



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**KIERTOTALOUS  
ELEKTRONIIKKATEOLLISUUDESSA**

Assi Ahonen

Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Kiertotalous elektroniikkateollisuudessa

Assi Ahonen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 31 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Virpi Väisänen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli perehtyä kiertotalouden soveltamismahdollisuuksiin elektroniikkateollisuudessa. Työssä pyrittiin selvittämään elektroniikkateollisuuden kiertotalouteen liitettyjä haasteita sekä toimenpiteitä, joilla kiertotaloutta voidaan toteuttaa. Työssä pyrittiin lisäksi selvittämään lainsäädännöllisiä keinoja elektroniikkateollisuuden kiertotalouden edistämiseksi Euroopan unionin tasolla. Kandidaatintyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, joka on koottu aihepiiriin liittyvästä kirjallisuudesta ja sitä voidaan hyödyntää luomaan kokonaiskuvaa elektroniikan kiertotaloudesta.

Työssä havaittiin, että kiertotalousmalli pyrkii säilyttämään tuotteet ja niihin sitoutuneen arvon kierrossa mahdollisimman pitkään. Keskeisenä haasteena kiertotalouden näkökulmasta tunnistettiin muun muassa elektroniikkalaitteiden lyhyet käyttöiät sekä elektroniikan kertyminen kotitalouksiin, jolloin niiden sisältämä arvo hukataan. Kiertotalouden toimenpiteiden painopisteenä tulisikin olla elektroniikkalaitteiden käyttöikien pidentäminen. Työssä käsitellyistä kiertotalouden toimenpiteistä tuotesuunnittelulla, uudelleenkäytöllä, korjaamisella, kunnostuksella sekä palveluihin perustuvilla liiketoimintamalleilla pyritään pidentämään laitteiden käyttöikää ja siten säilyttämään niihin sitoutunutta arvoa. Myös kierrätyksellä havaittiin olevan tärkeä rooli arvon säilyttämisessä. Kierrätyksen osalta ongelmana nähtiin joidenkin metallien talteenoton haasteet.

*Asiasanat: kiertotalous, elektroniikkateollisuus, uudelleenkäyttö, kierrätys*

# ABSTRACT

Circular Economy in the Electronics Industry

Assi Ahonen

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Bachelor's thesis 2022, 31 p.

Supervisor(s) at the university: Virpi Väisänen

The objective of this Bachelor's thesis is to focus on the application opportunities of circular economy in the electronics industry. The thesis aimed to address the challenges associated with circular economy in the electronics industry as well as measures to implement it. The work also aimed to find out the legislative means of promoting the circular economy of the electronics industry at European Union level. This Bachelor's thesis was carried out as a literature review which is compiled from literature related to the topic and can be utilized to create an overall picture of the circular economy of electronics industry.

The thesis revealed that the circular economy model aims to maintain products and the value embedded to them in rotation for as long as possible. The short lifecycles of electronic devices and the loss of value embedded to devices as they accumulate to households was identified as a key challenge from a circular economy perspective. The focus of circular economy measures should be on extending the life of electronic equipment. Of the circular economy measures discussed in the thesis, product design, reuse, repair, refurbishment and service-based business models aim to extend the life of equipment and thus maintain the value embedded to them. Recycling was also found to play an important role in preserving value. When it comes to recycling the challenges of recovering some metals was identified as a problem.

*Keywords: circular economy, electronics industry, reuse, recycling*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	5
2 Elektroniikkateollisuus.....	6
3 Kiertotalous .....	8
4 Kiertotalouden keskeisimmät haasteet elektroniikkateollisuudessa .....	10
5 EU:n kiertoelektroniikka-aloite.....	12
6 Kiertotalouden toimenpiteitä elektroniikkateollisuudessa .....	14
6.1 Kiertotalouden huomioiminen tuotesuunnittelussa.....	14
6.2 Elektroniikkatuotteiden käyttöiän pidentäminen .....	15
6.3 Materiaalien kierrätysmahdollisuudet.....	18
6.4 Tuote palveluna ja jakamistalouden ratkaisut .....	20
7 Yhteenveto ja johtopäätökset .....	22
LÄHDELUETTELO.....	24

# 1 JOHDANTO

Siirtymä lineaarisesta talousmallista kiertotalouden mukaiseen suljettuun talousmalliin on tärkeää lineaariseen talousmalliin liittyvien ympäristörasitteiden vuoksi. Lineaarisella talousmallilla tarkoitetaan talouden mallia, joka koostuu tuotteen valmistamisesta, sen käyttämisestä ja lopulta sen hävittämisestä. Sen sijaan kiertotalousmalli pyrkii säilyttämään kerran valmistetun tuotteen ja sen sisältämät materiaalit kierrossa mahdollisimman pitkään. (Sitra 2014) Etenkin resurssien rajallisuus painostaa siirtymään kiertotalousmalliin. Elektroniikkasektori on yksi tärkeimmistä kiertotalouden sovellusaloista sen resurssi-intensiivisen tuotannon vuoksi. Osa elektroniikkalaitteiden sisältämistä raaka-aineista ovat lisäksi harvinaisia ja joidenkin taloudellisesti arvokkaiden raaka-aineiden saatavuuteen voi liittyä riskejä. Resursseja kuluttavan tuotannon lisäksi elektroniikkalaitteista muodostuu runsaasti jätettä, jonka käsittelystä seuraa ympäristöön, terveyteen ja vastuullisuuteen liittyviä ongelmia, joita kiertotalouden toimenpiteillä voidaan pyrkiä ratkaisemaan.

Tämän kirjallisuusselvityksenä toteutetun kandidaatintyön tarkoituksena on tutustua elektroniikkateollisuuden kiertotalouteen. Työssä käsitellään elektroniikkateollisuutta pääpiirteittäin sekä määritellään kiertotalouden käsite. Lisäksi eritellään elektroniikkateollisuuden kiertotalouteen liittyviä haasteita ja tutustutaan Euroopan unionin kiertoelektroniikka-aloitteen sisältöön. Lopuksi käsitellään keskeisimpien kiertotalouden toimenpiteiden soveltamista elektroniikkateollisuudessa ja muun muassa pohditaan sitä, mitkä tekijät vaikuttavat niiden soveltamiseen ja miten niiden avulla voidaan ratkaista edellä käsiteltyjä haasteita. Työssä käsiteltäviä kiertotaloustoimenpiteitä ovat kiertotalouden huomioiminen tuotesuunnittelussa, elektroniikkalaitteiden käyttöiän pidentäminen, materiaalien kierrätysmahdollisuudet sekä tuote palveluna-konseptin ja jakamistalouden ratkaisujen soveltaminen elektroniikkasektorilla.

## 2 ELEKTRONIIKKATEOLLISUUS

Sähkö- ja elektroniikkalaitteita voidaan määrittellä tuotteeksi, joka sisältää virtapiirin tai elektroniikkakomponentteja sekä akun tai virtalähteen. Sähkö- ja elektroniikkalaitteisiin kuuluu laaja valikoima erilaisia laitteita, jotka voidaan luokitella eri tuotekategorioihin seuraavasti (Forti ym. 2020)

- 1) Lämmönvaihtolaitteet esim. jääkaapit, pakastimet ja ilmastointilaitteet
- 2) Näytöt ja monitorit esim. televisiot, kannettavat tietokoneet ja tabletit
- 3) Valaisimet
- 4) Suuret elektroniikkalaitteet esim. pesukoneet ja kuivausrummut
- 5) Pienet elektroniikkalaitteet esim. imurit, mikroaaltouunit sekä leivänpaahattimet
- 6) Pienet IT- ja televiestintälaitteet esim. matkapuhelimet, GPS-laitteet ja reitittimet

Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden tuotanto on resurssi-intensiivinen toimiala. Niiden tuotanto kuluttaa runsaasti resursseja, sillä ne sisältävät lukuisia alkuaineita. Osa näistä alkuaineista on Euroopan komission luokituksen mukaan kriittisiä raaka-aineita. Kriittisillä raaka-aineilla tarkoitetaan aineita, jotka ovat taloudellisesti merkittäviä, mutta joiden saantiin voi liittyä riskejä. Tyypillisiä elektroniikassa hyödynnettäviä kriittisiä raaka-aineita ovat muun muassa koboltti, antimoni, gallium, germanium sekä harvinaiset maametallit. (Judl ym. 2020) Elektroniikkalaitteiden materiaalien louhinta, talteenotto ja jalostaminen kuluttaa lisäksi runsaasti kemikaaleja, energiaa ja vettä. (Bachér ym. 2020)

Elektroniikkateollisuus on yksi nopeimmin kasvavia toimialoja. Syitä nopealle kasvulle on muun muassa vahvan kilpailun mahdollistama elektroniikkalaitteiden hintojen lasku, ja sitä seurannut kysynnän kasvu ja laitteiden vaihtosykliden lyheneminen sekä teknologiset saavutukset. (O'Connor ym. 2016; Bachér ym. 2020) COVID-19-pandemia on myös osaltaan vaikuttanut toimialan kasvuun viime vuosina. Sen seurauksena lisääntynyt etätyöskentely ja verkko-opiskelu ovat kasvattaneet etenkin älypuhelimien ja kannettavien tietokoneiden kysyntää. Toisaalta pandemian aiheuttamat toimitusketjujen häiriöt ovat aiheuttaneet myös haasteita toimialan kasvulle. (Yu ym. 2020) Globaalin

sähkö- ja elektroniikkalaitteiden kulutuksen kokonaispainon on arvioitu kasvavan vuosittain keskimäärin 2,5 miljoonaa tonnia (Mt). (Forti ym. 2020)

