, esimerkiksi siten, ettei metalliastioita eikä paperia ja pahvia laitettaisi sekajätteeseen. Kuitenkin lopullinen lajittelu jäteastioilla näytti jäävän vaillinaiseksi.



Kuva 10. Puhdasta lujitemuoviteollisuuden leikejätettä kaatopaikalle sijoitettuna. Tämä materiaali soveltuisi hyvin sementti-uunin kierrätyspolttoaineen valmistukseen (Kuva Dick Blom)



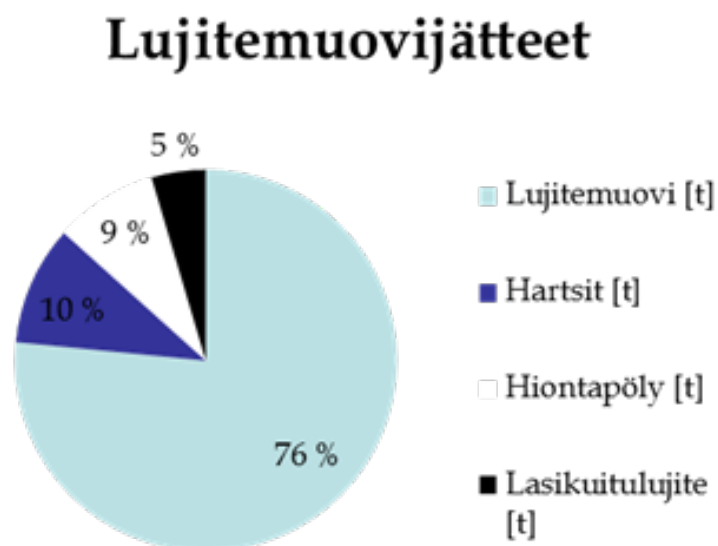
Kuva 11. Puhtaan lujitemuovijätteen lisäksi lujitemuoviteollisuuden jätteessä on mm. jäännöshartseja, joiden murskaaminen vaadittuun raekokoon on haastavaa [22]

Lujitemuoviteollisuuden tuotantojäte on nykymuodossaan lajittelematonta. Se voi sisältää työkaluneita, työkenkiä, tiivistemassatuubeja, kennorakenteita jne. Nämä kaikki ovat sementtiteollisuuden lujitemuovipohjaisen kierrätyspolttoaineen valmistukseen soveltumattomia. Kierrätyspolttoaineeksi käytettävä teollisuuden lujitemuovijäte tulisi lajitella syntypaikallaan tarkoitukseen varattuun omaan astiaan.

### 3.1.1 Teollisuuden lujitemuovijätteen määrä ja sijainti

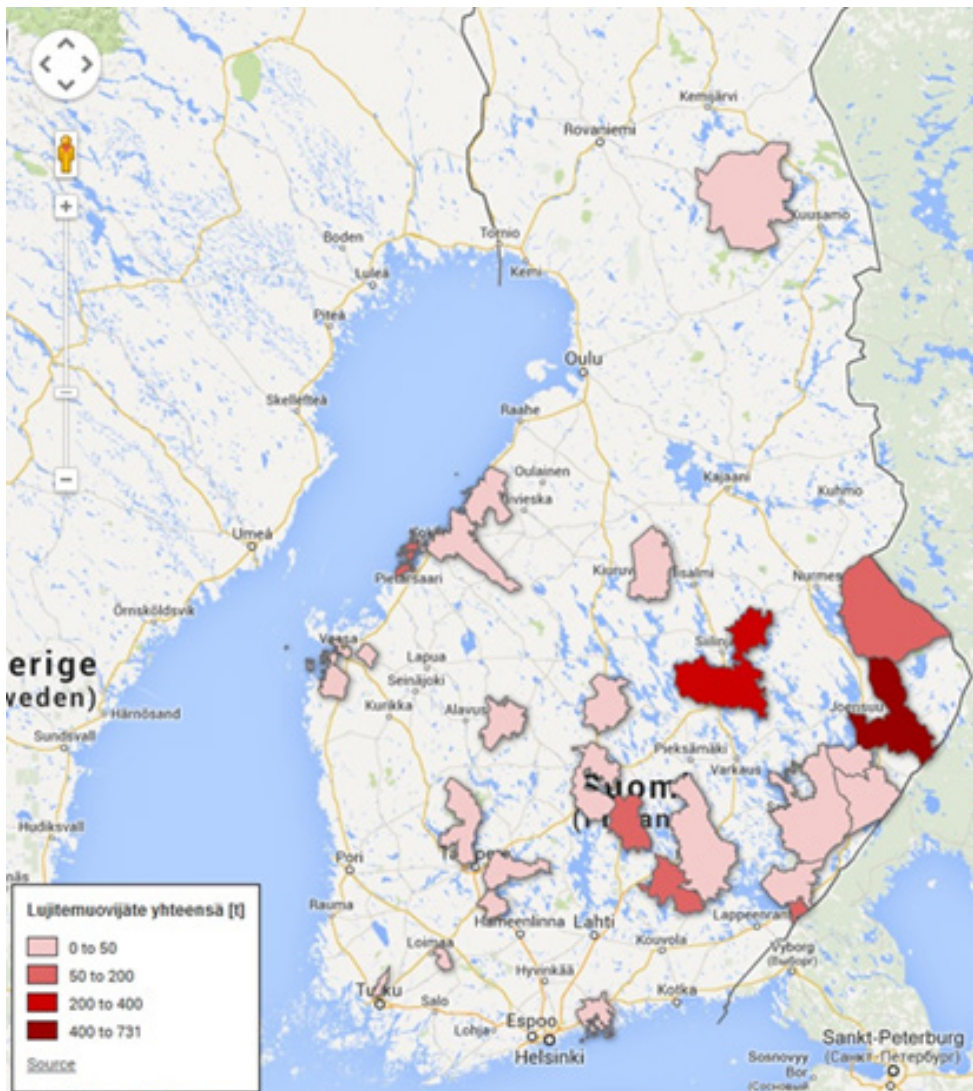
Hankkeessa tehdyn selvityksen perusteella syntyy Suomessa lujitemuoviteollisuuden tuotantojätettä n. 2000 tonnia vuodessa. Lisäksi lasikuituteollisuus tuottaa noin 2000 tonnia lasikuitulujitejätettä.

Kuvassa 12. on esitetty yrityskselyin selvitetyn Suomen lujitemuoviteollisuuden lujitemuovijätteen koostumus. Kuva 13. osoittaa jätteiden määrät ja syntypaikat. Lujitemuoviteollisuuden tuotantojätettä syntyy lähinnä Itä – Suomessa sekä Pohjanmaan rannikkoseuduilla.



Kuva 12. Lujitemuoviteollisuuden lujitemuovijätteen jakauma [29]





Kuva 13. Lujitemuoviteollisuuden lujitemuovijätteen määrät syntypaikan mukaan [29]

Lujitemuovijätevirtojen määrittäminen sisältää epävarmuustekijöitä. Jäteluokittelut eivät yksilöi lujitemuovia omaksi jätejakeekseen eikä muidenkaan jäteluokkien määrittelyissä löydy selkeitä viitteitä lujitemuoviin. Jäteyhtiöiden käytämät nimikkeet ovat vaihtelevia.

### 3.2 KÄYTÖSTÄ POISTETTUIEN LUJITEMUOVITUOTTEIDEN JÄTEVIRRAT

Lujitemuoviteollisuus tuottaa lujitemuovijätettä n. 2000 tonnia vuodessa. Tämän lisäksi syntyy lujitemuovipitoista jätettä, niistä lujitemuovivalmisteisista tuotteista, jotka ovat elinkaarensa päässä ja poistetaan käytöstä. Näitä syntyy teollisuuden uudistusinvestointien sekä kunnossapitotoimien tuloksena. Lisäksi kuluttajat tuottavat lujitemuovijätettä, joka voi päätyä eri reittejä jätehuollon piiriin. Alkuoletus oli, että suuremmat tuotteet, esim. urheiluvälineet toimitetaan jäteasemille sekajätteenä lajitteluun, kun taas pienemmät voivat mennä kotitalouksien jätepusseissa lajitteluun ja polttoon.

Jätevirroista tehtiin kysely jätehuoltoyrityksiin. Kysely toteutettiin puhelinhaastatteluna, jonka tulokset hankkeen haastattelija kirjasi kysymyslomakkeelle. Täytetty lomake toimitettiin haastateltavalle, joka teki siihen tarkennuk-



set. Vastauksia saatiin yhteensä 16 jätehuoltoyhtiöstä. Vastajina olivat yhtiöiden ympäristöpäälliköt ja tuotannosta vastaavat henkilöt.

VAHTI-tietojärjestelmä on osa ympäristönsuojelulain (YSL 27§) edellyttämää Ympäristönsuojelun tietojärjestelmää. Siihen tallennetaan ja siinä ylläpidetään tietoja mm. ympäristölupavelvollisia toiminnanharjoittajia koskevista luvista, päästöistä vesiin ja ilmaan sekä jätteistä. Ensisijaisena tarkoituksena tietojärjestelmällä on toimia alueellisten ympäristökeskusten ja ympäristölupavirastojen lupakäsittelyn ja -valvonnan työvälineenä. VAHTIin on vuosittain tallennettu jätteitä koskevia määrällisiä ja laadullisia tietoja mm. jätteen syntymisestä, kuljettamisesta, keräämisestä, käsittelystä, hyödyntämisestä, varastoimisesta sekä jätteen toimittamisesta muualle käsiteltäväksi tai hyödynnettäväksi. [11]

VAHTI- tietojärjestelmässä ei ole lujitemuovijätteelle yhtä yksikäsitteistä tunnistekoodia. Jätehuoltoon toimitetut lujitemuovijätteet koodataankin syntyvän eikä jätteen materiaalisällön mukaan. Hankkeessa tehdyn kyselyn tulos osoittaa, että vastaanotetun lujitemuovijätteen todellinen määrä ei ole jätehuoltoyhtiöiden tiedossa. Lujitemuovia otetaan vastaan eri nimikkeillä: kaatopaikkajäte, sekajäte, sekalainen jäte, rakennus- ja purkujäte, teollisuuden jäte. Vuonna 2015 yleisin tapa käsitellä lujitemuovijätettä oli ajaa se kaatopaikan penkkaan. Vuoden 2016 alussa alkavaan orgaanisen jätteen kaatopaikkauskieltoon oli valmistauduttu useimmissa yrityksissä hakemalla poikkeuslupaa kaatopaikkasijoittamisen jatkamiseksi.

Kysely uusittiin tammikuussa 2016, jolloin orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto oli astunut voimaan. Vastauksia saatiin 9 jätehuoltoyhtiöstä. Taulukossa 2. on esitetty näissä jätehuoltoyhtiöissä vuoden 2016 alussa käytössä olleet toimintatavat lujitemuovijätteen suhteen.

Taulukko 2. Lujitemuovijätteen käsittely jätehuoltoyhtiöissä 2016

Menettely	Yhtiöt (kpl)	Muuta
Poikkeuslupahakemus	3	
Poikkeuslupahakemus isoille kappaleille	1	Pienet hyötyvoimalaan
Poikkeuslupa saatu	1	
Poikkeuslupa isoille kappaleille saatu	2	
Toimitus jätevoimalaan	2	Kohtuulliset määrät
Edelleen penkkaan	1	Ei mainintaa luvasta
Kaikki ennen kaatopaikalle sijoitettu jäte siirtokuormataan jätteenkäsittelylaitokselle	1	

Poikkeuslupaa hakeneet yritykset joutuivat varastoimaan lujitemuovijätteen päätöstä odottaessa. Useimmille poikkeusluvalla toimiville ei ollut vielä selvää, miten toimitaan jatkossa. Poikkeuslupa kuitenkin edellytti selvitystä, miten toimitaan jatkossa.

Jätehuoltoyhtiöt, joilla on käytettävissään jäte- tai hyötyvoimala, toimittavat lajitellun sekajätteen sekä kotitalouksien jätepussit voimalaan poltettavaksi. Myös lujitemuovijäte menee näissä tapauksissa polttoon, jos se täyttää laitoksen tekniikan ja ympäristöluvan asettamat koko-, paksuus- ja puhtausvaatimukset.

Oheisissa kuvissa on esitetty tilanteita jätehuoltoyhtiöiden lajittelukeskusten lavoilla keväällä 2016.



