



Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa

Prizztech Oy

Megumi Asano-Ulmonen, Minna Haavisto
25.6.2020



SATAKUNTALIITTO

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	2
2.	SER:n toimintaympäristö Suomessa	3
2.1.	SER ja tuottajavastuujärjestelmä.....	3
2.2.	SER:n määrä ja virrat (liikenne) Suomessa	5
2.3.	SER:n luokittelu ja koostumus	8
2.4.	SER:n sisältämät teknologia- ja kriittiset metallit	9
3.	SER käsittely ja hyödyntäminen.....	14
3.1.	SER käsittely eri materiaali-jakeiksi	15
3.2.	SER käsittelyn toimijat Satakunnassa.....	17
3.3.	SER peräisten jakeiden hyödyntäminen metallien tuotannossa ja jalostuksessa	19
3.4.	SER uusioraaka-aineiden nykyiset ja potentiaaliset hyödyntäjät Satakunnassa.....	21
4.	SER kierrätyksen ja hyödyntämisen ekosysteemit ja muut merkittävät toimijat.....	23
5.	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	28
	Lähteet.....	30

1. Johdanto

Yhteiskunta sähköistyy, kun tuotamme ja kulutamme yhä suuremman osan energiastamme sähköä. Sähkön tuotantoon ja kulutukseen tarvittavien laitteiden kysyntä kasvaa samoin kuin niiden valmistamiseen tarvittavien metallienkin. Kasvavaan kysyntään vastaaminen vaatii metalliteollisuudelta valmiutta siirtyä yhä enemmän hyödyntämään myös sekundäärisiä raaka-ainelähteitä. Yksi tällainen kierrätysraaka-ainelähde on lisääntyvä sähkö- ja elektroniikkaromu. Satakunnassa toimii vahva teknologiametallien, metallikemikaalien ja -komponenttien valmistukseen keskittynyt teollisuusklusteri, jolle yhteiskunnan sähköistyminen tuo kasvun mahdollisuuksia. Raaka-aineiden saatavuuden varmistaminen on yrityksille kasvun perusedellytys (kuva 1).

Metallien kierrätyksellä on pitkä historia. Kestävän kehityksen ja kiertotalouden kannalta teknologiametallien kierrätyksellä on hyvin merkittävä rooli nykymarkkinoilla. Elektroniikkalaitteiden käyttö on voimakkaasti kasvanut ja sen mukana myös elektroniikkajätteen määrä (kuva 2). Elektroniikkajätteen sisältämien raaka-aineiden arvo globaalisti on arvioitu vuonna 2016 olevan noin 55 miljardia euroa, mutta vain 20% syntyvästä elektroniikkajätteestä päätyy asianmukaiseen kierrätykseen. (Baldé et al. 2017) Elektroniikkalaitteista löytyy erilaisia metalleja, magneetteja, muovia, lasia ja myös haitalliseksi luokiteltua aineita. Näiden kierrätystä kutsutaan myös moderniksi kaivostoiminnaksi (urban mining). Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) on yksi voimassa olevan valtakunnallisen jätesuunnitelman painopistealueista. (Ympäristöministeriö 2017)

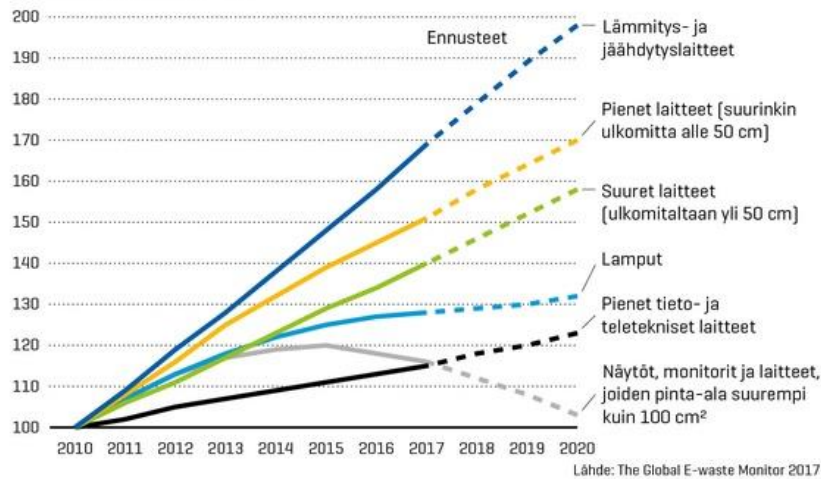
SER:n elinkaari synnystä loppusijoitukseen on esitetty kuvassa 3. Tässä raportissa käsitellään SER:n prosessointia, joka on kuvan oikealla puolella. Selvityksen tavoitteena on koota tietoa SER-jätteen käsittelytoiminnasta ja kuvata Satakunnan alueen SER kierrätyksen nykytilaa. Selvitystyö on toteutettu osana Satakuntaliiton ja EU:n aluekehitysrahaston rahoittamaa Kriittisten kierrätysmetallien koetehdaskonsepti-hanketta. Raportin kirjoittamisesta ovat vastanneet Megumi Asano-Ulmonen ja Minna Haavisto.



Kuva 1 Tehokkaampi kierrätys tarjoaa Satakunnan teknologiametalliklusterille yhden mahdollisuuden vastata voimakkaasti kasvavaan metallien kysyntään.

Elektroniikkajätteen määrän kehitys

Indeksoitu kehitys, 2010 = 100



Kuva 2 Elektroniikkajätteen määrän kehitys (Tervola 2020)



Kuva 3 Sähkö- ja elektroniikkalaiteromun keräys, logistiikka ja prosessointi. (CENELEC 2017)

2. SER:n toimintaympäristö Suomessa

2.1. SER ja tuottajavastuujärjestelmä

Sähkö- ja elektroniikkalaitteet kuuluvat tuottajavastuun piiriin. Tuottajavastuun perusperiaatteiden mukaan tuotteen tuottajan (eli tuotteen valmistajan tai maahantuojan) on huolehdittava markkinoille laskemiensa tuotteiden jätehuollon järjestämisestä ja sen aiheuttamista kustannuksista. Käytännössä tuottajan velvollisuudet hoidetaan kuulumalla tuottajayhteisöön. Sähkö- ja elektroniikka-alan hyväksytyjä tuottajayhteisöjä on viisi: ERP Finland ry, SER-Tuottajayhteisö ry, SELT ry, ICT-Tuottajaosuuskunta Ty ja Flip ry. Tuottajavastuun piiriin kuuluvat sähkö- ja elektroniikkalaitteiden lisäksi ajoneuvot, akut ja paristot, sekä pakkaukset. Valvova viranomainen Suomessa Ahvenanmaata lukuun ottamatta on Pirkanmaan ELY-keskus.



Kuva 4 SER:ä koskeva toimintaympäristö Suomessa Tuottajavastuujärjestelmän näkökulmasta (Hietala 2018)

Tuottajayhteisöillä on sopimuksia laitteiden vastaanottopisteiden, logistiikkayritysten, sekä käsittelylaitosten kanssa. SER:n keräys, kuljetus ja käsittely hoidetaan näiden kautta ja tuottajayhteisöt maksavat näille operaattoreille vastaanotto-, kuljetus- ja käsittelymaksua. SER lajitellaan ja esikäsittelyssä erotellaan muun muassa vaaralliset aineet. Käsittelyprosessissa romu jaotellaan murskaus-, lajittelu- ja erottelumenetelmin useisiin jakeisiin, jotka toimitetaan edelleen jatkojalostettaviksi ja hyödynnettäviksi. Käsittelytujen SER jakeiden myyntituotto jaetaan tuottajayhteisön ja käsittelylaitoksen kesken. Tuottajayhteisöt raportoivat markkinoille toimitetuista elektroniikkalaitteiden määrästä sekä keräystä, käsittelystä ja hyödynnetyistä SER:n määrästä valvovalle viranomaiselle, joka puolestaan raportoi kansallisesta tilanteesta Euroopan Unionille.

SELT ry:llä, ICT-Tuottajaosuuskunta Ty:llä ja Flip ry:llä on yhteinen palveluyhtiö Elker Oy. Elker Oy huolehtii tuottajayhteisöjen sekä tuottajayhteisöjen kanssa siirtosopimuksen tehneiden tuottajien puolesta tuottajavastuun velvoitteista. Elker Oy:n liikevaihto v. 2018 oli 569 000 euroa.

ERP Finland ry:n palvelut tuottaa vastaavasti ERP Services Finland Oy. ERP Services Finland Oy on ERP SAS:n tytäryhtiö ja osa Landbell Groupia. Landbell Group on Saksan Mainzissa perustettu perheomisteinen yritys, joka tarjoaa ympäristön ja kemikaalien vaatimustenmukaisuusratkaisuja ja konsultointia maailmanlaajuisesti. ERP Services Finland Oy:n liikevaihto v. 2018 oli 2,9 milj. euroa. ERP Finland ry on sekä SER että kannettavien akkujen ja paristojen tuottajayhteisö, joka toimii Euroopan laajuisesti. ERP Services Finland Oy toimii myös valtuutettuna edustajana elektroniikkalaitteiden EU-etämyyjille.

SER-tuottajayhteisö ry SERTY on voittoa tavoittelematon palveluorganisaatio, joka varmistaa jäsentensä SER-laitteiden kierrätyksestä ja toimittamisesta jatkokäsittelyyn. SERTY vastaa jäsentensä puolesta SE-romun keräyksestä ja kuljetuksesta.

2.2. SER:n määrä ja virrat (liikenne) Suomessa

Vuonna 2017 sähkö- ja elektroniikkalaiteromua (SER) päätyi tuottajavastuujärjestelmän keräykseen yli 65 000 tonnia. Tuottajien järjestämään keräykseen päätyvä sähkö- ja elektroniikkalaiteromu hyödynnetään lähes kokonaan. Pieni osuus (1,2%) sähkö- ja elektroniikkalaiteromua päätyy kotitalouksista sekajätteeseen (Koostumustietopankki 2017). Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu sisältää koostumuksensa ansiosta paljon hyödyntämispotentiaalia. Tätä kuvataan tarkemmin luvussa 2.3.

Taulukossa 1 on esitetty viimeisin saatavilla oleva SER:n keräystilasto vuodelta 2017. Uuden SER asetuksen (VNa 519/2014) myötä 15.8.2018 tuli voimaan uusi laiteluokitus. Kymmenestä laiteluokasta on siirrytty kuuteen laiteluokkaan, mikä vastaa paremmin SE-romun keräys- ja käsittelykäytäntöä. Vuosi 2019 raportoidaan uusien laiteluokkien mukaisesti. Tämän raportin kirjoitushetkellä vuoden 2019 tilastoa ei ollut vielä saatavilla.

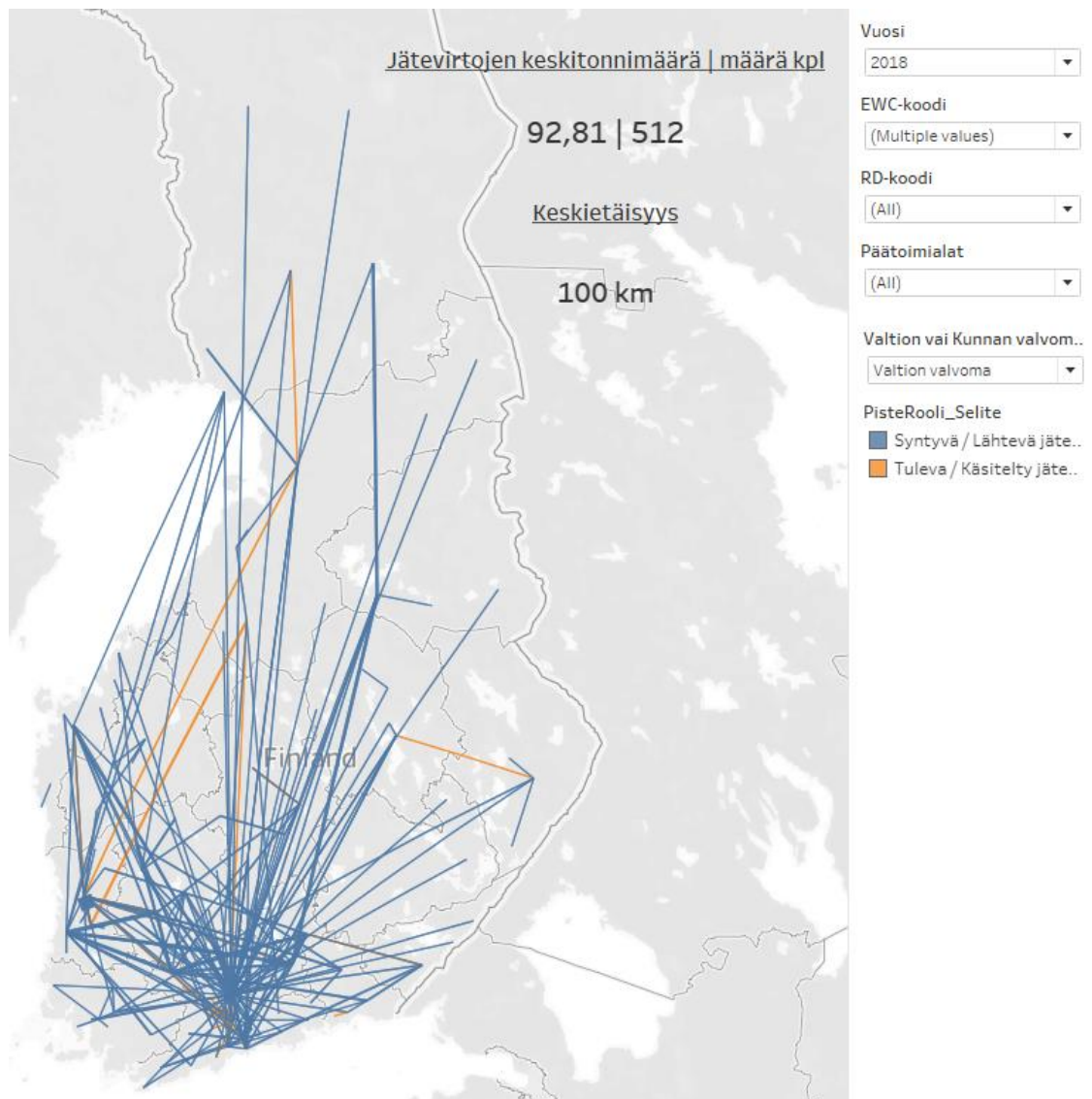
Taulukko 1 SER tilasto v. 2017 (Pirkanmaan ELY-keskus 2019)

VUOSI 2017	Kotimaan markkinoille toimitettu	Kotitalouksilta kerätty	Muista kuin kotitalouksilta kerätty	Uudelleenkerätty (kokonaisuutena)	Uudelleenkerätty (osina)	Kierrätetty (materiaalina hyödynnetty)	Energiana hyödynnetty	Loppusijoitettu (esim. kaatopaikka)	Käsittely Suomessa	Käsittely EU:ssa	Käsittely EU:n ulkopuolella
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
Suuret kodinkoneet (1)	68 583	32 369	2 070	216	0	29 834	2 373	1 944	31 486	2 871	0
Pienet kodinkoneet (2)	7 342	2 686	84	41	0	2 503	23	200	2 746	22	0
Tieto- ja teletekniset laitteet (3)	14 781	5 275	6 391	2 241	2	8 780	96	544	10 588	1 033	41
Kuluttajaelektroniikka (4)	8 251	11 508	1 311	145	0	11 710	105	856	12 670	146	0
Valaistuslaitteet (5)	9 925	1 024	21	48	0	904	8	81	1 041	2	0
Lamput * (5a)	1 117	948	26	0	0	877	57	41	974	0	0
Sähkö- ja elektroniikkatyökalut (6)	7 968	705	19	2	1	680	5	39	715	6	0
Lelut, vapaa-ajan- ja urheiluvälineet (7)	1 252	151	5	1	0	145	2	8	153	2	0
Terv.huollon laitteet ja tarvikkeet (8)	853	53	136	0	0	169	1	18	179	9	0
Tarkkailu- ja valvontalaitteet (9)	3 711	71	49	0	0	107	4	11	117	3	0
Automaatit (10)	511	0	502	51	0	400	14	22	471	15	0
Yhteensä	124 294	54 791	10 614	2 745	4	56 108	2 688	3 763	61 140	4 109	41

Tuottajavastuulain mukainen raportointi vuodelta 2017 kertoo, että 61 140 tonnia (93,6 %) SER:sta käsiteltiin Suomessa, 4 109 tonnia (6,3 %) käsiteltiin muualla EU:ssa ja 41 tonnia (0,1 %) EU:n ulkopuolella. Tässä yhteydessä ”käsittely”-termi ilmeisesti sisältää myös esikäsittelyn, kuten SER:n lajittelun mikä tapahtuu tyypillisesti jo vastaanottopisteissä. SER:n käsittelyketju voi olla hyvinkin monimutkainen. Siinä on monta toimijaa ja rajoja ylittäviä materiaalien siirtoja. EU:ssa SER:n keräys, käsittely ja siirto ovat hyvin tarkkaan säädeltyjä lainsäädännöllä.