Elektroniikkalaitteiden sovelluskohteet lisääntyvät jatkuvasti. Kotitalouksien ja yritysten yksittäisten elektroniikkalaitteiden lisäksi niitä hyödynnetään yhä enemmän esimerkiksi rakennuksien lämpötilan säädössä, valaistuksessa ja turvallisuusjärjestelmissä sekä liikennejärjestelmissä. Lisäksi esimerkiksi lääketieteellisessä seurannassa hyödynnettävä puettava elektroniikka, kuten tekstiileihin ja vaatteisiin integroitu elektroniikka ja älykellot ovat yleistyneet. Puhtaan teknologian käyttö lisää myös osaltaan elektroniikkalaitteiden, kuten aurinkosähköpaneelien tarvetta. Toisaalta digitalisaation suomilla virtuaalisilla palveluilla, kuten striimauspalveluilla ja pilvipalveluilla, elektroniikkalaitteiden tarvetta on mahdollista vähentää. (Parajuly ym. 2019)

Elektroniikkalaitteiden valmistukseen keskeisesti liittyvä trendi on elektroniikkalaitteiden pientyminen. Tavoitteena on pienentää materiaalikustannuksia samalla laitteiden toiminnallisen tiheyden eli toimintojen määrän tilavuutta kohden kasvaessa. Laitteiden pieni koko tekee niiden kierrätyksestä monimutkaista ja on lisännyt laitteiden käyttöä ja sen seurauksena elektroniikkajätteen määrää. (Bachér ym. 2017)

Elektroniikka- ja IT-teollisuuden globaalin kokonaistuotannon arvioitiin kasvavan vuonna 2020 vain 2 % ja saavuttavan 2972.7 biljoonaa dollaria. (Jeita 2020) Kokonaistuotannon pieni kasvu johtui muun muassa COVID-19-pandemian aiheuttamista häiriöistä toimitusketjuihin sekä puolijohteiden globaalista pulasta. Globaalin kokonaistuotannon on arvioitu kasvavan 9 % vuonna 2021 verrattuna vuoteen 2020, sillä pandemian aiheuttamat ongelmat pystytään tunnistamaan ja niihin voidaan varautua. Vuonna 2022 kasvun arvioidaan olevan 6 % verrattuna vuoteen 2021. (Statista 2021)

Euroopan unionissa elektroniikkatuotteita tuodaan markkinoille vuosittain reilu 20 kg asukasta kohti. Yli puolet (n. 60 %) vuosittain markkinoille tuoduista elektroniikkatuotteista valmistetaan EU:ssa ja loput (n. 40 %) tuodaan EU:n ulkopuolelta. Suomessa arviolta 80 % markkinoille tuoduista elektroniikkatuotteista on tuotu muualta. Kuluttajaelektroniikan osalta lähes kaikki markkinoille tuoduista elektroniikkatuotteista on peräisin Suomen ulkopuolelta. (Ruokamo ym. 2021)

### 3 KIERTOTALOUS

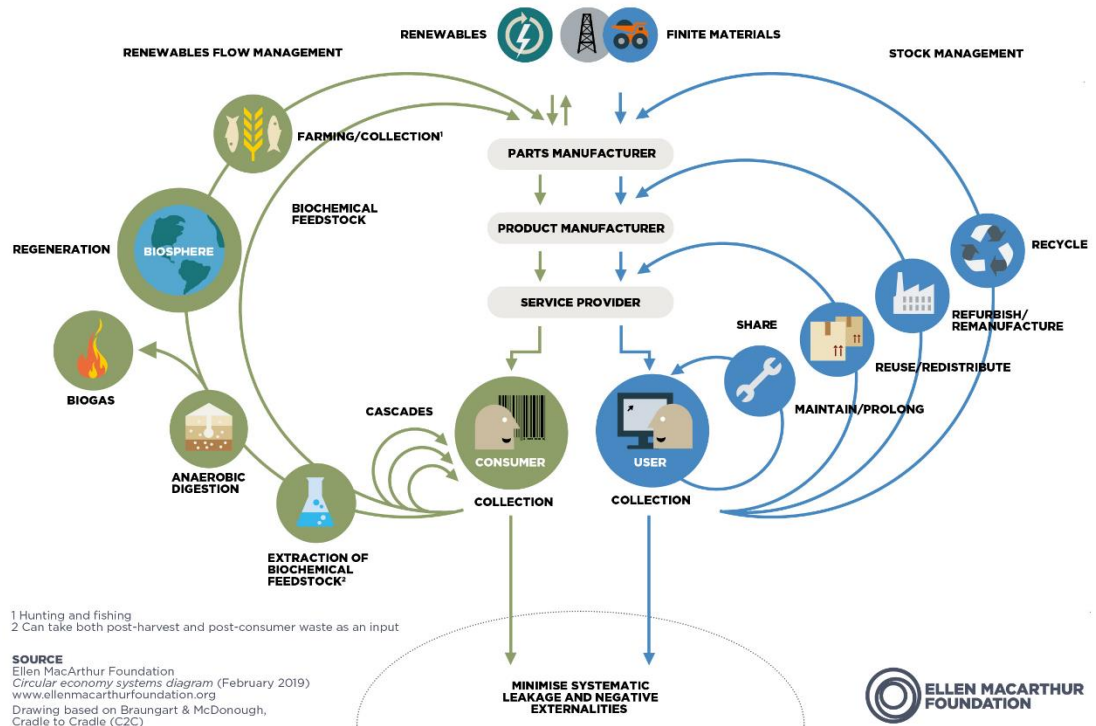
Ellen MacArthur Foundationin (2013) määritelmän mukaan kiertotalousmalli perustuu viiteen yksinkertaiseen perusperiaatteeseen. Ensimmäinen kiertotalousmallin tavoitteena on eliminoida jätteen syntyminen suunnittelemalla tuotteet siten, että ne ovat mahdollista kunnostaa, uudelleenkäyttää ja purkaa takaisin materiaaleiksi, jotka voidaan edelleen hyödyntää. Toiseksi kiertotalousmallin mukaan tuotantoprosesseissa tulee nojata uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Uusiutuvaa energiaa hyödyntämällä voidaan kasvattaa kiertotalousajattelun mukaista riippumattomuutta neitseellisistä resursseista. Mallin mukaan tuotteiden suunnittelussa tulisi priorisoida ominaisuuksia, joiden kautta voidaan pidentää tuotteen elinkaarta, kuten modulaarisuutta, muunneltavuutta ja mukautuvuutta. Tällä kiertotalouden huomioivalla tuotesuunnittelulla pyritään varmistamaan tuotteen kyky vastata jatkuvaan kehitykseen ja mahdollisiin ulkoisiin häiriöihin. Systemiajattelu on lisäksi keskeinen osa kiertotaloutta. (Ellen MacArthur Foundation 2013) On tärkeää tarkastella systeemin osien muodostamaa kokonaisuutta yksittäisten osien sijaan. (Sitra 2014) Viimeisenä keskeisenä periaatteena on kaskadikäytön lisääminen biologisten materiaalien osalta. Materiaalien kaskadikäytöllä tarkoitetaan niiden uudelleen käyttämistä eri käyttötarkoituksissa. (Ellen MacArthur Foundation 2013)

Kiertotaloutta voidaan havainnollistaa Ellen MacArthur Foundationin laatimalla perhosdiagrammilla. (Kuva 1) Perhosdiagrammin ”siivet” muodostuvat biologisista (oikea puoli) ja teknisistä (vasen puoli) materiaalikiirroista. Biologisilla materiaaleilla tarkoitetaan uusiutuvia materiaaleja, jotka voidaan turvallisesti palauttaa takaisin biosfääriin. (Ellen MacArthur Foundation 2014) Teknisiä materiaaleja ei voi palauttaa luonnon kiertoihin, sen sijaan ne voidaan säilyttää teknisessä kierrossa jakamisen, ylläpidon, uudelleenkäytön, uudelleenvalmistuksen ja tuotteiden kierrätyksen kautta. (Velenturf ym. 2019)

Diagrammissa silmukan koko havainnollistaa tuotteeseen tai materiaaliin sitoutuneen arvon säilymistä kierrossa. Tuotteisiin ja materiaaleihin sisältyvä arvo koostuu käytetystä energiasta ja tehdystä työstä. Mitä tiukempi silmukka, sitä vähemmän tuote tai materiaali menettää arvoaan. (Valtioneuvosto 2021) Mitä pidempään ja mitä useamman peräkkäisen kerran materiaalit ja tuotteet kiertävät silmukassa, sitä paremmin niihin sitoutunut arvo säilyy. Biologisten materiaalien ja tuotteiden arvoa pyritään säilyttämään



kaskadikäytöllä. Tuotteen tai materiaalin käyttötarkoitus voi poiketa alkuperäisestä käyttötarkoituksesta, jolloin niillä voidaan korvata neitseellisen materiaalin tarvetta toisessa arvoketjussa. Materiaaleihin ja tuotteisiin sitoutunutta arvoa pyritään säilyttämään myös materiaalivalinnoilla. Puhtailla materiaalivirroilla voidaan ylläpitää kiertävien materiaalien laatua ja siten pidentää niiden elinikää ja parantaa materiaalitehokkuutta. (Ellen MacArthur Foundation 2014)



