

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

**SÄHKÖ- JA ELEKTRONIIKKAROMUN KIERRÄTYS JA  
SEN PARANTAMISMAHDOLLISUUDET**  
**Waste electric and electronic equipment recycling and future  
possibilities**

Työn tarkastaja:      Professori, TkT, Mika Horttanainen  
Työn ohjaaja:         Tutkijaopettaja, TkT, Jouni Havukainen

Lappeenrannassa  
Valtteri Parkko

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Valtteri Parkko

### **Sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätys ja sen parantamismahdollisuudet**

Kandidaatintyö 2021

32 sivua, 10 taulukkoa, 9 kuvaa ja 1 liite

Työn tarkastaja: Professori, TkT, Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tutkijaopettaja, TkT, Jouni Havukainen

Hakusanat: SER, kierrätys, sähkö- ja elektroniikkaromu, muovi

Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER) on nopeinten kasvava jätteen laji maailmassa. Sitä tuotettiin globaalisti vuonna 2019 noin 53,6 miljoonaa tonnia. Tästä huolimatta SER:in kierrätysprosentti on globaalisti vain 17,4 %. Lisäksi suurin osa tästä kierrätetystä materiaalista on arvokkaita metalleja, kuten kultaa ja kuparia. Arvottomampi materiaali kuten muovi usein joko poltetaan tai heitetään kaatopaikoille muun jätteen mukana. On arvioitu, että vuonna 2019 tuotetun SER:in sisältämien raaka-aineiden arvo olisi noin 50 miljardia euroa, jos kaikki nämä materiaalit saataisiin kierrätettyä takaisin käyttöön. SER:in kierrätys on kuitenkin hankalaa sillä se voi sisältää jopa tuhatta erilaista ainetta ja 60 eri alkuainetta.

Tämän kandidaatin työn tavoitteena on tarkastella SER kierrätyksen nykytilannetta ja selvittää SER:in määriä ja sen materiaalijakaumia. Lisäksi tarkoituksena on myös tarkastella SER muoveille kierrätysmahdollisuuksia. Lupaava vaihtoehto muovien kierrättämiselle on laitteiden suunnitteleminen siten, että niistä voitaisiin irrottaa suuret muoviosat helposti ja kierrättää erikseen. Työ on toteutettu kokonaisuudessaan käyttämällä kirjallisuuslähteitä, sillä SER:in konkreettinen tarkastelu ei työn laajuuden vuoksi ole mahdollista.

## SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO .....	4
JOHDANTO .....	5
1 SER KIERRÄTYKSEN NYKYTILANNE.....	6
1.1 Nykytilanne Suomessa .....	7
1.2 Nykytilanne ulkomailla .....	7
2 SER:N KOOSTUMUS .....	9
2.1 SER:in materiaalijakaumat.....	9
2.2 SER:n sisältämät haitta-aineet.....	11
3 SER KIERRÄTYKSEN TEKNOLOGIAT .....	13
3.1 Nykyisin käytössä olevat teknologiat.....	13
3.1.1 Murskaus .....	14
3.1.2 Seulominen .....	15
3.1.3 Magneettinen erottelu .....	15
3.1.4 Pyörrevirtaerotin.....	16
3.1.5 Tiheyserotin .....	16
3.1.6 Metallurginen erotus.....	17
3.2 Tulevia teknologioita SER kierrätykseen.....	17
3.2.1 Elektrodynaaminen sirpaloiminen.....	17
3.2.2 Magneettiaavusteinen tiheyserotus .....	17
4 SER:IN MUOVIEN KÄSITTELY .....	19
5 SER KIERRÄTYKSEN TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA .....	23
YHTEENVETO.....	27
LÄHTEET .....	30
LIITTEET .....	33

## SYMBOLILUETTELO

### Lyhenteet

SER	sähkö- ja elektroniikkaromu
ABS	Akrylinitriilibutadieenistyreeni
PS	polystyreeni
HIPS	Iskunkestävä polystyreeni
PP	Polypropeeni
PUR	Polyuretaani
EP	Epoksi
PVC	Polyvinyylidikloridi
PC	Polykarbonaatti
UP	Tyydyttymätön polyesteri
PA	Polyamidi
POM	Polyasetaali
PBT	Polybutyleenitereftalaatti
PET	Polyeteenitereftalaatti
PE	Polyeteeni

## JOHDANTO

Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER) on voimakkaasti kasvava jätteen laji. Sen kierrättäminen on kuitenkin haastavaa, sillä SER sisältää usein laajan kirjon erilaisia materiaaleja. Lisäksi näiden aineiden pitoisuudet voivat olla hyvinkin pieniä. Tästä syystä SER:in kierrättäminen onkin vielä suhteellisen kallista verrattuna muun jätteen kierrättämiseen. (Kaya, 2019)

Vaikka Suomessa on liiketoimintaa SER kierrätyksen alalla, on Suomen SER:in kierrätysaste vasta noin 50 prosentin luokkaa (Circubs 2018). Muualla maailmassa nämä lukemat ovat vielä huomattavasti alhaisempia ja yleinen käytäntö onkin kuljettaa SER jätettä laittomasti köyhempiin maihin kierrätettäväksi. Näin saadaan SER jätteen kierrätyksestä aiheutuvia kustannuksia alemmas ja saadaan yritys vaikuttamaan ympäristöystävällisemmältä kertomalla, että yritys kierrättää tuottamansa SER:in. Kuitenkin köyhemmissä maissa SER:in kierrätysinfrastruktuuri usein on vielä kehittyvässä vaiheessa ja näin ollen kierrätys tapahtuu puutteellisissa oloissa. Puutteelliset olot aiheuttavat valtavan terveystarpeen, sillä SER sisältää myös haitallisia aineita. Lisäksi SER jätteestä otetaan talteen vain arvokkaat materiaalit, kuten kulta ja kupari, minkä jälkeen arvoton ylijäämä, kuten muoviosat hävitetään luontoon. (Forti et al. 2020)

Tämän työn tarkoitus on tarkastella SER:in kierrätyksen nykytilannetta. Tähän kuuluu käytössä olevien teknologioiden tarkastelu, lisäksi tarkastellaan SER:in määrää ja sitä, minkä tyyppistä SER:iä kierrätetään. Työssä tarkastellaan hieman myös kehitteillä olevia teknologioita SER kierrätyksen saralla. Näiden lisäksi työssä on tarkoituksena selvittää mahdollisia vaihtoehtoja SER:in sisältämän muovin kierrätykselle. Työ pohjautuu kokonaan kirjallisiin lähteisiin.

## 1 SER KIERRÄTYKSEN NYKYTILANNE

Tällä hetkelle SER:lle ei ole yhtenäistä määritelmää maailmalla. Kuitenkin erilaiset tahot ovat määritelleet sen hieman toisistaan poikkeavilla tavoilla. Tästä huolimatta vuonna 2019 vain 78 maassa oli käytössä jonkin asteisia lakeja SER kierrätykseen liittyen. Tämä tarkoittaa sitä, että noin 71 prosenttia maapallon väestöstä on näiden lakien ja säädösten alaisuudessa. Kuitenkin todellisuudessa nämä luvut voivat antaa väärän kuvan SER kierrätyksen tilasta maailmalla, sillä vain alle puolessa maailman maista on käytössä näitä SER kierrätykseen liittyviä säädöksiä. Lisäksi vaikka maassa olisikin käytössä lakeja liittyen SER kierrätykseen ne usein saattavat olla vapaaehtoisia tai niiden valvonta on puutteellista. (Forti et al. 2020)

**Taulukko 1.** Vuotuinen maailmanlaajuisesti tuotettu SER:in määrä. Vuodesta 2015 eteenpäin annetut luvut ennusteita. (Baldé et al. 2015)

Vuosi	Tuotettu SER (Mt)	Tuotettu SER henkilöä kohden (kg/hlö.)	Vuosi	Ennustettu SER (Mt)	Ennustettu SER henkilöä kohden (kg/hlö.)
2010	33,8	5	2015	43,8	6,1
2011	35,8	5,2	2016	45,7	6,3
2012	37,8	5,4	2017	47,8	6,5
2013	39,8	5,7	2018	49,8	6,7
2014	41,8	5,9			

Vuonna 2019 arvioitiin, että maailmalla tuotettiin SER:iä noin 53,6 miljoonaa tonnia. Tämä tarkoittaa noin 7,3 kg henkilöä kohden vuodessa. Vuonna taas 2014 vuotuinen tuotettu SER:in määrä oli 44,4 miljoonaa tonnia ja 6,4 kg asukasta kohden. Lisäksi arvioidaan, että vuonna 2030 vuotuinen SER tuotto on ylittänyt 74 miljoonaa tonnia vuodessa. (Forti et al. 2020). Taulukosta 1. esitetään toisesta lähteestä saatu arvio SER:in määrästä. Taulukon lähteen mukaan vuonna 2014 arvioitiin tuotetun SER:in määräksi noin 41,8 miljoonaa tonnia. (Baldé et al. 2015) Tämä poikkeaa huomattavasti aikaisemmin esitetystä luvusta. Huomataan siis, että SER:in määrälle ei ole olemassa yhtä selkeää arvoa vaan jokainen arvioija tekee rajauksia sitä laskiessaan.

