



Korkean jalostusarvon materiaalit suljetussa raaka-ainekierrossa (CloseLoop-konsortio)

Tilannekuvaraportti 2016

Maarit Karppinen (*konsortion johtaja*), Minna Lammi, Pertti Kauranen, Rodrigo Serna,

Tanja Kallio, Mari Lundström, Päivi Kivikytö-Reponen, Miamari Aaltonen,

Päivi Kinnunen, Teuvo Uusitalo, Maria Antikainen, Jari Koskinen, Tarja Laitinen

Korkean jalostusarvon materiaalit suljetussa raaka-ainekierrossa

Tiivistelmä

Moderni yhteiskunta ja sen keskeiset toiminnot kuten ICT-, liikenne-, energia ja hyvinvointisektorit perustuvat korkean teknologian tuotteisiin. Niissä käytetään monimutkaisia hybridimateriaaleja, joita on usein vaikea kierrättää nyky menetelmin sekä sellaisia arvometalleja, joiden tuotanto on keskittynyt harvoihin maihin ja joiden saatavuuteen liittyy poliittisia, eettisiä ja taloudellisia riskejä.

Materiaalien ja tuotteiden päivitettävyyden, uudelleen valmistus, uudelleen käyttö ja kierrätettävyyden lähtee jo tuotesuunnittelusta. Perinteisesti tuotteet suunnitellaan lähinnä suorituskyvynäkökohdasta tai energiansäästöä silmällä pitäen. Kiertotalousnäkökulmasta pitäisi ottaa huomioon myös tuotteiden ja komponenttien kierron sulkeminen, korjattavuus, purettavuus, uusiokäyttö ja turvallinen kierrätys. Tuotteet voidaan korvata myös palveluilla, jolloin palvelun tarjoajan on helppoa ja kannattavaa kerätä, korjata ja kierrättää palvelun tuottamiseksi tarvittavat tuotteet ja materiaalit.

CloseLoop-hankkeessa keskitytään arvometallien kiertotalouteen. Hankkeessa kehitetään menetelmiä, joiden avulla arvometallit voidaan taloudellisesti kierrättää entistä alhaisempina pitoisuuksina tai joko osittain tai kokonaan korvata yleisemmällä ja edullisemmalla materiaaleilla. Hankkeessa yhdistetään teknisiä muun muassa materiaali- ja prosessimalleja uusiin liiketoimintamalleihin. Yhteistyötahojen kanssa pyritään luomaan kiertotaloutta tukevia uusia liiketoimintamalleja, sekä tarkastelemaan niitä tukevia kulutusyhteiskunnan rakenteita.