Kuva 1. Kiertotalouden perhosdiagrammi. (Ellen MacArthur Foundation 2021)

## 4 KIERTOTALOUDEN KESKEISIMMÄT HAASTEET ELEKTRONIikkATEOLLISUUDESSA

Keskeinen haaste kiertotaloudelle on elektroniikkatuotteiden lyhyet käyttöiät sekä tuotteiden nopea vanheneminen. Elektroniikkatuotteiden käyttöiät riippuvat laitetyypistä. Suurten elektroniikkalaitteiden kuten pesukoneiden käyttöiät ovat tyypillisesti korkeampia kuin pienelektroniikan käyttöiät. (Bachér ym. 2017) Esimerkiksi älypuhelimia käytetään keskimäärin vain vähän alle kaksi vuotta. (Cordella ym. 2021) Käyttöiät ovat lyhentyneet etenkin niiden elektroniikkalaitteiden osalta, joiden käyttöiät ovat jo valmiiksi suhteellisen lyhyitä. (Bachér ym. 2017) Elektroniikkatuotteiden pienentyneiden käyttöikien seurauksena elektroniikkajätteen määrä kasvaa sekä kriittisten ja harvinaisten, raaka-aineina käytettyjen alkuaineiden tarve lisääntyy. (Eerola ym. 2021)

Elektroniikkatuotteiden lyhyet käyttöiät ovat tavallisesti seurausta teknisestä, esteettisestä tai suunnitellusta vanhenemisestä. (O'Connor, ym. 2016) Suunniteltu vanheneminen on elektroniikkatuotteiden valmistajien näkökulmasta edullinen ilmiö. Sillä tarkoitetaan tuotteiden tarkoituksenmukaista suunnittelemista siten, että niiden käyttöikä on lyhyempi kuin se normaalisti olisi. (Bakker ym. 2013) Tavoitteena on ohjata kuluttajat korvaamaan elektroniset tuotteensa aiemmin kuin olisi tarpeen. Tuotteet voidaan muun muassa suunnitella sellaisiksi, että niiden korjaaminen ei monimutkaisuuden tai kustannusten vuoksi ole järkevää. Vastaavasti elektroniikkatuote voi myös vanhentua, vaikka itse laitteessa tai sen komponenteissa ei olisi mitään vikaa. Tällöin ohjelmiston kehittäjä ei tarjoa enää ohjelmistotukea tai elektroniikkalaitteeseen ei ole mahdollista ladata ohjelmistopäivityksiä, minkä seurauksena laitteen suorituskyky huononee ja laitteen toiminnallisuudet rajoittuvat. (Satyro ym. 2017; Eerola ym. 2021) Suunnitteluun liittyvien tekijöiden lisäksi tuotteiden vanhenemiseen vaikuttaa myös kuluttajien käyttäytymiseen liittyvät tekijät kuten tiedon puute takuujaksoista ja elektroniikkalaitteiden huono käsittely. (Eerola ym. 2021)

Käyttämättömän kierrätyskelpoisen elektroniikan kertyminen kotitalouksiin on lisäksi keskeinen haaste kiertotalouden toteutumiseksi elektroniikkateollisuudessa. Elektroniikkatuotteiden kertymisen kotitalouksiin arvellaan johtuvan kuluttajien käyttäytymiseen liittyvistä tekijöistä kuten tiedon puutteesta liittyen elektroniikkaromun asianmukaiseen hävittämiseen ja korjausmahdollisuuksiin, tuotteen säilyttämisestä

varalaitteena tai tietoturvaan liittyvistä huolista koskien laitteiden palauttamista kierrätykseen tai uudelleenkäyttöä varten. (Nowakowski 2018; Tanskanen 2013) Lisäksi kuluttajasta riippumaton syy voi olla puutteellisesti järjestetty keräysinfrastruktuuri. (Eerola ym. 2021) Kotitalouksiin kertyvä elektroniikkaromu on pääasiassa pienelektroniikkaa kuten matkapuhelimia ja kannettavia tietokoneita. (Tanskanen 2013)

Elektroniikkatuotteiden nopea kehittyminen on johtanut siihen, että muun muassa materiaalien louhintaan ja elektroniikkatuotteiden loppukäytön hallintaan ei ole kohdistettu samanlaisia innovaatioita. (O'Connor ym. 2016) Nykyiset saatavilla olevat elektroniikkajätteen keräys- ja kierrätysteknologiat eivät mahdollista kaikkien elektroniikkalaitteiden sisältämien materiaalien talteenottoa. Haasteena on etenkin arvokkaimpien ja harvinaisimpien raaka-aineiden kuten joidenkin metallien talteenotto. (Sitra 2021) Metallien talteenottoprosessien tekniset rajoitukset ja metallien pienet pitoisuudet laitteissa vaikeuttavat joidenkin erityismetallien talteenottoa. (Eerola ym. 2021) Lisäksi haasteena on joidenkin arvokkaiden metallien kuten kullan, hopean ja palladiumin häviäminen prosessien sivuvirtoihin. Etenkin pienten ja kompleksisten älylaitteiden kierrättäminen on haastavaa, sillä ne muodostuvat lukuisista eri metalleista, lasista, muoveista sekä liimoista ja talteen otettavien materiaalien pitoisuudet niissä ovat pieniä. Materiaalien talteenoton haasteena on lisäksi elektroniikkalaitteiden suunnitteluun liittyvät tekijät, kuten laitteiden osien kiinnitystavat. Nykyiset kiinnitystavat, kuten liimaaminen, vaikeuttavat laitteiden korjausmahdollisuuksia sekä kierrätyksen esikäsittelyä. (Judl ym. 2020)

Elektroniikkajätteen käsittelyn kustannukset ovat suhteellisen korkeat kehittyneissä maissa, minkä seurauksena elektroniikkajäte päättyy usein laittomasti käsiteltäväksi kehittyviin maihin, kuten Kiinaan ja Intiaan. (Zhang ym. 2012) Arvioiden mukaan n. 80 % syntyvästä elektroniikkajätteestä päättyy epävirallisesti käsiteltäväksi. Epäviralliset elektroniikkajätteen kierrätysmenetelmät, kuten polttaminen ja erilaiset happokäsittelyt, muodostavat sivutuotteena muun muassa raskasmetalleja ja muita haitallisia yhdisteitä, jotka aiheuttavat haitallisia vaikutuksia sekä ympäristölle että terveydelle. (Rautela ym. 2021) Lisäksi työterveys- ja työturvallisuusmääräysten puute johtaa työntekijöiden riskiin altistua terveyshaitoille. (Forti ym. 2020) Vastuullisuus elektroniikkalaitteiden koko elinkaaren aikana on myös keskeinen osa kiertotaloutta. Joissain maissa haitallisia aineita sisältävä elektroniikkajäte päättyy myös kaatopaikoille, joissa se saastuttaa ympäristöä. (Eerola ym. 2021)

## 5 EU:N KIERTOELEKTRONIIKKA-ALOITE

Kiertoelektroniikka-aloite on osa EU:n uutta kiertotalouden toimintasuunnitelmaa. Sen tavoitteena on pidentää elektroniikkatuotteiden käyttöikää ja vähentää elektroniikkajätteen määrää. Tarve kiertoelektroniikka-aloitteelle on seurausta muun muassa sähkö- ja elektroniikkajätteen määrän nopeasta kasvusta ja EU:n alhaisesta elektroniikkajätteen kierrätysasteesta. (Euroopan komissio 2020a) Elektroniikkajätteestä vain 35 % kerätään ja kierrätetään asianmukaisesti. (PACE & World Economic Forum 2019)

Yksi aloitteen toimenpiteistä on ekosuunnitteludirektiivin (2009/125/EC) käytön laajentaminen koskemaan matkapuhelimia, tabletteja ja kannettavia tietokoneita. Direktiivin tarkoituksena on ohjata huomioimaan suunnittelussa kiertotaloutta edistäviä ominaisuuksia, kuten energiatehokkuutta, korjattavuutta, kestävyyttä, päivitettävyyttä, huoltoa, uudelleenkäyttöä ja kierrätettävyyttä. (Euroopan komissio 2020a)

Toinen aloitteessa esitetty toimenpide on elektroniikkalaitteiden korjauttamisoikeus. Aloitteen mukaan korjauttamisoikeutta sovelletaan ensisijaisesti elektroniikka- ja tieto- ja viestintäteknikka-alalla. (Euroopan komissio 2020a) Korjauttamisoikeudella pyritään helpottamaan kuluttajan mahdollisuutta korjata ja muunnella elektroniikkalaitteitaan esimerkiksi varmistamalla riittävä tiedonsaanti varaosista ja korjausmahdollisuuksista. (Eerola ym. 2021; Sitra 2021) Korjauttamisoikeus sisältää lisäksi oikeuden päivittää vanhentuneita ohjelmistoja. (Euroopan komissio 2020a)