Näistä SER:in määristä voidaan huomata kuinka nopeasti SER:in määrä on lisääntynyt. Vertaamalla näitä lukuja SER:in kierrätykseen, joka oli vuonna 2014 noin 7,5 miljoonaa tonnia ja vuonna 2019 se oli 9,3 miljoonaa tonnia eli 17,4% tuotetusta SER:istä. Huomataan, että tuotettu SER:in määrä lisääntyy huomattavasti nopeammin kuin kierrätetyn SER:in määrä. (Forti et al. 2020)

## 1.1 Nykytilanne Suomessa

Suomessa käytetään Euroopan parlamentin määritelmää SER-jätteelle. Direktiivin ”EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/96/EY”, joka on uudelleen laadittu direktiivissä 2012/19/EU, mukaan sähkö- ja elektroniikkalaitteeksi määritellään kaikki liitteessä 1 A mainitut laitteet (Liite 1), jotka vaativat toimiakseen sähkövirtaa tai sähkömagneettista kenttää tai ovat suunniteltu tämänkaltaisen kentän synnyttämiseen tai siirtämiseen. Kuitenkin nämä laitteet on suunniteltu käytettäväksi maksimissaan 1000 voltin vaihtojännitteellä tai 1500 voltin tasajännitteellä. Kyseisen direktiivin mukaan SER:iksi on määritelty kaikki direktiivissä mainitut sähkö- ja elektroniikkalaitteet ja niiden osat ja komponentit silloin kun se poistetaan käytöstä.

Suomessa tuotettiin vuonna 2019 110 000 tonnia SER:iä mikä tarkoittaa 19,8 kg asukasta kohden. (Forti et al. 2020) Kuitenkin vuonna 2015 kerättiin SER:iä vain 63 000 tonnia ja vuonna 2017 SER:iä kerättiin 65 000 tonnia. Onkin siis arvioitu, että jopa noin puolet Suomen SER:istä kulkeutuu dokumentoidun kierrätysjärjestelmän ulkopuolella. (Circhubs 2018) Edellä mainituilla luvuilla Suomi ei yllä Euroopan parlamentin direktiivissä 2002/96/EY määriteltyyn 65 % kierrätysasteeseen.

## 1.2 Nykytilanne ulkomailta

Tällä hetkellä Euroopassa on globaalisti suurin SER:in kierrätys prosentti, joka on 42,5% (Forti et al. 2020). Tämä johtuu suureksi osaksi siitä, että kaikki Euroopan unionin jäsenvaltiot kuuluvat Euroopan parlamentin direktiivin 2012/19/EU alaisuuteen. Näin ollen Euroopassa valvotaan SER kierrätystä huomattavasti tarkemmin kuin muualla maailmassa. (Euroopan parlamentin direktiivi 2012/19/EU) Lisäksi Euroopan unionin alueella kaikilla

sähkö- ja elektroniikkatuotteita valmistavilla tai niitä maahantuovilla yrityksillä on tuottajavastuu. Tämä tarkoittaa sitä, että myyvä tai maahantuova yritys joutuu huolehtimaan valmistamansa tai tuomansa laitteen kierrätyksestä sen saavuttaessa käyttöikänsä lopun. (SER-kierrätys 2012)

**Taulukko 2.** SER tuotanto eri maanosissa vuonna 2014. (Baldé et al. 2015)

Maanosa	Eurooppa	Amerikka	Aasia	Oseania	Afrikka
SER määrä (Mt)	11,6	11,7	16	0,6	1,9
SER per henkilö (kg)	15,6	12,2	3,7	15,2	1,7

**Taulukko 3.** SER määrä ja kierrätysaste maailmalla v. 2019. (Forti et al. 2020)

Maanosa	SER määrä (Mt)	SER per henkilö (kg)	Kierrätetyn SER:in määrä (Mt)	Viralliseen käsittelyyn keräyksen prosentti
Eurooppa	12	16,2	5,1	42,5
Amerikka	13,1	13,3	1,2	9,4
Aasia	24,9	5,6	2,9	11,7
Oseania	0,7	16,1	0,06	8,8
Afrikka	2,9	2,5	0,03	0,9

Muualla maailmassa SER kierrätysprosentti (taulukko 2.) on alhaisempi puutteellisen lainsäädännön tai lainsäädännön valvomisen puutteellisuuden vuoksi. Tämä voi johtua poliittisesta haluttomuudesta puuttua SER:in kierrätykseen tai SER kierrätykseen tarvittavan infrastruktuurin puutteellisuudesta. Infrastruktuurin puutteellisuus johtuu yleensä haluttomuudesta investoida SER kierrätykseen. Lisäksi on huomattu, että pohjoiselta pallonpuoliskolta viedään usein SER:iä eteläiselle pallonpuoliskolle, joko laittomasti tai naamioituna uudelleen käytettäväksi elektroniikaksi. Ymmärrettävistä syistä on vaikeaa arvioida kuinka paljon SER:iä viedään kehittyviin maihin. On kuitenkin arvioitu että sen määrä on jotakin väliltä 7 - 20 % tuotetusta SER:istä. (Forti et al. 2020)

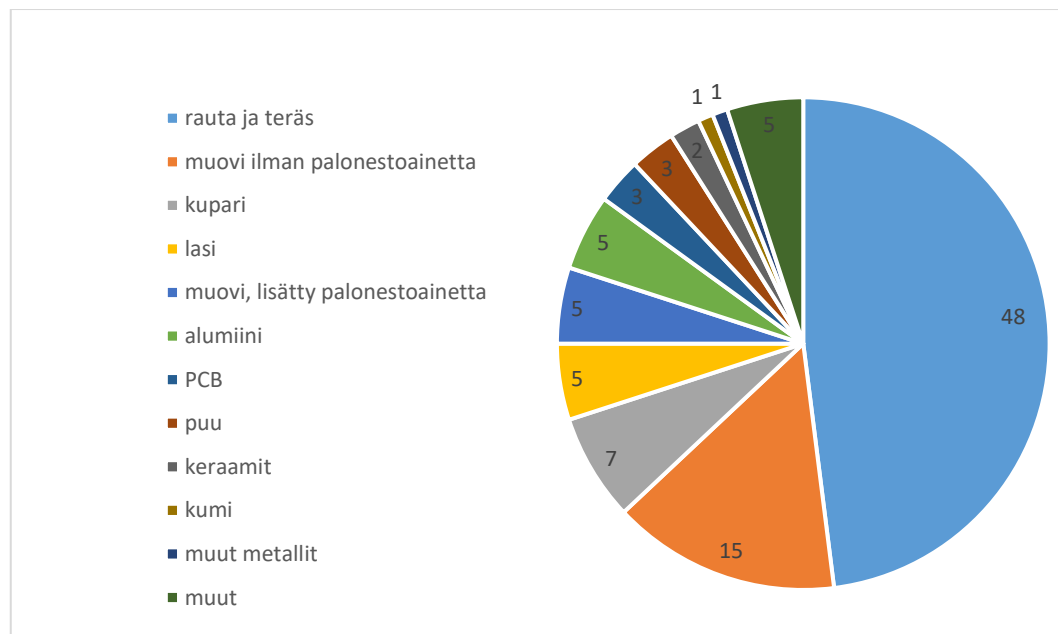


## 2 SER:N KOOSTUMUS

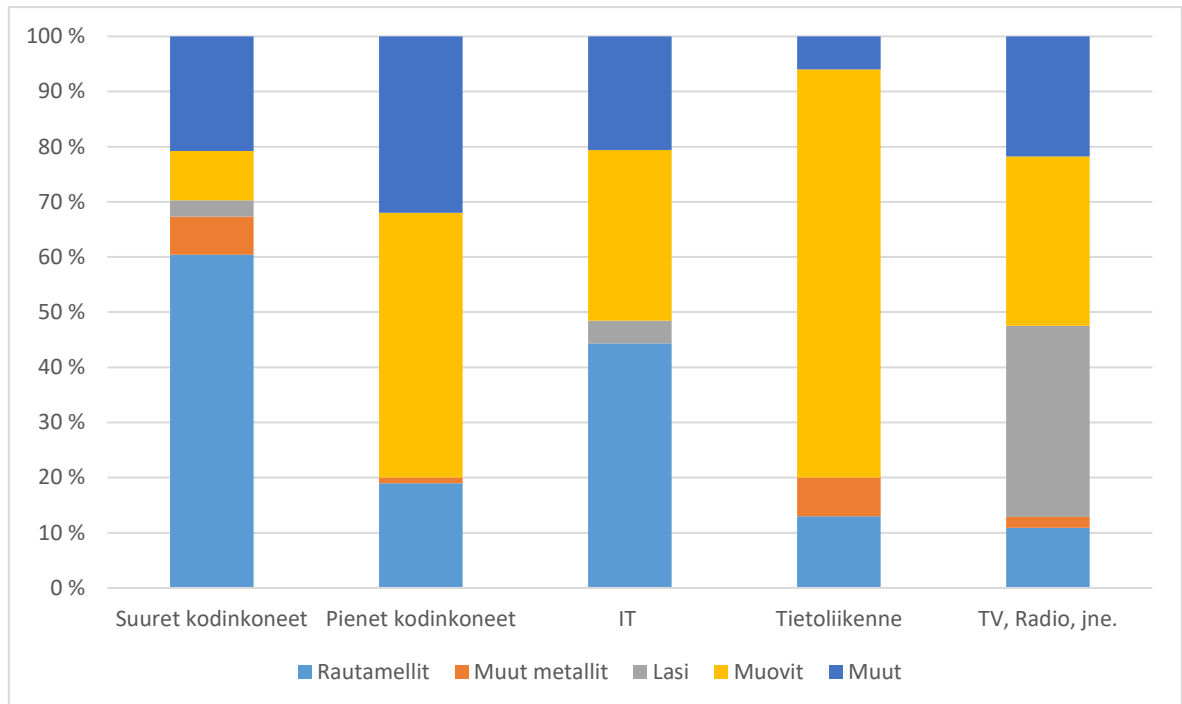
SER sisältää usein suuren määrän erilaisia aineita. Näiden aineiden pitoisuudet voivat olla hyvinkin pieniä ja aineet voivat olla sekoittuneet keskenään homogeeniseksi seokseksi. Nämä seikat vaikeuttavat SER:in kierrätystä huomattavasti. SER voi sisältää ainakin 1000 erilaista ainetta, joista osa on haitallisia ihmisille ja ympäristölle. (Buekens, Yang, 2014)

### 2.1 SER:in materiaali jakaumat

SER jätteellä on lukematon määrä erilaisia mahdollisia materiaali jakaumia. Nämä jakaumat vaihtelevat huomattavasti riippuen siitä minkä tyyppisestä SER:istä on kyse. Kuvassa 1. esitetään yleisesti SER:in pääraaka-aineiden materiaali jakaumat. Huomataan että suurin osa SER:in materiaalista on erilaisia metalleja, jonka jälkeen muovit ovat toiseksi suurin osa SER:in materiaaleista. Kuvassa 2. erotellaan SER muutama eri tyyppiin ja tarkastellaan erityyppisten laitteiden materiaali jakaumia. Huomataan että erityyppiset laitteet sisältävät toisistaan huomattavasti poikkeavan materiaali jakauman. Tämä on yksi syy sille miksi SER kierrätys on haastava ala.