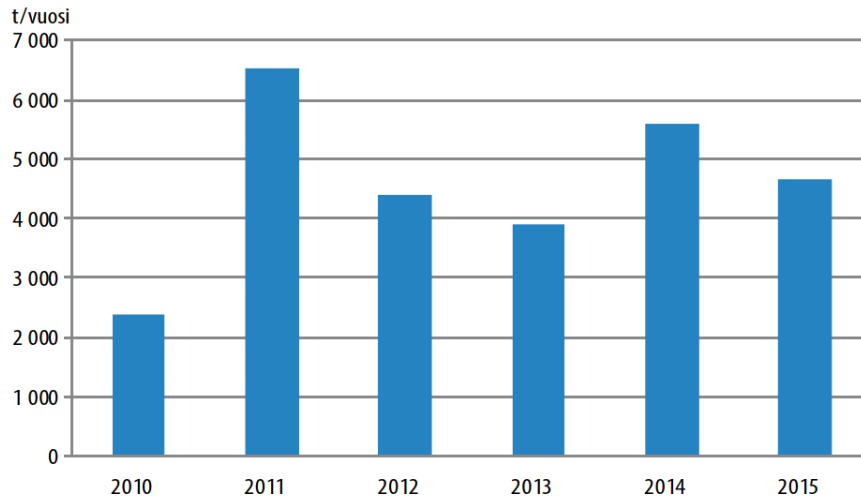
Valvontaviranomaisten ylläpitämästä YLVA-tietokannasta on mahdollista saada valvonnan alaisten jätevirtojen Suomen sisäisiä liikkeitä kartalle. Kuvassa 5 on visualisoitu valtion valvoman ”sähkö- ja elektroniikkalaitteiden ja muiden laitteiden jätteet” (1602XX) -jäteluokan liikkeitä vuodelta 2018. Kartassa on sekä lähteväksi että tulevaisu kirjattuja virtoja, jotka ovat useimmiten päällekkäin. Kartan piste vastaa valvotun laitoksen sijaintikunnan maantieteellistä keskipistettä. YLVA-tietokantaan oli kirjattu 512 kpl kyseisen jäteluokan siirtoa vuonna 2018. Lähteväksi kirjattujen virtojen kokonaispaino oli 47 517 tonnia ja lähetettävien laitosten määrä oli 280 kpl. Siirtojen keskietäisyys oli 100 km. (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2020)

Kartasta on havaittavissa SER käsittelylaitosten ja logistiikkakeskusten keskittymiä, kuten Pori, Eurajoki, Forssa, Riihimäki, Lahti ja Vantaa.



Kuva 5 YLVA tietokannasta saatu SER virtojen visualisointi (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2020)

Sähkö- ja elektroniikkalaiteromua viedään Suomesta materiaalina hyödynnettäväksi ulkomaille mm. Viroon ja Ruotsiin, tyypillisesti 4 000-6 000 tonnia vuodessa (kuva 6). Tämän viennin sisältö on oletettavasti arvometalleja sisältävä piirikorttijae ja käytetyt komponentit. SER:n tuonti on vähäistä. Lisäksi SER:sta peräisin olevia materiaali-jakeita, enimmäkseen puhtaita metalleja, viedään käsittelylaitoksilta kierrätysmetallimarkkinoille.



Kuva 6 Sähkö- ja elektroniikkalaiteromun vientimäärät vuosina 2010-2015 (Ympäristöministeriö 2017)

On arvioitu (Toppila 2011), että vuosina 2008-2009 virallisen tuottajavastuujärjestelmän keräykseen päättyi noin 50-60 % Suomen SER:sta. SER:a koskevan valtioneuvoston asetuksen mukaan tuottajien on huolehdittava siitä, että vuodesta 2019 alkaen SER:n keräysaste on vähintään 65 %. Merkittävä osa SER:sta päättyy virallisen keräysjärjestelmän ulkopuolelle. Virallisen keräysjärjestelmän ulkopuolelle päättyvät SER-virrat voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti:

1. Jätehuolto-operaattoreiden tai metalliromutoimijoiden keräämä jäte (ohi tuottajavastuujärjestelmän esim. yrityssopimuksella), kuitenkin asianmukaisella ympäristöluvalla
2. Luvaton SER keräys laitospäivästä tai ansaintamielessä (myös varastelu keräyspisteistä), josta
 - a. Osa päättyy välityksellä luvalliselle käsittelijälle
 - b. Osa päättyy luvattomaan käsittelyyn ja materiaalin kierrätykseen
 - c. Osa viedään luvattomasti ulkomaille
3. Sekajätteen joukossa kaatopaikalle päättyvä SER
4. Kuluttajien hamstraamat ja varastoidut elektroniikkalaitteet

Yllä mainittujen SER virtojen määriä on miltei mahdotonta arvioida. Erityisenä ongelmana pidetään SER:n laitonta vientiä "käytettyinä laitteina" kolmansiin maihin varaosiksi tai materiaalina hyödynnettäväksi. Kehitysmaissa tapahtuvan käsittely- ja kierrätystoiminnan taso on useimmiten puutteellista (Härri 2013). Nämä SER keräys- ja käsittelyvirrat on koottu yhteen kuvaan (kuva 7) havainnollistamaan kokonaisuutta. Saatavilla oleva tilastotieto kattaa vain osan SER:n kokonaismäärästä. Kuvatut osuudet ovat siis vain viitteellisiä, koska epävirallisten SER-virtojen määristä ei ole saatavilla luotettavaa tietoa.



Kuva 7 SER keräys- ja käsittelyvirtojen yleiskuvaus, kuvatut osuudet viitteellisiä

2.3. SER:n luokittelu ja koostumus

SER asetus (VNa 519/2014) luokittelee romun kuuteen laiteluokkaan, jotka vastavat SER:n keräys- ja käsittelykäytäntöjä. Nykyinen, vuoden 2018 kesästä voimassa ollut SER:n luokitus (EU-6) on seuraavaa.

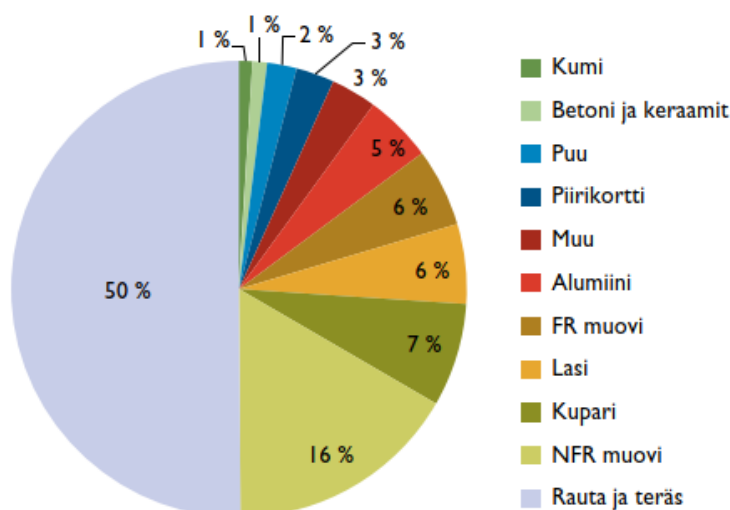
- Lämmitys- ja jäähdytyslaitteet**
Jääkaapit, pakastimet, kylmäautomaatit, ilmastointilaitteet, kuivauslaitteet, lämpöpumput, öljylämmittimet ja muut lämpötilan muuttamiseen käytettävät laitteet, joissa käytetään muuta nestettä kuin vettä lämpötilan muuttamiseen.
- Näyttöpäätteet, monitorit ja laitteet, joiden näyttöpäätteet ovat pinta-alaltaan suurempia kuin 100 cm²**
Näyttöpäätteet, televisiot, LCD-valokuvakehykset, monitorit, kannettavat tietokoneet ja sylimikrot.
- Lamput**
Loisteputket, pienloistelamput, loistelamput, korkeatehoiset purkauslamput, mukaan luettuina painenatriumlamput ja metallihalidilamput, matalapaineiset natriumlamput, LED-lamput.
- Suuret laitteet (joltain ulkomitaltaan yli 50 cm), kuten kodinkoneet, tieto- ja teletekniset laitteet, kuluttajaelektronikka, valaisimet, äänen- tai kuvantoistolaitteet, soittimet, sähkö- ja elektroniikkatyökalut, lelut, vapaa-ajan- ja urheiluvälineet, terveydenhuollon laitteet, tarkkailu- ja valvontalaitteet, automaatit ja sähkövirtaa tuottavat laitteet; luokkiin 1-3 sisältyvät laitteet eivät kuulu tähän luokkaan.**
Pesukoneet, vaatteiden kuivauslaitteet, astianpesukoneet, ruoanlaittoon käytettävät laitteet, sähköliedet, sähkökuumennuslevyt, valaisimet, äänen- tai kuvantoistolaitteet, musiikkilaitteet (lukuun ottamatta kirkkoihin asennettuja pilliurkuja), neulonta- ja kutomakoneet, suuret keskustietokoneet, suuret tulostimet, kopiokoneet, suuret kolikkoautomaatit, suuret terveydenhuollon laitteet, suuret tarkkailu- ja valvontalaitteet, suuret tuote- ja raha-automaatit, aurinkosähköpaneelit.
- Pienet laitteet (ei yhdeltäkään ulkomitaltaan yli 50 cm), kuten kuvattu luokassa 3; luokkiin 1-3 ja 6 sisältyvät laitteet eivät kuulu tähän luokkaan.**

Pölynimurit, mattoharjat, ompelukoneet, valaisimet, mikroaaltouunit, tuulettimet, silitysraudat, leivänpaahdit, sähköveitset, sähkökattilat, kellot, parranajokoneet, vaa'at, hiusten- ja vartalonhoitovälineet, taskulaskimet, radiot, videokamerat, videonauhurit, hifilaitteet, soittimet, äänen- tai kuvantoistolaitteet, sähkö- ja elektroniikkalut, urheiluvälineet, tietokoneet pyöräilyä, sukellusta, juoksua, soutua jne. varten, savunilmaisimet, lämmityksen säätölaitteet, termostaatit, pienet sähkö- ja elektroniikkatyökalut, pienet terveydenhuollon laitteet, pienet tarkkailu- ja valvontalaitteet, pienet tuoteautomaatit, aurinkosähköpaneeleilla varustetut pienet laitteet.

6. Pienet tieto- ja teletekniset laitteet (ei yhdeltäkään ulkomitaltaan yli 50 cm)

Matkapuhelimet, GPS-laitteet, taskulaskimet, reitittimet, henkilökohtaiset tietokoneet, tulostimet, puhelimet.

SER sisältää hyvin monenlaisia laitteita ja materiaaleja. Viisi pääasiallista materiaalityyppiä ovat rautametallit, ei-rautametallit, lasi, muovi, ja muut materiaalit. SER:n keskimääräinen koostumus on esitetty kuvassa 8. Piirikortti on luokiteltu erilliseksi materiaalityypiksi koska se sisältää arvometalleja ja on sellaisenaan tunnistettu ja käsiteltävä jae.



Kuva 8 Sähkö- ja elektroniikkaromun keskimääräinen koostumus (p-%) (Ignatius 2009)

2.4. SER:n sisältämät teknologia- ja kriittiset metallit

SER sisältää enemmän strategisia ja kriittisiä raaka-aineita ja arvokkaita materiaaleja suhteessa muihin jätevirtoihin. Teknologia- ja kriittisten metallien kierrätyksen merkitys on kasvanut voimakkaasti ympäristösyistä, mutta myös materiaali- ja energiatehokkuuden ja kiertotalouden näkökulmasta. Taloudellisen hyödyn lisäksi toimitusvarmuuden merkitys on teollisuudessa kasvanut, kun erilaiset geopolitiittiset epävarmuudet vaikuttavat maailmanmarkkinoiden toimitusketjuihin. EU:n kannalta kriittisten raaka-aineiden luettelo vuodelta 2017 (COM(2017) 490 final) listaa 27 kriittistä raaka-ainetta. Kriittisiksi luokiteltujen raaka-aineiden määrä on kasvanut listan jokaisen päivityksen yhteydessä; vuonna 2011 vahvistetussa luettelossa oli 14 kriittistä raaka-ainetta ja vuonna 2014 vastaavasti 20. Luettelon päätarkoituksena on kartoittaa ne raaka-aineet, joihin liittyy suuri hankintariski, suuri taloudellinen merkitys ja joiden luotettavuus ja esteettömyys saatavuuteen liittyvät uhkat aiheuttavat huolta Euroopan teollisuudelle ja arvoketjuille. Komission tiedonanto kuitenkin muistuttaa, että kaikki raaka-aineet ovat tärkeitä Euroopan talouden kannalta kriittisyysluokittelusta riippumatta. Kaikkien näiden materiaalien talteen saaminen virroista on kuitenkin haasteellista nykyisissä kierrätysjärjestelmissä. Muun muassa laitteiden kokoonpano ja materiaalien pienet pitoisuudet laitteissa hankaloittavat talteenottoa. Harvinaisten maametallien kierrätys on hyvin vähäistä.

Suomessa Huoltovarmuuskeskuksen Teknologiapoolin koordinoima Kriittiset materiaalit ja huoltovarmuus -ryhmä seuraa Suomelle kriittisten metallien ja mineraalien tilannetta. Seurantaryhmä on määritellyt kymmenen merkittävää seurattavaa materiaalia: grafiitti, harvinaiset maametallit, koboltti, kromi, kulta, litium, magnesium, niobi, platinaryhmän metallit ja volframi. (Huoltovarmuuskeskus 2017)

Kuten kuvassa 8 oli esitetty, noin puolet SER:n painosta on rautametallia. Lisäksi keskimäärin 7 % SER:sta on kuparia ja 5 % alumiinia. Edellä mainituilla metalleilla on jo hyvin kehittyneet ja toimivat kierrätysmarkkinat.