Yksi aloitteen toimenpiteistä koskee matkapuhelimien ja muiden vastaavien laitteiden latureita. Aloitteessa esitetään muun muassa yhdenmukaisen laturin käyttöönottoa kaikille elektronisille laitteille. Yhtenäisen laturin käyttöönotto mahdollistaisi laitteiden lataamisen samalla laturilla laitteen tuotemerkistä riippumatta. Elektroniikkajätteen määrää EU:ssa pyritään lisäksi vähentämään erottamalla uusien laitteiden ostaminen uusien latureiden ostamisesta. Tällöin voidaan rajoittaa tarpeettomien latureiden määrää. Arvioiden mukaan käyttämättömistä latureista muodostuu vuosittain 11 000 tonnia elektroniikkajätettä. Aloitteessa ehdotetaan myös pikalataustekniikan yhdenmukaistamista. Yhdenmukaistetun pikalataustekniikan ensisijaisena tavoitteena on estää laitteiden valmistajia perusteettomasti rajoittamasta latausnopeutta sekä

varmistamalla sama latausnopeus yhteensopivasta laturista riippumatta. Lisäksi aloitteen tavoitteena on latausjohtojen kestävyuden parantaminen. (Euroopan komissio 2020b)

Sähkö- ja elektroniikkalaiteromun keräystä ja käsittelyä pyritään parantamaan palkkiojärjestelmillä, joiden tarkoituksena on kannustaa kuluttajia luopumaan vanhoista laitteistaan uudelleenkäyttöä tai kierrätystä varten. EU:n sisällä on jo mahdollisuus palauttaa vanhat laitteet jälleenmyyjille, mutta palkkiojärjestelmän uskotaan lisäävän huomattavasti takaisinotettujen laitteiden osuutta. Koko EU:n laajuinen palauttamissuunnitelma koskee vanhojen matkapuhelimien, tablettien ja latureiden palauttamista ja takaisinmyyntiä. (Euroopan komissio 2020c) Kiertoelektroniikka-aloitteessa esitetään lisäksi sähkö- ja elektroniikkalaitteiden sisältämien vaarallisten aineiden rajoituksia koskevien säädösten uudelleentarkastelua ja päivittämistä yhdenmukaisiksi muun muassa ekosuunnitteludirektiivin, REACH-asetuksen ja muun sähkö- ja elektroniikkalaitteisiin liittyvän lainsäädännön kanssa. (Euroopan komissio 2020a)

## **6 KIERTOTALOUDEN TOIMENPITEITÄ ELEKTRONIIKKATEOLLISUUDESSA**

### **6.1 Kiertotalouden huomioiminen tuotesuunnittelussa**

Kiertotalouden huomioiminen tulisi ensisijaisesti kohdistaa tuotteiden suunnitteluvaiheeseen, sillä 80 % tuotteen ympäristövaikutuksista sen elinkaaren aikana määräytyy suunnitteluvaiheessa. (Euroopan komissio 2020a) Tuotesuunnitteluvaiheessa määritellään muun muassa tuotteen kierrätettävyys, käyttöikä, korjattavuus, toiminnallisuudet, tekninen toteutus, energiankulutus käyttövaiheessa sekä mahdollisten ohjelmistojen päivitettävyys ja tuki. (Judl ym. 2021) Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa tehdyillä valinnoilla voidaan siis merkittävästi vähentää tuotteen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. (O'Connor ym. 2016) Keskeisimmät tuotesuunnittelussa huomioitavat tekijät ovat materiaalitehokkuus, käyttöiän pidentäminen sekä tuotteiden kierrätettävyys. (Bakker ym. 2014) Pääpaino tuotteiden suunnittelussa tulee kuitenkin olla tuotteiden käyttöiän pidentämisessä. Kiertotalouspainotteista tuotesuunnittelua on pyritty edistämään muun muassa edellä käsitellyllä ekosuunnitteludirektiivillä. (Eerola ym. 2021)

Elektroniikkalaitteiden tuotesuunnittelun yhteydessä puhutaan usein modulaarisuudesta. Elektroniikkalaitteiden modulaarisella suunnittelulla tarkoitetaan tuotteen suunnittelemista siten, että sen sisältämät komponentit kuten näytöt ja akut tulisi olla helposti ja nopeasti irrotettavissa. (Eerola ym. 2021) Elektroniikkatuotteiden modulaarisuus mahdollistaa tuotteen korjaamisen ja helpottaa tuotteen kierrätettävyyttä. Lisäksi se mahdollistaa muun muassa tuotteen sekä toiminnallisen että tyyllillisen päivittämisen, ja sen seurauksena pidentää tuotteen käyttöikää. (Judl ym. 2020) Modulaarisuutta on hyödynnetty etenkin älypuhelimien valmistuksessa. Fairphone on esimerkki matkapuhelinvalmistajasta, jonka tuotesuunnittelun keskiössä on modulaarisuus. Fairphonen tavoitteena on valmistaa kestäviä ja helposti korjattavia matkapuhelimia modulaarisen rakenteen kautta. Kuluttajien on mahdollista vaihtaa itse esimerkiksi rikkoutuneet komponentit tai päivittää matkapuhelimen akku suorituskyvyltään parempaan. Lisäksi se tarjoaa kuluttajille varaosia kohtuulliseen hintaan sekä ohjeet laitteidensa korjaamiseen. (Fairphone 2020)

Elektroniikkalaitteiden kierrätettävyyden kannalta on tärkeää kiinnittää huomioita materiaalivalintoihin. Elektroniikkalaitteiden valmistuksessa tulisi välttää komposiittimateriaalien ja seosten käyttöä, sillä niiden kierrättäminen on haastavaa. Komposiittimateriaaleja tulisi pyrkiä korvaamaan vaihtoehtoisilla helpommin kierrätettävillä materiaaleilla. Myös haitallisia yhdisteitä sisältävien materiaalien käyttö elektroniikkalaitteiden valmistuksessa aiheuttaa haasteita kierrätykselle. Erilaisilla suunnitteluratkaisuilla voidaan vähentää niiden käyttöä laitteiden valmistuksessa. Paremman kierrätettävyyden lisäksi haitallisten yhdisteiden minimointi suunnittelussa vähentää elektroniikkalaitteisiin liittyviä terveysongelmia. (Rizos ym. 2021) Materiaalivalintojen lisäksi kierrätettävyyttä voidaan parantaa huomioimalla suunnittelussa laitteen purettavuus. Esimerkiksi suosimalla helposti purettavia osia ja välttämällä liitoksia tai kiinnityksiä, joiden purkaminen on haastavaa. Laitteiden purettavuuden suunnittelussa tulee kuitenkin huomioida sen vaikutus tuotteen kestävyys- ja käyttöikänsä. (PACE 2021) Laitteiden kierrätettävyyden helpottamiseksi on esitetty esimerkiksi digitaalisten materiaalipassien käyttöönottoa. Digitaalisten materiaalipassien tarkoituksena on tarjota tietoa muun muassa tuotteen alkuperästä, koostumuksesta, korjaus- ja purkamisvaihtoehdoista sekä tuotteen loppukäsittelystä. (Adisorn ym. 2021) Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa kierrätettävyyden lisäksi laitteiden käyttöiän pidentämiseen. Laitteiden kestävyttä voidaan parantaa valitsemalla korkealaatuisia komponentteja, joilla voidaan taata laitteiden pidempi käyttöikä. (Rizos ym. 2021)

## **6.2 Elektroniikkatuotteiden käyttöiän pidentäminen**

Elektroniikkalaitteiden käyttöikää voidaan tuotesuunnitteluratkaisuiden lisäksi pidentää laitteiden uudelleenkäytön, kunnostuksen ja korjaamisen kautta. Elektroniikkalaitteiden uudelleenkäyttö, kunnostaminen ja korjaaminen tulisi priorisoida kierrätyksen sijaan, sillä ne säilyttävät tuotteeseen sitoutunutta arvoa paremmin. (Nazli 2021) Uudelleenkäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä elektroniikkatuotteen tai sen komponentin uudelleen käyttämistä samassa käyttötarkoituksessa, johon se on alun perin suunniteltu, sen jälkeen, kun tuote ei enää täytä omistajansa vaatimuksia ja omistaja on luopunut tuotteesta. (Lu ym. 2014) Kunnostetut elektroniikkalaitteet puolestaan ovat hyvään toimintakuntoon palautettuja käytettyjä elektroniikkalaitteita. Laite voidaan kunnostaa esimerkiksi puhdistamalla tai vaihtamalla vialliset pääkomponentit. (Mugge ym. 2017)

Käytettyjen ja kunnostettujen laitteiden laajempaa käyttöä sekä laitteiden korjaamista rajoittaa pääasiassa käyttäjien käyttäytymiseen ja asenteisiin liittyvät tekijät. Osa käyttäjistä saattaa kokea, että käytetyn tai kunnostetun laitteen suorituskyky on huonompi tai taustalla on pelko taloudellisesta riskistä, mikäli tuote ei toimikkaan. Osa kokee mahdollisesti jäävänsä jälkeen teknologisessa kehityksessä, mikäli ei omista uusinta laitetta. Lisäksi tietoturvallisuuteen liittyvät huolet rajoittavat laitteiden uudelleenkäyttöä. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Käytetyiltä elektroniikkalaitteilta odotetaan myös merkittävästi edullisempaa hintaa kuin vastaavilta uusilta laitteilta. (Islam ym. 2021) Esimerkiksi matkapuhelimien hintojen nousu on laajentanut käytettyjen ja kunnostettujen matkapuhelimien markkinoita. (Watson ym. 2017)