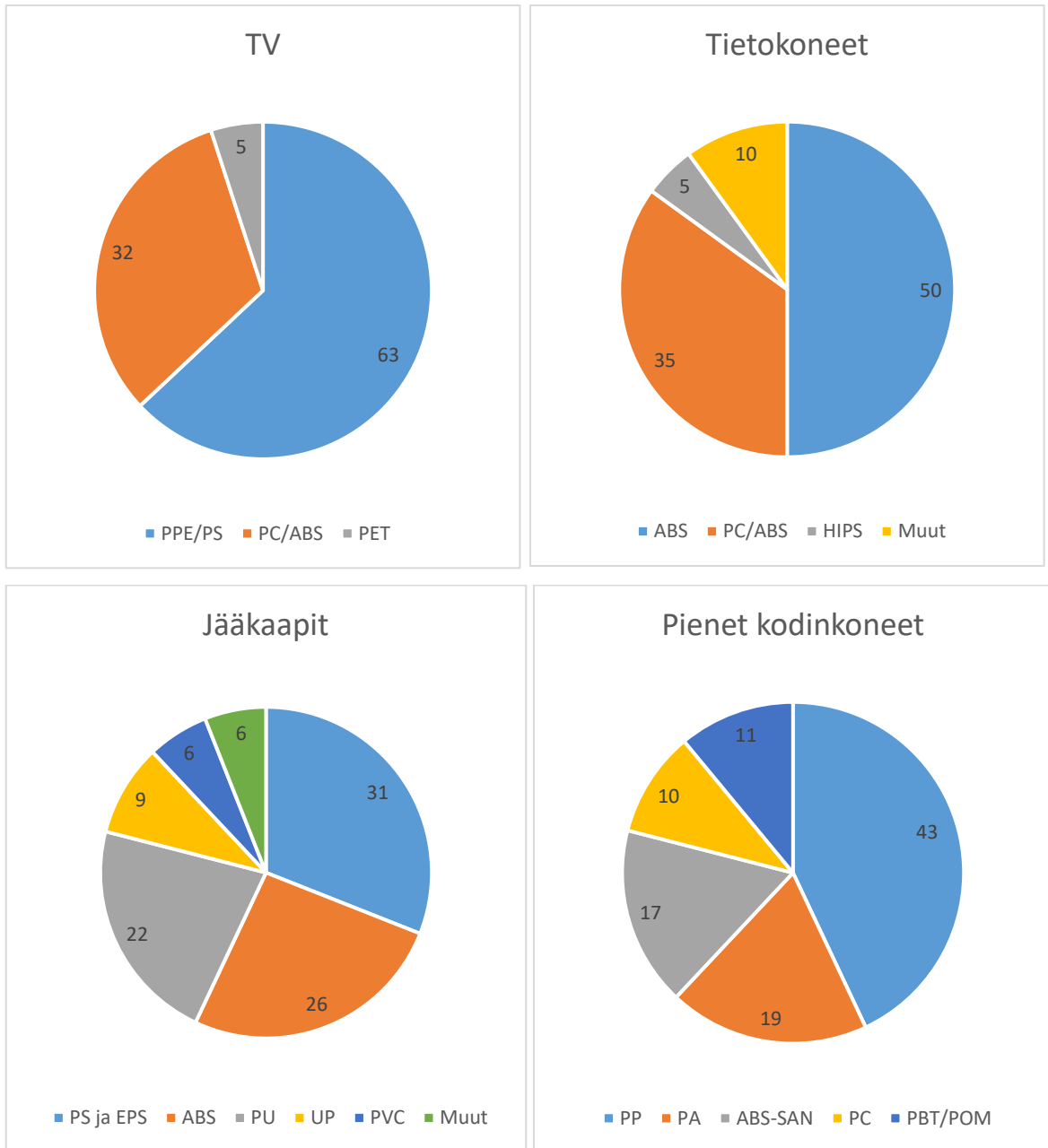


**Kuva 1.** SER:in pääraaka-aineiden prosentuaaliset osuudet. (Kaya, 2019)



**Kuva 2.** Erityyppisten SER laitteiden materiaali-jakaumat. (Buckens, Yang, 2014)

Muoveja voi olla yhdessä laitteessa useita erilaisia. Lisäksi laitteen muovit ovat usein homogeenisenä seoksena, mikä vaikeuttaa muovien käsittelyä. Kuvassa 3. on esitetty muutamman yleisen laitteen muovien osuudet.



**Kuva 3.** Yleisten SER:in tyyppien muovien prosenttiosuudet käytetystä kokonaismuovista. (Buekens, Yang, 2014)

## 2.2 SER:n sisältämät haitta-aineet

SER sisältää mahdollisesti useita haitallisia aineita. Taulukossa 2. on listattu yleisimpiä haitallisia aineita, joita SER voi sisältää. Suurin osa SER:in sisältämistä haitta-aineista ovat, joko raskasmetalleja tai muovien lisäaineita. (Kaya, 2019) Lisäksi SER muovit sisältävät

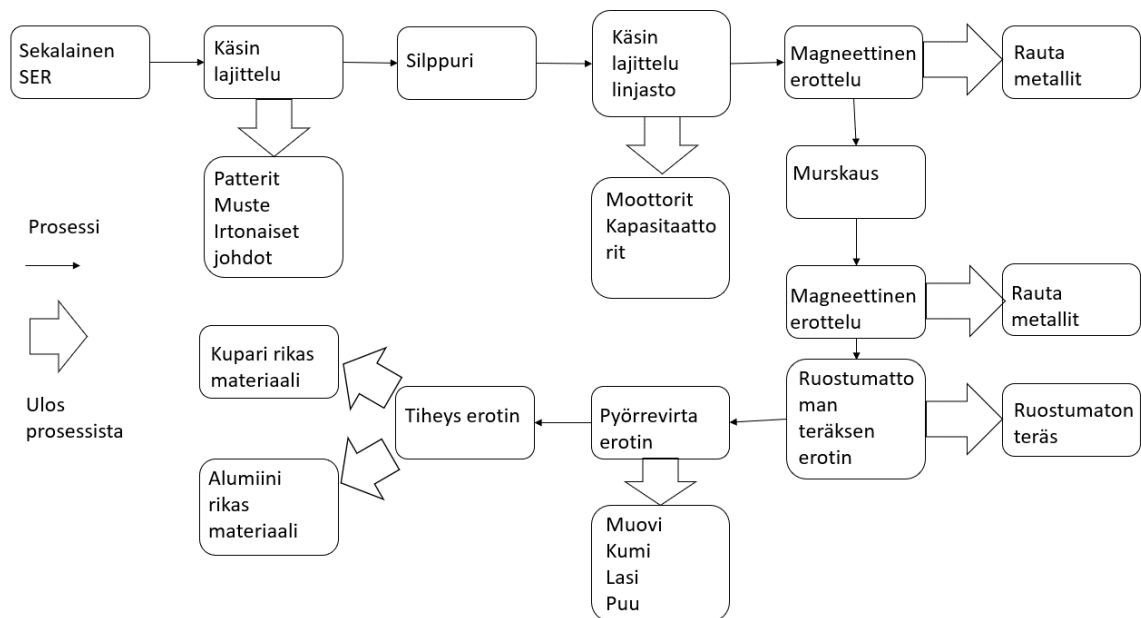
monia erilaisia lisäaineita. Nämä lisäaineetkin voivat olla haitallisia. Tästä yhtenä esimerkkinä on bromi, jota käytetään muoveissa bromattuna palonestoaineena. (Buekens, Yang, 2014)

**Taulukko 2.** Yleisimpiä haitallisia aineita SER:issä. (Kaya, 2019)

Haitallinen aine	Missä käytetään SER:issä
Lyijy (Pb)	CRT näytöissä, akuissa, hehkulampuissa ja valokennoissa
Elohopea (Hg)	kytkimissä, piirilevyissä, termostaateissa ja flat screen näytöissä
Nikkeli (Ni) ja kadmium (Cd)	nikkeli kadmium akuissa, resistoreissa, puolijohtimissa ja piirilevyissä
Arseeni (As) ja Gallium (Ga)	Galliumarseenia käytetään LED:deissä, lasereissa
Beryllium (Be)	emolevyissä, liittimissä ja jäähdytys-elementeissä
Indium (In)	LCD näytöissä, diodeissa, transistoreissa ja puolijohtimissa
Seleeni (Se)	diodeissa, aurinko kennoissa ja puolijohtimissa
Bromi (Br)	palonestoaineena muoveissa
CFC	pakastimissa, jääkaapeissa ja eristysvaahdoissa
PCB	kondensaattoreissa, muuntajissa ja lämmönsiirtonesteissä
PVC	johtojen eristeissä, muoviosissa ja monitorien kuorissa