Kuva 14. Sekajätteen lava. Tämä materiaali menee lajitteluun ja polttoon. Joukossa yksi katkokuitulujitteinen 600 l:n hiekoituslaatikko, jossa teräslujitteinen reunakehys (Kuva Dick Blom)



Kuva 15. Jätehuoltoyhtiöllä on poikkeuslupa orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoitukseen. Komposiiteille ja PVC- muoveille on kuitenkin varattu oma lajittelulava, jossa on paljon muitakin kaatopaikalle menevää sekajätettä. (Kuva Dick Blom)



Kuva 16. Lajiteltavan sekajätteen lava. Tyypillisimpiä lujitemuovijätteitä kotitalouksista ovat sukset ja sauvat. (Kuva Dick Blom)

### 3.3 JÄTEVIRTOJEN ANALYSOINTI

Koska lujitemuovivirtojen määrä eikä laatu ollut selvitetävissä jätetilastojen eikä jätehuoltoyritysten tietojen pohjalta, päätettiin tehdä otosmuotoinen jätetutkimus kolmessa yhtiössä.

Metsäsairila Oy:ssä seurattiin viikon 6 ajan lajittelukeskuksessa käsiteltyä lajiteltavaa sekajätevirtaa ja eroteltiin loppujätteestä lujitemuovituotteet. Käsitelty jätemäärä oli 42 tonnia ja lasikuitupitoisia jätteitä löytyi loppujätteestä 10 kg.

Etelä- Karjalan Jätehuolto Oy oli joutunut vuoden alusta varastoimaan orgaaniset jätteensä jätekentälle. Poikkeusluvan myöntämisen jälkeen Etelä- Karjalan Jätehuolto lajitteli kertyneet lajiteltavat sekajätteet siten että lujitemuovit inventoitiin erilleen. Tyypillisimmistä tuotteista otettiin näytteitä.

Kymenlaakson Jätehuollon kanssa sovittiin kahden viikon näytteenotto, jossa lajiteltavasta jätteestä eroteltaisiin muovit ja lujitemuovit. Lujitemuovituotteista otettiin näytteitä analysoitaviksi. Lisäksi otettiin näytteitä tuotteista, joiden kohdalla oli ollut epävarmuutta, olivatko ne lujitemuovituotteita vai lujittamattomia muovituotteita. Näin saatiin kuva erottelun luotettavuudesta.

Otostutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Otostutkimus lujitemuovimääristä kolmen jätehuoltoyhtiön jätteissä

Jätehuoltoyhtiö	Jätelaji	Vastaanotettu jätemäärä	Lujitemuovia	Osuus käsitelystä
MetsäSairila Oy	Sekajäte	39,8 tn	10 kg	0,025 %
Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy	Kotitalousjäte	44,4 tn	530 kg	1,19 %
Kyminlaakson Jäte Oy	Sekalainen jäte			1 % (arvio)

Taulukossa 4. on esitetty Tilastokeskuksen ilmoittamat yhdyskuntajätteen jätemäärät Suomessa vuonna 2014. Sekajätteen määrä vuonna 2014 oli yhteensä 1 349 905 tonnia. Jos hankkeen tekemä näytteenotto osoitti, että lujitemuovia on yhdyskuntajätteissä keskimäärin noin 0,7 %, voidaan arvioida, että lujitemuovijätettä tulee jätteenkäsittelyyn vuosittain näin laskettuna noin 9500 tonnia.

Taulukko 4. Yhdyskuntajätteet tonnia Suomessa vuonna 2014 Tilastokeskuksen mukaan [24]

Jätelaji	Jätemäärä	Kierrätys materiaalina	Energiakäyttö	Sijoitus kaatopaikalle
<b>Sekajäte yhteensä</b>	<b>1 349 905</b>	<b>15 122</b>	<b>903 671</b>	<b>431 112</b>
Erilliskerätyt yhteensä, josta	1 140 097	826 185	300 869	13 043
Paperi ja kartonkijäte	363 208	315 627	47 457	124
Biojäte	397 396	354 990	35 560	6 846
Lasijäte	11 768	11 357	4	407
Metallijäte	56 225	56 196	29	0
Puujäte	50 845	2 961	47 625	259
Muovijäte	50 998	4 497	46 455	46
Sähkö- ja elektroniikkaromu	59 373	59 333	40	0
Muut erilliskerätyt	150 284	21 224	123 699	5 361
Muut ja erittelemättömät	139 877	15 019	111 280	13 578
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>2 629 879</b>	<b>856 326</b>	<b>1 315 820</b>	<b>457 733</b>



## 4 KÄYTÖSTÄ POISTETUT LUJITEMUOVITUOTTEET

Käytöstä poistuvilla lujitemuoveilla tarkoitetaan lujitemuovijätettä, jota syntyy, kun lujitemuoveista valmistettuja tuotteita toimitetaan jätteeksi. Jotta käytöstä poistettuja lujitemuovituotteita voidaan hyödyntää sementinvalmistuksen raaka-aineena, tulee materiaalin täyttää kappaleessa 2.3 asetetut ehdot. Lisäksi jätemateriaalia tulee olla riittävästi saatavilla. Niin teollisuudelta, kuin kuluttajilta tulevat käytöstä poistetut lujitemuovituotteet ovat erittäin hajallaan muun jätteen seassa tai varastoituina yksityisille pihoilta, rannoille, tai teollisuuslaitosten omille varastointipaikoille. Tämä asettaa suuren haasteen käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden hyödyntämiselle.

### 4.1 LUJITEMUOVITUOTTEIDEN LUOKITTELU

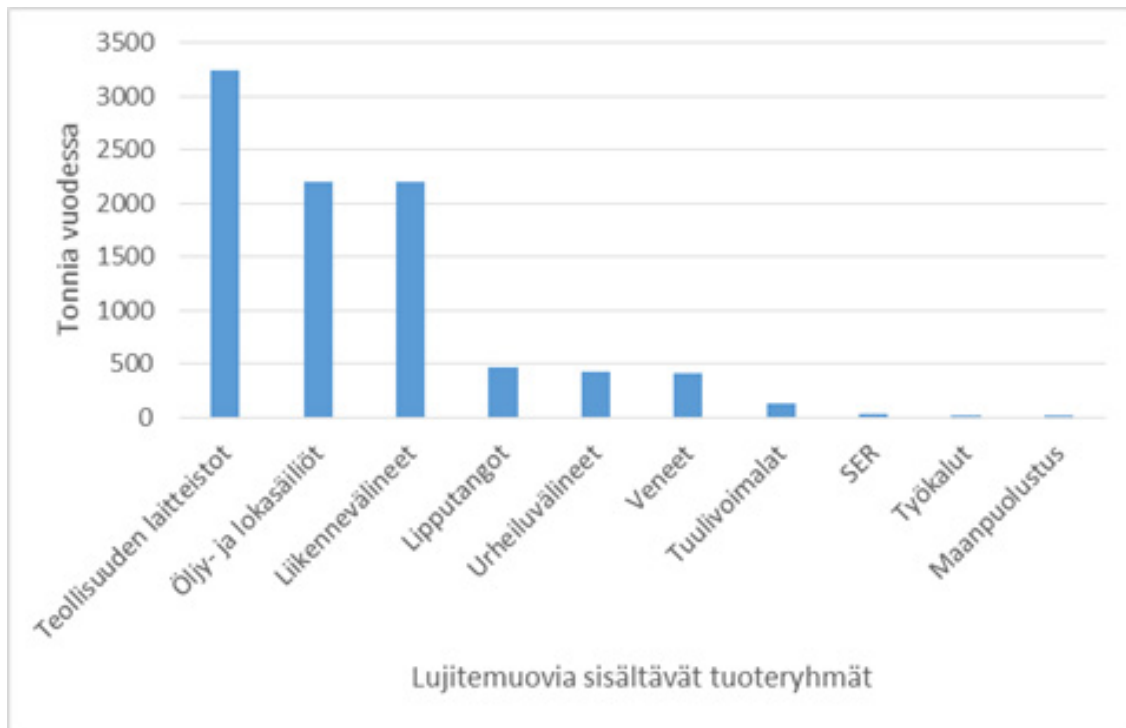
Lujitemuovia sisältävien tuotteiden tunnistamiseksi ja määrän selvittämiseksi laskennallisesti lujitemuovijäte luokiteltiin Taulukon 5. mukaisesti.

Taulukko 5. Lujitemuovia sisältävät tuoteryhmät

Tuoteryhmä	Tyypillisiä tuotteita	Käyttäjä	Määrä
Teollisuuden laitteistot	Putket, säiliöt, pesurit, kalanviljelyaltaat	Teollisuus	3240 tn
Kotitalouksien ja kunnallistekniikan säiliöt	Loka- ja öljysäiliöt	Kotitaloudet, omakotitalo/kerrostalo	2200 tn
Liikenne	Kuormakontit, tuuliviisiirit, junanvaunujen rakenteet, peräkärkyt, hevoskuljetuskalusto	Kuljetusliikkeet, VR, kotitaloudet, ratsastuksen harrastajat	2200 tn
Lipputangot		Kiinteistöt	470 tn
Urheiluvälineet	Sukset, suksisauvat, salibandy-mailat, sauvakävelysauvat	Kotitaloudet, urheilijat	430 tn
Vesikulkuvälineet	Soutu, moottori-, ja purjeverneet, kanootit, matkustaja-alusten istuimet ja välinekontit	Kotitaloudet, urheilijat, kalastajat, matkailuelinkeino	180 tn
Tuulienergia	Tuulimyllyjen siivet, nasellit, konehuoneet		130 tn
Elektroniikkatuotteet	Piirikortit	Elektroniikkateollisuus, koneenrakennus, tietoliikenneoperaattorit	98 tn
Työkalut	Kirveet, lekat, lapiot, puutarhatyökalut	Kotitaloudet, ammatinharjoittajat, yritykset	8 tn
Maanpuolustus	Kevytsingot, kypärät, kilvet,	Puolustusvoimat	5 tn

Lujitemuovia käytetään tuotteissa, joilta vaaditaan korkeaa lujuutta yhdistettynä kevyeen rakenteeseen. Tyypillisiä tuoteryhmiä ovatkin veneet, urheiluvälineet, säiliöt ja putkistot, lentokoneiden komponentit, tuulivoimalat, erilaiset aseet ja puolustustarvikkeet sekä ajoneuvojen rakenteet.

Kun laskennallisesti huomioitiin näiden tuotteiden tuotantomäärät, elinkaaret ja tunnetut romutusmäärät, päädyttiin arvioon, että käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden muodostama lujitemuovijäte on jakautunut oheisen Kuvan 17. kaavion mukaisesti.



Kuva 17. Hankkeessa tehty arvio Suomessa käytöstä poistuvan lujitemuovijätteen vuotuisista määristä tuoteryhmittäin

## 4.2 TEOLLISUUDEN LAITTEISTOT

Kemian- ja prosessiteollisuudessa käytetään lujitemuoveja niiden kemiallisen ja mekaanisen kestävyysjohdosta putkistoissa, säiliöissä, piipuissa ja savukaasupesureissa. Lujitemuovivalmisteissa säiliöissä, putkistoissa, pesureissa ja piipuissa yhdistyvät erinomainen korroosionkestävyys, lujuusominaisuudet, hyvä säänkesto, kevyt rakenne ja huoltovapaus. Lujitemuovisia laitteistoja onkin käytössä esim. energia-, kemian-, prosessi-, metalli-, petrokemian-, polymeeri-, kaivos-, metsä- ja elintarviketeollisuuden tuotantolaitoksilla.

Käytöstä poistetut teollisuuslaitteistot tuovat lujitemuovien prosessointiin kierrätyksessä haasteita. Näiden laitteistojen kierrätyksessä erityisvaatimuksia asettaa niiden yleisesti suuri koko sekä niiden mahdollisesti sisältämät prosessikemikaalien jäänteet, jotka voivat olla ympäristö- ja työturvallisuusriski. Lisäksi kemikaalioilla voi olla vaikutuksia valmistettavan kierrätyspoltoaineen palamisominaisuuksiin ja sementin laatuun. Huomioitavaa on, että teollisista prosesseista peräisin olevan lujitemuovijätteen käyttö polttoaineena on oltava huomioitu ympäristölupa-ehdojen puitteissa.

Erityiskuljetusten välttämiseksi näiden käytöstä poistettavien laitteiden leikkaus ja esimurskaus voi tapahtua jo purkupaikalla. Lujitemuoviset prosessilaitteistot sisältävät myös metallisia komponentteja, esim. valurautaluukuja, toimilaitteita, liitosmuhveja, antureiden yhteitä jne. Nämä metallikappaleet jäävät purkutyon jälkeen usein

laitteistoon ja ne on poistettava lujitemuovijätteen prosessoinnin yhteydessä.