Mahdollisesti merkittävin elektroniikkalaitteiden korjaamispäätökseen vaikuttava tekijä on tuotteen hinta. Mitä korkeampi tuotteen hinta on, sitä todennäköisemmin käyttäjä myös korjaa tuotteen. (Parajuly & Wenzel 2017) Myös itse korjaustoimenpiteen hinta suhteessa korjattavan laitteen hintaan vaikuttaa käyttäjien päätökseen laitteen korjaamisesta tai korvaamisesta. Esimerkiksi matkapuhelimen näytön korjaaminen voi kustantaa jopa 40 % alkuperäisen laitteen hinnasta. (Bachér ym. 2020)

Elektroniikkalaitteiden korjauksen kannalta varaosien saatavuus ja niiden hinta on keskeinen tekijä. (Bachér ym. 2020) Varaosien saatavuutta rajoittaa muun muassa se, että osa tuottajista tarjoaa alkuperäisiä varaosia vain valtuutetuille korjaajille. (Watson ym. 2017) Teknologisesti edelleen kehittyvien elektroniikkalaitteiden, kuten älypuhelimien uudelleenkäyttö ja korjaaminen on haastavaa, sillä ne ”vanhentuvat” nopeammin. Vastaavasti kehitykseltään vakiintuneiden elektroniikkalaitteiden, kuten joidenkin kodinkoneiden uudelleenkäyttö- ja korjausmahdollisuudet ovat laajemmat, sillä niissä on tyypillisesti enemmän standardoituja komponentteja, joita on saatavilla varaosina. (Parajuly ja Wenzel 2017) Myös ohjekirjojen puute aiheuttaa haasteita laitteiden korjaamiselle. (Bachér ym. 2020)

Käytettyjen ja kunnostettujen elektroniikkalaitteiden käyttöön liittyviä ongelmia voidaan ratkaista muun muassa takuilla ja avoimuudella käytettyjen laitteiden kaupankäynnissä. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Käytettyjen ja kunnostettujen laitteiden takuutaso tulisi vastata vastaavien uusien tuotteiden takuutasoa. (Chung ym. 2011) Tavoitteena on lisätä kuluttajien luottamusta käytettyjen ja kunnostettujen tuotteiden suhteen. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Käytettyjen ja kunnostettujen tuotteiden käyttöönottoon



voidaan kannustaa lisäksi erilaisin markkinoinnin keinoin, esimerkiksi kohdistamalla markkinointi oikeille markkinasegmenteille. Investoinnit kunnostusteknologioihin ja esimerkiksi automaation hyödyntäminen kunnostuksessa lisää kunnostettujen elektroniikkalaitteiden kilpailukykyä. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Yhtenä keinona on esitetty myös arvonalisäveron madallusta tai verohelpotuksia elektroniikkalaitteiden korjaamiselle, kunnostamiselle ja jälleenmyynnille. (Watson ym. 2017) Vastaavasti verotusta pyrittäisiin kohdistamaan vaikeasti korjattaviin tuotteisiin. Lisäksi eri maissa on käytössä erilaisia standardeja ja sertifikaatteja, joilla voidaan osoittaa muun muassa tuotteiden korjattavuus. Standardien ja sertifikaattien tarkoituksena on auttaa kuluttajia valitsemaan kestäviä ja korjattavia tuotteita. Elektroniikkalaitteiden korjaukseen ja korjattavuuteen liittyvän tiedon tarjoamiseen erikoistuneita palveluja on lisäksi kehitelty runsaasti. (Sonego ym. 2022)

Kuluttajien käytäntöjen ymmärtäminen on keskeistä laitteiden korjaamiseen liittyvien ongelmien ratkaisuisissa. (Sonego ym. 2022) Elektroniikkalaitteiden korjaamiseen voidaan kannustaa lisäämällä tiedotusta laitteiden takuuajoista. Riittävä tiedotus voitaisiin varmistaa muun muassa laitteiden pakollisilla takuuoikeusmerkinnöillä. (Watson ym. 2017) Yritysten tulisi myös jakaa tietoa tuotteidensa korjaamisesta ja varmistaa tarvittavien varaosien ja työkalujen saatavuus kuluttajille ja korjausyrityksille. (Sonego ym. 2022) Korjausmekanismin tulisi lisäksi olla riittävän yksinkertainen, jotta yksittäisen kuluttajan on mahdollista itse korjata laitteensa, tai korjaus voidaan tehdä suhteellisen halvalla, eikä se vaadi korkeaa taitotasoa. (Sabbaghi ym. 2016; Sonego ym. 2022)

Swappie on esimerkki käytettyjen älypuhelimien ostamiseen, kunnostamiseen ja jälleenmyymiseen erikoistuneesta verkkokaupasta. Älypuhelimien kunnostamisessa hyödynnetään uusinta teknologiaa ja ne testataan standardoiduilla tarkastusprosesseilla. Swappie tarjoaa älypuhelimia eri kuntoluokituksilla, jotka perustuvat älypuhelimien ulkoisiin ominaisuuksiin. Lisäksi se tarjoaa tuotteilleen 12 kuukauden takuun. (Swappie 2022)

Pilvipalveluilla on merkittävä rooli etenkin kuluttajaelektroniikan käyttöiän pidentämisessä. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Pilvipalvelut mahdollistavat laitteiden vanhentumisen hidastamisen dematerialisoimalla ja siirtämällä toiminnallisuuksia elektroniikkalaitteesta pilvipalveluun. Wilson ym. (2017) mukaan käyttäjät ovat kiintyneempiä elektroniikkalaitteidensa sisältämään dataan kuin itse

laitteisiin. Tämän katsotaan pienentävän koettua riskiä käytettyjä ja kunnostettuja elektroniikkalaitteita kohtaan. Pilvipalveluiden käyttö myös vähentää suuren varastointikapasiteetin ja laskutehon tarvetta, jolloin komponentit ja laitteet pysyvät käytössä pidempään. (Ellen MacArthur Foundation 2017)

### **6.3 Elektroniikkalaitteiden kierrätysmahdollisuudet**

Forti ym. (2020) mukaan elektroniikkalaitteesta tulee elektroniikkajätettä, kun sen omistaja on hylännyt sen jätteeksi ilman aikomusta uudelleen käyttää laitetta. Elektroniikkajäte on nopeimmin kasvava kiinteä jätevirta ja sitä syntyy arviolta 50 miljoonaa tonnia maailmanlaajuisesti joka vuosi, eli keskimäärin yli 6 kg henkilöä kohti. (Parajuly ym. 2019) Vuonna 2019 vain 17,4 % syntyneestä elektroniikkajätteestä kierrätettiin. (Forti ym. 2020) Elektroniikkajätteen koostumus vaihtelee tuotetyypistä riippuen, mutta se koostuu pääosin rautaa sisältävistä metalleista kuten teräksestä. Lisäksi se sisältää melko paljon muoveja ja jonkin verran muita kuin rautaa sisältäviä metalleja. (Tanskanen 2013) Osa elektroniikkajätteen sisältämistä materiaaleista ovat kriittisiä, arvokkaita ja vaarallisia aineita, jotka edellyttävät erityisiä kierrätysprosesseja. Elektroniikkajätteen kierrätyksen lähtökohtana on välttää primäärimateriaalin louhintaan ja jalostukseen liittyviä ympäristörasitteita ja toisaalta ehkäistä sosiaalisia sekä terveydellisiä ongelmia. (Cucchiella ym. 2015)

Elektroniikkalaitteiden kierrättäminen voi olla arvon säilyttämisen keino, mikäli laitteiden korjaus tai uudelleenkäyttö ei ole enää mahdollista. (Nazli 2021) Kierrätyksen merkitystä ei tule kuitenkaan vähätellä, sillä kierrätysmateriaaleja hyödyntämällä voidaan esimerkiksi korvata neitseellisiä raaka-aineita elektroniikan valmistusprosesseissa ja samalla vähentää raaka-aineen hankintaan liittyviä ympäristövaikutuksia. (Rizos ym. 2019)

Elektroniikkalaitteiden kierrätyksessä keskitytään tyypillisesti perusmetallien kuten kuparin, teräksen ja alumiinin talteenottoon, sillä käytettävissä olevan kierrätysinfrastruktuurin avulla ne saadaan tehokkaasti talteen. (Bachér ym. 2020; Parajuly ym. 2019) Sen sijaan kriittisten resurssien, kuten harvinaisten maametallien talteenotto ei ole yhtä tehokasta. (Parajuly ym. 2019) Kantajametallien kierrätyksen suosiminen on keskeistä elektroniikan kierrätyksen tehokkuuden kannalta. Kantajametalleilla tarkoitetaan helposti kierrätettäviä metalleja, jotka kierrättämällä

voidaan samalla kierrättää siihen kytkeytyneet metallit. Esimerkiksi lyijy on tyypillinen kantajametalli, jonka kierrättäminen mahdollistaa useiden kriittisten metallien talteenoton. (Judl ym. 2020) Metallien kierrättäminen on kannattavaa, sillä niitä voidaan kierrättää jatkuvasti, eikä niiden ominaisuudet tai suorituskyky kärsi kierrätyksen aikana. (Eerola ym. 2021)