### 3 SER KIERRÄTYKSEN TEKNOLOGIAT

Yleisesti SER kierrätys voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe sisältää SER:in lajittelun ja purkamisen. Tämä tapahtuu usein manuaalisesti. Toinen vaihe SER:in kierrätyksessä on romun koon pienentäminen. Tähän on useita vaihtoehtoja, joista yleisimpiä keinoja ovat romun murskaaminen ja puristus. Kolmantena vaiheena SER:n kierrätyksessä on materiaalin erottaminen toisistaan. Tässä vaiheessa on käytössä lukuisia eri tekniikoita riippuen siitä mitä materiaalia halutaan erottaa murskatusta massasta. (Khan et al. 2020)



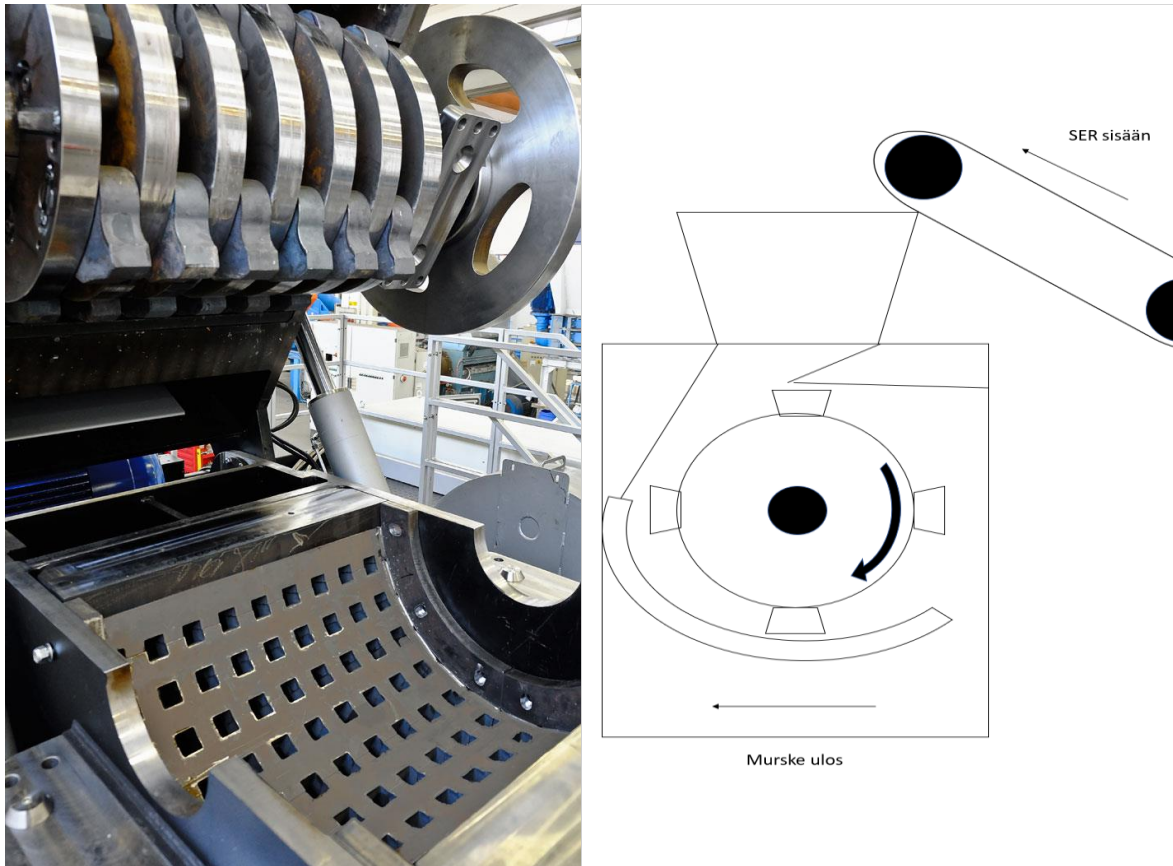
**Kuva 4.** Yksinkertaistettu kaavio sekalaisen SER:in kierrätyksestä. (Kell 2009)

#### 3.1 Nykyisin käytössä olevat teknologiat

Kuvassa 4. nähdään erään sekalaisen SER:in kierrätysprosessin yksinkertaistettu kaavio. Voidaan huomata, että nykyisinkin käytetään vielä runsaasti manuaalista työvoimaa SER kierrätyksessä.

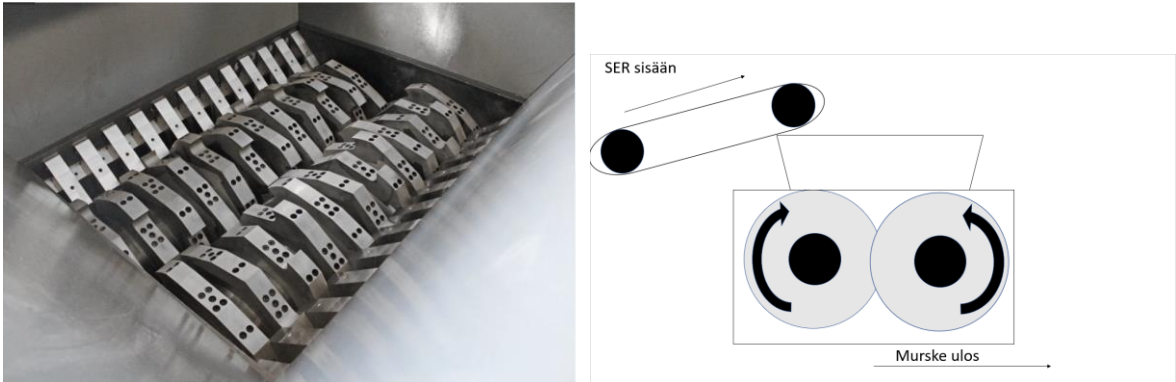
### 3.1.1 Murskaus

SER-jätteen pienentämiseen käytetään yleisimmin erilaisia murskaimia ja silppureita. Näiden valintaan riippuu usein siitä, millaista materiaalivirtaa halutaan kyseisellä murskaimella käsitellä. Yksi yleisimmistä murskain tyypeistä on vasaramylly (kuva 5). Tässä tyypissä nopeasti pyörivät vasarat iskeytyvät materiaalivirtaa vasten. Materiaalivirta murskautuu kiineettisen energian seurauksesta pienemmäksi. Vasaratyyppinen murskain sopii materiaalivirralle, jossa on runsaasti metallia. (Kell 2009)



**Kuva 5.** Vasara murskain ja sen toimintaperiaate. (Hammer mill Z15)

Toinen vaihtoehtoinen murskaintyyppi on leikkaava murskain (kuva 6). Leikkaava murskaimia voi olla joko yksi- tai kaksiakselisena. Näihin akselisiin on kiinnitetty lukuisia teriä, jotka silpoavat murskaimelle syötetyn materiaalin. Yksiakseliseen leikkaavaan murskaimeen syötetään materiaali sisään työntimellä. Kun taas kaksiakselinen leikkaavamurskain toimii itsesyötöllä. (Metso) Leikkaava murskain sopii erityisesti materiaalivirralle, jotka sisältävät runsaasti muovia (Bachér et al. 2017).



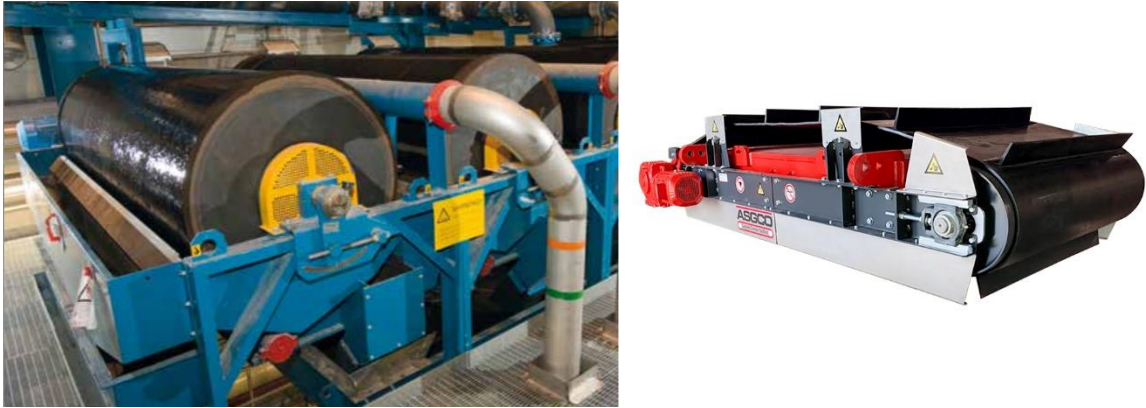
**Kuva 6.** Kaksi akselinen veitsimurskain ja sen toimintaperiaate. (Weee Directive Materials Shredder)

### 3.1.2 Seulominen

Murskatusta materiaalista halutaan erottaa eri partikkelikoot toisistaan jatkokäsittelyn helpottamiseksi. Tämä tapahtuu yleensä seuloilla. SER kierrätyksessä käytettävät seulat ovat pyöriviä yksiköitä, niin sanottuja kiertosuotimia (rotary sifter), joiden reikien läpi pienemmät partikkelit putoavat. Isommat partikkelit kulkeutuvat pyörimisliikkeen avulla seulan päähän ja putoavat sieltä pois. (Kell 2009)