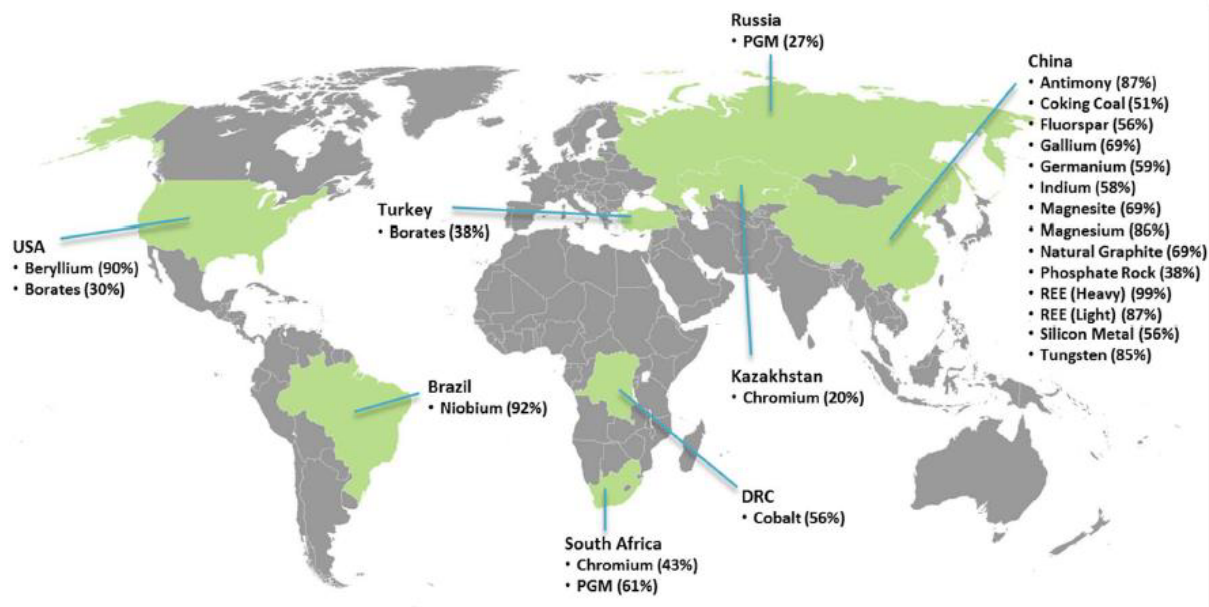
Tausta

Lineaarinen talouden malli ”ota, valmista, kuluta ja hävitä” perustuu runsaisiin resursseihin, jotka voidaan hankkia ja hävittää helposti. Talous ja ympäristö kuitenkin hyötyisivät resurssien paremmasta käytöstä.¹ Suomessa 54% jätteestä ei hyödynnetä mitenkään, 12% menee energiakäyttöön ja loppu hyödynnetään raaka-aineena, josta metallien osuus on 1,2%².

Korkean teknologian tuotteissa käytetään raaka-aineina usein sellaisia arvometalleja, joiden tuotanto on keskittynyt harvoihin maihin (Kuva 1) – erityisesti Kiinaan, mutta myös Venäjälle, Kongoon ja Brasiliaan. Kaikki Euroopan unionin maat ovat riippuvaisia muualta tuoduista raaka-aineista, joista monia on erittäin vaikea korvata. Tällaisia ovat esimerkiksi litium, beryllium, germanium, grafiitti, indium, antimoni, koboltti, platinaryhmän metallit, harvinaiset maametallit, tantaali ja wolframi. Euroopan unionin on listannut 20 kriittistä raaka-ainetta (CRM: critical raw material), joissa EU on riippuvainen Euroopan ulkopuolisesta tuotannosta ja joiden saatavuuteen voi liittyä merkittäviä taloudellisia ja poliittisia riskejä.

¹ Euroopan Komissio. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaaliskomitealle ja alueiden komitealle. Kohti kiertotaloutta: jätteen Eurooppa. Bryssel 2.7.2014 COM(2014) 398 final.

² Sitran selvityksiä 84, 2014. Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle.



Kuva 1. Eräiden kriittisten metallien keskittyminen. Lähde: **Report on Critical Raw Materials for the EU, European Commission 2014.** ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/.../native

Esimerkiksi nikkelimetallihydridiakut eli NiMH-akut sisältävät harvinaisia maametalleja, jotka Euroopan komissio on määritellyt Euroopan unionille (EU) kriittisiksi materiaaleiksi³. Vaikka NiMH-akkuja kierrätetään, ottaa vain muutama yritys maailmassa akkujen maametallit talteen. Maailmanlaajuisesti harvinaisista maametalleista kierrätetään alle 1 %⁴. Suomessa NiMH-akkujen maametalleja ei oteta lainkaan talteen.