Kierrätykseen päätyvien laitteiden materiaalisällön tunnistaminen on tärkeää, jotta pystytään valitsemaan tarkoituksenmukaisin kierrätysprosessi. (Judl ym. 2020) Materiaalien tunnistettavuus voidaan varmistaa tuotesuunnittelun keinoin esimerkiksi välttämällä tuotteiden sulattamista yhteen. (Ellen MacArthur Foundation 2017) Materiaalien tunnistamiseksi on lisäksi kehitelty erilaisia tunnistusmenetelmiä, joiden tarkoituksena on siirtää tietoa laitteiden materiaalkoostumuksesta valmistajilta kierrätystoimijoille. (Judl ym. 2020) Esimerkki tällaisesta tunnistusmenetelmästä on kontaktittomissa maksumenetelmissäkin hyödynnetty radiotaajuustunnistusteknologia. (Bachér ym. 2017)

Elektroniikan kierrätettävyyttä voitaisiin tehokkaasti parantaa myös lisäämällä elektroniikkalaitteiden arvoketjujen toimijoiden välistä yhteistyötä. Kierrätysprosesseihin liittyvää tietoa tulisi integroida elektroniikkalaitteiden tuotesuunnitteluvaiheeseen. Esimerkiksi tietoa kantajametalleista voidaan hyödyntää jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Laitteiden kierrätettävyyden parantamisessa on kuitenkin punnittava kierrätettävyyttä parantavien toimenpiteiden ympäristövaikutukset. (Judl ym. 2020)

Urbaniin kaivostoiminnalla (urban mining) tarkoitetaan materiaalin talteenottoa sekundäärisistä lähteistä, kuten elektroniikkajätteestä. Se on vaihtoehtoinen, mutta analoginen toimintatapa neitseellisten malmien louhinnalle ja prosessoinnille. (Judl ym. 2020; Xavier ym. 2021) Urbanin kaivostoiminnan etuna on, että elektroniikkajätteestä talteen otettavien arvokkaiden metallien osuus voi olla jopa kymmenen kertaa suurempi kuin primäärisistä mineraaliesiintymistä saatava määrä. Urbaniin kaivostoiminnalla voidaan ratkaista myös monia kaivostoimintaan liittyviä sosiaalisia ja ympäristöongelmia. (Xavier ym. 2021)

Tuotteiden päätyminen kierrätykseen pyritään varmistamaan laajennetun tuottajavastuun avulla. Laajennettu tuottajavastuu on laitteiden keräykseen ja kierrätettävyyteen tähtäävä toimintasuunnitelma, joka velvoittaa valmistajaa varmistamaan laitteiden asianmukaisen

kierrätyksen. (Eerola ym. 2021) Viime kädessä päätös tuotteen kierrättämisestä liittyy kuitenkin kuluttajien käyttäytymiseen, minkä vuoksi on tärkeää pureutua siihen, miten laitteiden palautusmääriä voidaan lisätä. (O'Connor ym. 2016) Erilaisia taloudellisia kannustimia pidetään tehokkaina keinoina elektroniikkalaitteiden palautusmäärien kasvattamiseksi. Tällaisia kannustimia voivat olla esimerkiksi alennus uuden laitteen hinnasta, kun vanha palautetaan tai erilaiset panttijärjestelmät. (Rizos ym. 2019; Judl ym. 2020) Elektroniikkalaitteiden keräyspisteiden oikeanlainen sijoittaminen ja kuljetuksen kustannukset ovat lisäksi avainasemassa keräysjärjestelmää suunniteltaessa. Ensinnäkin keräyspisteitä tulee olla useita ja toiseksi niiden tulee olla paikoissa, joissa ne ovat helposti asiakkaiden saatavilla. (Rizos ym. 2019) Tehokkaan kierrätyksen kannalta optimoidun keräysprosessin ohella yhtä tärkeää on kehittää kustannustehokkaita tapoja viestiä käyttäjille olemassa olevista kierrätysohjelmista sekä erityisesti niiden tietoturvallisuudesta ja laitteiden asianmukaisesta hävittämisestä. (Tanskanen 2013; Judl ym. 2020)

#### **6.4 Tuote palveluna ja jakamistalouden ratkaisut**

Kiertotaloutta voidaan edistää liiketoimintamalleilla, jotka perustuvat laitteen omistamisen sijaan niiden tarjoamiseen palveluna. (Rizos ym. 2019) Esimerkkejä tällaisista liiketoimintamalleista ovat tuote palveluna -malli ja jakamistalouden ratkaisut. (Rizos ym. 2019) Tuote palveluna -liiketoimintamalli voi käytännössä tarkoittaa tuotteen perinteistä myyntiä, jonka lisäksi asiakkaalle tarjotaan lisäpalveluja tuotteen toimivuuden takaamiseksi. Tällaisia palveluja voivat olla esimerkiksi erilaiset huoltopalvelut. Toinen vaihtoehto on, että asiakas ostaa tuotteen käyttöoikeuden. Tällöin valmistaja tai palvelun tarjoaja säilyttää tuotteen omistajuuden ja vastaa laitteen huollosta, vaihdosta ja hävittämisestä. Leasing-ratkaisut ja vuokraaminen ovat esimerkkejä tilanteista, joissa asiakas ostaa tuotteen käyttöoikeuden, mutta tuotteen omistajuus säilyy palvelun tarjoajalla. Vaihtoehtoisesti asiakas voi maksaa tuotteen käytöstä saatavasta tuloksesta. (Nunes ym. 2021; Bressanelli ym. 2017) Jakamistalouteen perustuvat liiketoimintamallit hyödyntävät jakamisalustoja, jossa tuotteita jaetaan useiden käyttäjien kesken. (Bachér ym. 2020) Jakamisalustoilla tarkoitetaan digitaalisia alustoja, jotka mahdollistavat muun muassa tuotteiden jakamisen, lainaamisen ja vuokraamisen yhdistämällä tuotteen kysynnän ja tarjonnan. (Sitra & Deloitte 2022) Liiketoimintamallin tavoitteena on lisätä jaettavien tuotteiden käyttöintensiteettiä. (Bachér ym. 2020)

Kiertotalouden näkökulmasta näiden liiketoimintamallien hyöty piilee siinä, että niiden avulla voidaan tehokkaasti vähentää elektroniikkajätteen määrää, sillä ne kannustavat palvelun tarjoajia varmistamaan, että resursseja käytetään optimaalisesti laitteen elinkaaren aikana. Koska omistajuus säilyy palveluntarjoajalla tai tuotteen valmistajalla, on myös heidän etunsa tarjota kestäviä tuotteita ja säilyttää niihin sitoutunutta arvoa mahdollisimman pitkään esimerkiksi tarvittaessa korjaamalla tuotetta. (PACE & World Economic Forum 2019) Näillä liiketoimintamalleilla voidaan varmistaa myös laitteiden palautuminen kuluttajilta takaisin palveluntarjoajalle ja edelleen joko kierrätykseen tai uudelleen käytettäväksi. (Judl ym. 2020) Liiketoimintamallit mahdollistavat lisäksi tiiviiden asiakassuhteiden luomisen jatkuvia palveluita tarjoamalla. Kuluttajille palveluihin perustuvat liiketoimintamallit puolestaan mahdollistavat uusimman teknologian käytön ilman korkeita ennakkokustannuksia. (PACE & World Economic Forum 2019)

Tyypillinen esimerkki tuote palveluna -liiketoimintamallin sovelluskohteesta elektroniikkateollisuudessa on esimerkiksi pyykinpesukoneiden ja tulostimien tuloksen tai käytön tarjontaan perustuva liiketoiminta. (Bressanelli ym. 2017) Fairphone ja Dell ovat lisäksi tuoneet markkinoille palveluna tarjottavia matkapuhelimia ja tietokoneita. (PACE & World Economic Forum 2019) Etenkin monet yritykset hyödyntävät esimerkiksi tietokoneiden leasing-ratkaisuja. (Bachér ym. 2020) Jakamistalouteen perustuva toimintapa on puolestaan kerrostalojen pesutuvat, joissa kaikki taloyhtiön asukkaat voivat käyttää pyykinpesukoneita. (Bressanelli ym. 2017)

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kiertotalouden toimenpiteiden kohdistaminen elektroniikkasektorille on tärkeää, sillä elektroniikkajätteen määrä kasvaa koko ajan. Sen sijaan elektroniikkalaitteiden kierrätysasteet ovat pysyneet matalina. Elektroniikkajätteen käsittelyyn sekä neitseellisen raaka-aineen hankintaan liittyy lisäksi merkittäviä sosiaalisia, terveydellisiä ja ympäristöongelmia. Kiertotalouden jalkauttaminen elektroniikkasektorille on tärkeää myös kriittisten raaka-aineiden näkökulmasta, sillä niiden saatavuuteen liittyviä ongelmia voidaan ratkaista muun muassa materiaalia kierrättämällä. Kiertotalouden toimenpiteiden ensisijaisena tavoitteena on pyrkiä säilyttämään tuotteisiin sitoutunutta arvoa mahdollisimman pitkään. Arvon säilyttämisen keinoja ovat muun muassa jakaminen, käyttöiän pidentäminen, uudelleenkäyttö, kunnostaminen ja materiaalien kierrättäminen.