Kriittiset raaka-aineet löytyvät tyypillisesti fluoresoivasta jauheesta, piirilevyistä, magneeteista sekä akuista. Loistelamput ovat suhteellisen helppoja kerätä, kuljettaa ja käsitellä kokonaisina. Sen sijaan magneettien ja piirilevyjen talteenotto vaatii niitä sisältävien laitteiden ja osien purkamista ja erottelua, joka usein tehdään manuaalisesti. Taulukossa 2 on esimerkinomainen luettelo laitteista ja niiden sisältämistä kriittisistä metalleista. Vastaavanlainen tieto on visualisoitu raaka-aineittain kuvassa 9.

Taulukko 2 Kriittisiä raaka-aineita (CRM) sisältävät tuotteet ja laitteiden osat (CEWASTE 2019)

Information on the Waste				End-processing	
Source Component	Key CRM Equipment (KCE)	Waste Type	CRM	Required/Viable Input for End-processing	Current Economic Feasibility
Fluorescent powders	Fluorescent lamps	WEEE	Eu, Tb, Y, Ce, La	Fluorescent powder	No*
	CRT monitors and TVs		Y, Tb, Eu, Gd, La, Ce	Fluorescent powder	
Nd-magnets	Temperature exchange equipment (TEE) (engine, compressor)	WEEE	Nd (+ Dy, Gd, Pr, Tb)	Magnets	No
	Household appliances other than TEE (motors/drives)				
	Laptops (HDD)				
	Desktop Computers, prof. IT (HDD)				
	BEV, (P)HEV (electro engine)	ELV			
PCBs	Desktop computers, prof. IT	WEEE	Au, Ag, Bi, Pd, Sb	Entire devices without battery (mobile phones), PCBs (shredded, unshredded), CuPM granulate	Yes
	Laptops				
	Mobile phones				
	Tablets				
	External CDDs, ODDs, devices with internal CDDs/ODDs				
Li-ion batteries	Laptops	WEEE	Co	Batteries	Yes
	Mobile phones				
	Tablets				
	Li-ion batteries from other WEEE				
	BEV, (P)HEV	ELV			
NiMH battery	NiMH batteries in WEEE	WEEE	Co, (Ce, La, Nd, Pr)	Batteries	Yes for Co / No for REEs
	HEV	ELV			
Lead acid batteries	Lead-acid batteries	WEEE	Sb	Batteries	Yes

*Recent developments in countries outside the EU have been reported but detailed information about the economic feasibility is not yet available.

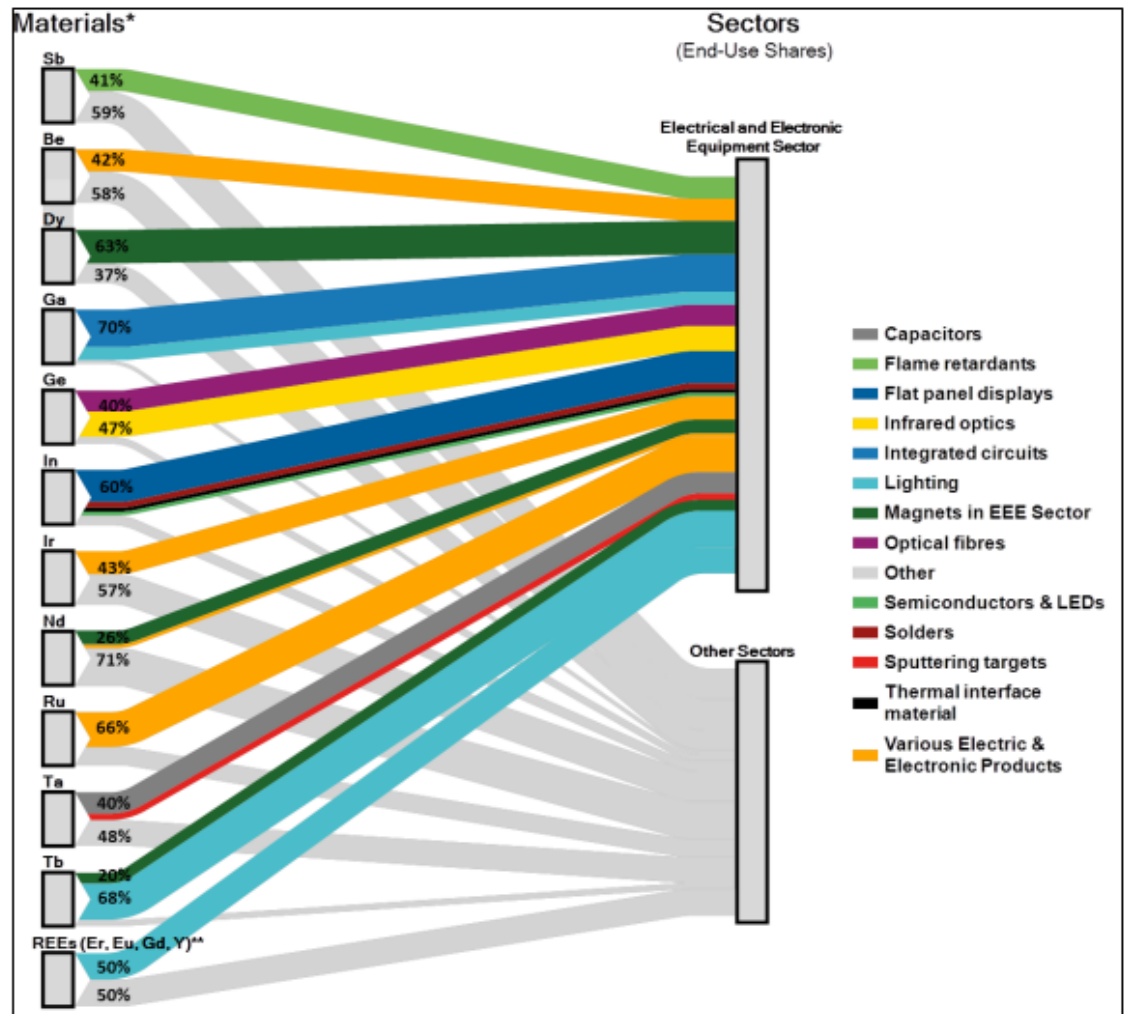


Figure 12: Share of CRMs used in the electric and electronic sector according to the 2017 CRM assessment⁹¹

* Only a subset of CRMs used in the EEE sector are included. Additional CRMs linked to the EEE sectors include Ce, Co, Fluorspar, Hf, He, La, Mn, Natural rubber, Pd, Pt, Pr, Rh, Sm, Si, W, and V.

**Average share for Er, Eu, Gd, and Y.

Kuva 9 Kriittisten raaka-aineiden osuus sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (EC 2018)

Piirilevy sisältää kriittisiä raaka-aineita sekä arvometalleja, ja on siten arvokkain osa SER:a. Piirilevyjen koostumus kuitenkin vaihtelee mm. niiden käyttökohteen tai valmistusajankohdan mukaan. Yleisesti piirilevyjen metallipitoisuus on n. 30 % mutta se voi vaihdella 28-40 % välillä. Arvometallien paino voi olla alle 1 % piirilevyjen painosta, mutta niiden rahallinen arvo voi olla jopa 80 % piirilevymateriaalien kokonaisarvosta. Alla olevat taulukot havainnollistavat tätä seikkaa. (Kulomäki 2016)

Taulukko 3 Kännyköiden piirilevymurskan sisältämät metallipitoisuuden, niiden kilohinta ja arvo tonnissa murskattua materiaalia (Väisänen 2018)

Alkuaine	Pitoisuus (mg/kg)	Pitoisuus (%)	Arvo jakeessa €/t	Maailmanmarkkinahinta €/kg
Kulta (Au)	700±300	0,07	26 390	37 700
Palladium (Pd)	180±12	0,018	3 496	19 420
Platina (Pt)	3,3±0,5	0,0003	100	30 300
Hopea (Ag)	1 200±140	0,03	648	540,0
Kupari (Cu)	163 000±12 000	16,3	670	4,13
Koboltti (Co)	140±60	0,014	3	23,60
Nikkeli (Ni)	20 000± 8 000	2,0	174	8,70
Tina (Sn)	9 000±3 000	0,9	152	16,90
YHTEENSÄ			31 600	

Taulukko 4 Tietokoneen kovalevyjen magneettien metallipitoisuudet ja hinta tonnissa magneetteja (Väisänen 2018)

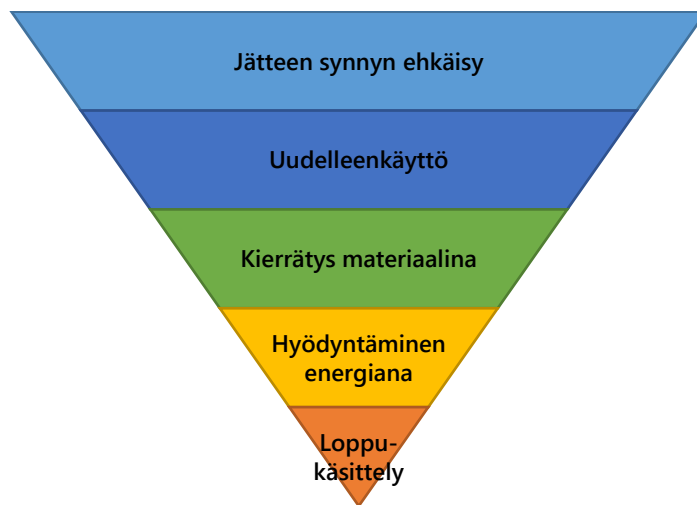
Alkuaine	Pitoisuus (mg/kg)	Pitoisuus (%)	Arvo jakeessa USD/t	Maailmanmarkkinahinta USD/kg
Neodyymi	320 500	32,0	19 200	60,0
Gadolinium	230	0,023	12	55,0
Dysprosium	1 010	0,1	353	350,0
Praseodyymi	2 130	0,21	181	85,0
Terbium	15 450	1,55	8 490	550,0
Samarium	10 000	1,0	70	7,0
Europium	470	0,047	94	200,0
Erbium	1 300	0,13	123	95,0
YHTEENSÄ			28 500	

Magneettien kierrätys on suhteellisen uusi tutkimuksen aihe, mutta tärkeä, sillä kestopagneetit sisältävät kriittisiä metalleja kuten neodyymiä (Nd), dysprosiumia (Dy) ja terbiumia (Tb). NdFeB-magneettien käyttö on laajentunut ammattilaitteista myös kuluttajatuotteisiin. Esimerkiksi uusissa pesukoneissa on käytetty suoravetomootoreita, jotka sisältävät neodyymi-magneetteja. Kovalevyistä löytyy myös magneetteja.

Kriittisiä metalleja sisältävät akut eivät kuulu SERiin, mutta ovat keräysprosessinsa kannalta sidoksissa siihen. Yhteiskunnan sähköistymisen myötä akkujen käyttö on voimakkaassa kasvussa. Siitä johtuen myös akkujen kierrätys on voimakkaasti kehittymässä. Lyijyakut sisältävät lyijyn lisäksi antimonia (Sb). Sähköautojen ja -pyörien litiumioniakuissa on käytetty kobolttia (Co).

3. SER käsittely ja hyödyntäminen

EU:n jätedirektiivin mukainen jätehierarkia (kuva 10) koskee myös SER-käsittelyä. Suomessa jätedirektiivi on pantu toimeen Valtioneuvoston asetuksella sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta (VNa 519/2014).



Kuva 10 Jätehierarkia

Tuottajavastuujärjestelmän vuoden 2017 tilaston mukaan 4 % kerätystä SER:sta menee uudelleenkäyttöön, 86 % kierrätykseen materiaalina, 4 % hyödyntämiseen energiana ja 6 % loppusijoitukseen esim. kaatopaikalle. Kuten aiemmin on kerrottu, SER koostuu hyvin kierrätettävistä materiaaleista, joten keräykseen päätyvän SER:n kierrätysaste on Suomessa varsin korkea. Kierrätys- ja hyödyntämisasteelle on määritelty vähimmäistavoitteet SER laiteluokkien mukaan.

Taulukko 5 SER:n hyödyntämistä koskevat vähimmäistavoitteet, joita sovelletaan 15 päivästä elokuuta 2018 lähtien. VNa 519/2014 liite 5.

SER Laiteluokka	Hyödyntämisen vähimmäistavoite	Uudelleenkäytön ja kierrätyksen vähimmäistavoite
1. Lämmitys- ja jäähdytyslaitteet	85 %	80 %
2. Näyttöpäätteet, monitorit ja laitteet	80 %	70 %
3. Lamput	---	80 %
4. Suuret laitteet	85 %	80 %
5. Pienet laitteet	75 %	55 %
6. Pienet tieto- ja teletekniset laitteet	75 %	55 %

Seuraavissa luvuissa kuvataan yleisellä tasolla SER:n käsittely- ja kierrätystoimintaa, sekä alan toimijoita Satakunnasta.

3.1. SER käsittely eri materiaali-jakeiksi

Uudelleenkäyttöön soveltumaton SER kuljetetaan vastaanottopisteistä käsittelylaitoksiin. Jokaisessa käsittelylaitoksessa on omat prosessinsa, joilla saadaan talteen mahdollisimman paljon hyödyntämiskelpoista materiaalia. Hyödyntämiskelpoiset jakeet voidaan toimittaa joko materiaalihyödyntämiseen tai energiahyödyntämiseen. Materiaalihyödyntämisessä eli kierrätyksessä romusta erotellut materiaalit käytetään uusiomateriaaleina, jolloin ne korvaavat neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Hyödyntämiskelvottomat toimitetaan loppusijoitettavaksi. Käsittelylaitoksissa SER jalostetaan asiakkaille kelpaaviksi tuotteiksi.