Kansainvälinen ja kansallinen toimintaympäristö

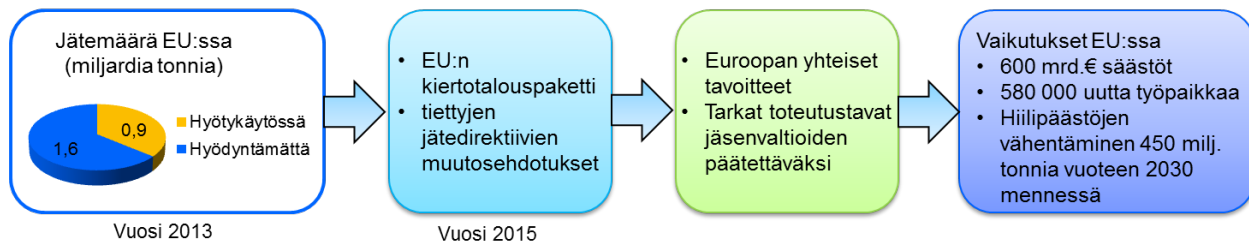
Vuonna 2013 EU:ssa syntyi 2,5 miljardia tonnia jätettä, josta 1,6 miljardia tonnia jäi käyttämättä uudelleen tai kierrättämättä ja poistui siten Euroopan talouden kierrosta⁵ (Kuva 2). Suurten yritysten jättemateriaaleista noin 45% myydään, mutta pk-yrityksissä vastaava luku on vain 25%⁶. Euroopan komissio hyväksyi vuonna 2015 uuden kiertotalouspaketin kattamaan talouden koko kierron pelkästään jätteiden vähentämistä koskevien tavoitteiden sijaan osana politiikan ja jätteitä koskevan lainsäädäntöehdotuksen suunnantarkistusta.

³ European Commission. Report on Critical Raw Materials for the EU. [Verkojulkaisu]. 2014. [Viitattu: 14.10.2016]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en.

⁴ Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonneman, G.; Buchert, M. & Hagelüken, C. UNEP (2011) Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. [Verkojulkaisu]. 2011. [Viitattu: 4.10.2016]. Saatavissa: <http://www.unep.org/resourcepanel-old/Publications/Recyclingratesofmetals/tabid/56073/Default.aspx>. ISBN: 978-92-807-3161-3.

⁵ Euroopan Komissio. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. Ehdotus jätteistä annetun direktiivin 2008/98/EY muuttamisesta. Bryssel 2.12.2015. COM(2015) 595 final 2015/0275 (COD)

⁶ European Commission Factsheet. 2015. Closing the Loop. From Waste to Resources.



Kuva 2. EU:n kiertotalouspaketti.

Kiertotalouspaketin tavoitteena on varmistaa kaikkien raaka-aineiden, tuotteiden ja jätteiden aiempaa kestävämpi käyttö, edistää energiansäästöä sekä vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä.⁷ Taulukossa 1 listattujen direktiivien muuttamisella luodaan puitteet Euroopan unionin yhteisille tavoitteille ja jätetään tarkat toteutustavat jäsenvaltioiden päätettäväksi.⁸

Taulukko 1. Kiertotalouspaketissa muutettavat direktiivit.

Numero	Sisältö
2008/98/EY1	Jätteet
94/62/EY2	Pakkaukset ja pakkausjätteet
1999/31/EY3	Kaatopaikat
2000/53/EY4	Romujoneuvot
2006/66/EY5	Akut ja paristot sekä käytetyt akut ja paristot
2012/19/EU6	Sähkö- ja elektroniikkaromu

Jätelainsäädäntöä koskevissa tarkistetuissa ehdotuksissa on määritetty konkreettisia tavoitteita eri jätteiden kierrättämiselle, jotta Eurooppa voisi siirtyä kierrätysyhteiskunnaksi. Materiaalien kierrätyksellä ja vastaavasti kaatopaikkojen ympäristövaikutusten vähentämisellä on arvioitu saavutettavan yli 500 miljoonan tonnin kasvihuonekaasupäästöjen vähennys 20 vuoden aikana⁹.