Yksi suurimmista elektroniikan kiertotalouteen liittyvistä esteistä on hyödynnettävissä olevan elektroniikan kertyminen kotitalouksiin, minkä seurauksena arvoa sisältävät laitteet poistuvat kierrosta. Elektroniikkalaitteita käytetään myös suhteellisen vähän aikaa. Elektroniikkalaitteiden lyhyet käyttöiät lisäävät edelleen elektroniikkajätteen määrää ja aiheuttavat raaka-ainepainetta. Ongelmallista on myös se, että suuria määriä elektroniikkajätettä päätyy epävirallisesti kehittyviin maihin käsiteltäväksi aiheuttaen vakavia ympäristö- ja terveysongelmia.

EU-tasolla kiertotaloutta on pyritty edistämään kiertotalouden toimintasuunnitelmalla, joka sisältää myös elektroniikkasektoria koskevan kiertoelektroniikka-aloitteen. Aloitteen toimenpiteillä tähdätään elektroniikkajätteen määrän vähentämiseen sekä laitteiden käyttöiän pidentämiseen. Keskeistä aloitteen sisällössä on tuotteiden suunnittelua koskevan ekosuunnitteludirektiivin uudistaminen koskemaan matkapuhelimia, tabletteja ja kannettavia tietokoneita. Aloitteen toimenpiteillä pyritään lisäksi lisäämään laitteiden korjaamista sekä vähentämään elektroniikkajätteen määrää esimerkiksi vähentämällä elektroniikkalaitteiden laturien osuutta elektroniikkajätteestä.

Elektroniikkalaitteiden tuotantomäärät tulevat tulevaisuudessa kasvamaan lisääntyvien sovelluskohteiden ja teknologisten innovaatioiden seurauksena. Sen sijaan syntyvän elektroniikkajätteen määrää voidaan pyrkiä rajoittamaan kiertotalouden toimenpiteillä. Kiertotalouden toimenpiteiden kohdistaminen ensisijaisesti kuluttajaelektroniikkaan on

tärkeää, sillä niiden käyttöiät ovat lyhyitä, eivätkä vanhentuneet laitteet päädy kierrätettäväksi tai uudelleen käytettäväksi, sillä niitä varastoidaan kotitalouksiin. Lisäksi ne sisältävät runsaasti arvokkaita ja harvinaisia metalleja.

Laitteiden tuotesuunnitteluun, kierrätettävyyteen ja käyttöiän pidentämiseen liittyvillä toimenpiteillä on vain rajallinen vaikutus. Monet kiertotalouden toimenpiteet edellyttävät kuluttajien käyttäytymisen ymmärtämistä. Keskeistä on saada murrettua esimerkiksi kunnostettuihin ja käytettyihin laitteisiin liittyviä ennakkoluuloja. Myös kuluttajien tiedon lisääminen niin elektroniikan lineaariseen tuotantoon liittyvistä ongelmista kuin kiertotalouden toimenpiteiden hyödyistä on tärkeää kiertotalouden toteutumisen kannalta. Elektroniikkalaitteen koko elinkaaren aikaisten toimijoiden kuten kuluttajien, valmistajien ja suunnittelijoiden välistä yhteistyötä vahvistamalla voidaan edistää kiertotalouden toteutumista esimerkiksi erilaisten yhteistyössä toteutettujen innovaatioiden kautta. Tärkeitä tulevaisuuden tutkimuskohteita ovat mielestäni digitalisaation hyödyntämismahdollisuudet elektroniikan kiertotaloudessa sekä erilaiset elektroniikan palveluliiketoimintamallit. Palveluliiketoimintamallien osalta on erityisesti tärkeää ratkaista, miten niiden käyttöä voidaan laajentaa ja miten pystytään siirtymään laitteen omistamisesta vain sen käyttöoikeuden omistamiseen.

## LÄHDELUETTELO

Adisorn, T., Tholen, L. & Götz, T., 2021. Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy. [verkkodokumentti]. *Energies*, 14(8). Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/en14082289> [viitattu 23.2.2022].

Bachér, J., Dams, Y., Duhoux, T., Deng, Y., Mortensen, L. F., Teittinen, T., 2020. Electronic products and obsolescence in a circular economy. [verkkodokumentti]. European Environmental Agency: Eionet Report – ETC/WMGE 2020/3. Saatavissa: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/electronics-and-obsolescence-in-a-circular-economy> [viitattu 12.1.2022]. 58 s.

Bachér, J., Yli-Rantala, E., zu Castell-Rüdenhausen, M. & Mroueh, U-M., 2017 Future trends in WEEE Composition and Treatment – A Review Report. [verkkodokumentti]. Research Report No D2. 3–2 & D4. 2–6. Helsinki: CLIC Innovation. Saatavissa: <http://arvifinalreport.fi/files/D2.3-2%20and%20D4.2-6%20Review%20report%20on%20WEEE%20composition%20and%20treatment.pdf> [viitattu 14.1.2022] 67 s.

Bakker, C., Wang, F., Huisman, J. & Den Hollander, M., 2014. Products that go round: Exploring product life extension through design. [verkkodokumentti]. *Journal of Cleaner Production*, Volume 69, s. 10–16. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028> [viitattu 14.1.2022]

Bressanelli, G., Perona, M. & Saccani, N., 2017. Reshaping the Washing Machine Industry through Circular Economy and Product-Service System Business Models. [verkkodokumentti]. *Procedia CIRP*, 64, s. 43–48. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.065> [viitattu 18.2.2022]

Chung, S.-S., Lau, K.-Y. & Zhang, C., 2011. Generation of and control measures for, e-waste in Hong Kong. [verkkodokumentti]. *Waste Management* 31(3), s. 544–554. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.003> [viitattu 10.2.2022].

Cordella, M., Alfieri, F., Clemm, C., Berwald, A., 2021. Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and repairability aspects. [verkkodokumentti]. *Journal of*



Cleaner Production. Volume 286. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125388>. [viitattu 13.11.2021]

Cucchiella, F., D'Adamo, I., Lenny Koh, S.C. & Rosa, P. 2015. Recycling of WEEEs: an economic assessment of present and future e-waste streams. [verkkodokumentti]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 51, s. 263–272. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.010> [viitattu 22.02.2022]

Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R. & Bel, G. 2020. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ewastemonitor.info/global-e-waste-monitors/> [viitattu 10.11.2021].

Eerola, T. (toim.), Eilu, P. (toim.), Hanski, J., Horn, S., Judl, J., Karhu, M., Kivikytö-Reponen, P., Lintinen, P. & Långbacka B. 2021. Digitalisaatio ja luonnonvarat. [verkkodokumentti]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus (GTK). Tutkimustyöraportti 53/2021. Saatavissa: [https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/53\\_2021.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/53_2021.pdf) [viitattu 10.11.2021]. 95 s.

Ellen MacArthur Foundation. 2013. Towards the circular economy Volume 2: Opportunities for the Consumer Goods Sector. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods> [viitattu 20.11.2021].

Ellen MacArthur Foundation. 2014. Towards the circular economy Volume 3: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chains. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-3-accelerating-the-scale-up-across-global> [viitattu 25.11.2021].

Ellen MacArthur Foundation. 2017. Circular Consumer Electronics: An initial exploration. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://EllenMacArthurFoundation.thirdlight.com/link/uylh69ffuojx-2dt8yd/@/preview/1?o> [viitattu 7.2.2022].

Euroopan komissio, 2020a. Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf) [viitattu 3.1.2022]

Euroopan komissio, 2020b. Pulling the plug on consumer frustration and e-waste: Commission proposes a common charger for electronic devices. [lehdistötiedote]. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_4613](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_4613) [viitattu 3.1.2022].

Euroopan komissio 2020c. Rewards for recycling [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/rewards-recycling\\_en](https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/rewards-recycling_en) [viitattu 4.1.2022].

Fairphone. 2020. Fairphone's impact 2020: A challenge to the industry. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2021/06/Fairphone\\_Impact-report\\_2020.pdf](https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2021/06/Fairphone_Impact-report_2020.pdf) [viitattu 23.2.2022].

Islam, M.T., Huda, N., Baumber, A., Shumon, R., Zaman, A., Ali, F., Hossain, R. & Sahajwalla, V. 2021. A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy. [verkkodokumentti] Journal of Cleaner Production, Volume 316. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128297>. [viitattu 8.2.2022].

Jeita, 2020. Production Forecasts for the Global Electronics and Informatin Technology Industries. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.jeita.or.jp/english/press/2020/1216.pdf> [Viitattu 4.2.2022].

Judl, J., Horn, S., Pesu, J., Savolainen, H. & Kautto, P. 2020 ICT-päätelaitteisiin liittyvät materiaali-, energia- ja ilmastokysymykset. [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:12. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162378>. [viitattu 22.2.2022]. 96 s.