Käytöstä poistettavien lujitemuovisten laitteistojen määrä vaihtelee laitoskohtaisestikin paljon riippuen siitä milloin ja mitä laitteistoja puretaan ja uusitaan. Kun esimerkiksi hydrometallurgisten laitosten elektrolyysialtaita uusitaan, syntyy lujitemuovijätettä huomattavia määriä.

Hankkeessa arvioitiin käytöstä poistettujen teollisuuden laitteistojen lujitemuovimäärä kahdella tapaa. Ympäristöministeriön raportin mukaan on kirjattu nimikkeellä ”Teollisuuden laitteistot” kirjattu jätemääräksi 7000 tonnia vuonna 2003. Tätä voidaan pitää yläarvona, koska laitteet eivät ole kokonaisuudessaan lujitemuovisia. [12]

Ensimmäisessä LUMI- hankkeessa selvitettiin, että teollisuuden laitteistoja valmistava lujitemuoviteollisuus tuottaa jätettä 360 tonnia vuodessa. Jos tuotantojätteen määrä on noin 10 % valmiiden tuotteiden määrästä, syntyy uusia tuotteita n. 3240 tonnia vuodessa. Suuri osa tästä määrästä korvaa käytöstä poistettavia laitteita.



Kuva 18. Käytöstä poistettu putkikaulus. Näiden mukana voi tulla myös metalliosia, esimerkiksi teräksisiä irtolappoja (Kuva Mamk)

### 4.3 LOKA- JA ÖLJYSÄILIÖT

Öljysäiliöitä poistuu käytöstä öljylämmityksen korvautuessa muilla lämmitystavoilla. Öljysäiliöiden poisto edellyttää puhdistustoimenpiteitä. Rakenteeltaan öljy- ja lokasäiliöt ovat teollisuuden säiliöiden kaltaisia. Öljysäiliön seinämä koostuu kolmesta kerroksesta. Säiliön sisäpinnalla on suojakerros, jossa käytetään käyttötarkoitukseen soveltuvaa kertamuovityyppiä ilman lisä- ja väriaineita. Suojakerroksen vähimmäispaksuus on 2 mm. Suojakerros sisältää myös sulkukerroksen, jonka tarkoitus on ollut estää kemikalioiden pääsy tukikerrokseen. Sulkukerroksen lujittamiseksi käytetään katkokuituista lujitetta, jonka enimmäisosuus on lasilujitetta käytettäessä 20...30 % sulkukerroksen kokonaismassasta. Varsinainen tukikerros on polyesterikertamuovista valmistettua lasilujitteista laminaattia. Muovin määrän tulee olla vähintään 25 % tukikerroksen massasta. Säiliön ulkopintana on 0,2-0,5 mm paksu kertamuovikerros.

Suomessa on käytössä n. 300 000 öljysäiliötä, joista 41 % on lujitemuovivalmisteisia. Muut lämmitysmuodot korvaavat öljylämmitystä. Jos öljylämmitystä vähennetään nykyvauhdilla, päättyy se kokonaan vuoteen 2028 mennessä.[13]

Keskimääräisen omakotitalon öljysäiliön koko on 3000 l. Tällainen säiliö sisältää kauluksineen lujitemuovia 135 kg. Näillä tiedoilla on arvioitu lujitemuovin määrä käytöstä poistuvissa öljy- ja lokasäiliöissä n. 2200 t/v.



Kuva 19. Käytöstä poistettu lujitemuovinen lokasäiliö loppusijoitettavana kaatopaikan penkkaan (Kuva Dick Blom)



## 4.4 URHEILUVÄLINEET

Lujitemuoveja käytetään urheiluvälineissä lujitemuovien keveyden ja lujuuden johdosta. Lujitemuovi on suksien ja suksisauvojen sekä sauvakävelysauvojen materiaali. Lujitteena voi olla lasikuitu ja/tai hiilikuitu. Suksia kevennetään ydinrakenteiden avulla, mikä pienentää niiden lujitemuovin määrää. Harrastelijan suksi ja kilpasuksi eroavat sekä lujitteen osalta että ydinrakenteiden osalta. Harrastelijasuksissa käytetään lasikuitulujitteita kun taas kilpasuksissa on haettu jäykkyyttä hiilikuidulla. Harrastelijasuksen ydin on usein puuta, esim. haapaa kun taas kilpasuksissa on kennorakenteita.

Sukset sisältävät myös metalleja siteissä sekä muovia pohjalapuissa.

Suomessa myydään vuosittain 180 000 – 200 000 suksi- ja sauvaparia. Jos tämä määrä korvaa käytöstä poistuvia suksia, syntyy maassamme vuosittain noin 400 tn jätettä lujitemuovia sisältävistä suksista. [14]

Muiden urheiluvälineiden määrä ei ole sementtiuunikäytön osalta merkittävä. Esimerkiksi, jos jokainen salibandin harrastaja hankkii uuden mailan joka toinen vuosi, kertyy tästä lujitemuovijätettä noin 18 tonnia vuodessa.

## 4.5 VENEET

Lujitemuovivalmisteinen vene on elinkaareltaan erittäin pitkäikäinen ja hyvin pidettynä kestää vuosikymmeniä. Käytöstä poistetuille veneille ei ole Suomessa kierrätysjärjestelmiä, ja valtaosa veneistä jääkin rannoille niiden elinkaaren päässä. Käytöstä poistuvat veneet ovat pääosin soutuveneitä ja pienveneitä.

Lasikuituvahvisteisen lujitemuovin lisäksi veneet sisältävät metalliosia: terästä, messinkejä, pronssseja, ruostumatonta terästä. Purjeveneissä on lyijystä valmistettu köli. Koska köli on yleensä suurikokoinen ja lyijy on myrkyllinen metalli, on köli syytä purkaa pois ennen veneen murskausta. Myös veneessä oleva moottori on syytä poistaa, jos kysymyksessä on pienempitehoinen murskain, kuva 20.



KUVA 20. Käytöstä poistuva lujitemuovirunkoinen vene (Kuva Dick Blom)



Kuva 21. Käytöstä poistettu vene odottamassa murskausta (Kuva Mamk)

Veneitä valmistetaan myös ABS-muovista. Esimerkiksi kotimaisissa Terhi-veneissä on ns. Sandwich-rakenne, jossa tyhjiömuovattujen ulkokuorien väli on täytetty vettä hylkivällä polyuretaanivaahdolla, jonka tehtävänä on ollut toimia rakenteen vahvistajana ja kellukkeena.

Suomessa lasketaan olevan yli 800 000 venettä, joista valtaosa on soutuveneitä. Vesikulkuneuvorekisterissä on n. 200 000 venettä, joista 20 000 arvioidaan olevan jo käytöstä poistettuja. Kuvassa 21 on käytöstä poistettu lujitemuovinen vene. Lujitemuovisia veneitä poistuu käytöstä vuosittain arviolta 1600 kpl. Jos lujitemuovisten veneiden keskipaino on n. 105 kg, voidaan arvioida, että lujitemuoviveneistä koituu jätettä 160 tonnia vuodessa. [25] [26]

#### 4.5.1 Veneiden muotit

Lasikuituveneet valmistetaan laminoimalla muottiin, kuva 22. Veneiden muotit ovat lujitemuovivalmisteisia, jäykistettyjä ja paksuseinäisiä. Niissä on mukana yleensä telirakenteet kuljetuksen helpottamiseksi. Telit sisältävät teräsprofileja tai -putkia sekä kumipyörät. Yhdellä naarasmuotilla on mahdollista laminoida muutama sata venettä. Veneiden muottien hävittäminen on luottamuksellista toimintaa, koska venemallit ovat tuotesuojattuja. Muotin hävityksestä huolehtivan tahon on pystyttävä takaamaan, että muotit tuhoetaan käyttökeltottomiksi eikä niitä käytetä ennen hävittämistä.

Käytöstä poistuvista venemuoteista muodostuva lujitemuovijätteen määrä on koko lujitemuovijätevirtaan suhteutettuna marginaalinen.





Kuva 22. Käytöstä poistettuja veneiden muotteja (Kuva Dick Blom)

## 4.6 LIPPUTANGOT

Lipputangot ovat pääasiassa lujitemuovivalmisteisia. Lipputankojen tekninen käyttöikä on Rakennustiedon RT-kortin mukaan noin 40 vuotta. Suomessa on lipputankoja 1 500 000 kpl. Jos oletetaan, että joka toisessa kiinteistössä on lipputanko, joka poistuu käytöstä 40 vuoden ikäisenä, syntyy lipputangoista jätettä n. 470 tonnia vuodessa. Lipputankojen käyttö on kuitenkin vähenevässä. Uusilla, pienemmillä tonteilla lipputangot eivät ole yhtä suosittuja kuin aikaisemmin. Esimerkiksi Plastiset Oy, joka valmistaa lasikuitulujitteisia lipputankoja ilmoittaa, että lipputankojen myynti on vähentynyt muutamassa vuodessa 27 000 kappaleesta noin 6000 kappaleeseen. [16]

Pitkinä profileina lipputangot on leikattava ennen murskausta.

## 4.7 LIIKENNEVÄLINEET

Liikennevälineissä lujitemuovia käytetään kuorma-autojen kuormakoreissa ja tuulivisiireissä, linja-autojen ja junien seinä- ja istuinrakenteissa. Hevostailereissa ja henkilöautojen peräkärrien katoksissa lujitemuovi on yleinen rakennemateriaali.

Hankkeessa arvioitu lujitemuovin määrä käytöstä poistuvissa liikennevälineissä:  
n. 1300 t/v taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Lujitemuovia sisältävät tuoteryhmät

Ajoneuvo	Arvioitu määrä, tonnia	Muuta
Kuorma- autot (kuormakontit, tuuliviisirit)	390	
Henkilöautot	945	
Linja- autot (istuimet, seinäpaneelit, luukut, etu- ja takamoduulit)	800	Päästörajoitukset poistavat käytöstä 20- 30% ajoneuvoista.
Hevostrailerit, peräkärryt	7	

## 4.8 TUULIENERGIAVOIMALAT

Tuulivoimaloissa lujitemuovia käytetään roottorin siivissä sekä nasellissa. Suomalaiset tuulivoimalat ovat melko uusia. Tuulivoimaloiden teknillinen käyttöikä on n. 20 vuotta. Ensimmäiset voimalat ovat tulossa elinkaarensa päähän. Jos oletetaan, että ensimmäisiä, pieniä alle 500 kW voimaloita uusitaan vuosittain 1-2 kpl, syntyy lujitemuovijätettä arviolta 132 tonnia.

## 4.9 PIIRIKORTIT

Piirikortteja käytetään elektronisissa laitteissa sekä muissa sähkökäyttöisissä laitteissa. Suomessa poistuu käytöstä sähkölaitteita ns. SER- romuna noin 54 000 tonnia vuodessa. Vuotuinen kerätty määrä on 49 000 tonnia, josta 1% menee uudelleen käyttöön. Jos laitteiden keskipaino on 50 kg ja laitteen sisältämien piirikorttien lujitemuovin määrä 100 g, On talteen otettujen piirikorttien lujitemuovisisältö 98 tonnia vuodessa. [18]

## 4.10 TYÖKALUT

Työkaluissa käytetään lujitemuovia kevyen, jäykän ja lujan rakenteen aikaansaamiseksi. Käyttökohteita ovat kirveet, lekat, puutarhatyökalut jne.

Jos Suomessa on käytössä n. 500 000 kpl lujitemuovia sisältäviä käsityökaluja, kertyy niistä noin 250 tonnin lujitemuovisisältö. Työkalujen käyttöikä on pitkä, n. 30 vuotta. Lujitemuovijätettä syntyy n. 8 tonnia vuodessa. Tämän jätteen voi olettaa menevän kotitalouden sekajätteeseen tai jäteasemalle toimitettavan joukkoon.