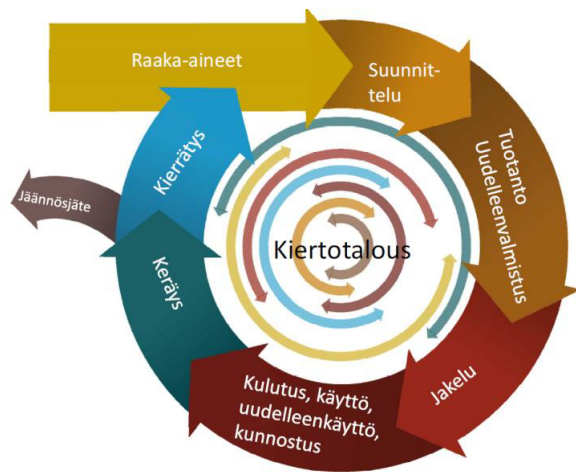
Kiertotalouspaketti vastaa Eurooppa 2020 -strategian yhteydessä esitettyyn EU:n resurssitehokkuusohjelmaan, joka tähtää älykkääseen, kestäväan ja osallistavaan kasvuun. Ohjelman tavoitteena on lisätä talouden suorituskykyä ja vähentää resurssien käyttöä, parantaa kasvun mahdollisuuksia, varmistaa resurssien toimitusvarmuus ja torjua ilmastonmuutosta ja ympäristövaikutuksia.¹⁰ Kiertotalouspaketissa katetaan talouden koko kierto pelkästään jätteen vähentämistä koskevien tavoitteiden sijaan.

⁷ Euroopan komissio – Lehdistötiedote. Kierto kuntoon: komissio hyväksyy uuden kunnianhimoisen kiertotalouspaketin, jolla edistetään kilpailukykyä, luodaan työpaikkoja ja tuetaan kestävää kasvua. Bryssel 2. joulukuuta 2015

⁸ Euroopan Komissio. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. Ehdotus jätteistä annetun direktiivin 2008/98/EY muuttamisesta. Bryssel 2.12.2015. COM(2015) 595 final 2015/0275 (COD)

⁹ Factsheet: Closing the Loop: Clear Targets and Tools for Better Waste Management

¹⁰ Euroopan Komissio. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaaliskomitealle ja alueiden komitealle. Resurssitehokas Eurooppa – Eurooppa 2020 -strategian lippulaivahanke. Bryssel 26.1.2011. KOM(2011) 21 lopullinen



Kuva 3. Kiertotalouden keskeiset kytköksissä olevat vaiheet. Jokaisessa vaiheessa voidaan vähentää kustannuksia ja riippuvuutta luonnonvaroista sekä rajoittaa jätettä ja haitallisia päästöjä ympäristöön. Lähde: Kohti kiertotaloutta: jätteen Eurooppa. Euroopan Komissio COM (2014) 398 final.

Kiertotalous alkaa tuotteen elinkaaren alussa (Kuva 3), jolloin tuotesuunnittelu ja tuotantoprosessit voivat säästää resursseja. Tuotteiden tulisi olla kestävämpiä ja helpompia korjata sekä kierrättää. Tuotantoprosesseissa resurssitehokkuutta voidaan edistää BREF-dokumenttien avulla (Best Available Techniques Reference document), joissa kuvataan paras käytettävissä oleva tuotantotekniikka.¹¹ Ehdotukset tukevat kiertotalousajattelua arvoketjun eri vaiheissa - tuotannosta kulutukseen, korjaamiseen ja uudelleenkäyttöön, jätteiden hallintaan ja raaka-aineiden palauttamiseen talouteen.¹²

Suomessa kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta on ryhdytty ajamaan monella taholla; tutkimusresursseja on ohjattu alueelle ja myös monet yritykset ovat ryhtyneet edelläkävijöiksi. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra on ollut aktiivinen kiertotalouden edistämisessä ja tietoisuuden lisäämisessä.¹³ Lainsäädännössä erityisesti kierrätyksen edistämällä ja jätteiden hyödyntämisellä on merkittävä rooli kiertotaloudessa. Kaatopaikalle ei saa viedä mitään kierrätyskelpoista jätettä vuoden 2025 jälkeen.