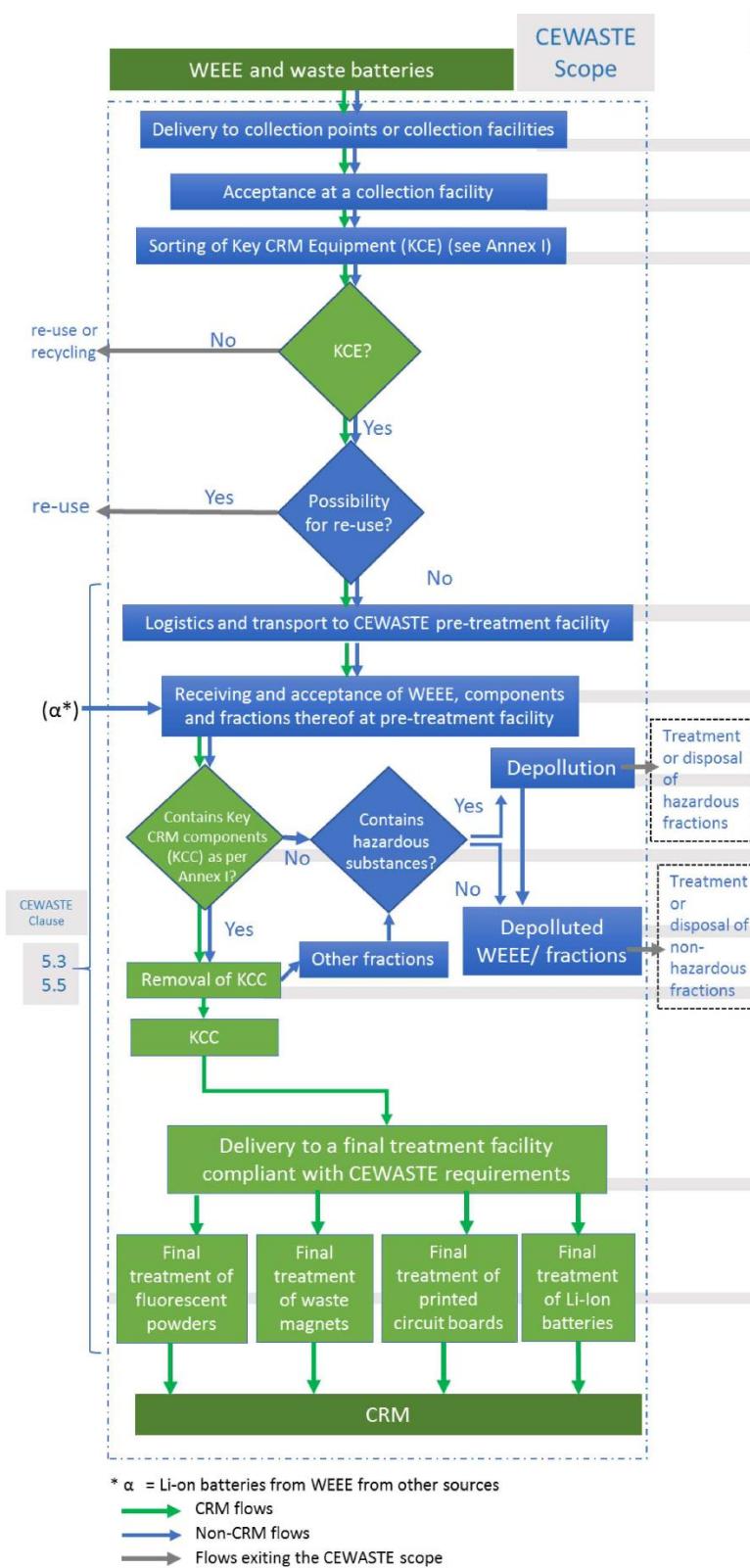
Valtioneuvoston asetus (VNa 519/2014) määrittelee hyvin yksityiskohtaiset vähimmäisvaatimukset SER-käsittelylle, esimerkiksi näin: "Vaaralliset aineet, seokset ja komponentit kuten polykloorattuja bifenyyliä (PCB) ja elohopeaa sisältävät osat, akut ja paristot, väriainekasetit, bromatut palonestoaineet, asbestit, täysin halogenoidut kloorifluorihilivedyt (CFC) ym. on poistettava ja käsiteltävä jätelain mukaisesti. Katodisädeputkien fluoresoiva pinnoite on poistettava. Kaasupurkauslamputa elohopea on poistettava." SER:n, kuten myös muiden jätteiden, ammattimaiselle ja laitosmaiselle hyödyntämis- ja loppukäsittely-toiminnalle on oltava ympäristölupa.

Eurooppalainen standardisarja EN 50625 sisältää standardeja ja spesifikaatioita sähkö- ja elektroniikka-laiteromun keräys-, logistiikka- ja prosessointivaatimuksista. Sen mukaan SER:n käsittely jaotellaan 2 vaiheeseen: esikäsittelyyn ja loppukäsittelyyn. **Esikäsittely on manuaalista tai mekaanista** prosessointia SER:n käsittelyn ensimmäisessä vaiheessa. Esikäsittelyn manuaalisessa tai mekaanisessa prosessoinnissa lajitellaan ja erotellaan kriittisiä raaka-aineita sisältäviä jakeita. Manuaalisia prosesseja ovat esim. lajittelu, erottelu, puhdistus, tyhjennys, purkaminen ja haitallisten aineiden poisto. Mekaanisiin prosesseihin kuuluvat murskaus, jyräys ja hionta sekä erottelu esimerkiksi pyörrevirta- tai ilmavirtaerottimilla. **Loppukäsittely on metallurgista tai kemiallista** prosessointia, jolla saadaan keskitettyä kriittisiä raaka-aineita sisältäviä jakeita tai talteenotettuja metalleja. Loppukäsittely sisältää hydro-, pyro- tai sähkömetallurgisia prosesseja, joihin liittyy kemiallisia reaktioita, esim. pyrolyysi, sulatus, kemiallinen uutto, seostaminen ja sementointi. Loppukäsittelyssä syntyy end-of-waste tuotteita tai metallipitoisia jakeita (CENELEC 2017). Pelkällä mekaanisella prosessoinnillakin on mahdollisuus saada end-of-waste tason tuotteita, jos on hyvin lajiteltuja jättejakeita. Käytännössä asiakkaiden vaatimukset asettavat käsittelylaitosten tuotteille laatuvaatimukset. Ne puolestaan ovat sidoksissa laitoksen prosesseihin ja niiden optimointiin.

Käsittelylaitoksessa SER:sta ja muusta metalliromusta peräisin olevat metallijakeet yhdistyvät. SER:ksi luokitellun jätteen määrä pienenee käsittelylaitoksessa. Käsittelyn myötä jätteeksi luokittelu voi päättyä ja jäte lakata olemasta jätettä, jos jätelain (646/2011) 5.4 §:n määritelmän mukaiset edellytykset täyttyvät. Kustakin tuotetusta tai EU:n alueelle tuodusta EoW-erästä tulee tehdä vaatimustenmukaisuusilmoitus. Ilmoitus on toimitettava EoW-lähetysten seuraavalle haltijalle ja pyydettyä valvovalla viranomaisella. Voimassa on EoW-säädökset rauta-, teräs- ja alumiiniromusta (Neuvoston asetus (EU) N:o 333/2011), lasimurskasta (Komission asetus (EU) N:o 1179/2012) ja kupariromusta (Komission asetus (EU) N:o 715/2013). Esimerkiksi rauta- ja teräsromun osalta vieraiden aineiden (hylkyaineiden) kokonaismäärä saa olla enintään 2 painoprosenttia.

SER käsittelylaitoksilla on optimoidut prosessit ja laitteet, jotka kytkeytyvät läheisesti laitoksen tuotevalikoimiin ja asiakkaiden vaatimuksiin. Toiset laitokset ovat erikoistuneita vastaanottamaan esim. kylmälaitteita tai loistelamppuja. SER sisältää hyvin laajasti erilaisia laitteita ja muodostaa siten erilaatuisia jakeita, joten käsittelylaitoksilla on usein myös SER:n terminaaliliiketoimintaa. Tuottajavastuujärjestelmä velvoittaa keräyspisteitä vastaanottamaan kaikkia SER-luokiteltuja laitteita, joten esilajittelu ja logistiikka-toiminta ovat tarpeen. SER:n vastaanotto-, keräys- ja kuljetusverkostosta ja käsittelylaitoksista muodostuva laaja käsittelyketju mahdollistaa asianmukaisen SER kierrätyksen ja hyödyntämisen.

Kuvassa 11 on esitetty SER:n (ja akkujen) käsittelyprosessia konseptitasolla erityisesti kriittisten raaka-aineiden talteenoton näkökulmasta. Sininen ketju kuvaa SER käsittelylaitosten perinteistä toimintaa, jossa käsitellään suurin osa SER:n volyymistä. Vihreä ketju ja laatikot kuvastavat pienempien SER-jakeiden prosessia, jolla on arvoa ja kasvavaa merkitystä, ja joka on siksi ollut tutkimuksen ja kehityksen kohteena.



Kuva 11 SER:n (ja akkujen) käsittelyprosessia konseptitasolla erityisesti kriittisten raaka-aineiden talteenoton näkökulmasta (CEWASTE 2019)

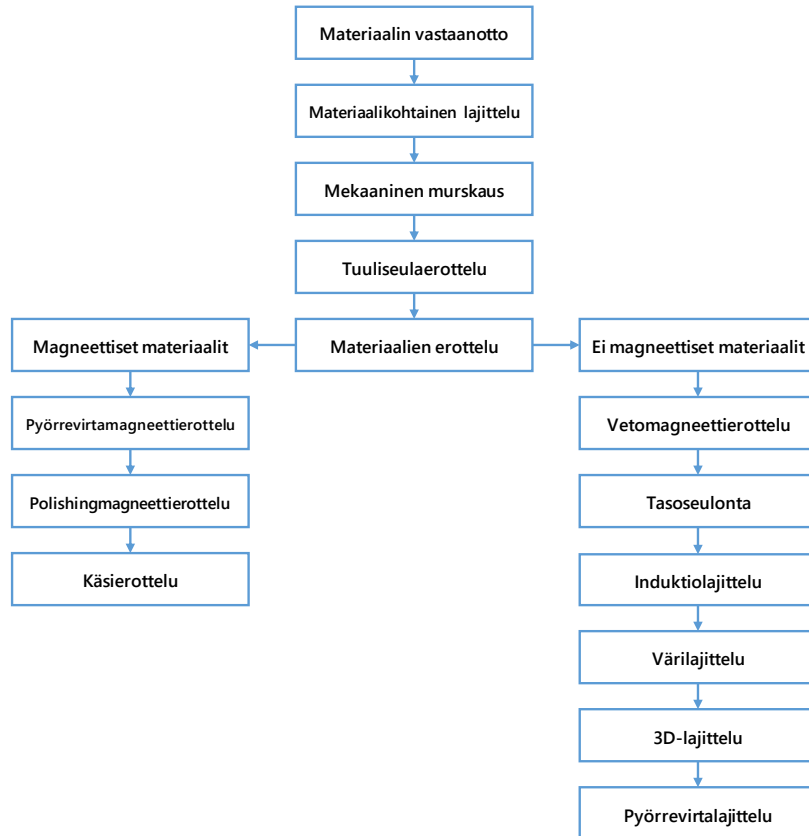
3.2. SER käsittelyn toimijat Satakunnassa

Satakunnassa on merkittävä kierrätysalan keskittymä Suomessa, sillä alan suurimpiin toimijoihin kuuluvien Eurajoen Romun, Kuusakosken ja Stena Recyclingin käsittelylaitokset sijaitsevat Eurajoella ja Porissa.

Eurajoen romu Oy, Eurajoen käsittelylaitos, Eurajoki

Eurajoen Romu Oy vastaanottaa, käsittelee ja varastoi metalliromua sekä useita muita jättejakeita Eurajoen käsittelylaitoksella. Toimintaa on harjoitettu laitoksella vuodesta 1994 alkaen. Käsittelytoiminta koostuu metalliromun murskauksesta ja lajittelusta. Käsittelyn ja varastoinnin jälkeen jätteet toimitetaan jatkokäsittelyyn. Yhtiö on voimakkaasti kasvanut ja määrätietoisesti kehittänyt toimintansa. Voimassa olevan ympäristöluvan mukaan laitos saa vastaanottaa ja käsitellä sähkö- ja elektroniikkaromua 5 000 t/a. Eurajoen käsittelylaitoksen toiminnan laajennukselle ja akkuterminaalien käyttöönotolle on saatu ympäristölupa v. 2019. Voimassa oleva ympäristölupa sallii laitoksen vastaanottaa ja käsitellä metalliromua 101 000 t/a sekä akkuja enintään 15 000 t/a.

Laitos vastaanottaa, lajittelee, käsittelee tai tuottaa seuraavia romu- tai jättejakeita: rauta- ja teräspitoiset romut, lyijypitoiset romut, alumiinipitoiset romut, kuparipitoiset romut, kromi- ja nikkelipitoiset romut, kaapeliromut ja johtimet, kuonat, tuhkat, hilseet, hiomajätteet, työstökoneiden lastut, sähkömoottori- ja tarvikeromut, akut, sähkö- ja elektroniikkalaiteromu, kylmälaiteromu, muuntajaromut, romuajoneuvot, maatalousromut, teollisuusromut, graafisen teollisuuden romut ja jätteet, yhdyskuntaromut, konepajaromut ja purkuromut, rengasromu, puujätteet ym. vastaavat romut ja jätteet. Käsittelyn jälkeen SER-jakeet toimitetaan asianmukaiset luvat omaaville käsittelylaitoksille. Metallipitoiset romut toimitetaan terästehtaille, valimoille tai muille asianmukaiset luvat omaaville käsittelylaitoksille. Metallisten materiaali-jakeiden murskaus- ja erotteluprosessi on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Eurajoen Romu Oy:n metallisten materiaali-jakeiden murskaus- ja erotteluprosessikuvaus Eurajoella (Eurajoen Romu 2017)

Eurajoen Romu Oy:llä on vuokrattuna varastointialue Rauman satamassa, josta se toimittaa isoja laivauseriä vientiin. Vuoden 2019 syksyllä yritys lähetti ensimmäisen kerran 30 000 tonnin lastin premium-laadun romurautaa Rauman satamasta Turkkiin jatkojalostukseen. Vastaavan kokoinen lasti on toimitettu Turkkiin myös keväällä 2020. Yli 70 prosenttia yhtiön liikevaihdosta tulee viennistä Eurooppaan ja Aasiaan.

Vuoden 2020 maaliskuussa yrityksen toiminta laajeni pääkaupunkiseudulle, kun se osti Järvenpään Romuna tunnetun Veolia Recycling Solutions Finlandin liiketoiminnan. Eurajoen Romu Oy:n konserniin kuuluu lisäksi Reteke Oy, Keräyslava Oy, Ekovex Ympäristöpalvelut Oy sekä Suomen Materiaalikeskus (Nexus Finland Oy). Konsernin liikevaihto on noin 100 miljoonaa euroa.

Kuusakoski Oy, Mäntyluodon palvelupiste, Pori

Kuusakoski Oy:n Mäntyluodon palvelupiste sijaitsee Mäntyluodon satama-alueella. Laitoksen toiminnot ovat kierrätysmetallien sekä metallipitoisten tuotteiden ja jätteiden, kuten käytöstä poistettujen ajoneuvojen sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteiden vastaanotto, lajittelu, käsittely sekä välivarastointi. Voimassa oleva ympäristölupa (LOS-2004-805) sallii yhteensä noin 130 000 t/a materiaalien vastaanoton ja käsittelyn, josta SER:a (pl. kylmälaitteet) saa olla 8 500 t/a ja kylmälaitteita 3 500 t/a.

Käytöstä poistetut sähkö- ja elektroniikkalaitteet esikäsitellään ja niistä erotellaan uudelleen käytettäväksi soveltuvat laitteet ja komponentit. Ne laitteet ja komponentit, joita ei voida käyttää uudelleen, hyödynnetään kierrättämällä niiden materiaalit. Laitteista otetaan talteen kierrätyskelpoiset jakeet murskauksessa sekä metallien ja muovien erotuksessa. Esikäsitellyt sähkö- ja elektroniikkalaitteet toimitetaan murskattavaksi ja tuotteistettavaksi yhtiön omille murskauslaitoksille. Kylmälaitteista poistetaan esikäsitelyssä kylmäaineet sekä muut haitalliset aineet, kuten kompressorijät. Esikäsitellyt kylmälaitteet lähetetään jatkokäsittelyyn asianmukaiset luvat omaaville laitokselle.