## 4.11 PUOLUSTUSTARVIKKEET

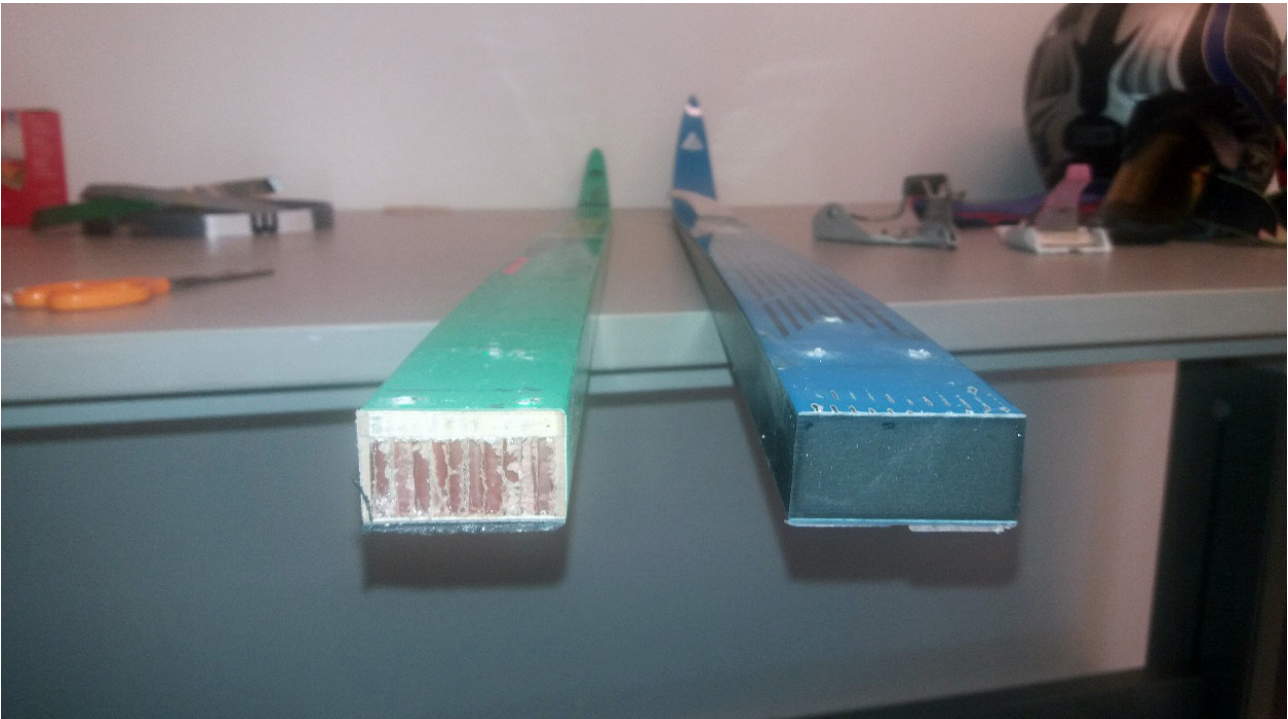
Puolustusvoimat käyttää lujitemuovia suojakilvissä, kypärissä, kevytsingoissa jne. Käytöstä poistettavista laitteista ei ole julkaistu tietoja. Tiedetään kuitenkin, että massavanhenemisen johdosta useita tuhansia kevytsinkoja, viestintälaitteita, taistelijan varusteita jne. tulee poistumaan käytöstä lähivuosina. [17]

## 5 JÄTTEEN ANALYYSINTI

Sementtiuunin kierrätyspolttoaineessa käytettävältä lujitemuovilta edellytetään riittävän korkeata lämpöarvoa, matalaa tuhkapitoisuutta sekä materialin puhtautta. Käytöstä poistetuista tuotteista otettiin näytteitä urheiluvälineistä, veneistä sekä lokasäiliöstä. Näytteistä selvitettiin niiden lasipitoisuus, joka kuvaa materiaalin lämpösisältöä. Suoriteuissa polttokokeissa selvitettiin käytettyjen lujitteiden lisäksi myös lujitemateriaalin rakennetta.

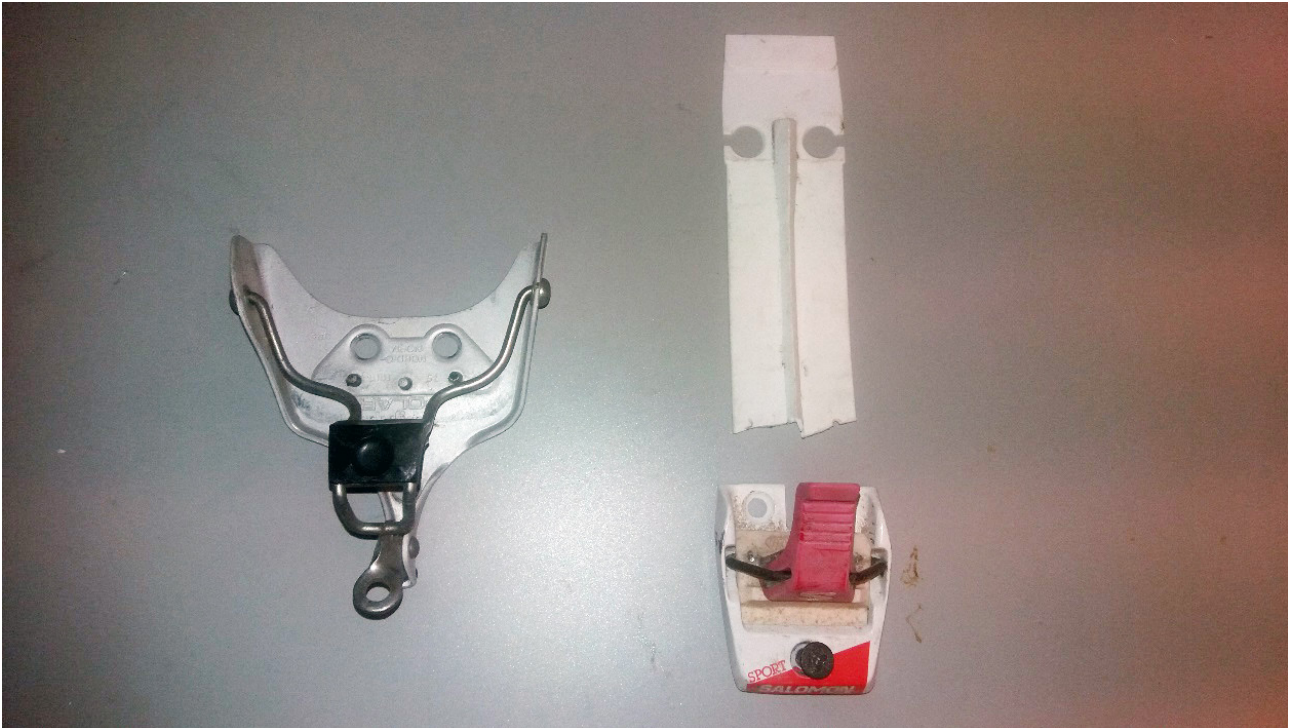
### 5.1 SUKSET JA SAUVAT

Sukset ovat yleisimpiä lujitemuovia sisältäviä urheiluvälineitä. Sukkien rakenne vaihtelee valmistajan ja suksimallin mukaan. Lujitemuovin määrä suksissa on melko pieni. Lujitemuovia käytetään suksien pintakerroksissa. Oheisessa kuvassa on kaksi erityyppistä suksirakennetta. Toisen suksityypin ytimen muodostaa kennorakenne, jolla haetaan keveyttä ja jäykkyyttä. Toisessa taas ydin on polyuretaanimuovia. Pinnan lasikuitulujitteisen lujitemuovikerroksen paksuus on muutamia millimetrejä. Käytöstä poistetuissa suksissa on yleensä mukana myös siteet ja kantalaput. Siteet voivat olla alumiinia tai muovia sisältäen metalliosia. Molemmista suksista määritettiin niiden lasipitoisuus, kuvat 23 - 25.



Kuva 23. Sukkien rakenteet. Vasemmanpuoleisen suksen ytimen muodostaa kennorakenne ja puukerros. Lujitemuovia on pinnassa noin 1 mm:n kerros. Oikeanpuoleisessa suksessa ytimen muodostaa polyuretaanivahto, jonka ylä- ja alapuolella ohut lasikuitulujite. Sukkien pohjamateriaaleissa PE- muoveja (P- TEX) ja grafiittiseostuksia. ( Kuva Dick Blom)





Kuva 24. Tutkimuksessa käytettyjen suksien siteitä. Molemmat valmistettu metalleista. Vasemmalla alumiinilevyä ja lankaa, oikealla kevytmetallivalua, jossa teräsjousi. Kantalappu muovia (Kuva Dick Blom)

Suksisauvat ja kävelysauvat koostuvat sauvaputkesta, sommasta ja kahvasta. Sauvaputkia valmistetaan hiilikuidusta, lasikuidusta tai niiden yhdistelmästä tai joskus myös alumiinista. Sommat ovat polyeteenimuovivalua, joihin piikkiosa on integroitu.

Suksisauvan kahva on muovia. Kahvoissa on usein korkkipinta. Kahvaan kuuluu myös rannehihnalenkki tai ns. hansikas-hihna.

Kahva ja sompa on kiinnitetty sauvaputkeen kuumaliimalla, ja ne ovat vaihdettavia osia. Sauvojen valmistuksessa ja suunnittelussa pyritään alhaiseen painoon, riittävään jäykkyyteen ja kestävyys, vähäiseen ilmanvastukseen ja hyvään ergonomiaan.

Oheisessa kuvassa on tutkimuksessa käytettyjen sauvojen poikkileikkauksia. Tutkimuksessa analysoitiin polttokokeella suksisauvan ja kävelysauvan rakenne sekä paino polttokokeen jälkeen.



Kuva 25. Kävelysauvan ja suksisauvan poikkileikkaukset (Kuva Dick Blom)

## 5.2 MOOTTORIPYÖRÄILIJÄN KYPÄRÄT

Moottoripyöräilijän kypärä on tuote, jossa on muovisen ulkokuoren lisäksi myös muita materiaaleja, kuvat 26 ja 27. Kypärän ulkokuori valmistetaan yleensä muovista tai lujitemuovista. Ulkokuori jakaa iskuenergian suurelle alueelle ja sen tulee kestää suuria puristusvoimia. Sisäkuori valmistetaan yleensä polystyreenistä. Sisäkuoren on oltava riittävän pehmeä ja se on suunniteltu huomioiden ihmisen kallon luuston rakenne. Leukahinnan ja sen lukituksen tehtävänä on pitää kypärä päässä. Pehmusteet antavat kypärälle lopullisen istuvuuden ja mukavuuden. Lähes kaikki kypärien visiirit valmistetaan polykarbonaatista. Elastisesta ja kestävästä materiaalista valmistettu visii-ri suojaa hyvin esim. lentäviltä kiviltä. [19]

Tutkimuksessa selvitettiin kahden kypärän rakenne sekä ulkokuoren lujitepitoisuus.





Kuva 26. Tutkimuksessa selvitettiin kahden moottoripyöräilijän kypärän rakenne ja lujitemuovipitoisuus (Kuva Dick Blom)



Kuva 27. Kypärän ulkokuori on paksuudeltaan noin 4 mm. Tässä kypärässä merkintä "Carbon/Aramid Composite". Sisäkuori polystyreeniä (Kuva Dick Blom)

### 5.3 VENE

Venemateriaalien lasipitoisuuksien selvittämiseksi otettiin näyte jätehuoltoyhdistön murskauslinjalta murskatusta veneestä, kuva 28. Polttokokeella määritettiin lujitepitoisuus. Tulos on esitetty taulukossa. Tulos vastaa veneteollisuuden lujitemuovijätteiden sekä veneiden yleistä lasipitoisuustasoa.



Kuva 28. Näytekappale murskatusta veneestä (Kuva Dick Blom)

### 5.4 LOKASÄILIÖ

Kaatopaikalle loppusijoitetusta säiliöstä otettiin näyte murtamalla säiliöstä pala. Näyte oli likainen. Sen seinämän paksuus oli n. 5 mm. Paksuuden määrittämiseksi tuli epätarkkuutta materiaalin säröilyn johdosta.