Suuri osa Suomessa tuotetuista raaka-aineista päättyy jalostuksen jälkeen ulkomaille. Tämä on tilanne esimerkiksi kaivosteollisuuden ja metsäteollisuuden tuotteiden osalta. Usein tuotanto on siirretty Suomen rajojen ulkopuolelle kustannussyistä, ja Suomessa keskitytään aineettomaan arvoketjuun. Globaalin toimivan kiertotalouden kannalta lopputuotteen kierron edistäminen on tärkeää, mutta Suomen talouden rakenteen takia myös sivuvirtojen kierto on olleellista. Sivuvirtoja voidaan pienentää, kun uusien prosessien ja tuotteiden suunnitteluvaiheessa huomioidaan myös sekundääriset virrat pyrkien joko kierrättämään tai hyötykäyttämään ne teollisissa symbiooseissa tai uusissa erilaisissa sivuvirta- ja jättepohjaisissa tuotteissa. Valmistava teollisuus tuottaa 11% Euroopan

¹¹ Factsheet: Closing the Loop: The Production Phase of the Circular Economy

¹² Factsheet: Closing the Loop: An Ambitious EU Circular Economy Package

¹³ Sitran selvityksiä 117, 2016. Kierrolla kärkeen. Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025.

jätteestä.¹⁴ Esimerkiksi teräs- ja alumiinituotteiden valmistuksessa syntyy 15% jätettä, joka voitaisiin hyödyntää entistä paremmin.

Arvometallien kierrätyksen nykytila

Sähkö- ja elektroniikkaromussa (SER) on mukana suuri määrä eri metalleja. Tämän päivän kierrätysmenetelmät keskittyvät pääasiassa rautapitoisten jakeiden erottamiseen ja kuparin ja arvometallien, kuten kullan, hopean ja platinaryhmän metallien talteenottoon. Arvometallit voivat olla usein vaikeasti saatavana monimutkaisissa metalliseoksissa, laminaattirakenteissa tai pinnoitteissa. Tämän vuoksi SER täytyy murskata ja metallipitoiset materiaalit erotella erillisiin prosessivirtoihin kierrätyksen jatkoprosesseja varten. Haasteena sähkö- ja elektroniikkaromun metallien talteenotossa on entistä seostetummat metalliyhdisteet ja se, että SER tyypillisesti sisältää suuren määrän eri metalleja hyvin pienissä pitoisuuksissa. Metallit myös esiintyvät SER:issä koostumuksissa ja suhteissa, jotka eivät ole luonteenomaisia luonnossa esiintyvissä mineraaleissa. Tämä vaikeuttaa metallien talteenottoa.

Mekaaniset prosessointi- ja erottelumenetelmät mahdollistavat metallien ja muiden materiaalien erottamisen toisistaan, jotta saadaan optimaaliset syötevirrat eri kierrätysprosesseihin niin metalleille kuin muoveille ja keraameille. Esikäsittely tehdään, jotta eri materiaalit saadaan erotettua toisistaan mahdollisimman hyvin. Mekaanisilla esikäsittelymenetelmillä voidaan myös poistaa haitallisia jakeita. Usein esikäsittelyyn liittyy manuaalista purkamistyötä.

Jotta jakeista saadaan otettua eri metallit talteen, syötetään ne metallurgisiin prosesseihin, jotka ovat suunniteltuja joko primäärisille (malmit, mineraalit) tai sekundäärisille (kierrätysmateriaalit) raaka-aineille. Rautapitoiset raaka-aineet erotetaan tyypillisesti magneettisten ominaisuuksien perusteella ja käytetään pyrometallurgisissa prosesseissa teräksen raaka-aineena.