### 3.1.3 Magneettinen erottelu

Seulomisen jälkeen jätteestä halutaan erottaa erilaiset materiaalit. Ensimmäisenä halutaan erottaa materiaalivirrasta rautametallit. Tähän prosessiin on olemassa useita erilaisia ratkaisuja. Kuitenkin yksi yleisimmistä ratkaisuista on käyttää matala intensiteetti magneetti erottimia (Low intensity magnetic separator). (Kell. 2009) Matala intensiteetti magneetti erottimen toiminta perustuu magneettisen rummun pyörimiseen paikallaan pysyvän magneetin ympärillä. Tästä teknologiasta on olemassa kaksi versiota. Kuiva versiota käytetään suurempien partikkelien erottamiseen ja märkää versiota, joka esitetään kuvassa 7, voidaan käyttää hienompien partikkelien erottamiseen massasta. (Metso:Outotec) Toinen vaihtoehto magneettiseen erotteluun on ripustaa magneetti roikkumaan liukuhihnan päälle (kuva 7). Liukuhihna kuljettaa murskattua SER:iä ja magneetti kerää kaikki rautametallit murskeesta ja siirtää ne toisen liukuhihnan avulla erilleen muusta materiaalista. (ASGCO)



**Kuva 7.** Vasen märkä LIMS (Metso 2015) ja oikea ripustettava magneettinen erotin (ASGCO).

### 3.1.4 Pyörrevirtaerotin

Pyörrevirta syntyy silloin kun ei-rautametallit kulkevat pyörivän magneetin ohi. Nämä pyörrevirrat luovat partikkelin ympärille magneettikentän. Kun magneettikentän ja pyörivän magneetin napaisuus ovat samat niin partikkelit hylkivät magneettia. Pyörrevirtaerottimet pohjautuvat tähän vuorovaikutukseen. Näissä pyörrevirta erottimissa materiaalia kuljetetaan liukuhihnalla, jonka alla on nopeasti pyörivä magneetti. Tämä magneetti tuottaa magneettikentän, jonka sisällä olevat johtimet tuottavat pyörrevirtoja. Pyörrevirta aiheuttaa työntövoiman magneettikentän ja johtimen välille. Tämä työntövoima vaikuttaa partikkelien lentorataan silloin kun ne poistuvat liukuhihnalta. Ei rautametallit ja epämetallit saavat näin ollen eri lentoradan ja ne pystytään erottamaan toisistaan. (Kell. 2009)

### 3.1.5 Tiheyserotin

Tiheyserottimissa käytetään monia erilaisia menetelmiä. Painovoimaan perustuva tiheys erotin erottaa materiaalit painovoiman ja ulkoisen voiman yhteisvaikutuksella. Näitä ulkoisia voimia voi olla esimerkiksi veden- tai ilmanvastus. (Kell. 2009) Märkäerotuspöydässä käytetään virtaavaa vettä erottamaan aineita toisistaan. Tässä erotusmenetelmässä alustana on kalteva taso, jossa on lapoja (riffle) liukuhihnalla. Tätä tasoa heilutetaan samalla kuin vesi virtaa sitä pitkin. Tason heiluminen saa raskaammat partikkelit liikkumaan liukuhihnalla lapojen mukana ylös, kun taas veden virtaus ottaa mukaansa kevyemmät partikkelit. (Hu et al. 2011) On myös mahdollista käyttää ilmaa veden sijasta tämän kaltaisessa tiheys erottimissa. SER:in käsittelyssä erotetaan yleensä kupari ja muita jalometalleja alumiinista. (Kell 2009)



### **3.1.6 Metallurginen erotus**

SER sisältää myös erittäin pieniä pitoisuuksia erilaisia materiaaleja, kuten harvinaisia maametalleja ja arvometalleja. Näitä ei voida edellä mainituilla prosesseilla erottaa niiden pienen pitoisuuden takia. Toimiva keino eri metallien erottamiseen toisistaan on käyttää liuotusprosessia. Tässä prosessissa haluttu materiaali liuotetaan käyttämällä kemikaaleja. Kemikaaleina voidaan käyttää esimerkiksi vahvoja happoja, halogeenejä tai muita syövyttäviä vesiliuoksia. Liotusta voidaan tehostaa lisäämällä prosessin painetta ja lämpötilaa. (Kaya 2019)

## **3.2 Tulevia teknologioita SER kierrätykseen**

Tämänhetkiset teknologiat, joita käytetään SER kierrätyksessä ovat keskittyneet lähinnä metallien erottamiseen muusta materiaalista. Myöskään metalleista ei saada talteen kaikkein pienimpiä pitoisuuksia. Tämän takia SER kierrätyksen teknologioita on tarpeen kehittää entisestään. Tässä kappaleessa käsitellään muutama lupaava kehitteillä oleva teknologia.

### **3.2.1 Elektrodynaaminen sirpaloiminen**

Ensimmäinen uusi teknologia on elektrodynaaminen sirpaloiminen (electrodynamic fragmentation). Tätä teknologiaa voidaan käyttää SER:in koon pienentämiseen. Se perustuu jännitteen viemiseen materiaalin läpi. Tämä tapahtuu asettamalla hajotettava materiaali elektrodien väliin ja johtamalla materiaaliin suuremman jännitteen kuin materiaalin läpilyöntijännite. Tämä saa aikaan materiaalin sisälle plasmakanavia, jotka lämpenevät. Lämpötilan nousu saa paineen nousemaan mikä taas saa paineaallot kulkeman materiaalin sisälle rikkoen materiaalin rakenteen. Tällä hetkelle elektronista sirpaloimista on kokeiltu lähinnä piirilevyjen kuparin erottamiseen. Kuitenkin kokeissa on huomattu, että lisäämällä energia voitaisiin piirilevyt kokonaisuudessa sirpaloida, jos prosessia toistettaisiin erilaisilla jännitteillä. (Bachér 2017)

### **3.2.2 Magneettivusteinen tiheyserotus**

Toinen lupaava teknologia on magneettivusteinen tiheyserotus. Tätä teknologiaa käytetään metallien ja epämetallien erottamiseen toisistaan. Nämä materiaalit SER käsittelyssä ovat

usein kuparia ja kultaa sekä erilaisia muoveja. Magneettiavusteinen tiheyserotus toimii periaatteessa samalla tavalla kuin märkä tiheys erotin, mutta siinä saadaan magneettisen nesteen avulla luotua hallitumpi tiheysgradientti. Erotettava materiaalivirta johdetaan kaltevalle liukuhihnalle, jonka alla oleva magneetti aiheuttaa liukuhihnan päällä olevaan nesteeseen tiheysgradientin. Liukuhihna siirtää raskaammat partikkelit liukuhihnan yläpään ja kevyemmät partikkelit virtaavat nesteen mukana liukuhihnan alapään. (Bachér 2017)

## 4 SER:IN MUOVIEN KÄSITTELY

Euroopassa SER sisältää keskimäärin 20–25 massaprosenttia muovia. Tämä massaprosentti vaihtelee huomattavasti riippuen siitä mistä SER:in tyypistä on kyse. Kuitenkin tästä huolimatta suurinta osaa muovista ei oteta talteen, vaan se viedään kaatopaikalle muun jätteen mukana. Vaihtoehtoisesti lajittelematon muovijäte voidaan lähettää poltettavaksi. Tästä muovijätteen poltosta voidaan ottaa energiaa talteen. (Huisman et al. 2008) Tulisi kuitenkin huomioida, että kierrättämällä muovi kaatopaikkahävittämisen sijaan, voitaisiin haittavaikutuksia pienentää noin neljäsosaan muovin hävittämiseen polttamalla verrattuna. Lisäksi jos kierrätettyä muovia käytetään korvaamaan uutta raakamuovia, voidaan päästä jopa kymmenesosaan alkuperäisistä haittavaikutuksista uuden muovin tuottamiseen verrattuna. (Wäger, Hischier 2015)

SER sisältää erityyppisiä muoveja. Yleensä nämä muovit ovat polypropeneja, polyuretaaneja tai teknisiä kestopuoveja. Taulukossa 4. on tarkemmin kerrottu minkä tyyppisiä muoveja SER sisältää. Näiden muovityyppien lisäksi SER muovit usein sisältävät myös lisäaineita. Näihin lisäaineisiin kuuluu erilaiset palonestoaineet ja kadmiumpohjaiset stabilointiaineet. (Huisman et al. 2008)

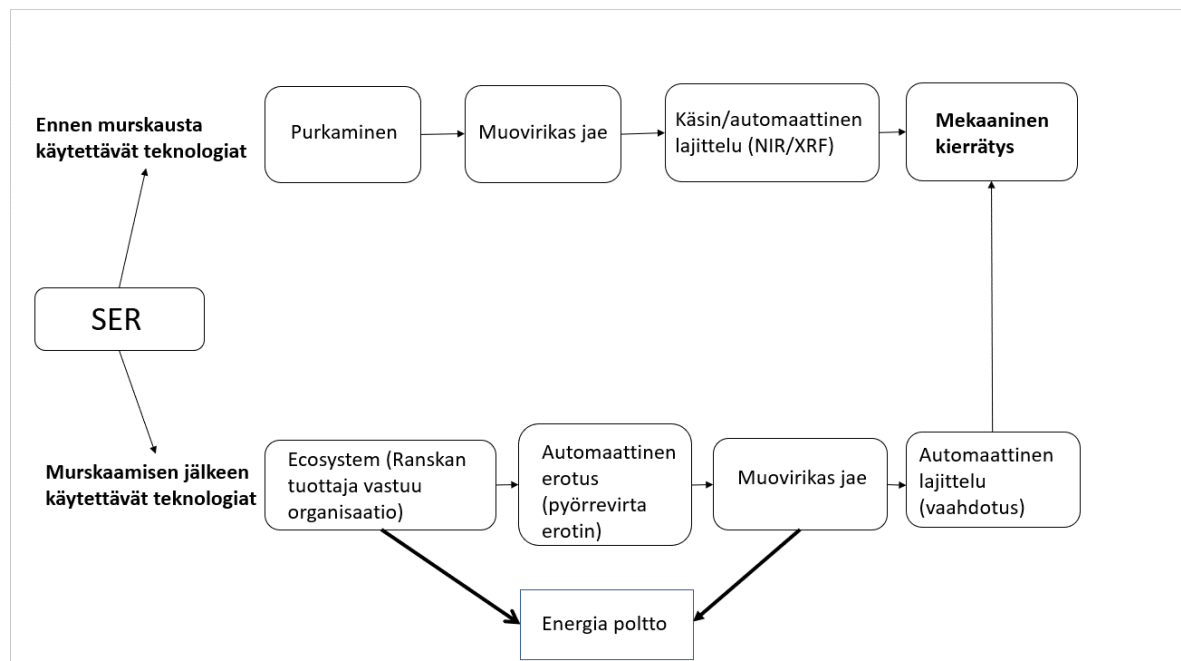
**Taulukko 4.** Eri muovilaatujen määrät ja osuudet valmistetuissa sähkö- ja elektroniikkalaitteissa Länsi-Euroopassa vuonna 2000. (Huisman et al. 2008)