Mäntyluodon käsittelylaitoksella on ollut myös kaapeleiden käsittelylinja sekä vasaramurskain. Nämä eivät kuitenkaan ole enää käytössä. Kuusakoski Oy:n Porin toimintaan kuuluu lisäksi akku- ja rengasterminaali. Yhtiöllä on Lahdessa iso toimipiste, joka toimii logistiikkakeskuksena. Kuusakoski Oy kierrättää ja valmistaa myös uusioalumiiniharkkoja Heinolassa. Vuosituotanto on noin 25 000 tonnia valmista uusioalumiinia, josta noin 25 % menee kotimaahan ja 75 % vientiin. Kuusakoski Group -konserniin kuuluva Alteams Oy valmistaa Suomessa alumiinikomponentteja neljällä paikkakunnalla. Kuusakoski Group -konsernin liikevaihto vuonna 2019 oli 517,5 milj. euroa, josta kierrätysliiketoiminnan osuus oli 435,1 milj. euroa. (Lounais-Suomen Ympäristökeskus 2009; Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2016; Kuusakoski 2019)

Stena Recycling Oy, Tahkoluodon kierrätyslaitos, Pori

Stenan Tahkoluodon kierrätyslaitoksella otetaan vastaan muualla esikäsiteltyjä, kierrätyskelpoisia, tavanomaiseksi luokiteltuja jättemateriaaleja, pääosin erilaisia metallijätteitä. Laitos aloitti toimintansa vuonna 2003. Laitoksen toimintoihin kuuluu jätteiden vastaanotto, välivarastointi, tuotteistaminen lajittelemalla, murskaamalla ja erottelemalla sekä tuotteiden ja jätteiden lastaus ja lähettäminen edelleen hyödyntäville taholle tai loppusijoitukseen.

SER:n esikäsitelyssä laitteet punnitaan, lajitellaan ja tarvittaessa puretaan manuaalisesti. Osa esikäsitellyistä SER:sta voidaan murskata laitoksen prosesseissa. Laitoksella silputaan piirikortteja sopivaan palakokoon jatkojalostusta varten. Laitoksella ei esikäsitellä jääkaappeja, vaan ne toimitetaan muille, asianmukaiset luvat omaaville laitoksille. Esikäsiteltyjen sekä esikäsittelemättömien SER-jakeiden lisäksi laitoksessa käsitellään romuajoneuvoja, akkuja ja paristoja sekä granulitavaa kupari- ja kaapelijätettä. (Stena Recycling Oy 2017)

Voimassa oleva ympäristölupa sallii laitoksen vastaanottaa ja käsitellä 230 000 t/a rauta- ja teräspitoista metalliromua (ml. esikäsitelty SER), esikäsittelemätöntä SER:a 8 000 t/a, kaapeli- ja NF-romua (ei rautapitoiset metallit) 3 000 t/a, sekä romuajoneuvoja 5 000 t/a. Tämän lisäksi lupa sallii vastaanottaa vientivarastoon 100 000 t/a rauta- ja teräspitoista metalliromua, ei-rautapitoista metalliromua, ja rakennus- ja purkujätettä, josta puolet (50 000 t/a) saa käsitellä mekaanisesti. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2019)

Tahkoluodon kierrätyslaitoksessa syntyvä rauta- ja teräsromu sekä NF-metallit (mm. kupari ja alumiini) toimitetaan sulattavalle teollisuudelle, sulatoille, valimoille, kierrätysyrityksille tai muulle teollisuudelle. Kierrätykseen kelpaamattomasta murskausjätteestä osa hyödynnetään energiana energiatuotanto-, voima- ja jätteenpolttolaitoksessa. Loput toimitetaan Stena Recycling Oy:n Peittoonkorven kaatopaikalle loppusijoitettavaksi. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2020)

Stena Recycling Oy, jonka liikevaihto vuonna 2018 oli 101,3 milj. euroa, kuuluu maan suurimpiin kierrätystoimijoihin. Stenalla on Suomessa 13 palveluyksikköä 12 paikkakunnalla. Laajamittainen käsittelytoiminta on keskitetty Poriin, Tahkoluodon ja Kartanon kierrätyslaitoksiin. Kartanon käsittelykeskuksessa esikäsittellään mm. SER. Stena Recycling kuuluu ruotsalaiseen Stena Metall – konserniin, joka kierrättää ja jalostaa vuosittain 6 miljoonaa tonnia jätettä ja käytöstä poistettuja tuotteita raaka-aineeksi, terästuotteiksi ja polttoaineeksi. Konsernin nettoliikevaihto on yli 27 000 MSEK (n. 2,6 mrd EUR). (Stena Metall 2020)

3.3. SER peräisten jakeiden hyödyntäminen metallien tuotannossa ja jalostuksessa

SER kierrätyksen tavoitteena on saada SER:n sisältämät materiaalit talteen ja uusiokäyttöön korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita. SER:n ja jätteenpolttolaitosten metallipitoisen tuhkan hyödyntämistä sekundääriraaka-aineina metallien tuotantoprosesseissa kutsutaan nykypäivän moderniksi kaivostoiminnaksi (Urban Mining). Perinteisten romumetallien (rauta-, kupari-, alumiiniromut ja arvometallit) kierrätys on taloudellisesti kannattavaa. Kriittisten raaka-aineiden kierrätyksen kannattavuus on myös kasvussa teknologian kehittymisen ja raaka-aineiden merkityksen kasvun myötä.

Kierrätys ja kiertotalous ovat yksi kestävän kehityksen kulmakivistä. Prosessien ilmastovaikutuksia voidaan pienentää ja energiaa säästää vähentämällä neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Uusiomateriaalien kysyntä on yleisesti kasvussa, kun huomioidaan suhdannevaihtelut. Kierrätysmetalleilla on myös kansainväliset vientimarkkinat, joiden arvoksi oli raportoitu yli 80 miljardia US dollaria vuonna 2017 (Taulukko 6). SER:n osuus tässä kokonaisuudessa on pieni, mutta arvometallien ja kriittisten raaka-aineiden osalta se on huomion arvoinen etenkin, kun potentiaalia osuuden kasvattamiseen on SER kierrätystä tehostamalla. Erään arvion mukaan vain 20 % maailmalla syntyvästä elektroniikkajätteistä päätyy asianmukaiseen kierrätykseen. (Baldé et al. 2017) SER:n kierrättämättä jättämisen seuraukset voisivat lisäksi olla vahingollisia ympäristölle.

Taulukko 6 Romujen vientimarkkinoiden volyymit ja arvot v. 2017 (ISRI 2019)

2017 World Scrap Trade Export Flow		
Commodity	Volume (mt)	Value (\$)
Ferrous	96,503,529	\$33,037,409,657
Paper	56,202,410	\$9,988,995,017
Nonferrous	15,707,577	\$31,626,411,498
<i>Copper</i>	<i>5,777,896</i>	<i>\$16,558,664,254</i>
<i>Aluminum</i>	<i>8,110,129</i>	<i>\$10,989,721,106</i>
<i>Nickel</i>	<i>123,211</i>	<i>\$592,025,755</i>
<i>Lead</i>	<i>430,426</i>	<i>\$577,263,491</i>
<i>Zinc</i>	<i>327,340</i>	<i>\$599,814,255</i>
<i>Other base metals</i>	<i>938,575</i>	<i>\$2,626,411,498</i>
Plastics	12,867,554	\$4,504,576,987
Rubber	1,422,421	\$513,189,044
Precious Metals	301,259	\$16,761,870,696
Textiles	698,462	\$499,085,468
Glass	26,419,824	\$384,123,801
World Total	178,564,008	\$97,315,662,168

Perinteiset romumetallit kierrätetään perinteisin menetelmin, eli sulattamalla pyrometallurgisessa teollisuudessa, sulatoissa tai valimoissa. Rauta- ja teräsromun kierrätys on hyvin vakiintunut prosessi. Teräksen valmistuksessa konverttertiin lisätään 15-25 % teräsromua, josta osa on tehtaan sisäistä kiertoromua ja osa kierrätysterästä. Teräsromun käyttö on välttämätöntä terässulan jäähdyttämiseksi, mutta sen käyttöä ei voi lisätä loputtomiin. Valokaariuunissa on mahdollista valmistaa raakaterästä 100 % romusta sulattamalla (sähköteräsprosessi).

Nikkeli on tärkeä ruostumattoman teräksen seosaine. Myös nikkeli kierrätetään tehokkaasti romun mukana takaisin teräksenvalmistukseen. Alumiinin kierrätys on myös hyvin tehokasta. Puhdasta kupariromua voidaan kierrättää suoraan valimossa ilman esikäsittelyä. Kupariseosromua hyödynnetään kupariseoksen valmistusprosessissa. Kuparin laatuvaatimukset valimoissa ovat tiukkoja ja lopputuotteen epäpuhtaustason on oltava erittäin matala. Kuparisulatoissa epäpuhtaudet eivät ole niin kriittisiä. Niissä käsiteltävissä neitseellisissä raaka-aineissakin esiintyy yhä enemmän epäpuhtauksia. Sulattoprosesseissa joudutaan käsittelemään myös koostumukseltaan vaihtelevia raaka-aineita, joten tuotantoprosesseja ja niiden kykyä käsitellä epäpuhtauksia on jouduttu kehittämään. Perinteisesti kuparisulaton yhteydessä toimii myös jalometalliosasto, joka ottaa talteen arvometalleja prosessin kuonasta ja sakasta.

SER:n piirilevyjakeen kierrätystä on kehitetty ja se on tällä hetkellä taloudellisesti kannattavaa romun sisältämien arvometallien ansiosta. Tunnettuja pyrometallurgisia prosesseja SER:n sisältämien eri metallien talteen ottamiseksi ovat mm. Noranda process (Glencore Horne smelter, Quebec, Canada), Kayser Recycling System (KRS) (Aurubis Lünen Recycling Center, Germany), Kaldor process (Boliden Rönnskär smelter, Sweden) sekä Isa smelt process (Hoboken plant, Umicore Precious Metals, Belgium). SER:n, erityisesti piirilevyjakeen, käsittelyprosessi on tyypillisesti kytkeytynyt erillisprosessina kuparisulaton yhteyteen. SER:n sisältämä muovi saadaan hyödynnettyä energiana, prosessilämpönä ja kaukolämpönä tehdasalueella tai jopa paikallisessa kaukolämpöverkossa. Näille prosesseille on asetettu tiukat ympäristö- ja päästörajoitukset. (Wieszczycka et al. 2018)

Hydrometallurgiset prosessit ovat erityisen sopivia monimutkaisten ja/tai metallipitoisuuksiltaan köyhien raaka-aineiden käsittelyyn. Kun arvokkaiden tai kriittisten metallien pitoisuudet ovat pieniä, niiden talteenottoon tarvitaan erittäin selektiivisiä erotusmenetelmiä. Neste-neste uutto ja ioninvaihto ovat tärkeimmät tutkitut hydrometallurgiset menetelmät. Neste-neste uutto on metallurgiassa yleinen yksikköprosessi kaikenlaisten metallien tuotannossa. Ioninvaihdon käyttö metallurgisessa teollisuudessa ei ole vielä niin laajamittaista, mutta sitä on tutkittu paljon ja sen tiedetään olevan erityisen sopiva sekä laimeille että monimutkaisille syöttöliuoksille. Lisäksi hydrometallurgiset menetelmät ovat vähemmän

energiaintensiivisiä ja vähäpäästöisempiä verrattuna pyrometallurgisiin menetelmiin. Biometallurgisia menetelmiä pidetään myös lupaavina, kun metallien pitoisuudet ovat pienet. (CEWASTE 2019)

SER:sta peräisin olevia magneetteja ja fluoresoivaa jauhetta on ollut haastavaa kierrättää taloudellisesti kannattavasti. Fluoresoiva jauhe sisältää lukuisia kriittisiä raaka-aineita. Niiden talteenotto selektiivisillä hydrometallurgisilla menetelmillä on kehittynyt, mutta toisaalta fluoresoivan jauheen määrä on pienentynyt koska LED-tekniikka on syrjäyttänyt loistelamppujen ja katodikuvaputkilaitteiden käyttöä. Kestomagneettien kierrätystä on jonkin verran tutkittu. Se on teknisesti mahdollista, kunhan magneetit on eroteltu kokonaisuutena kierrätyksen varhaisessa vaiheessa, käytännössä manuaalisesti. Jos magneetteja ei eroteta SER:n käsittelyprosessissa, ne päätyvät rauta- ja teräsjakeeseen ja niiden sisältämät kriittiset raaka-aineet menetetään. Kestomagneettien käyttö on voimakkaassa kasvussa, joten niiden sisältämien kriittisten metallien kierrätyksellä on merkittävää potentiaalia.

Metallurgisen tuotantolaitoksen pyörittäminen ja toiminnan kehittäminen ovat monitahoisia optimointikysymyksiä ja niissä täytyy huomioida keskenään ristiriitaisiakin vaatimuksia, keskeisimpinä tuottavuus, laatu ja ympäristövaikutukset. Kehittäminen edellyttää koko toimitusketjun tarkastelua. SER-peräisten jakeiden käyttö sekundääriraaka-aineena metallurgisessa prosessissa vaatii suunnittelua sekä toimijoiden keskinäistä ja tiivistä yhteistyötä.

3.4. SER uusioraaka-aineiden nykyiset ja potentiaaliset hyödyntäjät Satakunnassa

Satakunnassa, Kokemäenjoen varrella on Suomen teknologiametallien tuotantoon keskittyvä teollisuusvyöhyke, joka muodostuu pääosin Porin kupariteollisuuspuistosta ja Harjavallan suurteollisuuspuistosta. Ainutlaatuisella alueella toimii nykyisin lukuisia yrityksiä muodostaen toiminnallisia ekosysteemejä. Sijainti on logistisesti keskeinen Porin sataman, rautatien ja maantien varrella. Tässä luvussa esitellään lyhyesti toimijoita, joilla on jo käytössä tai on potentiaalia ottaa käyttöön SER-peräisiä kierrätysraaka-aineita.

Boliden Harjavalta Oy:llä on Harjavallassa kaksi sulattoa, kuparisulatto ja nikkelisulatto, sekä rikkihappotehdas. Bolidenin nikkelisulatto on Länsi-Euroopan ainoa nikkelisulatto, ja se tuottaa korkealaatuista nikkelikiveä. Nikkelikiveä myydään raaka-aineen välituotteena jatkojalostettavaksi puhtaaksi metalliksi ja/tai metalliseoksiksi.