Kuva 29. Lokasäiliöstä otettu näyte (Kuva Dick Blom)



## 5.5 POLTTOKOKEET

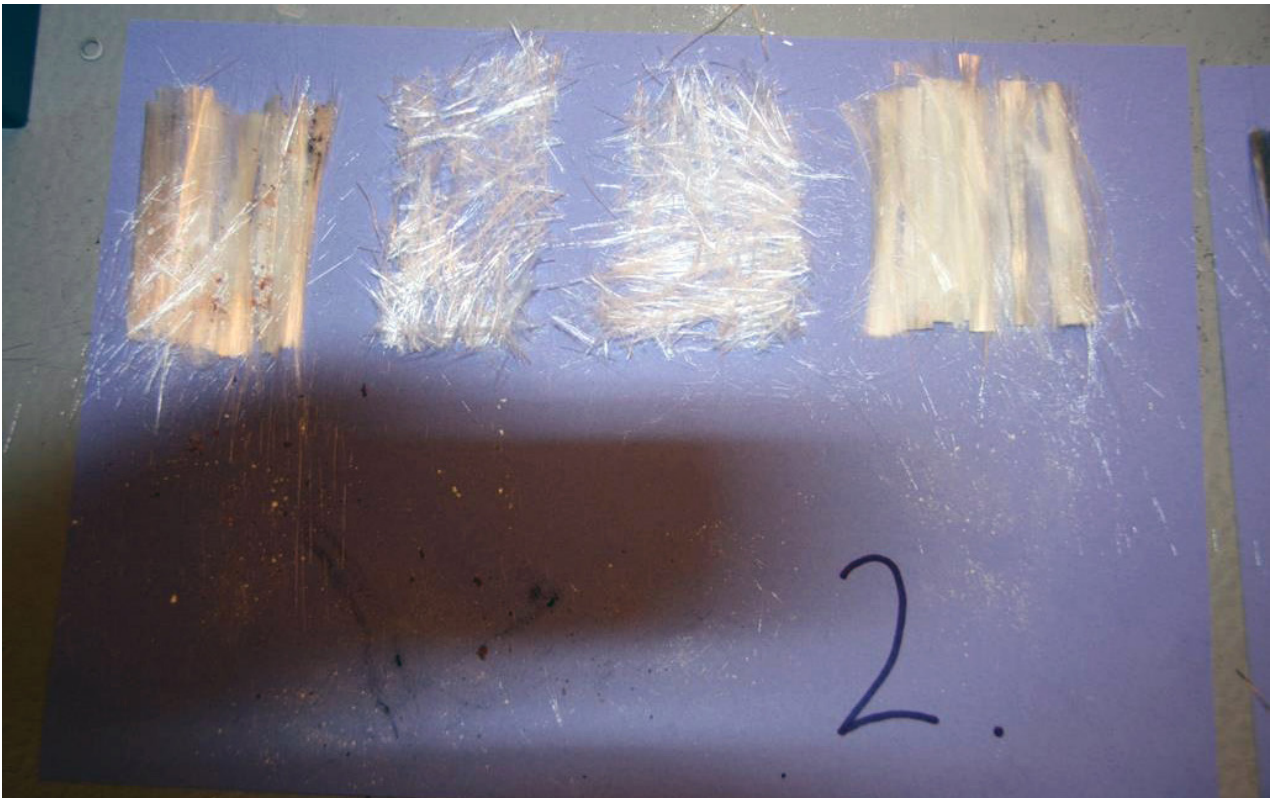
Tutkittujen lujitemuovituotteiden lujitepitoisuudet määritettiin standardin ISO 1172, *Textile-glass-reinforced plastics. Prepregs, mouldings compounds and laminates. Determination of the textile-glass and mineral-filler content. Calcination methods*, mukaisin polttokokein. Kokeessa näytteet kuumennettiin lämpötilaan 625 °C vähintään 60 minuutin ajaksi ja sen jälkeen niitä jäähdytettiin eksikaattorissa 2 tunnin ajan. Kuvassa 30. on esitetty tutkimuksessa käytetyistä lujitemuovituotteista preparoidut näytekappaleet.



Kuva 30. Analysoiduista lujitemuovituotteista otetut näytteet ennen polttokoetta



Kuva 31. Suksinäyte no 1 polttokokeen jälkeen. Jäljellä lujitteita, aramidikennoa ja suksen pohjan muovikerrosta.



Kuva 32. Suksinäyte no 2 polttokokeen jälkeen. Jäljellä lasilujitteita. Suksen sisustan PUR- kerros on täysin hävinnyt.



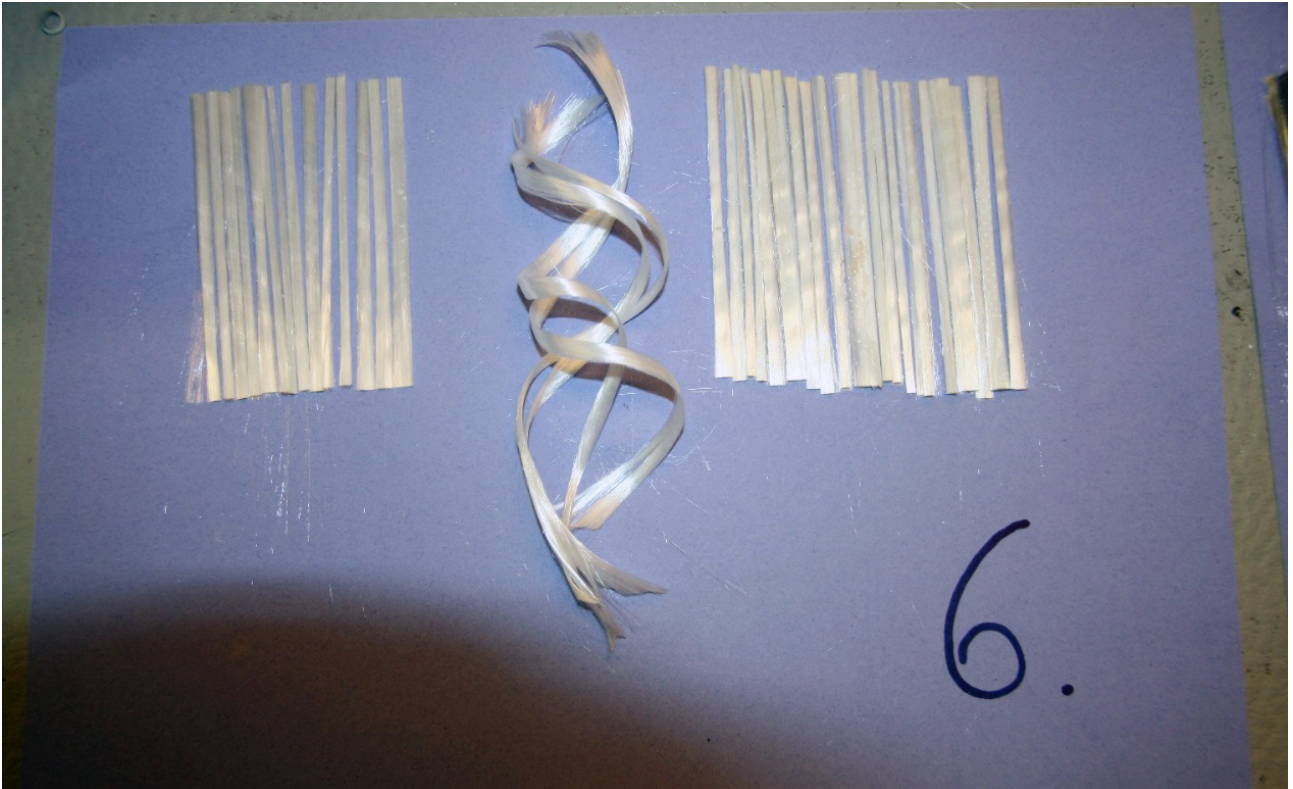


Kuva 33. Murskatusta veneestä otettu näyte polton jälkeen. Lasilujitteita.

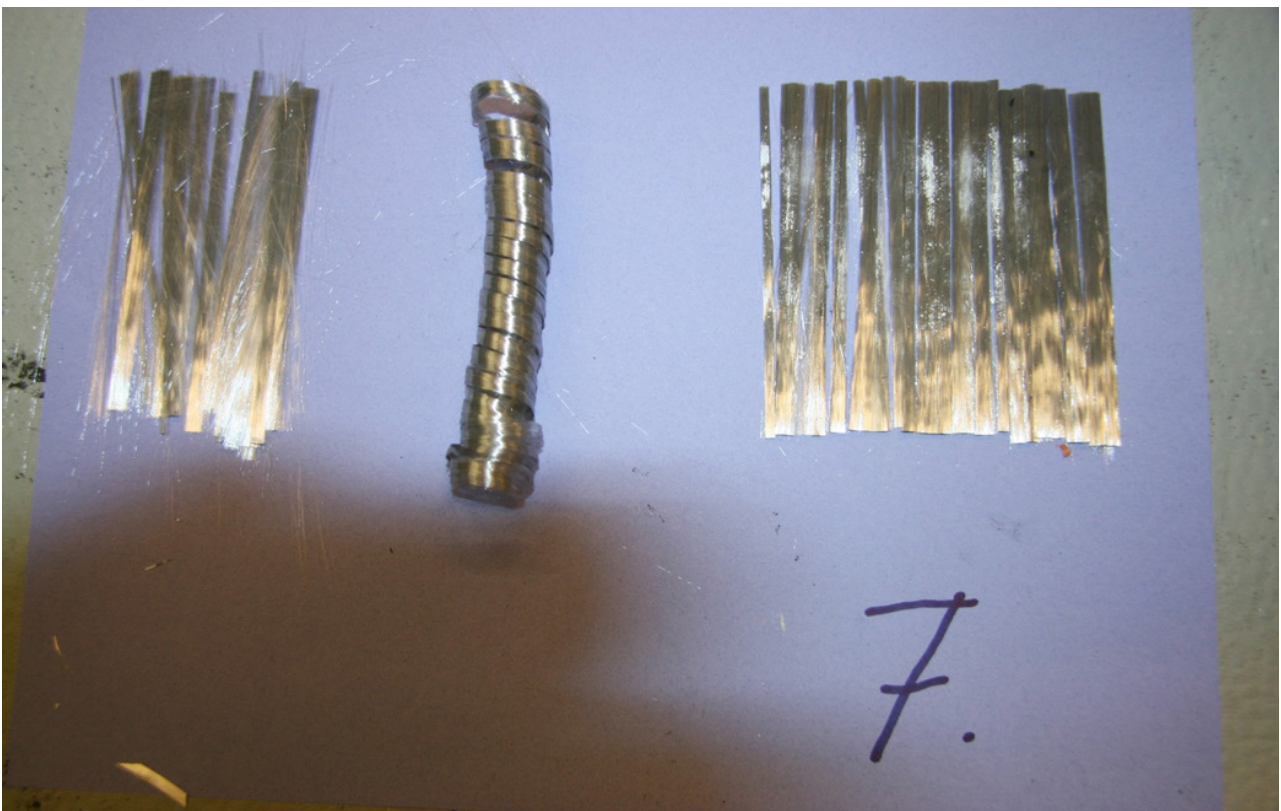


Kuva 34. Moottoripyöräilijän kypärästä otettu näyte no 4. Polttokokeen jälkeen jäljellä oli lasilujitteita sekä hyvin pienimäärä hiilikuitulujitetta. Kypärässä valmistajan merkinnän mukaan pitäisi aramidi -hiilikuitulujitteita. Toisen kypärän kuori, näyte no 5, oli lujittamatonta kestumuovia.





Kuva 35. Suksisauvanäyte polttokokeen jälkeen. Sauvassa on käytetty lasilujitteita..



Kuva 36. Sauvakävölysauvan näyte polttokokeen jälkeen. Lasi- ja hiilikuitulujitteita. Hiilikuitu ei ole sementtiunin polttoai-  
neeseen toivottava materiaali.

Taulukossa 7. on esitetty tutkituista lujitemuovituotteista tehtyjen näytteiden paino ennen polttokoetta ja polttokokeen jälkeen.

Taulukko 7. Yhteenveto standardin ISO 1172 mukaisessa polttokokeessa tutkittujen lujitemuovituotteiden tuloksista

Näyte	Paino ennen polttoa (g)	Paino polton jälkeen (g)	%	Rakenne
1. Suksi	39,04	7,30	19	GF + aramidikenno
2. Suksi	37,09	4,82	13	Kuvan mukaisesti
3. Vene	67,20	27,60	41	Hartsia + GF
4. Kypärä	30,33	16,71	55	Hartsia + GF + CF + aramidi
5. Kypärä	19,15	0,00	0	Kestomuovi
6. Suksi-sauva	10,41	8,13	78	Hartsia + GF
7. Kävely-sauva	10,46	7,84	75	Hartsia + GF + CF

Tutkittujen näytteiden perusteella voidaan todeta, että lujitemuovituotteiden lujitteet ja lujitteiden määrät vaihtelevat merkittävästi ja voivat vaihdella jopa saman tuoteryhmän sisällä.

# 6 KIERRÄTYSOIMINNAN MAHDOLLISUUDET

Lujitemuovijätteen kierrätystoiminnan edellytyksiä ovat:

- Riittävä materiaalivirta
- Lujitemuovijätteen erottelu muusta jätteestä
- Keskitetty keräysjärjestelmä
- Toimintaan soveltuva murskaus- ja lajittelulaitteisto
- Kierrätyspolttoaineen valmistaja
- Kustannustehokas logistiikkaketju
- Kilpailukykyinen porttihinna REF- laitoksella ja sementtitehtaalla
- Sementinvalmistajan valmius ja tarve käyttää lujitemuovipitoista kierrätyspolttoainetta

## 6.1 MATERIAALIVIRTA

Käytöstä poistuvista tuotteista syntyy vuosittain lujitemuovijätettä Suomessa noin 8000 tonnia. Tästä määrästä runsaat 3000 tonnia on teollisuuden laitteistoja. Kotitaloudet tuottavat noin 3500 tonnia ja käytöstä poistuvista liikennevälineistä muodostuu noin 1500 tonnia. Lisäksi lujitemuoviteollisuus tuottaa vuosittain tuotantojätettä noin 2000 tonnia. Käytettävissä oleva kokonaismäärä, n. 10000 tonnia vuodessa, on varsin pieni ja vastaa noin kuukauden vuotuista työmäärää selvityksessä käytettyjen kierrätyspolttoaineen valmistajien laitoksilla.