Muovi tyyppi	Muovin määrä [t]	Osuus kaikesta muovista [%]
ABS	496	33
PS ja HIPS	287	19
PP	266	18
PUR	125	8
EP	55	4
PVC	54	4
PC	53	4
UP	48	3
PA	45	3
POM	26	2
PBT ja PET	19	1
PE	8	1

Lukuisten eri muovilaatujen ja lisäaineiden takia suuri ongelma SER muovien kierrätyksessä on muovien erottaminen omiksi muovityypeikseen. Tätä vaikeuttaa myös se, että eri valmistajat saattavat käyttää samoihin osiin erityyppisiä tai -laatuista muoveja. Lisäksi monet pienet osat ovat usein komposiittiosia, eli ne sisältävät useampaa kuin yhtä muovityyppiä.

(Huisman et al. 2008)

Kuvassa 8. kerrotaan kaksi vaihtoehtoista tapaa kierrättää SER:in muoveja. Ennen murskaamista tapahtuvalla purkamisella voidaan erottaa SER:istä suuret muovi osat huomattavasti pienemmällä työmäärällä, kuin murskaamisen jälkeen. Sillä jos muovit murskataan ensiksi, täytyy ne puhdistaa ja niistä poistaa ylimääräistä materiaalia useita kertoja ennekuin päästään samaan puhtauteen kuin puretut muoviosat ovat. (Huisman et al. 2008)



**Kuva 8.** Pääreitit SER muovien kierrättämiselle Ranskassa. (muokattu Huisman et al. 2008; Weeeforum)

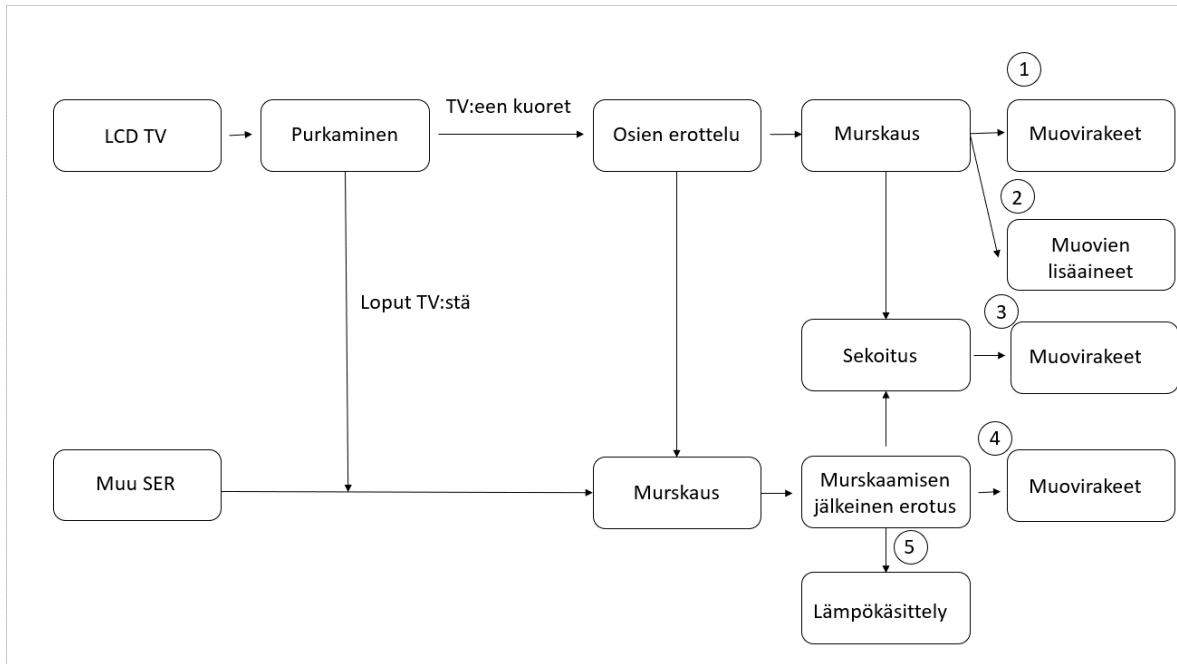
Murskatut muovit erotellaan toisistaan erilaisten fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien avulla. SER:ille toimivia erotusmenetelmiä ovat mm. upotus-kellutuserotus ja vaahdotus. Myös spektroskooppisten erottelumenetelmien käyttäminen on mahdollista. Tällaisia menetelmiä on esimerkiksi lähi-infrapuna (NIR) ja röntgenfluoresenssiin perustuva (XRF). Kuitenkin NIR perustuu infrapun heijastumiseen ja SER muovien yleensä ollessa mustia, ne absorboivat infrapunaa tehokkaasti. Tämä heikentää NIR käyttömahdollisuuksia SER

muovien erottelussa (Wagner et al. 2019a). XRF ei myöskään ole ideaalinen SER muovien erotteluun, sillä se ei pysty erottamaan eri muovityyppejä toisistaan. Tähän poikkeuksena kuitenkin PVC-muovit. (Bachér 2017)

Erottelun jälkeen erotettu muovimurske ajetaan erilaisten luokittelijoiden läpi. Lisäksi muovimursketta voidaan pestä ja kuivata. Tämä poistaa murskeesta sinne kuulumattomia partikkeleja. Näiden vaiheiden jälkeen muovimurskeessa on todennäköisesti vieläkin epäpuhtauksia, joten lopullinen epäpuhtauksien poisto tapahtuu sulasuodatuksella (melt filtration). (Wagner et al. 2019a). Sulasuodatuksessa sula muovi ohjataan pyörivien suodattimien läpi, jolloin kaikki ei-sulassa muodossa oleva materiaali jää suodattimiin (eFACTORTHREE 2021). Tässä vaiheessa voidaan myös lisätä halutut lisäaineet muovisulan sekaan. (Wagner et al. 2019a). Muovimurskeen kierrätys on monimutkaista, minkä johdosta murskatusta SER:istä kerätään yleensä talteen vain muoveja, joita löytyy suuria määriä. Näitä muoveja ovat esimerkiksi ABS, HIPS ja PP. (Wagner et al. 2019a)

Jos siis keskitytään parantamaan kuvan 8. ensimmäisen reitin kierrätystä voidaan saavuttaa parempilaatuista kierrätettyä muovia. Tämä selittyy sillä, että jos muovit erotellaan ennen murskausta, ne on helpompi erotella omiksi muovityypeikseen. Näin saavutetaan suurempi puhtaus kierrätetyille muoveille. Tähän voidaan päästä käyttämällä esimerkiksi purkamiseen perustuvaa kierrätystapaa. Tässä tavassa valituista SER laitteista elinkaarensa lopussa irrotetaan suuret muoviosat. (Wagner et al. 2019a) Tällaisia laitteita voisi olla esimerkiksi TV:n kuoret, jääkaappien lokerot ja tablettien kuoret (Wagner et al. 2019b).

Kuvassa 9. esitetään malli, kuinka purkamiseen perustuvaa mallia voitaisiin käyttää LCD TV:een muovien kierrättämiseen. Tässä mallissa numerot 1-5 ovat vaihtoehtoja sille mihin kierrätetty muovi käytetään. Vaihtoehdossa 1. korvataan uutta raakamuovia suoraan kierrätetyllä muovilla, 2. kerätään talteen arvokkaita lisäaineita muovista, 3. sekoitetaan erotettu ja murskattu muovi keskenään, 4. syötetään muovi takaisin murskaamisen jälkeiseen kierrätykseen ja 5. lämpökäsitellään muoveja, joita ei mekaanisesti saada eroteltua. (Wagner et al. 2019b)



**Kuva 9.** Malli purkamiseen perustuvasta muovien kierrättämisestä, joka on integroitu tavalliseen SER kierrätys järjestelmään. (Wagner et al. 2019a)

Purkamiseen perustuvaa muovin kierrätystä voidaan tehostaa entisestään suunnittelemalla laitteet siten, että niiden purkaminen on mahdollisimman helppoa. Tässä purkamisen suunnittelussa laitteiden kiinnikkeet valmistetaan siten, että ne mahdollistavat osien irrottamisen kierrättämistä varten, mikä saavutetaan käyttämällä älymateriaaleja tai tekemällä kehitysvaiheessa ratkaisuja mikä mahdollistaa tämän. Kun laite on suunniteltu purettavaksi, se voidaan hajottaa osiksi jonkin ulkoisen tekijän avulla. Tällainen tekijä voi olla esimerkiksi lämpö, joka saa laitteen kiinnikkeet laajenemaan, jolloin laite hajoaa osiin. (Bachér 2017)