Boliden kuparisulatossa valmistetaan kuparirikasteista anodikuparia, joka kuljetetaan Poriin kuparielektrolyysitehtaaseen. Bolidenin kuparielektrolyysissä Porissa valmistetaan korkealaatuista katodikuparia, joka myydään asiakkaille jatkojalostettavaksi. Porin kuparinvalmistuksen kokonaisuudessa on myös jalometalliosasto, jossa tehokkaasti ja joustavasti otetaan talteen ja tuotetaan jalometalleja. Kuparisulatossa käsitellään myös kierrätysraaka-aineita mm. kuparipitoista SER-jaetta. Vuoden 2019 vuosiraportin mukaan Harjavallassa oli käytetty 24 000 tonnia kierrätysraaka-ainetta, joka vastaa n. 5% kuparisulaton kokonaissyötöstä (512 000 tonnia). SER:n osuus tästä kierrätysraaka-ainemäärästä on kuitenkin epäselvä. Vertailun vuoksi Bolidenin Rönnskärin kuparisulaton syöttömäärät vuonna 2019 olivat: kuparirikaste 606 000 t (78% kokonaissyötöstä), kierrätysraaka-aine 169 000 t (22%), josta elektroniikkaromua 81 000 t (10,5%), ja kokonaissyöttö 774 000 t. Vuosiraportin tiedon mukaan Rönnskärin sulaton kulta- ja hopeatuotanto on suhteessa noin kolminkertainen verrattuna Harjavallan sulattoon. Rönnskärin sulattoja pidetään yhtenä maailman johtavista elektroniikkaromun kierrätysoperaattoreista kuparin ja jalometallien osalta. (Boliden Annual Report 2019)

Boliden Harjavalta Oy tuotti vuonna 2019 rikkihappoa 619 000 tonnia, kuparia 120 000 tonnia, nikkelikiveä 26 000 tonnia, kultaa 2 500 kiloa, ja hopeaa 62 000 kiloa. Raaka-aineiden hankinnan, tuotteiden markkinoinnin ja myynnin, sekä toimitukset hoitaa Boliden-konsernin kaupallinen yksikkö.

Porin Kupariteollisuuspuistossa toimii Bolidenin elektrolyysiosaston lisäksi **Luvata Pori Oy**, **Cupori Oy**, **Aurubis Finland Oy** ja **Outotec Oyj**. Luvata Pori Oy on merkittävä kansainvälinen metallituotteiden ja niihin liittyvien teknisten ratkaisujen tuottaja. Luvata on osa Mitsubishi Materials Corporation (MMC) – konsernia. Kuparista ja kupariseoksista valmistetaan levyjä, nauhaa, putkea, lankaa, suprajohtimia ym. korkean jalostusasteen tuotteita, joita tarvitaan nykymaailman teknologiaratkaisuissa ja -tuotteissa.

Cupori puolestaan on keskittynyt kuparisten LV-putkien ja teollisuusputkien tuotantoon. Aurubis Finland Oy valmistaa kuparinauhoja, levyjä ja arkkitehtuurituotteita. Merkittävä etu Porin Kupariteollisuuspuistossa on kuparielektrolyysin, kuparin jatkojalostuksen ja tutkimuslaitoksen sijainti samalla tehdasalueella. Kuparituotteiden laatuvaatimukset ovat hyvin tiukat, joten kierrätysraaka-aineiden, kuten kuparigranulaattien, laadun pitää olla myös erittäin korkea. Sekä Aurubis että Luvata hyödyntävät korkealaatuista kupariromua valuprosesseissaan SER:sta eroteltu kuparijäte ei useinkaan täytä valimojen laatuvaatimuksia. SER:n hyödyntämismahdollisuus keskittyy nykyisellään metallituotannon alkupäähän, eli Bolidenin toimintaan.

Ulvilassa toimiva **Neorem Magnets Oy** on yksi Euroopan johtavista kestopagneettien valmistajista. Sillä on tuotannollista toimintaa Suomen lisäksi Kiinassa. Yritys valmistaa korkealaatuisia NdFeB kestopagneetteja Ulvilassa ja toimittaa niitä, sekä magneettikokoonpanoja asiakkailleen. Esimerkiksi tuulivoimageneraattoreiden magneettikokoonpanot valmistetaan automatisoidussa prosessissa Suomessa ja Kiinassa. Kestomagneettien sovelluskohteita on lukuisia, mm. sellu- ja paperikoneissa, laivamoottoreissa, sähkömoottoreissa (mm. sähköautot, hissit, teollisuusprosessit), kaiuttimissa, tietokoneissa, mobiililaitteissa ja antureissa. Neorem Magnets on erikoistunut suuriin, sähkökoneissa käytettäviin magneetteihin, sekä antureissa käytettäviin hyvin pieniin magneetteihin. Yhteiskunnan sähköistyessä kestopagneettien kysyntä tulee kasvamaan entisestään. NdFeB kestopagneettien raaka-aineina käytetään harvinaisia maametalleja kuten neodyymia, dysprosiumia ja terbiumia, jotka on luokiteltu kriittisiksi. Niiden saatavuuden varmistaminen on tuotannon edellytys, joten niiden saanti kierrätysraaka-aineista kiinnostaa. Kestomagneettien kierrätystä ja uusiomagneettien valmistusta on tutkittu myös Neorem Magnets Oy:n ja Priztech Oy:n yhteishankkeissa, kuten myös muualla maailmassa.

Satakunnasta löytyy lisäksi sekä lyijy- että litiumioniakkujen kierrätyksen osaamista. Akut ja paristot ovat vaaralliseksi luokiteltuja, tuottajavastuun alaisia jätteitä, joita poistetaan SER:n esikäsittelyssä ja toimitetaan käsittelyyn asianmukaiset luvat omaaville laitoksille. Satakunnasta löytyy myös yrityksiä, joiden fokus on suurissa autojen akuissa. Autojen akut eivät varsinaisesti kuulu SER kierrätykseen, mutta aihetta käsitellään siitä huolimatta tässä lyhyesti. Teknologiametallien kierrätys- ja kiertotalousnäkökulmat kuitenkin yhdistävät monia näiden parissa toimivia Satakuntalaisia yrityksiä.

Suomen Akkukeräys Oy on keskittynyt käytettyjen lyijyakkujen hyödyntämiseen ja operoi maan johtavaa lyijyakkujen käsittelylaitosta Raumalla. Yrityksellä on käytössä suuritehoinen lyijyakkumurskain, jonka kapasiteetti riittäisi käsittelemään kaikki Suomessa kierrätettävät lyijyakut. Lyijymurske ja lyijyliete kuljetetaan asiakkaille uusiokäyttöön. (Suomen Akkukeräys)

Harjavallan suurteollisuuspuistossa **Norilsk Nickel Harjavalta Oy** (Nornickel) tuottaa nikkelikivistä nikkelikatodeja, nikkelibrikettejä sekä nikkeli- ja kobolttikemikaaleja. Tähän yhteyteen on muodostumassa akkuteollisuuden keskittymä, kun **BASF** ja Nornickel ovat solmineet pitkäaikaisen sopimuksen metalliraaka-ainetoimituksista litiumioniakkujen katodimateriaalien tuotantoa varten. BASF pyrkii luomaan eurooppalaista akkumateriaaliteollisuutta, ja on rakentamassa Harjavaltaan katodiaktiivisen materiaalin esiasteen (PCAM) tuotantolaitosta. Laitoksen suunniteltu kapasiteetti riittää noin 400 000 täyssähköajoneuvon akun valmistukseen vuodessa. Tehtaan on määrä aloittaa toimintansa vuonna 2022. Tähän kytkeytyy myös **Fortum Waste Solutions Oy** vuonna 2020 solmitun aiesopimuksen myötä. Nornickel, Fortum ja BASF allekirjoittivat aiesopimuksen sähköajoneuvomarkkinoita palvelevan akkukierrätysklusterin rakentamisesta Harjavaltaan. Harjavallassa toimii Fortum Waste Solutionsiin kuuluva yhtiö **Crisolteq**, joka on erikoistunut litiumioniakkujen kierrätysteknologiaan. Yhteistyöjärjestely mahdollistaisi käytetyistä akuista saatavien kriittisten metallien suljetun kierron ja uudelleenkäytön.

Tässä osassa esiteltiin SER käsittelyn ja hyödyntämisen tekniikkaa yleisesti, sekä niiden tekijöitä Satakunnan alueelta. Satakunnasta löytyy runsaasti metalli- ja kierrätysalan toimijoita, jotka ovat menestyneet omalla toimialallaan. Kestävän kehityksen ja kiertotalousteeman ympärillä kehittyä jatkuvasti uusia liiketoimintoja maailmalla, ja mahdollisesti myös Satakunnan alueella. Alueelta löytyy laajasti metallien tuotanto-, jalostus- ja teknologiaosaamista, siihen liittyvää infraa sekä palveluyhteisö, jotka luovat alueesta houkuttelevan sijoittumiskohteen uudelle kiertotalousliiketoiminnalle.

4. SER kierrätyksen ja hyödyntämisen ekosysteemit ja muut merkittävät toimijat

Tässä luvussa kuvataan lyhyesti alan kehityksen kannalta mielenkiintoiset ekosysteemit ja toiminnot.

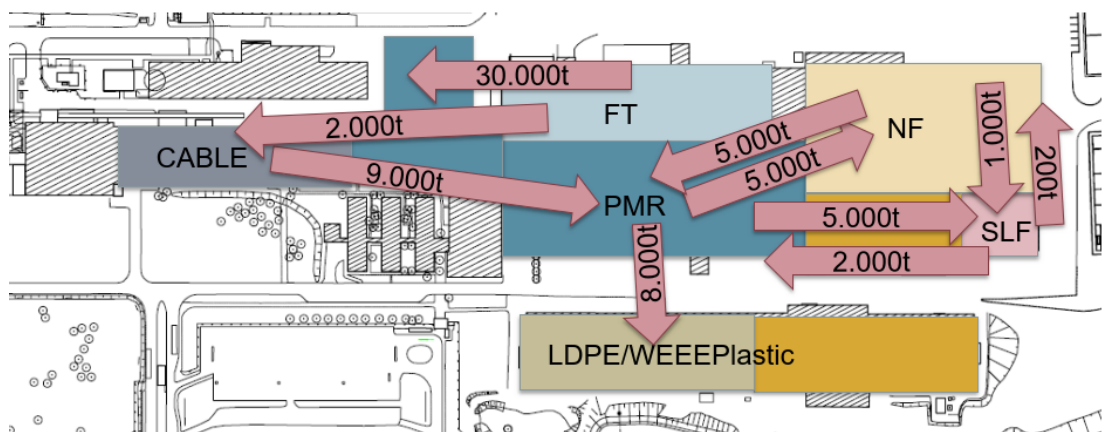
- Stena Nordic Recycling Center
- Fortum kierrätys- ja jäteliiketoiminta
- LHJ Group
- WeeeFINer
- BATCircle

Stena Nordic Recycling Center, Halmstad, Ruotsi

Ruotsissa Stena Metall -konserni on investoinut viime vuosina SER kierrätykseen voimakkaasti. Heidän lippulaivatehtaansa on Ruotsin Halmstadissa sijaitseva Stena Nordic Recycling Center, joka otettiin käyttöön vuonna 2016. Laitoksessa käsitellään kokonaisvaltaisesti teollisuuden jätteitä, autoja sekä elektroniikkalaitteita. Automatisoidussa ja huippunykyaikaisessa käsittelyprosessissa on yhdistetty parasta teknologiaa ja uusimpia innovaatioita. Lopputuotteina on n. 30 erilaista materiaaliainetta, jotka toimitetaan eteenpäin asiakkaille raaka-aineina mm. sulatoille, valimoille sekä muille teollisuuden aloille. Stena Nordic Recycling Centerin kokonaiskapasiteetti vuositasona on 285 000 tonnia kierrätettävää jätettä, josta SER:n osuus on 110 000 tonnia. (SNRC 2018)

Stena Nordic Recycling Center muodostuu eri prosesseista, ja niiden sijoitus näkyy kuvassa 13. Kuvassa esiintyvät prosessien lyhenteet ovat FT: First treatment process, CABLE: cable granulation, PMR: precious metal recycling process, NF: Non-ferrous process, SLF: shredder light fraction process and LDPE/WEEEPlastic: plastic handling section. Lisäksi kuvassa on esitelty suuntaa-antavat käsittelymäärät tonneina vuositasona. Recycling Centerin keskeinen osa on PMR laitos, jossa saadaan eroteltua SER:n sisältämiä arvometalleja, maametalleja sekä muovia. Prosessin käsittelykapasiteetti on 25 t/h, 60 000 t/v.

NF-Metals, SLF-Fuel, PMR-Precious metals



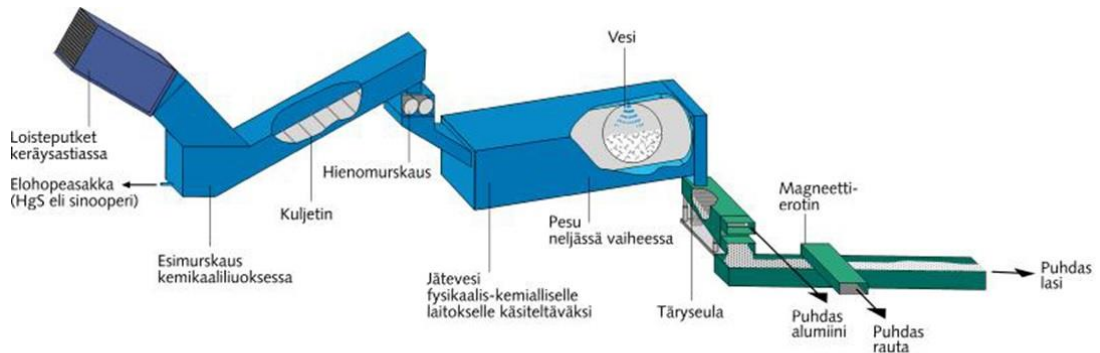
Kuva 13 Stena Nordic Recycling Center – käsittelylaitoksen osat ja käsittelymäärät, Halmstad, Ruotsi

Myös Suomessa on viime vuosien aikana muodostunut erinäisiä ryhmittymiä ja keskittymiä kierrätyksen ympärille. Suomesta viedään SER:ä jatkojalostettavaksi erityisesti Ruotsiin. Alan suomalaiset yritykset toimivat aktiivisesti yhteistyössä ruotsalaisten toimijoiden kanssa.

Fortum kierrätys- ja jäteliiketoiminta

Fortum on vahvistanut määrätietoisesti kiertotalousprofiiliaan Ekokem Oy:n sulauttamisen jälkeen. Fortumin kierrätys- ja jäteliiketoimintaan (Recycling&Waste) kuuluu SER:n käsittely ja kierrätystoiminnot mm. Riihimäellä ja Ikaalisissa. Fortum Recycling&Waste tarjoaa jätehuoltopalvelua yrityksille sekä kierrätystuotteita ja palveluita.

Fortum Waste Solutions Oy:n Riihimäen laitosalueella käsitellään vaarallisia jätteitä, yhdyskuntajätettä ja muita jättejakeita. Alueella on muovijalostamo, korkealämpötilapolttolaitos sekä kaksi arinapolttolaitosta. SER:n käsittelyn osalta Riihimäellä on loisteputkien käsittelylaitos, jossa loisteputkien sisältämä elohopea saostetaan elohopeasulfidiksi. Elohopeasulfidi menee loppusijoitukseen ja muu materiaali hyödynnetään uusioraaka-aineena. Fortum Waste Solutions Oy:n liikevaihto oli 122 milj. euroa vuonna 2018.