Lujitemuovijäte tulee jätehuoltolaitoksille asiakkaiden yksittäiskuormien mukana tai yhdyskuntajätteen mukana. Lajitteluasemalla se menee lajiteltavaan sekajätteeseen ja poltettavaan yhdyskuntajätteeseen.

## 6.2 MONIMATERIAALISEN LUJITEMUOVIJÄTTEEN KÄSITTELY

Luvun 3 mukaisesti sisältävät käytöstä poistetut lujitemuovituotteet lujitemuovin lisäksi myös muita materiaaleja. Sementtiuunissa kierrätyspolttoaineen raaka-aineena käytettävän lujitemuovipohjaisen jätteen lajitteluohje määrittelee kierrätyspolttoaineen valmistukseen käytettävän raaka-aineen koostumuksen sallitut ja kielletyt ainesosat. Samaa ohjetta voi käyttää käytöstä poistettujen ohjeena lujitemuovituotteiden käsittelyyn, kun niistä tulee valmistaa sementtiuunille soveltuvaa polttoainetta. Käytöstä poistetut lujitemuovituotteet tulee käsitellä siten, että niistä poistetaan kuvassa 28 punaisella merkityt materiaalit. Lisäksi tulee huomioida tuotteissa esiintyvä käytössä muodostunut lika sekä niihin jääneet vaaralliset aineet.

## **LUJITEMUOVIN LAJITTELUOHJE**

### **Keräykseen kelpaava jäte**

- laminoidut jätepalat (sis. puuta)

### **Jätteet, joiden toimittamisesta sovittava erikseen**

- lasikuitumatto
- kovetettu hartsi

### **Keräykseen kelpaamaton jäte**

- PVC
- ydinmateriaalit (Divinycell, FIRET, ym.)
- metallit ja metalleja sisältävät materiaalit
- epäorgaaniset aineet, kivet, tiilet ym.
  - erillinen puu, paperi, pahvi
- maali-, lakka- liima- ym. ongelmajätteet
  - letkut
  - työkengät
  - työkasineet
  - työvälineet
- kaatopaikkajätteeksi luokiteltava jäte

Kuva 37. Lujitemuovijätteen lajitteluohje sementtiuunin kierrätyspolttoaineen valmistusta varten [22]

### 6.2.1 PVC- muovit

PVC-muovia sisältävän jätteen polttaminen on ongelmallista sen sisältämän kloorin vuoksi. PVC- muovista ei yleisimmistä muoveista poiketen voida hyödyntää energiaksi polttamalla syntyvien haitallisten yhdisteiden takia. PVC:n palokaasut sisältävät täydellisessä palamisessa vetykloridia. Epätäydellisessä palamisessa syntyy lisäksi muun muassa myrkköjä kuten fosgeenia sekä niin kutsuttuja dioksiineja kuten PCDD-, PCDF- ja koplanaarisia PCB-yhdisteitä.[23]



PVC-muovin pehmittämiseen käytettyjä ftalaateista pidetään haitallisina ihmisen lisääntymiselle. Jos kirkas muovi muuttuu taivutettaessa valkoiseksi, se melko varmasti on PVC:tä. PVC-muovissa voi olla merkintä 03 nuolikolmi-on sisällä, mutta aina sitä ei ole. PVC:tä saattaa olla esimerkiksi muovikansioissa ja muovitaskuissa, sadevaatteissa, vahaliinoissa ja -peitteissä, suojakäsineissä sekä tekonahassa. Rakennustarvikkeista PVC:tä on esimerkiksi vanhoissa putkissa, listoissa, lattiamatoissa ja märkätilojen tapeteissa.

Tyypillisiä tuotteita, joissa voi olla PVC- muovia, ovat:

- mapit, muovitaskut, piirtoheitinkalvot
- kontaktimuovi, ruskea pakkausteippi, jotkut tarrat
- äänilevyt, cd/dvd-levyjen kotelot
- muovikortit, esim. luottokortit
- syvävedetyt myyntipakkaukset, kuten tablettien läpilyöntilevyt, lelu- ja autotarvikepakkaukset
- puhallettavat lelut
- sadetakit, kerniliinat
- keinonahka
- johdot, putket, letkut
- kumihansikkaat ja muut suojavaatteet
- muovipeitteet
- muoviset ritilät
- rakentamisessa käytetyt muovit, kuten tapetit, lattiapäällysteet, listat ja kattokourut

Nämä tuotteet on suositeltavaa saada erilleen poltettavista jakeista jo syntypaikka lajittelussa. Lajittelukeskuksessa ne lajitellaan joko kaatopaikalle sijoitettavaan loppujakeeseen tai hyötyvoimalaan, jos sellainen on käytössä. Sementinpoltoon menevään lujitemuovijakeeseen PVC- muovia ei hyväksytä. Lujitemuovituotteissa PVC- muovia voi esiintyä letkuissa, sähköjohdoissa, pintamateriaaleina jne. Nämä on hyvä saada poistettua ennen materiaalin murskausta. Murskauksen yhteydessä osa voidaan erotella seuloille ja tuulierotukseen.

## 6.2.2 Ydinmateriaalit

Ydinmateriaaleja käytetään kerroslevyrakenteissa keveyden ja jäykkyyden lisäämiseksi. Tyypillisiä käyttökohteita ovat veneet ja sukset. Ydinmateriaalit voivat olla akrylinitriili-, PET- tai PVC- pohjaisia. PVC- muovien johdosta niiden käyttö sementtiuunin kierrätyspoltoaineessa on kiellettyä. Jos ydinmateriaaleja sisältäviä tuotteita päästetään polttoaineen valmistusprosessiin, on niitä pyrittävä poistamaan murskeen tuulierotuksen yhteydessä.

## 6.2.3 Metallit

Metalliosia on lähes kaikissa lujitemuovituotteissa. Metallit ovat kierrätettäviä materiaaleja ja ne kannattaa ottaa talteen ja toimittaa kiertoon. Teräs erottuu magneeteilla ja värimetallit pyörrevirtamagneeteilla. Murskainten kestävyys ja murskausvoiman rajallisuus saattaa edellyttää, että suuremmat ja paksummat metallikappaleet on usein syytä purkaa irti murskattavasta materiaalista jo ennen murskausta, esim. säiliöiden kannet ja laipat, paksut putket jne.

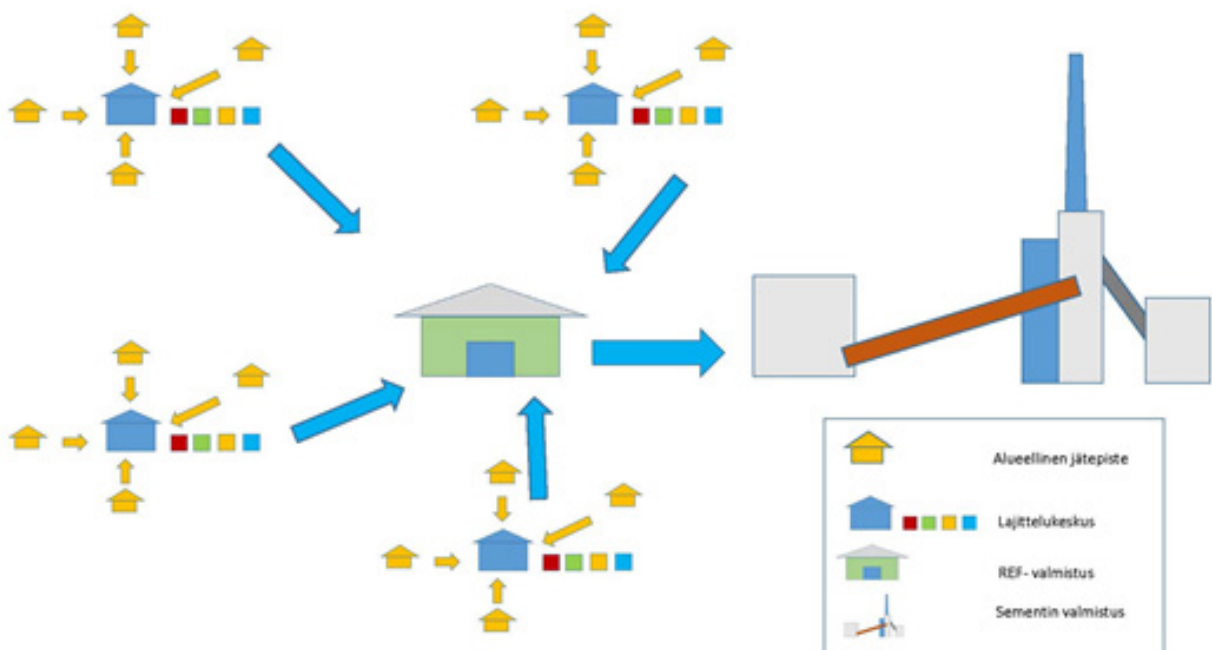
## 6.2.4 Muu kuin lujitemuovia sisältävä materiaali

Irtokappaleet kuten kivet tiilet, työkalut, työvaatteet jne. tulisi poistaa käsiteltävästä materiaaliavirrasta jo syntypaikkalajittelun tai viimeistään lajittelukeskuksen lajittelun yhteydessä.

## 6.3 LUJITEMUOVIJÄTTEEN KÄSITTELYN TOIMINNAN MALLIT

### 6.3.1 Jalostus sementtiteollisuuden raaka- ja polttoaineeksi

Lujitemuovijätettä tulee jätteenkäsittelyyn yhdyskuntajätteenä ja teollisuuden purkujätteenä. Jäte on kooltaan niin suurta, ettei se pääasiallisesti mahdu kotitalouksien jätepusseihin. Jättemäärät suhteessa muihin jätejakoosiin ovat niin pieniä, ettei erillistä syntypaikkalajittelua käytöstä poistetuille tuotteille ole järkevää järjestää. Kotitalouksien käytöstä poistetut lujitemuovituotteet toimitetaan tavallisesti erilliskuormina paikallisiin jätekeskuksiin, joista päätyvät lajittelukeskuksiin. Näin jätteen lajittelu sementtiteollisuuden kierrätyspolttoainetta valmistavaa laitosta varten voisi tapahtua jätehuoltoyritysten lajittelukeskuksissa. Järjestely vaatisi lisäkontin varaamisen lujitemuovijätettä varten. Lujitemuovijätteen lajittelu ja varastointi olisi syytä toteuttaa katetussa tilassa lujitemuovin kosteuden hallitsemiseksi. Lajittelukeskuksista lajittelussa syntynyt lujitemuovijäte toimitetaan kierrätyspolttoaineen valmistukseen, kun kuljetuksen kannalta määrä jätettä on kertynyt. Kuormia voidaan kasvattaa jätteen esimurskauksella. Materiaalivirtojen tasaamiseksi voidaan käyttää keräysasemia, joihin eri jäteyhtiöt toimittaisivat lajittelussaan syntynyttä lujitemuovijätettä. Keräysasemien arvon tuottoa voi parantaa yhdistämällä toimintaan purkutoimintaa, jossa jätekappaleista erotellaan kierrätettäviä materiaaleja sekä poistetaan sementinvalmistuksen kannalta haitallisia materiaaleja ja epäpuhtauksia.