## 5 SER KIERRÄTYKSEN TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA

SER jäte sisältää runsaasti erilaisia raaka-aineita, joita voitaisiin hyödyntää toissijaisina resursseina. Tämä niin sanottu urbaanikaivos voi sisältää noin 60 eri alkuainetta jaksollisesta järjestelmästä. (Baldé 2014) Näistä tärkeimpinä voidaan pitää arvometalleja kuten kultaa ja kuparia sekä kriittisiä raaka-aineita kuten antimoni ja vismutti. (Forti et al. 2020) Taulukossa 5 esitetään useamman raaka-aineen kriittisyys. Taulukon asteikko on rakentunut siten, että jos raaka-aineen minimisaatavuuden on arvioitu riittävän nykyisellä käytöllä alle 20 vuodeksi, on raaka-aineen saatavuus luokiteltu todella niukaksi. Jos raaka-aineen saatavuuden on arvioitu riittävän 20-40 vuotta on raaka-aineen saatavuus luokiteltu niukaksi ja raaka-aine, jolla on arvioitu saatavuus on yli 40 vuotta, on luokiteltu ei niukaksi. (Kaya 2019)

**Taulukko 5.** Joidenkin SER:istä löytyvien materiaalien niukkuus. (Kaya 2019)

Materiaali	Niukkuus	Materiaali	Niukkuus
Hopea	Todella niukka	Molybdeeni	Niukka
Kulta	Todella niukka	Vismutti	Niukka
Antimoni	Todella niukka	Niobium	Niukka
Sinkki	Todella niukka	Tantaali	Ei niukka
Arseeni	Todella niukka	Koboltti	Ei niukka
Tina	Todella niukka	Titaani	Ei niukka
Lyijy	Todella niukka	Beryllium	Ei niukka
Zirkonium	Todella niukka	Litium	Ei niukka
Elohopea	Niukka	Platinoidit	Ei niukka
Kupari	Niukka	Vanadiini	Ei niukka
Mangaani	Niukka	Kromi	Ei niukka
Nikkeli	Niukka		

Kuten taulukosta 5. nähdään, niin usean metallin on arvioitu nykykulutuksella riittävän vain noin 40 vuotta. Tästä syystä kiertotalouden kannalta olisi tärkeää saada SER:istä otettua talteen suurin osa näistä kriittisistä materiaaleista. (Kaya 2019) Tämä vähentäisi primäärikäivosten kuormitusta mikä osaltaan lisäisi näiden harvinaisten materiaalien riittävyyttä tulevaisuudessakin. (Forti et al. 2020) Lisäksi näillä materiaaleilla on rahallista arvoa ja taulukosta 6. voidaan nähdä arvio siitä kuinka paljon SER sisältää rahallisesti arvokasta materiaalia. Vuonna 2014 tämän materiaalin rahallinen arvo oli noin 48 miljardia euroa. Kun taas vuonna 2019 arvioitiin SER:in sisältävän materiaalia 57 miljardin USD edestä. Nykykursilla tämä tarkoittaisi reilua 48 miljardia euroa. Kuitenkin nämä taulukot sisältävät eri ai-

neita, joten niitä ei voi suoraan verrata keskenään. Taulukot 6. ja 7. kuitenkin auttavat hahmottamaan kuinka valtavasti SER sisältää mahdollisia sekundäärisiä raaka-aineita. Lisäksi taulukossa 8. on laskettu taulukon 7. avulla vastaavat arvot Suomessa tuotetun SER:in sisältämille sekundäärisille raaka-aineille. Taulukkojen arvot ovat arvioita ja niissä oletetaan 100 prosentin ideaalinen kierrätysaste, joten näin korkeisiin summiin ei todellisuudessa tultais pääsemään. (Forti et al. 2020)

**Taulukko 6.** Arvio SER:in sisältämästä materiaalin arvosta globaalisti vuonna 2014. (Baldé et al. 2015)

Materiaali	Määrä (kt)	Arvo (miljoonaa EUR)
rauta/teräs	16500	9000
kupari	1900	10600
alumiini	220	3200
kulta	0,3	10400
hopea	1	580
palladium	0,1	1800
muovi (PP,ABS,PC,PS)	8600	12300

**Taulukko 7.** Arvio SER sisältämästä materiaalin arvosta globaalisti vuonna 2019 (Forti et al. 2020)

Materiaali	Määrä (kt)	Arvo (miljoonaa USD)	Arvo (miljoonaa EUR)	Määrä (kt)	Määrä (kt)	Arvo (miljoonaa USD)	Arvo (miljoonaa EUR)
Hopea	1,2	579	521,1	Indium	0,2	17	15,3
Alumiini	3046	6062	5455,8	Iridium	0,001	5	4,5
Kulta	0,2	9481	8532,9	Osmium	0,01	108	97,2
Vismutti	0,1	1,3	1,17	Palladium	0,1	3632	3268,8
Koboltti	13	1036	932,4	Platina	0,002	71	63,9
Kupari	1808	10960	9864	Rodium	0,01	320	288
Rauta	20466	24645	22180,5	Rutenium	0,0003	3	2,7
Germanium	0,01	0,4	0,36	Antimoni	76	644	579,6



**Taulukko 8.** Arvio SER sisältämästä materiaalin arvosta Suomessa vuonna 2019. Laskettu vuotuisen SER:in tuotantomäärien ja taulukon 7. avulla.

Materiaali	Määrä (t)	Arvo (tuhatta EUR)	Materiaali	Määrä (t)	Arvo (tuhatta EUR)
Hopea	2,46	1069,42	Indium	0,41	31,40
Alumiini	6251,12	11196,60	Iridium	0,00	9,24
Kulta	0,41	17511,55	Osmium	0,02	199,48
Vismutti	0,21	2,40	Palladium	0,21	6708,36
Koboltti	26,68	1913,51	Platina	0,00	131,14
Kupari	3710,45	20243,28	Rodium	0,02	591,04
Rauta	42001,12	45519,68	Rutenium	0,00	5,54
Germanium	0,02	0,74	Antimoni	155,97	1189,48

Mahdollisten talteenotettavien materiaalien lisäksi SER:in taloudellista näkökulmaa miettiessä täytyy tarkastella itse kierrätyksestä aiheutuvia kuluja. Lisäksi voidaan tarkastella miten nämä kulut jakautuvat eri SER kierrätyksen osapuolille.

On myös huomattu, että SER kierrätyksestä aiheutuu niitä kierrättäville yrityksille lisäkuluja, jos ne noudattavat SER kierrätykselle asetettuja standardeja. Yritykset voivat säästää taulukon 9. mukaisesti kierrätyskustannuksissa, jos ne eivät noudata SER kierrätykselle asetettuja määräyksiä. Tämä antaa niille yrityksille, jotka eivät noudata annettuja suosituksia ja määräyksiä suuren kilpailullisen edun. (Forti et al. 2020)

**Taulukko 9.** Mahdolliset säästöt per tonnia laiteromua kohden, jos yritys ei noudata standardeja. (Forti et al. 2020)

Laite	Lämmitys- ja jääkaappilaitteisto	Suuret kodinkoneet	Pienet kodinkoneet
Säästö (USD)	220	130	290

Itse kierrätyksen kustannuksien lisäksi SER:in kierrättämiseen liittyy usein kuluja myös kuluttajille. Näihin kuluihin yleensä kuuluvat kierrätysmaksut, kuljetusmaksut ja kulut SER:in poistamisesta niiden käyttökohteista. Taulukossa 10. nähdään esimerkki siitä millaisia nämä kulut voivat olla. Taulukon luvut ovat Japanista ja ne voivat vaihdella huomattavasti maittain.

**Taulukko 10.** Taulukko joidenkin laitteiden kierrätyksestä aiheutuvista kuluista kuluttajille. Japani 2016. Alkuperäiset arvot japanin jeneinä JPY muutettu Euroiksi EUR kertoimella 1 EUR = 122 JPY. (Khan et al. 2020)

<b>Tuote</b>	<b>Kierrätysmaksu per laite (EUR)</b>	<b>Kuljetus kulut (EUR)</b>	<b>Kodista poistamisesta aiheutuvat kulut (EUR)</b>
ilmastointilaite	8	4--25	25--164
TV (alle 15 tuumaa)	15	4--25	25--164
Tv (yli 16 tuumaa)	24	4--25	25--164
jääkaappi (alle 170 litraa)	30	4--25	25--164
jääkaappi (yli 170 litraa)	38	4--25	25--164
pesukone	20	4--25	25--164
tietokone	25--33		

## YHTEENVETO

Sähkö- ja elektroniikkaromu on nopeinten kasvava jätteen laji. Globaalisti sitä tuotettiin vuonna 2014 noin 41,8–44,1 miljoonaa tonnia ja vuonna 2019 noin 53,8 miljoonaa tonnia. Näistä luvuista voidaan huomata, kuinka nopeasti SER:in tuotanto on kasvanut vain viidessä vuodessa. Onkin arvioitu, että tuotetun SER:in määrä tulee olemaa vuonna 2030 yli 74 miljoonaa tonnia. SER:in tuotanto jakautuu mantereiden välille siten, että määrällisesti eniten SER:iä tuottaa Aasia ja eniten henkilöä kohden Eurooppa. Kuitenkin Euroopassa on globaalisti paras kierrätysaste. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että Euroopan unionin alueella vallitsee SER:in kierrätystä koskeva direktiivi. Tämä direktiivi velvoittaa kaikkia jäsenvaltioita valvomaan SER:in kierrätystä. Lisäksi direktiivi asettaa kaikille jäsenille 65% kierrätysastetavoitteen. Kuitenkin todellisuudessa Euroopan kierrätysaste on tätä pienempi, noin 42,5%. Muualla maailmassa tämä kierrätysaste on pienempi usein puutteellisen lainsäädännön tai sen valvonnan puutteellisuuden vuoksi. Toinen vaihtoehto sille, miksi kierrätysaste on pienempi, on SER:in kierrätykseen tarvittavan infrastruktuurin puutteellisuus. Tämä infrastruktuuri on kallista ja usein sen puutteellisuus johtuu haluttomuudesta investoida siihen. Kaiken tämän lisäksi pohjoiselta pallonpuoliskolta viedään SER:iä laittomasti eteläiselle pallonpuoliskolle. Tämän salakuljetetun SER:in määrän arvioidaan olevan 7-20% tuotetusta SER:istä.