Kuva 14 Fortum Waste Solutions Oy:n loisteputkien käsittelylaitos Riihimäellä (Fortum Waste Solutions)

Fortumin osaksi vuoden 2018 syksyllä siirtynyt Fincumet Oy vastaanottaa, käsittelee ja välivarastoi metalliromua, metallipitoisia jätettä sekä sähkö- ja elektroniikkaromua Ikaalisissa Teikankaan laitoksella. Vuonna 2017 myönnetyn ympäristöluvan mukaan laitoksen kokonaisvastaanottomäärä on 21 000 t/a. Tästä noin puolet on terminaalitoimintaa ja puolet lajittelu- ja käsittelytoimintaa. Yritys on investoimassa laitokseen ja kehittämässä voimakkaasti sen toimintaa. Vuoden 2019 lopulla jätetyn ympäristölupa-hakemuksen mukaan laitoksen kokonaiskapasiteetti on tarkoitus nostaa 71 000 t/a. Suunniteltuja uusia toimintoja on mm. kaapeleiden granulointilaitteiston käyttöönotto sekä SER:n ja litiumioniakkujen purkulinjaston käyttöönotto. Useamman miljoonan euron arvoinen granulointilaitos on jo rakenteilla Teikankaalle. Granulointilaitoksella kupari- ja alumiinikaapeleista jalostetaan granulaaatteja, jotka toimitetaan uusioraaka-aineiksi valimoille ja sulattamoille. SER:n osalta laitos vastaanottaa sähkölaiteromua sähkönjakelujärjestelmistä sekä muuntajia ja kaapeliromua. Alla olevassa taulukossa näkyy selkeämmin suunniteltu laajennus vastaanottomäärissä. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2017; Fincumet Oy 2019; Fincumet Oy 2020)

Taulukko 7 Fincumet Oy:n Teikankaan laitoksella vastaanotettavat jätteet ja niiden määrät uudessa ympäristölupahakemuksessa (Fincumet Oy 2019)

Vastaanotettavat jätteet	Nykyinen vastaanottomäärä, t/a	Uusi vastaanottomäärä, t/a
Metalliromu	4 110	12 000
Rauta- ja teräsromu	6 900	20 000
Kaapelit ja muuntajat	7 900	24 500
Sähkö- ja elektroniikkaromu (SER)	1 100	7 000
Akkuromu (lyijyakut)	200	500
Litiumioniakut	-	3 000
Rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet	1 000	2 500
Muovit/lasi/paperi/pahvi energiakäyttö	-	500
Vaarallisten jätteiden pienerät	-	100
Yhteensä		70 100

Fincumet Oy:n Teikankaan laitoksesta on tämän ympäristölupahakemuksen tiedon perusteella tulossa merkittävä Fortumin kierrätystoiminnan keskus. Litiumioniakkujen kierrätykseen liittyen Fortum on vuoden 2020 keväällä ostanut Crisolteq Oy:n. Fortum markkinoi verkkosivuillaan, että heidän teknologiallaan yli 80% litiumioniakkujen sisältämistä arvokkaista aineista saadaan kierrätettyä uusiokäyttöön. Fortum on myös solminut yhteistyön aiesopimuksen BASF:n ja Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n kanssa akkukierrätysklusterin rakentamisesta Harjavaltaan. (Fortum 2020)

LHJ Group, Forssa

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n omistajina toimii yhteensä 16 kuntaa Kanta-Hämeestä, Varsinais-Suomesta, Satakunnasta sekä Pirkanmaalta. Yhtiö on sataprosenttisesti kuntien omistama. LHJ:n päätarkoitus on alusta asti ollut kunnan vastuulle kuuluvan jätehuollon palvelutehtävän hoitaminen omistajakuntiensa puolesta. LHJ:n yhteydessä toimii viiden yrityksen muodostama LHJ Group -konserni, jonka yritykset tarjoavat palveluita elinkeinoelämälle, julkishallinnolle ja tuottajayhteisöille elektroniikkaromun, pilaantuneen maan ja erityisjätteiden sekä tietosuojamateriaalien käsittelyssä. LHJ:n Kiimassuon jätekeskus Forssassa on merkittävä jätteiden käsittelyn ja kierrätyksen keskittymä, jonka osana on SER:n käsittely.

LHJ Groupiin kuuluva **Cool Finland Oy** on erikoistunut kierrättämään kylmälaitteita Suomessa ja Baltiassa. Yrityksen sisarlaitoksia toimii eri puolilla Eurooppaa. **Suomen Materiaalikierrätys Oy** (liikevaihto 2,1 milj. euroa v. 2018) tarjoaa kierrätysratkaisut kaikille sähkö- ja elektroniikkalaitteille (pl. kylmälaitteet) sekä metalliromun kierrätykselle ja uusioraaka-aineiden lajittelulle. Yritys tarjoaa myös jätehuollon kokonaispalveluja yrityksille. Lisäksi LHJ Groupiin kuuluu Suomen Erityisjäte Oy, joka on LHJ:n ja Kuusakosken yhteisyritys. Kiimassuon jätekeskuksessa käsitellään erilaisia jätteitä kokonaisvaltaisesti. Kuten kuvassa 15 näkyy, alueella sijaitsee muitakin kytkeytyviä toimintoja kuten energiantuotanto sekä vesihuolto, muodostaen synergisen kokonaisuuden.

Kiimassuon jätekeskus



1. Jätteen vastaanotto
2. LHJ Group toimisto
3. Pientuotaja-alue
4. REF-laitos
5. Suomen Materiaalikierrätys Oy
6. Cool Finland Oy, kylmälaitteiden käsittely
7. Öljyisten vesien keräysallas
8. LHJ:n tavanomaisen jätteen kaatopaikka
9. LHJ puutarhajätteen kompostointi
10. Suomen Materiaalikierrätys Oy

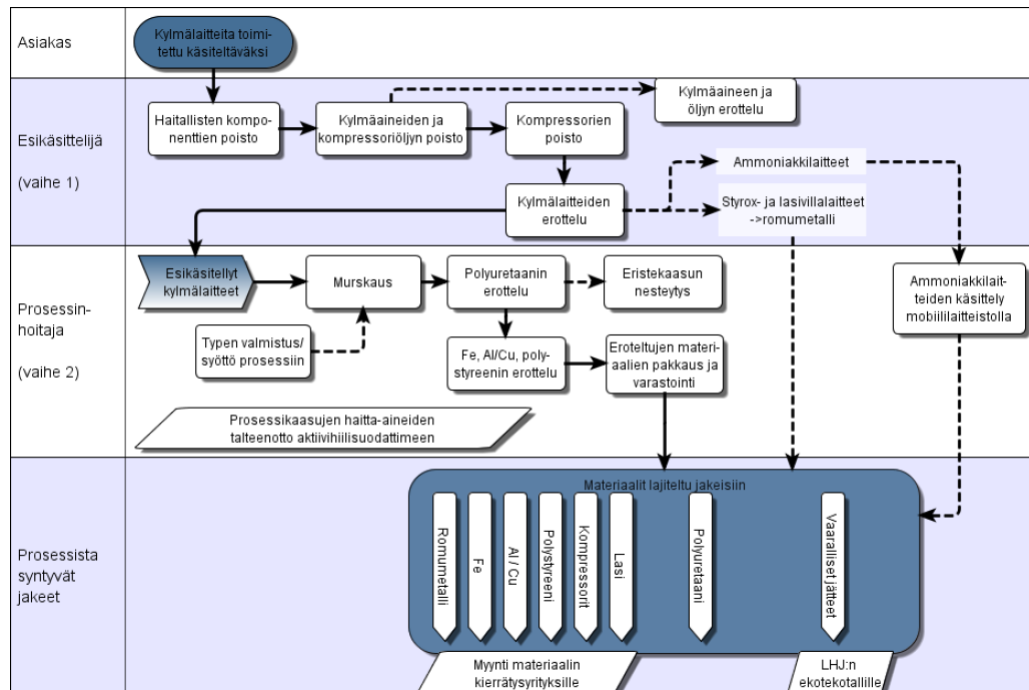
11. Suomen Erityisjäte Oy, tavanomaisen ja vakaan reagoimattoman vaarallisen jätteen kaatopaikka
12. Suomen Erityisjäte Oy, itäkentät
13. Suomen Erityisjäte Oy, vaarallisen jätteen käsittelykenttä ja kaatopaikka
14. Aurinkovoimalaitokset
15. Kaatopaikkakaasun pumppaamo
16. Tasaustaltaat

Muut alueen toimijat

17. Envor Biotech Oy, biokaasulaitos
18. Envor Biotech Oy, kompostointilaitos
19. Envor Recycling Oy
20. Envor Processing Oy
21. Vapo Oy
22. Forssan vesihuoltoliikelaitos
23. Envor Group toimisto
24. Asfaltti Alfa Oy
25. A-P Niemi Oy, turvetuotantoalue
26. J&J lavamyynti

Kuva 15 Kiimassuon jätekeskus (LHJ Group Vuosikertomus 2018)

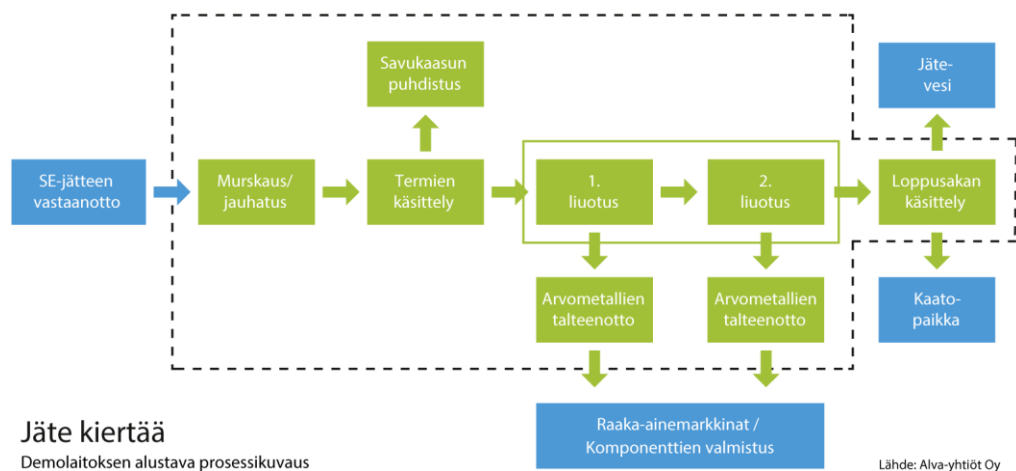
Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy on harjoittanut sähkö- ja elektroniikkaromun (SER) varastointi- ja käsittelytoimintaa koetoimintaluonteisesti vuonna 1999 ja varsinaisena toimintana vuodesta 2000 lähtien. Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittelytoimintaa harjoittaa kaksi erillistä yritystä kahdessa erillisessä käsittelylaitoksessa. Cool-Finland Oy käsittelee kylmälaitteita ja Suomen Elektroniikkakäsittely Oy muun SER-jätteen (kuvaputkelliset laitteet ja pienikokoiset laitteet). Voimassa olevan ympäristöluvan mukaan Kiimassuon SER-käsittelylaitos saa ottaa vastaan, käsitellä ja välivarastoida yhteensä enintään 20 000 t/a SER-jätettä. Yritysten vastaanottamat SER-jättemäärät olivat: Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy 1 100 t (v. 2011), Cool-Finland Oy 7 000 t (v. 2012), ja Suomen Elektroniikkakäsittely Oy 3 200 t (v. 2012). SER-laitoksessa käsitelty jättemäärä oli 10 200 t vuonna 2012. Kuvassa 16 esitellään Cool-Finland Oy:n kylmälaitteiden käsittelyprosessia.



Kuva 16 Cool-Finland Oy:n kylmälaitteiden käsittelyn prosessikaavio (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2015)

WeeeFINer pilotti-/demolaitos, Jyväskylä

Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella on tutkittu SER:n, erityisesti piirilevyjen, sisältämien arvometallien selektiivistä talteenottoa. Menetelmä perustuu 3D tulostettuun metallisieppariin, ja sen etuna on kyky ottaa talteen myös harvinaisia maametalleja arvometallien lisäksi. Menetelmän ympärille on perustettu start-up yritys WeeeFINer Oy. Menetelmään perustuvan demolaitoksen rakentaminen on suunnitteilla. Hankkeen yrityskonsortiossa ovat mukana Tapojärvi Oy, Jyväskylän Energia Oy (nykyinen Alva-yhtiöt Oy) ja Elker Oy. Tapojärvi on erikoistunut kaivosalan palveluihin ja teollisuusprosesseihin sekä materiaalien käsittelyyn. Hankkeen vetäjä, Alva-yhtiöiden Risto Ryyminin mukaan "demolaitoksen esisuunnitelma on tehty ja valmistelemme seuraavaa vaihetta. Tavoite on, että investointipäätös saatisiin viimeistään ensi vuoden [eli v. 2021] lopussa." Demolaitoksen käyttöönottoon arvioidaan kuluvan kaksi vuotta päätöksen teosta. (Karjalainen 2018; T&T 2020)



Kuva 17 WeeeFINer demolaitoksen alustava prosessikuvaus (T&T 2020)

Vuodesta 2019 lähtien on toiminut valtakunnallinen **BATCircle-konsortio**, joka toteuttaa Business Finlandin rahoittamaa noin 10 miljoonan euron tutkimushanketta. Sen fokusalue ei ole SER:n kierrätyksessä, vaan litiumioniakkujen kierrättämisessä. Mukana konsortiossa on Satakunnassa toimivia yrityksiä kuten Boliden Harjavalta, Norilsk Nickel Harjavalta, Outotec, Fortum, ja Crisolteq. Aalto-yliopiston johtaman yhteenliittymän tavoitteena on vahvistaa yhteistyötä ja Suomen kilpailukykyä akkumetalleihin liittyvässä liiketoiminnassa ja tutkimuksessa. Konsortiossa on kaikkiaan mukana 23 yritystä, 4 yliopistoa, 2 tutkimuslaitosta ja 2 kaupunkia (Pori ja Harjavalta). <https://www.batcircle.fi/>

Euroopan laajuisesti on myös lukuisia hankkeita, yhteistyötä ja yhdistyksiä SER:n ja kriittisten raaka-aineiden kierrätyksen tiimoilta. Esimerkiksi aiemmin mainitut Aurubis, Boliden ja Stena ovat European Electronics Recyclers Associationin (EERA) jäseniä. Koko ala on ollut murroksessa viimeisen vuosikymmenen aikana ja toimijakartta elää voimakkaasti.

5. Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Satakunta ja sen lähialueet ovat jo nyt vahvasti mukana SER:n keräämisessä, käsittelyssä ja hyödyntämisessä. Alueella toimii kolme sähkö- ja elektroniikkaromua vastaanottavaa ja käsittelevää yritystä: Stena Recycling, Kuusakoski ja Eurajoen romu. SER:a hyödyntää tällä hetkellä lähinnä Boliden Harjavalta. Alueelliset ekosysteemit SER:n hyödyntämisessä ovat kuitenkin vielä vähäisiä ja kaipaavat vahvistamista. Vuoropuhelua SER-jätteen käsittelijöiden ja mahdollisten hyödyntäjien välille tarvitaan enemmän. Prosesseja tulisi kehittää yhdessä tehokkaampien kierrätyksen ekosysteemien luomiseksi.

Satakunnassa hyödynnettävissä olevat SER:stä erotellut jakeet ovat kupariromu, piirilevyjäte ja mahdollisesti myös NdFeB magneetit. Kupariromulle on jo vakiintuneet käsittely ja hyödyntäminen menetelmät. Kuparijakeen osalta kehittämiskohteen voisi olla puhtausasteen nosto valimoiden laatuvaatimusten täyttämiseksi sekä romun kierrätyslogistiikan optimointi. Logistisesti ei välttämättä ole järkevää kuljettaa romuja maasta toiseen, jos ne voidaan hyödyntää myös paikallisesti. Ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta on tärkeää huomioida myös kuljetusten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt.