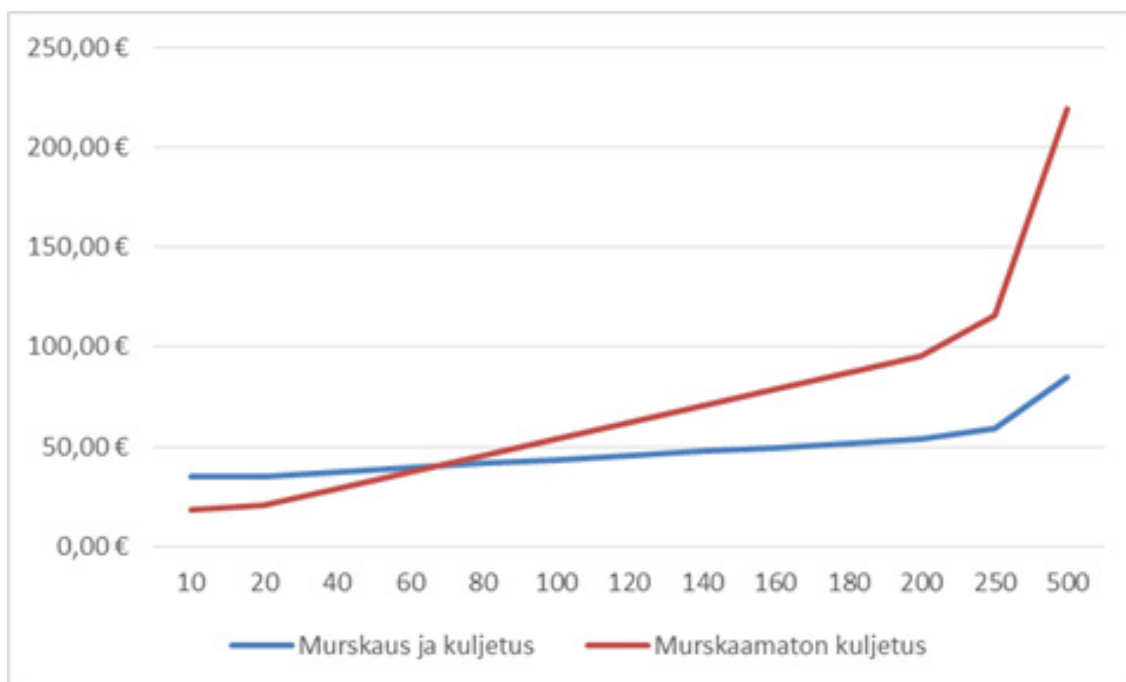
Kuva 38. Lujitemuovijätteen keräys ja käsittelyt sementtitehtaan raaka-aineeksi

Hankkeessa selvitettiin lujitemuovijätteen käsittelyketjun toteutusta ja kustannuksia valtakunnallisesti. Lujitemuovipohjaisen polttoaineen käyttöön soveltuva sementtiuuni sijaitsee Lappeenrannassa. Toinen sementtiuuni sijaitsisi Paraisilla, mutta murskattu lujitemuovi ei palakokonsa johdosta sovellu sinne. Kuljetuskustannukset muodostavat merkittävän osan käsittelyketjun kustannuksista.

Käytöstä poistetut lujitemuovituotteet ovat melko kevyitä ja vievät kuljetuksissa merkittävästi tilaa. Esimurskaa-

mattoman jätteen kuljetuskustannukset rajoittavat pitkiä siirtomatkoja. Kierrätyspolttoainetta valmistavan laitoksen tulisi sijaita riittävän lähellä mahdollisimman montaa lajittelukeskusta, jotta menetelmä olisi kuljetuskustannusten näkökulmasta kilpailukykyinen vaihtoehtoisiin menetelmiin verrattuna.

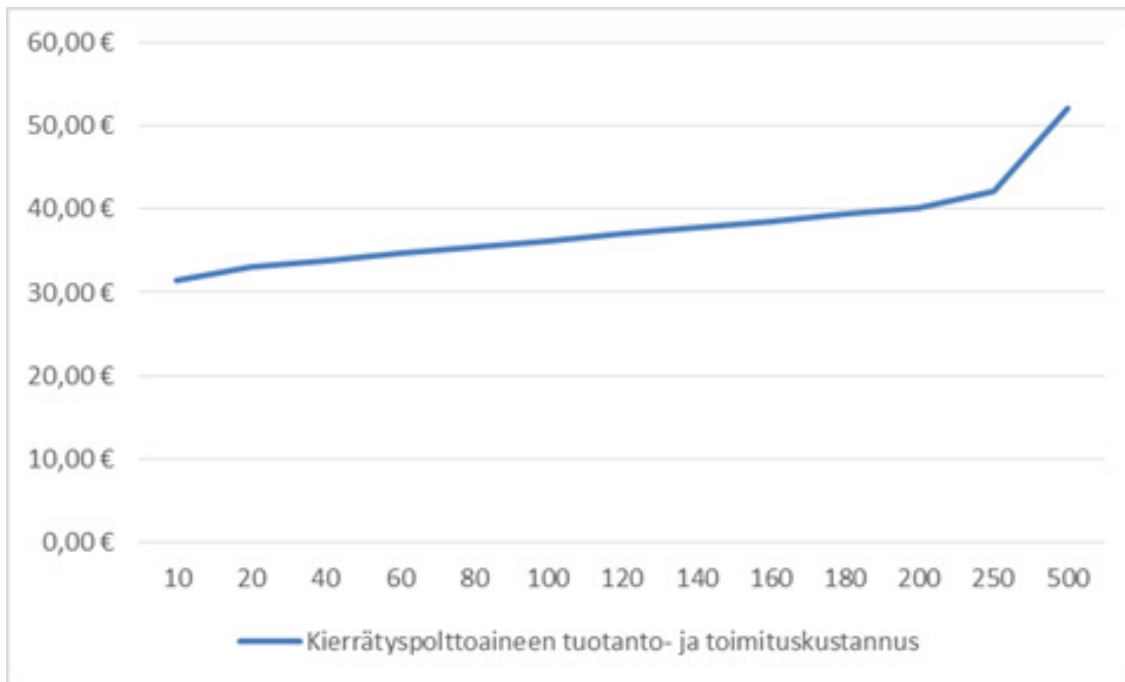
Kuljetuskustannusten arvioinnissa käytettiin edellisessä Lumi- hankkeessa tehtyjä oletuksia. Kuljetuskustannukset määriteltiin laskemalla kuljetusaika kuljetusmatkan perusteella. Keskimääräinen ajonopeus riippuu matkan pituudesta. Keskimääräiseksi ajonopeudeksi oletettiin lyhyillä, alle 10 km matkoilla 50 km/h ja yli 10 km matkoilla 70 km/h. Kuorman lastaus ja purku arvioitiin kestävän yhden lavan ajoneuvoilla 0,2 h. Lisäksi huomioitiin tankkaus- ja taukoajat käyttämällä kerrointa 1,15. Kuljetuksen tuntihinnaksi arvioitiin yhden lavan kohdalla 70 €/h ja kolmen ja kahden lavan kohdalla 100 €/h. Jätteen tiheydeksi esimurskattuna arvioitiin 110 kg/m<sup>3</sup> ja jätelavan kooksi 30 m<sup>3</sup>. Kuvassa 39 on esitetty kuljetuskustannukset murskaamattoman ja murskatun lujitemuovijätteen kuljetukselle.



Kuva 39. Lujitemuovijätteen kuljetuskustannukset (€/tonni) toimitusmatkan (km) funktiona murskattuna ja murskaamattomana. Murskatun jätteen kustannus sisältää myös murskauskustannuksen.

Jätteen kuljetusmatkalla ja kuljetuskustannuksilla on merkitystä, kun jätteen toimittaja, teollisuuslaitos tai lajittelukeskus, tekee päätöksen, minne lujitemuovijäte toimitetaan, kuva 40. Jos kierrätyspolttoaineen valmistajalle toimitettaessa toimituksen kokonaiskustannus, kuljetuskustannus ja vastaanottomaksu, on kilpailukykyinen muiden vaihtoehtojen kanssa, on lujitemuovi mahdollista saada sementtiuunin kierrätyspolttoaineen raaka- aineeksi.

Kierrätyspolttoaineen valmistajan jätteen toimittajalta veloittamat maksut riippuvat laitoksen laitteistoinvestointien poistoista, polttoaineen tuotantokustannuksista, kuljetuskustannuksista sementtitehtaalle, sementtitehtaan vastaanottomaksuista sekä kierrätyspolttoaineen valmistajan toiminnalle asettamistaan katetavoitteista.



Kuva 40. Kierrätyspolttoaineen valmistuksen ja sementtitehtaalle toimituksen kustannukset matkan funktiona. Toimittaja maksaa lisäksi sementtitehtaan vastaanottomaksun.

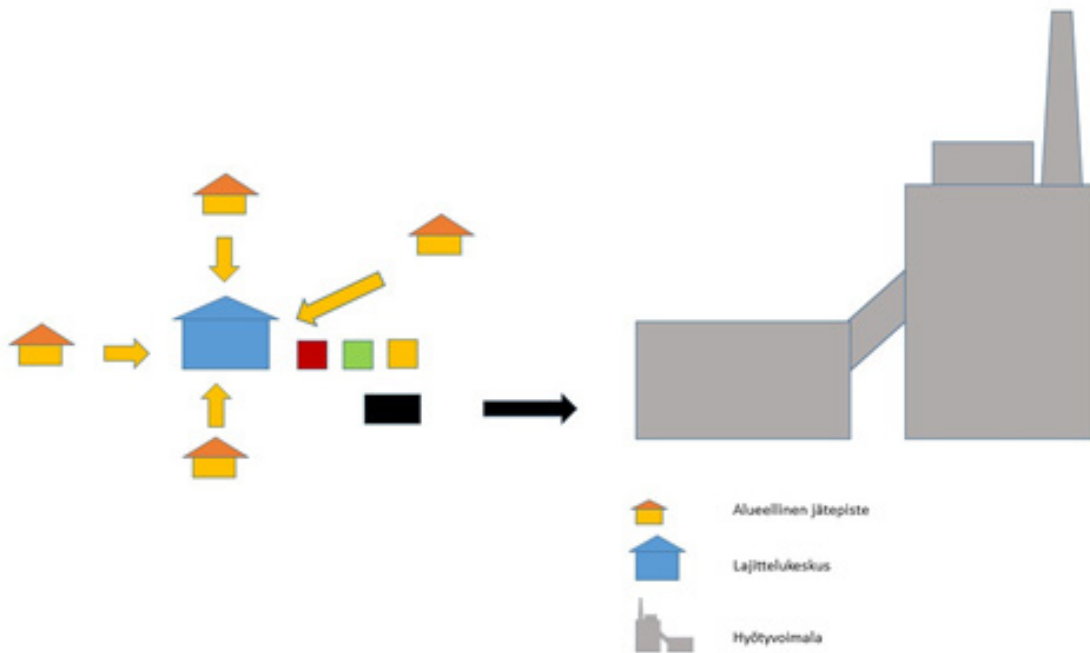
### 6.3.2 Poltto jätevoimaloissa

Koska useilla jätehuoltoyhtiöillä on käytettävissään hyötyjätevoimalaitos, jossa myös rajallisten lujitemuovimäärien käsittely on mahdollista, vertailtiin myös nykyisen hyötyjätelaitoksessa tapahtuvan käsittelyn kustannuksia sementtiuunikäytön kustannuksiin. Hyötyjätelaitoksessa tapahtuvassa massapoltossa syntyy kustannuksia jätteen keräämisestä, lajittelukeskuksen lajittelusta, rejektin kuljetuksesta hyötyvoimalaan, vaaka- ja vastaanottomaksusta ja jäteverosta.

Jätehuoltoyhtiöt ottavat lujitemuovijätteen vastaan lajiteltavana sekajätteenä. Vastaanottomaksu hinnoitellaan hyödynnettävien jakeiden mukaan 77 – 135 €/tn. Murskattuna lajiteltavan sekajätteen hinta on n. 85 €/tn.

Hyötyvoimalaan vastaanotettavien kappaleiden koolle on asetettu laitoskohtaisia rajoituksia. Tyypillinen suurin sallittu kappalemitta on 800 mm x 500 x 500 mm. Vastaanotettavien kappaleiden paksuus on myös rajoitettu, esim. Kymenlaakson Jäte Oy:llä sallittu enimmäispaksuus on 50 mm. Hyötyvoimalat sijaitsevat yleensä lähellä jätteen vastaanotto- ja lajittelukeskuksia. Näin matalammat kuljetuskustannukset hyötyvoimaloita käytettäessä tuovat kilpailuetua sementinvalmistukseen verrattuna. Kuvassa 41 on havainnollistettu hyötyvoimalavaihtoehdon toteutusta.





Kuva 41. Hyötyvoimalavaihtoehto. Jos lujitemuovijätettä ei jalosteta sementinvalmistuksen raaka- ja polttoaineeksi, päättyy se lajitellun sekajätteen joukossa jätevoimalaan poltettavaksi.

### 6.3.3 Lujitemuovin vienti jalostettavaksi

Kolmas vaihtoehto lujitemuovijätteen käytölle on toimittaa se ulkomaiselle laitokselle jalostettavaksi. Hankkeessa luotiin kansainvälinen yhteys saksalaisen yrityksen Neowa GmbH kanssa. Yritys toimittaa laitteita lujitemuovijätteen käsittelyyn sekä jalostaa lujitemuovijätettä sementtiteollisuuden käyttöön. Yhtiön Bremenin laitoksella (Neocomp GmbH) on sijoituspaikkalupa 80 000 tonnin vuotuisen käsittelyyn. Nykymuodossaan laitos käsittelee 40 000 tonnia lujitemuovijätettä. Laitoksen nykyinen raja on Saksan sementtiteollisuuden tarve.