Suomessa SER:iä tuotettiin vuonna 2019 noin 110 000 tonnia. Tämä tarkoittaa 19,8 kg SER:iä asukasta kohden vuodessa. Vuonna 2017 SER:iä kuitenkin kerättiin vain 65 000 kiloa. Onkin siis arvioitu, että vain noin puolet Suomessa tuotetusta SER:istä kerätään virallisia kierrätyskanavia pitkin.

SER voi sisältää jopa 1000 erilaista ainetta ja ne voivat muodostua 60 eri alkuaineesta. Massallisesti suurin osa SER:in sisältämästä materiaalista ovat erilaisia metalleja. Näistä metalleista ylivoimaisesti suurin osa on rautaa ja terästä. Metallien jälkeen muovit ovat toiseksi yleisin materiaali SER:issä. Kuitenkin SER:in materiaali jakauma voi vaihdella huomattavasti riippuen siitä minkä tyyppisistä laitteista se on peräisin.

Osa SER:in sisältämistä aineista on haitallisia ihmisille tai ympäristölle. Useimmiten nämä haitta-aineet ovat raskasmetalleja, partikkeleita tai muovien lisäaineita. Raskasmetalleja SER:issä on esimerkiksi lyijy, jota löytyy akuista ja valokennoista. Muovien lisäaineena voi olla esimerkiksi bromi, jota käytetään palonestoaineena muoveissa.

Tällä hetkellä SER:in kierrätys keskittyy lähinnä siihen, kuinka metallit saataisiin erotettua SER:istä. Tässä kierrätyksessä voidaan erottaa kolme vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa SER lajitellaan ja puretaan manuaalisesti. Tämän jälkeen siirrytään toiseen vaiheeseen, joka on SER:in koon pienentäminen materiaalien erottelun helpottamiseksi. Tämä koon pienentäminen tapahtuu yleensä erilaisilla murskaimilla ja silppureilla. Kun materiaali on saatu murskattua, se seulotaan, jolloin saadaan tasaisempi kokojakauma. Kolmannessa vaiheessa murskatusta SER:istä erotetaan halutut materiaalit. Tämä on monivaiheinen prosessi ja jokaiselle halutulle materiaalille on oma erotusmenetelmänsä.

SER:in kierrätyksessä muovit yleensä jätetään huomioimatta. Muovit siis joko viedään kaatopaikalle muun jätteen mukana tai poltetaan energiaksi. Kuitenkin jos, muovi kierrätettäisiin, voitaisiin saavuttaa 75% pienemmät haittavaikutukset energiapoltoon nähden ja jos kierrätetyllä muovilla korvataan uutta raakamuovia, voidaan saavuttaa jopa 90% pienemmät haittavaikutukset.

SER sisältää lukuisia eri muoveja ja nämä muovit voivat olla seoksissa keskenään. Tämä vaikeuttaa muovien kierrätystä, sillä muovit tulee ennen kierrätystä saattaa omiksi muovityypeikseen. Tähän voisi olla ratkaisuna laitteiden suunnittelu siten, että ulkoisen tekijän avulla laite saataisiin purettua helposti osiin. Näin puretuista laitteista on helpompi tunnistaa ja erotella muovityypit. Muoviosat voidaan tämän jälkeen kierrättää suoraan uudeksi muoviksi ilman työllistävää muovin erotteluvaihetta.

Osa SER:in sisältämistä aineista on niin sanottuja kriittisiä raaka-aineita. Näiden aineiden riittävyys nykykulutuksella on arvioitu riittävän vain noin seuraavat 40 vuotta. Tästä syystä on tärkeää saada kierrätettyä näitä raaka-aineita takaisin SER:istä. Lisäksi SER sisältää myös arvometalleja. Onkin siis arvioitu, että vuonna 2014 tuotettu SER sisälsi noin 48 miljardin euron edestä materiaaleja. Vuonna 2019 tuotettu SER sisältää pelkkiä metalleja 48 miljardin

euron edestä. Näin ollen SER on valtava materiaalivarasto, jonka hyödyntämisellä voitaisiin saavuttaa suuretkin rahalliset hyödyt.

## LÄHTEET

ASGCO, magnetic separator, [viitattu 20.03.2021] [saatavilla] <https://www.asgco.com/products/magnetic-separator/>

Bachér, J. Yli-Rantala, E. Castell-Rüdenhausen, M. Mroueh, U-M. 2017. ” Future Trends in WEEE Composition and Treatment - A Review Report”. [saatavilla] <http://arvifinalreport.fi/files/D2.3-2%20and%20D4.2-6%20Review%20report%20on%20WEEE%20composition%20and%20treatment.pdf>

Baldé CP, Wang F, Kuehr R & Huisman J (2015) The global e-waste monitor 2014: Quantities, flows and resources. Bonn, Germany, United Nations University, IAS – SCYCLE [saatavilla] <https://i.unu.edu/media/ias.unu.edu-en/news/7916/Global-E-waste-Monitor-2014-small.pdf>

Buekens, A. ja Yang, J. 2014.” Recycling of WEEE plastics: a review”. Journal of Material Cycles and Waste management, 16, 415-434.

Circhubs. 2018. Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER). [viitattu 03.03.2021] [saatavilla] <https://circhubs.fi/tietopankki/sahko-ja-elektroniikkaromu-ser/>

eFACTORTHREE, 2021,” CONTINUOUS MELT FILTRATION”. [viitattu 05.05.2021] [saatavilla] <https://efactor3.com/melt-filtration/>

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/96/EY, annettu 27 päivänä tammikuuta 2003, sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta [saatavilla] [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0006.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0006.02/DOC_1&format=PDF)

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2012/19/EU, annettu 4 päivänä heinäkuuta 2012, sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta (uudelleenlaadittu). [saatavilla] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0019>

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. [Saatavilla] [https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM\\_2020\\_def.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf)

Hammer mill Z15 for scrap metal recycling [viitattu 21.03.2021] [saatavilla]  
<https://www.elega.lt/en/hammer-mill-z15-for-scrap-metal-recycling>

HU, B. Giacometti, L. Di Maio, F. Rem, P. 2011. “Recycling of WEEE by Magnetic Density Separation “.

Huisman, J. Maglini, F. Kuehr, R. Maurer, C. Ogilvie, S. Poll, J. Delgado, C. Artim, E. Szlezak, J. Stevels, A. 2008. “2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)”

Kaya, M. 2019 “Electronic Waste and Printed Circuit Board Recycling Technologies” Springer International Publishing, ISBN 978-3-030-26593-9.

Kell, D. 2009. “Recycling and Recovery”. Electronic Waste Management. RSC publishing ISBN 978-0-85404-112-1

Khan, A. Inamuddin. Asiri, A. M. 2020. ” E-waste Recycling and Management Present Scenarios and Environmental Issues”. Environmental Chemistry for a Sustainable World. Springer International Publishing, ISBN 978-3-030-14183-7

Metso, “Fine-shredders” [viitattu 21.03.2021] [saatavilla] <https://www.metso.com/products/shredders/waste-shredders/fine-shredders/>

Metso. 2015.” Wet low intensity magnetic separators”. [viitattu 29.03.2021] [saatavilla] [https://www.mogroup.com/globalassets/saleshub/documents---episer-ver/lims\\_iron\\_ore\\_brochure-en.pdf](https://www.mogroup.com/globalassets/saleshub/documents---episer-ver/lims_iron_ore_brochure-en.pdf)

Metso:Outotec, Lims magnetic separators (LIMS) For dry and wet processing. [viitattu 21.03.2021] [saatavilla] <https://www.mogroup.com/portfolio/lims-magnetic-separators/>

SER-kierrätys, 2012,” Mitä kerätyille laitteille tapahtuu?”[viitattu 04.03.2021] [saatavilla] <http://www.serkierratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-kerätyille-laitteille-tapahtuu>

Weee Directive Materials Shredder - Electronic Scrap – <https://genoxtech.en.made-in-china.com/productimage/BXIJgKbCZhpX-2f1j00BdganyTcEMpW/China-Electronic-Scrap-ndash-Weee-Directive-Materials-Shredder.html>

Wagner, F. Peeters, J.R. De Keyzer, J. Janssens, K. Duflou, J.R. Dewulf, W. 2019a.” Towards a more circular economy for WEEE plastics – Part A: Development of innovative recycling strategies”.

Wagner, F. Peeters, J.R. De Keyzer, J. Janssens, K. Duflou, J.R. Dewulf, W. 2019b.” Towards a more circular economy for WEEE plastics – Part B: Development of innovative recycling strategies”.

Weeeforum. “ecosystem”. [viitattu 05.04.2021] [saatavilla] [https://weee-forum.org/ws\\_members\\_map/ecosystem/](https://weee-forum.org/ws_members_map/ecosystem/)

Wäger, P. Hischer, R. 2015.” Life cycle assessment of post-consumer plastics production from waste electrical and electronic equipment (WEEE) treatment residues in a Central European plastics recycling plant”.



## **LIITTEET**

Liite 1. Euroopan parlamentin direktiivin liite 1 A. 2002/96/EY

**Tämän direktiivin soveltamisalaan kuuluvat sähkö- ja elektroniikkalaitteiden luokat**

1. Suuret kodinkoneet
2. Pienet kodinkoneet
3. Tieto- ja teletekniset laitteet
4. Kuluttajaelektroniikka
5. Valaistuslaitteet
6. Sähkö- ja elektroniikkatyökalut (lukuun ottamatta suuria, kiinteitä teollisuustyökaluja)
7. Lelut, vapaa-ajan- ja urheiluvälineet
8. Lääkinnälliset laitteet (lukuun ottamatta siirteitä ja infektoituvia tuotteita)
9. Tarkkailu- ja valvontalaitteet
10. Automaatit