Piirilevyjäte voidaan hyödyntää Bolidenin kuparisulatossa, jonka kautta kierrätettynä romun arvokkaimmat metallit saadaan talteen. Piirilevymurskan on kuitenkin oltava sellaisessa muodossa, että siitä ei aiheudu ongelmia sulattoprosessille. Tämä edellyttää tarpeeksi pientä palakokoa, mikä asettaa vaatimuksia romun murskaukselle. Boliden hyödyntää jo nyt Satakunnassa käsiteltyjä piirilevyjä raaka-aineenaan, mutta kuitenkin vain osaa siitä. Piirilevyjakeen paikallisen kierrättämisen tehostaminen olisikin SER:n osalta kiinnostava kehittämiskohde Satakunnassa.

Prosessiteollisuudessa on kasvava paine vähentää hiilen käyttöä. SER:n ja piirilevyjakeen sisältämän muovin hyödyntäminen energiana on kiinnostava mahdollisuus metallien kierrätyksen lisäksi. Boliden selvittää metallienjalostusprosessissa käytettävän hiilen (koksen) vähentämistä kierrätysraaka-aineiden muovin avulla.

SER-jätteestä eroteltujen magneettien hyödyntämiselle ei ole paikallista kierrätysprosessia vielä olemassa. Magneettimateriaali on todennäköisesti niin sekalaista, ettei sen suora kierrättäminen pulverointi-prosessin kautta ole mahdollista. Prizztech Oy on yhteistyössä Neorem Magnets Oy:n kanssa tutkinut ja testannut suurikokoisten kestopagneettien kierrättämistä hyvin tuloksin. Kun tasalaatuista kierrätysmagneettimateriaalia on riittävän suuri erä tarjolla, on sen kierrättäminen energiatehokkaalla pulverointiprosessilla mahdollista. Eri magneettilaatua sisältävän romun kierrättäminen ei samalla tavoin onnistu. Tällainen magneettimateriaali tulisi valaa uudelleen, eikä Satakunnasta tai edes Suomesta löydy tällä hetkellä NdFeB yhdisteen valamiseen erikoistunutta yritystä. Käytännössä sekalainen magneettiromu joudutaan lähettämään Kiinaan käsiteltäväksi, jotta sen sisältämät harvinaiset maametallit saadaan kierrätettyä. Tilanne voisi olla toinen, jos magneetit saataisiin kohteittain eroteltua, esimerkiksi

suoravetoisten pesukoneiden sisältämät magneetit omaksi jakeekseen ja esim. kovalevymagneetit omakseen. Erotteluprosessien kehittäminen tällaisen tarkemman erottelun suuntaan voisi olla yksi tulevaisuuden kehittämiskohde.

Nykyiset SER-jätteen käsittelyprosessit koostuvat manuaalisesta esikäsittelystä ja usein tätä seuraavasta murskauksesta. Manuaalinen purkaminen on työlästä ja kallista kun taas murskauksessa kaikki jätteen sisältämät jakeet sekoittuvat ja niiden erottelu vaatii materiaaliakohtaisia erottelumenetelmiä. Prosessikokonaisuuden kehittäminen automatisoidumpaan suuntaan hyödyntäen robotteja purkamisessa ja konenäköä jakeiden erottelussa on varmasti yksi tulevaisuuden trendi.

Tässä raportissa on keskitytty SER:n kierrätykseen, mutta laitteiden ja komponenttien käyttöiän pidentämisellä ja uudelleenkäytöllä on myös merkitystä. Kiertotaloustietoinen tuotesuunnittelu olisi tehokas keino edistää SER-jätteiden synnyn ehkäisyä, huomioimalla paremmin tuotteen kestävyyttä, korjattavuutta ja kierrätettävyyttä. Jotkut kierrätystoimijat ovat tehneet valmistavan teollisuuden kanssa yhteistyötä suunnittelemalla ja optimoimalla tuotteen ja sen valmistusprosessissa syntyvien sivuvirtojen kierrätettävyyttä ja siten vähentävät yhdessä tuotteen hiilijalanjälkeä. Arvokkaimpien sähkö- ja elektroniikkalaitteiden osalta tällainen yhteistyö voisi tuoda myös taloudellista hyötyä. Valmistuksen ja toimitusketjun lisäksi huollon ja kierrätysalan toimijoita yhdistävän, koko tuotteen elinkaaren kattavalla ekosysteemillä tai uudenaikaisella liiketoimintamallilla voisi luoda harppauksen SER kiertotaloudelle.

Yhteiskunnan sähköistyminen lisää erilaisten sähkön tuotantoon ja kuluttamiseen liittyvien laitteiden kysyntää. Jotta kasvavaan kysyntään voidaan vastata, on käytöstä poistettavien laitteiden materiaalit saatava mahdollisimman tehokkaasti kiertoon uusien raaka-aineeksi. Käytöstä poistettujen sähkö- ja elektroniikkalaitteiden kierrätysasteen nostaminen on tulevaisuudessa entistä tärkeämpää. Kierrättäminen on oltava kuluttajalle helppoa ja motivoivaa. Motivaatio syntyy siitä, kun ymmärtää, että romulaitteella on myös arvoa, kun sen materiaalit saadaan uusiokäyttöön. Tämä vaatii viestintää. Kierrätystoiminnan on oltava myös ennakoivaa. On tiedettävä, millaisia laitteita tulevaisuudessa kierrätykseen tulee, ja kehitettävä uudentyyppisiä käsittelyteknologioita niiden tehokkaaseen hyödyntämiseen. Tässä Satakunta voisi olla edelläkävijänä.

Lähteet

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P. : The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. 2017.

Boliden Annual Report 2019 <https://vp217.alertir.com/afw/files/press/boliden/202003107199-1.pdf>
<https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>
<https://www.boliden.com/sustainability/case-studies/largest-electronic-material-recycler-in-the-world>

CENELEC. European Standards for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). CENELEC, 2017.
<https://www.cenelec.eu/news/publications/publications/weee-brochure.pdf>

CEWASTE consortium. CEWASTE requirements for improving CRM recycling from WEEE and waste batteries. 2019. <https://cewaste.eu/wp-content/uploads/2019/12/CEWASTE-normative-requirements-for-public-consultation.pdf>

Elker Oy <http://elker.fi/>

ERP Finland ry <https://erp-recycling.org/fi-fi/>

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. Kiimassuon jätekeskuksen toimintaa koskevien ympäristölupien lupamääräysten tarkistamista... Päätös Nro 80/2015/1, Dnro ESAVI/92/04.08/2011, Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 30.3.2015.

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. Mäntyluodon jätteenkäsittelylaitoksen ympäristölupa ja toiminnan aloittamislupa, Pori. Päätös Nro 131/2016/1. Dnro ESAVI/9264/2015. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 30.5.2016.

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. Tahkoluodon kierrätyslaitoksen toiminnan muuttaminen sekä toiminnan aloittamislupa, Pori. Päätös Nro 317/2019. Dnro ESAVI/12635/2017. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 22.8.2019.

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. Stena Recycling Oy:n Peittoonkorven kaatopaikan ympäristöluvan muuttaminen, Pori. Päätös Nro 11/2020. Dnro ESAVI/40639/2019. Etelä-Suomen aluehallintovirasto, 23.1.2020.

Eurajoen Romu <http://www.eurajoenromu.com/fi/index.html>

Eurajoen Romu Oy. Akkuterminaalien perustaminen ja metalliromun käsittelymäärien nostaminen. Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2017.

European Commission (EC). Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. SWD(2018) 36. European Commission, 2018.

European Electronics Recyclers Association (EERA) <https://www.eera-recyclers.com/recyclers>

Euroports Finland Oy. Euroports Finland Oy ja Eurajoen Romu Oy rakensivat palvelumallin, jossa on käytössä molempien osapuolien vahvuudet. 1.10.2019.
<http://www.euroports.fi/news.php?sid=105&src=news&udpview=lue-uutinen&lang=fi>

Fincumet Oy. Teikankaan käsittelylaitos, Ikaalinen. Ympäristölupahakemus 30.12.2019.

Fincumet Oy. Fincumet investoi kaapelilaitokseen. 31.1.2020. <https://fincumet.fi/blog/fincumet-investoi-kaapelilaitokseen>

Fortum. Suomalainen akkuteollisuus tiivistää yhteistyötään: Fortum, BASF ja Nornickel allekirjoittivat akkujen kierrätystä koskevan aiesopimuksen. 6.3.2020.

<https://www.fortum.fi/media/2020/03/suomalainen-akkuteollisuus-tiivistaa-yhteistyotaan-fortum-basf-ja-nornickel-allekirjoittivat-akkujen-kierratysta-koskevan-aiesopimuksen>

Fortum Waste Solutions <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/kierratys-ja-jatepalvelut/fortum-recyclingwaste/riihimaen-laitosalue>

Heikkinen, Veikko, Loukola-Ruskeeniemi, Kirsti. Metallien jalostus Suomessa: nykytila ja tulevaisuuden haasteet. Työ- ja elinkeinoministeriö. Maaliskuu 2015.

Hietala, Sakari. WEEE-direktiivin avoimen soveltamisalan vaikutukset B2C- ja B2B tuottajien velvoitteisiin ja Elker Oy:n ratkaisut raportointiin. (pdf) Elker Oy. 15.5.2018. <https://circhubs.fi/wp-content/uploads/2018/03/Sakari-Hietala-Elker-Oy.pdf>

Huoltovarmuuskeskus. Kriittiset metallit ja huoltovarmuus –selvitys, 2017. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/kriittiset-metallit-huoltovarmuus-selvitys-julkaistu/> <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/>

Härri, Anna. Kaukainen kaatopaikka - E-jätteen matka Suomesta kehitysmaihin. Eettisen kaupan puolesta ry, 2013.

Ignatius, S-M. et al. Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20 | 2009. Suomen ympäristökeskus. 2009. (pdf)

ISRI. 2017 World Scrap Trade Export Flow. <https://www.isri.org/docs/default-source/commodities/international-scrap-trade-database/world-flow-comtrade-2019---28mar2019.pdf?sfvrsn=8>, 2019.

Karjalainen, Jyrki. Asiakas- ja kilpailija-analyysi elektroniikkaromun kierrätyksessä. Opinnäytetyö. Lapin AMK, 2018.

Kulomäki, Suvi. Piirilevyjen koostumuksesta ja kierrätyksestä. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, 2016. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/52443/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201612195158.pdf>

Kupariteollisuuspuisto <https://www.kupariteollisuuspuisto.fi/alueen-esittely/>

Kuusakoski. Tilinpäätös 2018. <https://www.kuusakoski.com/globalassets/finland/kohokohdat/kuusakoski-group-oy-vuosikertomus-2018.pdf> 2019.

Kälviäinen, Suomen ympäristökeskus, Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely Suomessa 2009. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/39678>

LHJ Group Vuosikertomus 2018. <https://www.lhj.fi/client/lhj/userfiles/2018-vuosikertomus.pdf>

Lounais-Suomen Ympäristökeskus. Ympäristölupapäätös nro 75 YLO. Dnro LOS-2004-Y-805-111. 15.10.2009.

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto. Jätteiden kierrätys- ja käsittelytoimintaa koskeva ympäristölupa ja toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta, Ikaalinen. Päätös Nro 73/2017/1. Dnro LSSAVI/4638/2016. Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto, 2017.

Neorem Magnets <https://neorem.fi/>

NEUVOSTON ASETUS (EU) N:o 333/2011, annettu 31 päivänä maaliskuuta 2011, arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin tietyn tyyppiset romumetallit lakkaavat olemasta jätettä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY nojalla <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:094:0002:0011:FI:PDF>

Pirkanmaan ELY-keskus. Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden keräys- ja kierrätystilastot 2008-2017. ymparisto.fi julkaistu 10.7.2019. (pdf) <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B66649B3B-1645-4F2C-A867-A12298E42E1A%7D/148120>

Santa-Nokki, Timo. et al. Sähköautot ja Satakunnan teknologiametalliklusteri. Prizztech Oy, 15.4.2020. <https://www.prizz.fi/media/teknologiametallit/teknologiametallit-materiaalit/sahkoautot-ja-satakunnan-teknologiametalliklusteri.pdf>

SER-Tuottajayhteisö ry <http://www.serty.fi/fi/toiminta-ja-jaesenet>

SNRC (Stena Nordic Recycling Center). Welcome – presentation for EERA meeting (pdf). Stena Recycling 30 May 2018. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj9Yaqx9jpAhVT6KYKHTdrBpoQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.eera-recyclers.com%2Ffiles%2Fmeeting-eera-2018-05-30-eng.pdf&usg=AOvVaw1Ltx36sazOfGk1NMzSJ3Nr>

Stena Metall. Annual Report 2018-2019. https://www.stenametall.com/siteassets/investor-relations/arsredovisning/stenametall_annual-report_2018-2019.pdf Stena Metall, 2020.

Stena Nordic Recycling Center <https://www.stenatechnoworld.com/about-us/stena-nordic-recycling-center/>

Stena Recycling Oy. Tahkoluodon kierrätyslaitoksen ympäristöluvan muutoshakemus. 15.12.2017.

Suomen Akkukeräys Oy <https://akkukerays.fi/>

Suominen, Pekka; Haavisto, Minna. Tuulivoimalan purkupilotti. Prizztech Oy, 31.12.2019.

Talouselämä. Pietarila, Päivikki. Eurajoen Romu rynnii pääkaupunkiseudulle, vaikka korona varjostaa bisnestä yllättävällä tavalla. Talouselämä, 24.3.2020.

Toppila, Anu. Jätehuollon tuottajavastuun jätevirrat: Esimerkkinä sähkö- ja elektroniikkalaitteet sekä kannettavat paristot ja akut. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopiston kaupakorkeakoulu, 2011.

T&T. Tervola, Janne. ”Metalli talteen elektroniikkaromusta – Suomen SER-kierrätyskoelaitoshanke etenee” Tekniikka&Talous 28.1.2020.

Varsinais-Suomen ELY-keskus. YLVA-visualisointi: sähkö- ja elektroniikkalaitteiden virrat. 27.3.2020. <http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/40109937/YLVA-visualisoinnit+-+s%C3%A4hk%C3%B6-+ja+elektroniikkalaitteiden+virrat.pdf/0f70a4e5-0ec4-4005-bf73-01f380bac4e3>

Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta (VNa 519/2014). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140519>.

Viitala, Jarmo. Teolliset palvelut ja logistiikka: metallienjalostuksen ja –kierrätyksen raaka-ainelogistiikka Satakunnassa. Prizztech Oy 2019.

Väisänen, Ari. Kriittisten raaka-aineiden selektiivinen talteenotto SE-romusta. (pdf) Jyväskylän yliopisto, 16.5.2018. <https://circhubs.fi/wp-content/uploads/2018/03/Ari-V%C3%A4is%C3%A4nen-Jyv%C3%A4skyl%C3%A4n-Yliopisto.pdf>

Wieszczycka, K. et al. (ed). Metals in Wastes. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2018.

Ympäristöministeriö, Suomen Ympäristö 3/2017, Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023 – Taustaraportti, Helsinki 2017. (pdf)

Ympäristöministeriö. Ehdotus Valtioneuvoston asetukseksi Sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta. Muistio. 30.6.2014. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B891D2955-5B58-47C2-B097-922797DD59EA%7D/102365>