Judl, J., Horn, S. & Kaminen, K. 2021. CircBrief – kiertotalouden parhaita käytäntöjä: Elektroniikka ja kiertotalous. [verkkodokumentti]. Saatavilla: [https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/2021-09\\_circbrief\\_fi\\_elektroniikka\\_final?fr=sMmQ5MDQyODg3NjA](https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/2021-09_circbrief_fi_elektroniikka_final?fr=sMmQ5MDQyODg3NjA) [viitattu 22.2.2022].

Lu, B., Li, B., Wang, L., Yang, J., Liu, J. & Wang X.V. 2014. Reusability based on life cycle sustainability assessment: Case study on WEEE. [verkkodokumentti]. Procedia

CIRP. Volume 15. s. 473–478. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.046> [viitattu 7.2.2022].

Mugge, R., Jockin, B. & Bocken, N. 2017. How to sell refurbished smartphones? An investigation of different customer groups and appropriate incentives. [verkkodokumentti]. *Journal of Cleaner Production*, Volume 147, s. 284–296. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.111> [viitattu 9.2.2022]

Nazli, T. 2021. Repair motivation and barriers model: Investigating user perspectives related to product repair towards a circular economy. [verkkodokumentti]. *Journal of Cleaner Production*, Volume 289. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125644> [viitattu 14.2.2022].

Nowakowski, P. (2019). Investigating the reasons for storage of WEEE by residents – A potential for removal from households. [verkkodokumentti]. *Waste Management*. Volume 87. s. 192–203. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.008> [viitattu 2.1.2022].

Nunes, I.C., Kohlbeck, E., Beuren, F.H., Fagundes, A.B. & Pereira, D. 2021. Life cycle analysis of electronic products for a product-service system. [verkkodokumentti]. *Journal of Cleaner Production*, Volume 314. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127926> [viitattu 21.3.2022].

O'Connor, M., Zimmerman, J., Anastas, P., Plata, D., 2016. A Strategy for Material Supply Chain Sustainability: Enabling a Circular Economy in the Electronics Industry through Green Engineering. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2016, 4, s. 5879–5888. <https://doi-org.pc124152.oulu.fi:9443/10.1021/acssuschemeng.6b01954> [viitattu 2.1.2022].

PACE & World Economic Forum, 2019. A New Circular Vision for Electronics – Time for a Global Reboot. [verkkodokumentti]. Geneva: World Economic Forum. Saatavissa: <https://pacecircular.org/sites/default/files/2019-03/New%2BVision%2Bfor%2BElectronics-%2BFinal%20%281%29.pdf> [viitattu 3.1.2022]. 24 s.

PACE, 2021. Circular Economy Action Agenda: Electronics. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-02/action-agenda-electronics-feb2021\\_FINAL.pdf](https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-02/action-agenda-electronics-feb2021_FINAL.pdf) [viitattu 24.2.2022]. 56 s.

Parajuly, K. & Wenzel, H., 2017. Product Family Approach in E-Waste Management: A Conceptual Framework for Circular Economy. *Sustainability*, 9(5), 768. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/su9050768> [viitattu 6.2.2022].

Parajuly, K., Kuehr, R., Awasthi, A.K., Fitzpatrick, C., Lepawsky, J., Smith, E., Widmer, R., Zeng, X., 2019. Future e-waste scenarios. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://ewastemonitor.info/special-reports/> [viitattu 21.2.2022]

Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K-H. & Kumar, S. 2021. E-waste management and its effects on the environment and human health. [verkkodokumentti]. *Science of The Total Environment*, Volume 773. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145623> [viitattu 2.1.2022]

Rizos, V., Bryhn, J., Alessi, M., Campmas, A. & Zarra, A. 2019 Identifying the Impact of the Circular Economy on the Fast-Moving Consumer Goods Industry: Opportunities and Challenges for Businesses, Workers and Consumers – Mobile Phones as an Example. [verkkodokumentti]. European Economic and Social Committee. Saatavissa: <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/publications-other-work/publications/identifying-impact-circular-economy-fast-moving-consumer-goods-fmcg-industry-opportunities-and-challenges-businesses> [viitattu 27.2.2022]

Rizos, V., Bryhn, J., Alessi, M., Righetti, E., Fujiwara, N. & Stroia, C. 2021. Barriers and Enablers for Implementing circular economy business models – Evidence from the electrical and electronic equipment and agri-food value chains. [verkkodokumentti]. CEPS Research Report, RR2021-01. Saatavissa: <https://www.ceps.eu/ceps-publications/barriers-and-enablers-for-implementing-circular-economy-business-models/> [viitattu 23.2.2022].

Ruokamo, E., Savolainen, H., Seppälä, J., Sironen, S., Räisänen, M., Auvinen, A. & Antikainen, R., 2021. Kiertotalous vähähiilisyden edistäjänä ja luonnon monimuotoisuuden turvaajana. [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:6. Saatavissa:  
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162901> [viitattu 10.11.2021]. 138 s.

Sabbaghi, M., Behzad, E., Cade, W., Wiens, K. & Behdad, S. 2016. Business outcomes of product repairability: a survey-based study of consumer repair experiences. [verkkodokumentti]. *Resources, Conservation and Recycling*, 109(2016), s. 114–122. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.031> [viitattu 10.2.2022].

Satyro, W., Sacomano, J., Contador, J., Telles, R. 2018. Planned obsolescence or planned resource depletion? A sustainable approach. *Journal of Cleaner Production*. Volume 195. s. 744–752. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.222>. [viitattu 2.1.2022].

Sitra, 2021. Kiertotalouden vaikutukset työhön ja osaamiseen [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra. Sitra Työpaperi. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2021/03/27163845/sitra-kiertotalouden-vaikutukset-tyohon-ja-osaamiseen-v3.pdf> [viitattu 17.12.2021]. 37 s.

Sitra, 2014. Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra. Sitran selvityksiä 84. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/27174628/Selvityksia84-2.pdf> [viitattu 27.11.2021]. 72 s.

Sitra & Deloitte, 2022. Kestävää kasvua kiertotalouden liiketoimintamalleista: Käsikirja yrityksille. [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2022/02/09102713/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf> [Viitattu 8.3.2022] 132 s.

Sonego, M., Echeveste, M.E.S. & Debarba, H.G. 2022. Repair of electronic products: Consumer practices and institutional initiatives. [verkkodokumentti]. *Sustainable Production and Consumption*, Volume 30, s. 556–565. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.031> [viitattu 14.2.2022]

Statista, 2021. Global electronics industry by region – growth outlook 2020–2022. [verkkodokumentti]. Statista Research Department. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/268396/estimated-growth-rates-for-the-electronics-industry-by-region/#statisticContainer> [viitattu 4.2.2022]

Swappie, 2022. Miten palvelu toimii. [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://swappie.com/fi/miten-palvelu-toimii/> [viitattu 13.2.2022].

Tanskanen, P. 2013. Management and recycling of electronic waste. [verkkodokumentti]. *Acta Materialia*. Volume 61, Issue 3. s. 1001–1011. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.005> [viitattu 2.1.2022].

Velenturf, A. P., Archer, S. A., Gomes, H. I., Christgen, B., Lag-Brotons, A. J. & Purnell, P. 2019. Circular economy and the matter of integrated resources. [verkkodokumentti]. *The Science of the total environment*, 689, s. 963–969. <https://doi-org.pc124152 oulu.fi:9443/10.1016/j.scitotenv.2019.06.449> [viitattu 28.11.2021].

Valtioneuvosto, 2021. Uusi suunta: Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi [verkkodokumentti]. Helsinki: Valtioneuvosto. Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162654> [viitattu 28.11.2021]

Watson, D., Gylling, A.C., Tojo, N., Thorne-Holst, H., Bauer, B. & Milios, L. 2017. Circular Business Models in the Mobile Phone Industry. [verkkodokumentti]. *Nordic Council of Ministers 2017, TemaNord 2017:560*. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.6027/TN2017-560> [viitattu 9.2.2022]

Wilson, G.T., Smalley, G., Suckling, J.R., Lilley, D., Lee, J. & Mawle, R. 2017. The hibernating mobile phone: Dead storage as a barrier to efficient electronic waste recovery. [verkkodokumentti]. *Waste Management*, Volume 60, s. 521–533. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.023> [viitattu 11.2.2022]

Xavier, L.H., Giese, E.C., Ribeiro-Duthie, A.C., Lins, F.A.F. 2021 Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. [verkkodokumentti]. *Resources Policy*, Volume 74. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101467>. [viitattu 23.2.2022]

Yu, D.E.C., Yu, K.D.S. & Tan, R.R. 2020. Implications of the pandemic-induced electronic equipment demand surge on essential technology metals. [verkkodokumentti]. *Cleaner and Responsible Consumption*, Volume 1. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2020.100005> [viitattu 12.1.2021]

Zhang, K., Schnoor, J.L. & Zeng, E.Y. 2012. E-Waste Recycling: Where Does It Go from Here? [verkkodokumentti]. *Environmental Science & Technology* 2012 46 (20), s. 10861–10867. Saatavissa: <https://doi-org.pc124152.oulu.fi:9443/10.1021/es303166s> [viitattu 2.1.2022].