Käytyjen alustavien keskusteluiden pohjalta Neowa GmbH voisi olla valmis jalostamaan kaiken Suomen lujitemuovijätteen Suomen markkinoille. Vastaanotettavan materiaalin vaatimukset vastaavat Taulukon 1 vaatimuksia. Yritys kuitenkin korostaa, että heillä on ehdoton nollatoleranssi hiilikuidulle ja hiilikuitulujitteiselle muoville. Laitoksen ilmoittama porttihinna lujitemuovijätteelle on 115 €/tonni. Edestakainen kuljetus Saksaan ja takaisin lisää kustannuksia.

## 6.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ VAIHTOEHTOISISTA TOIMINTAMALLEISTA

Lujitemuovijätteen käyttö sementtitiunin raaka- aineena ja kierrätyspolttoaineena on teknisesti mahdollista. Tämä on osoitettu tuotantomittakaavan koeajoilla LUMI 1- hankkeessa. Sementin laatuvaatimukset, käytettävän polttoaineen lämpöarvo sekä kierrätyspolttoaineen käsiteltävyys sementtitehtaan laitteistoissa asettaa kuitenkin rajoituksia lujitemuovin määrälle ja puhtaudelle sementtitiunin polttoaineena. Sementinvalmistajan omistamassa reseptissä onkin määritelty enimmäispitoisuus lujitemuoviraaka-aineen määrälle kierrätyspolttoaineessa. Lisäksi on määritelty kielletyt aineet, joita ei saa käyttää sementtitiunin kierrätyspolttoaineen valmistuksessa. Periaatteessa polttoaineeseen hyväksytään vain puhdas tuotantojäte lujitemuoviteollisuudesta tai samalle tasolle lajiteltu ja puhdistettu käytöstä poistetuista tuotteista valmistettu raaka- aine. Tämä edellyttää onnistunutta syntypaikkalajittelua lujitemuoviteollisuudessa sekä toimivaa lajittelua ja prosessointia käytöstä poistettujen lujitemuovituotteiden kierrätyksessä.

Oheisessa kuvassa on esitetty toimintamalli lujitemuovijätteen kierrättämiseksi. Sementtitehtaan ja kierrätyspolttoaineen valmistajan välillä on imuohjaus. Kierrätyspolttoaineen valmistaja tuottaa polttoaineita asiakkaiden tarpeen mukaan.

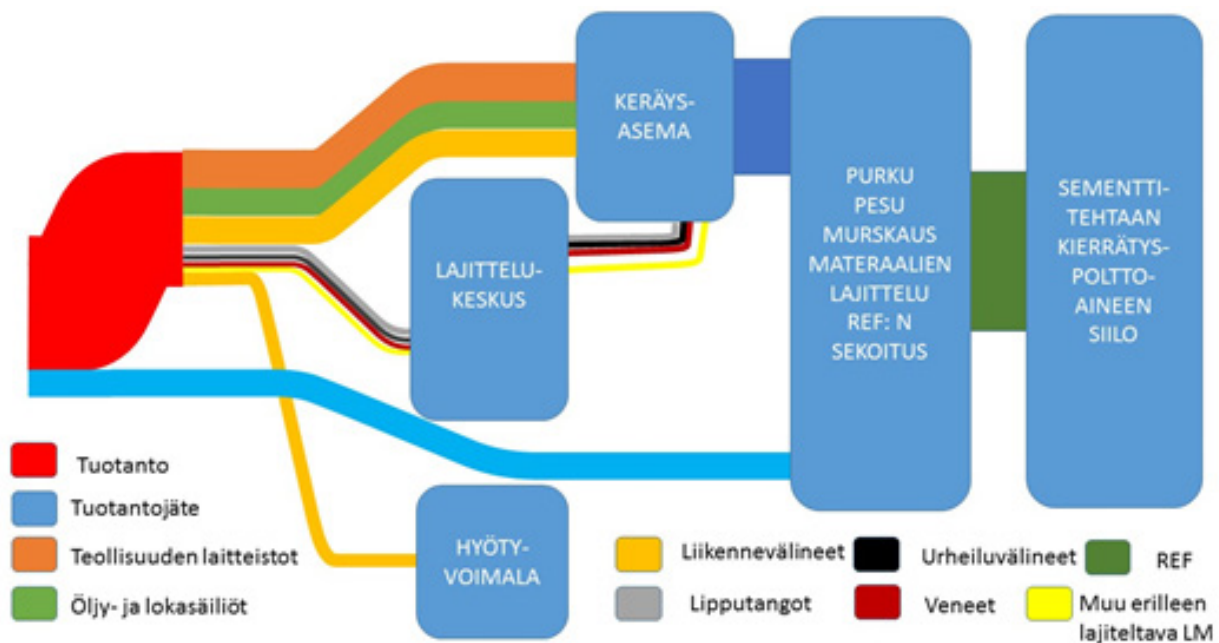
Käytöstä poistuvia tuotteita syntyy teollisuuslaitoksissa sekä kotitalouksissa. Jäte on yleensä pienissä erissä ja eri puolilla maata. Kuluttajat toimittavat käytöstä poistetut tuotteet pienjäteasemille tai suoraan lajittelukeskuksiin. Osa kuluttajien lujitemuovijätteistä menee jätepussien mukana massapoltttoon. Teollisuuden tuotantojätteet sekä käytöstä poistetut prosessilaitteistot, joista koostuvat suurimmat materiaalivirrat ja muut suuremmat kappaleet voidaan ohjata suoraan kierrätyspolttoaineen valmistuksen esivarastointiin/keräysasemalle. Keräysaseman on tarkoitus toimia kierrätyspolttoaineen valmistuksen puskurina varmistamassa kierrätyspolttoaineen valmistukseen riittävän keskitetyn raaka- aineen saannin ja laadun.

Kosteuden välttäminen kierrätyspolttoaineessa vaatii, että lujitemuovijätteen kuljetus ja varastointi tapahtuu kuivissa, katetuissa tiloissa kaikissa keräys- ja prosessointivaiheissa.

Jätteen toimittaja ja jätteen käsittelijä valitsee aina itselle soveltuvimman reitin. Yleisin valintakriteeri on jättekustannukset, jotka koostuvat jätteen kuljetuksista vastaanottopisteeseen sekä vastaanottomaksusta. Valittavina vaihtoehtoina ovat toimitus sementinvalmistuksen kierrätyspolttoaineeksi tai poltto jätevoimalassa.

Polttoaineen hinnan määrittelee sementinvalmistaja, jonka vastaanottohintaan kukin toimitusketjun toimija lisää omat kustannuksensa ja katteensa. Lujitemuovijätteen saaminen sementinvalmistukseen edellyttää, että kussakin vaiheessa muodostuva toimituskustannus seuraavaan vaiheeseen on edullisempi kuin jätevoimalan vastaanottohinnan ja toimitushinnan muodostama kustannus. Jätevoimalat ottavat lujitemuovijätteen vastaan lajiteltuna sekajätteenä.

Kotitalouksien jätepussit ohjautuvat ilman lajittelua jätevoimalaan polttoon.



Kuva 42. Ehdotus toimintamalliksi miten lujitemuovijäte ohjattaisiin sementtiuunin raaka- ja polttoaineeksi polttoon.

Sementtiuunireitin kilpailukykyä voitaisiin parantaa vapaaehtoisen tuottajavastuun kautta. Tämä näkyisi heti uusien tuotteiden hinnoissa, mutta mahdollistaisi käytöstä poistettujen tuotteiden kilpailukykyisemmät jättekustannukset sementinvalmistuksen näkökulmasta.

# LÄHTEET

1. Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Hakapaino Oy.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY
3. Jätelaki 646/2011. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>
4. Jäteverolaki (1126/2010). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126>
5. Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. Waste Management. Vol 29 (10)ss. 2625-2643.
6. Halliwell, S. Best Practice Guide – End of Life Options for Composite Waste. 2006. NetComposites. Saatavissa: [www.compositesuk.co.uk](http://www.compositesuk.co.uk)
7. Pickering S.J. 2005. Recycling technologies for thermoset composite materials – current status... 2005. Composites Part A. Appl. S37 1206-1215.
8. Job, S. Composite recycling – Summary of recent research and development. 2010. Saatavissa: Job, S. Composite recycling – Summary of recent research and development. 2010. Saatavissa: <http://www.compositesuk.co.uk/Information/Library/Publications.aspx>
9. AVK. Composites Market Report 2013. Saatavissa: <http://www.eucia.eu/publications>
10. Marsh, G. 2003. Europe gets Tough on end of life composites. Reinforced Plastics. Volume 47, Issue 8, September 2003, S 34–36, 38–39
11. Meriluoto K., Rytönen T., Kaplas M. Jätetietojen toimittaminen VAHTI- rekisteriin. s. 4 Suomen ympäristökeskus Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38827/VAHTI\\_verkkoon.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38827/VAHTI_verkkoon.pdf?sequence=1)
12. Jätevirrat ja jäteintensiteetin muutos Suomen taloudessa 1997 -2003.Finwaste- hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 44|2006, Suomen ympäristökeskus. s 31. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38769/SY44\\_2006.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38769/SY44_2006.pdf?sequence=1)
13. Vihola J, Heljo J., 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000 -2012. s. 46. Raportti 10. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Saatavissa.: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/1096456/vihola\\_heljo\\_lammitystapojen\\_kehitys\\_2000\\_2012.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/1096456/vihola_heljo_lammitystapojen_kehitys_2000_2012.pdf)
14. Suomalainen suksi venäläistyy. Taloussanomien 2.11.2001. Saatavissa: <http://www.taloussanomien.fi/arkisto/2001/11/02/suomalainen-suksivenalaistyy/200122944/12>
15. RAKENNUSTIETO; RT 18-10922, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot
16. Suomalaisen pihojen yleinen koriste katoamassa. Helsingin Sanomat. 23.11.2014. Saatavissa: <http://www.hs.fi/sunnuntai/a1416546446791>
17. Puolustusvoimain komentajan esitys 1.9.2010. Upseeriliitto. Saatavissa: [https://www.upseeriliitto.fi/etusivu\\_\(vanha\)/uutiset/uutisten\\_arkisto/2011\\_julkiset\\_uutiset/puolustusvoimain\\_komentajan\\_tiedotustilaisuus.2052.news?2330\\_o=20](https://www.upseeriliitto.fi/etusivu_(vanha)/uutiset/uutisten_arkisto/2011_julkiset_uutiset/puolustusvoimain_komentajan_tiedotustilaisuus.2052.news?2330_o=20)
18. Ignatius S.-M., Myllymaa T., ja Dahlbo H., 2009. Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20|2009. Saatavissa: <http://eis.fi/wordpress/wp-content/uploads/2010/04/SER-kierr%C3%A4tys.pdf>
19. Liikenneturva. Moottoripyöräilijän ja mopoilijan kypärä. Saatavissa: <https://www.liikenneturva.fi/fi/liikenteessa/moottoripyorailijat/moottoripyorailijan-ja-mopoilijan-kypara>
20. Standardi SFS-EN 15359 KIIENTEÄT KIERRÄTYSPOLTTOAINEET. VAATIMUKSET JA LUOKAT, V 2011, Suomen standardisoimisliitto SFS
21. Euroopan yhteisöjen neuvosto, 2001. Neuvoston päätös, tehty 16. päivänä tammikuuta 2001, direktiivistä 2000/532/EY (Euroopan jäteluettelo) ja sen muutoksista (2001/118/EY, 2001/119/EY, 2001/573/EY)
22. Lujitemuovien kierrätys, V. 2014. Lujitemuovien materiaalin ja energian kierrätys sementtiuunissa – hanke, kierrätyskäsikirja.
23. Polyvinyylikloridin kansainvälinen turvakortti, <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfn1487.htm>. Viitattu 6.4.2016

24. Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto [verkkajulkaisu]. ISSN=1798-3339. 2014, Yhdyskuntajätteet 2014, tonnia . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 13.4.2016]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/jate/2014/jate\\_2014\\_2015-12-01\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2014/jate_2014_2015-12-01_tau_001_fi.html)
25. Vanhat veneet kierrätykseen – viime kesän koeluontoinen kampanja. Venemestari 1 Helmikuu 2006 s.88
26. Haudattomat raadot. Venemestari Lokakuu 10 2015 ss 54 -58.
27. Valmistus. Finnsementti. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/sementti/valmistus> [Viitattu 8.6.2016]





MAMK

University of Applied Sciences