Kuparipitoiset jakeet saadaan erotettua tyypillisesti pyörrevirtaerottimen avulla (Eddy Current). Kuparipitoinen SER käsitellään ensin pyrometallurgisesti esimerkiksi liekkisulatusuunin ja konvertterin avulla, ja jatkojalostetaan hydrometallurgisesti elektrolyysin avulla London Metal Exchange (LME) puhtauteen. Samassa prosessissa jalometallit, kuten kulta, hopea, platina ja palladium tuotetaan muodostuvasta anodiliejusta pyro- ja hydrometallurgisia prosesseja hyödyntäen. Pyrometallurgiset prosessit ovat energia-intensiivisiä ja vaativat huomattavia investointeja erityisesti päästöjenhallintajärjestelmiä varten¹⁵.

Jotta SER:n käsittely olisi taloudellisesti kannattavaa, täytyy sen sisältää arvometalleja tai kuparia. Muovit sekä muut orgaaniset yhdisteet palavat pyrometallurgisissa prosesseissa ja niiden tuottama lämpöenergia voidaan käyttää hyödyksi. Piirilevyt voivat kuitenkin myös sisältää palonestoaineita, jotka voivat muodostaa korkeissa lämpötiloissa reagoidessaan haitallisia yhdisteitä, kuten dioksiineja ja furaaneja.¹⁶

¹⁴ Eurostat 2012, Eurostat 2013

¹⁵ Cui, J. and Zhang, L. Metallurgical Recovery of Metals from Electronic Waste: A Review. Journal of Hazardous Materials, 10/30, 2008, vol. 158, no. 2–3. pp. 228- 256 ISSN 0304-3894. Hagelüken, C. Recycling of Electronic Scrap at Umicore Precious Metals Refining. Acta Metallurgica Slovaca, 12, 2006, pp. 111-120

¹⁶ Ghosh, B., et al. Waste Printed Circuit Boards Recycling: An Extensive Assessment of current Status. Journal of Cleaner Production, 5/1, 2015, vol. 94. pp. 5-19 ISSN 0959-6526

Haasteena on, että elektroniikkaa ei suunnitella eikä tuoteta sen potentiaalista kierrätettävyyttä ajatellen. Metalleja seostetaan uusissa materiaaleissa ja tuotteissa niin, että niiden talteenottoa ja kiertotaloutta ei voida varmistaa joko teknisistä tai taloudellisista syistä. Useat elektroniikkatuotteissa olevat metallit, kuten harvinaiset maametallit ja litium, päätyvät valtaosin jätejakeisiin, kuten kuonaan. Esimerkiksi kestopagneetit ovat yksi harvinaisten maametallien tärkeimmistä sovelluksista. Niiden sisältämien maametallien kierrätystä on tutkittu, mutta talteenottoa ei vielä tehdä teollisessa mittakaavassa. Nykyisten kierrätysmenetelmien parantaminen ei tule riittämään metallien kiertotalouden varmistamiseksi. Tuotteiden suunnittelussa tulisi keskittyä kierrätettävyyssuunnittelun lisäksi myös entistä enemmän materiaalitehokkuuteen¹⁷.

Tuotesuunnittelu ja liiketoimintamallit kiertotalouden mahdollistajina

Kierron kannalta on oleellista se, kuinka paljon resursseja voidaan käyttää uudelleen tai uusiutuvista lähteissä. CloseLoop-tutkimushankkeen tavoitteena on kehittää uudentyyppisiä ratkaisuja hybridimateriaalien ja arvometallien kierrätykseen sekä kriittisten raaka-aineiden korvaamiseen, sekä arvioida mitkä materiaalit EU-listan ulkopuolelta voivat muodostua kriittisiksi.

Kiertotalous asettaa uusia vaatimuksia tuotteiden suunnittelulle sekä pakottaa miettimään uusia strategioita konkreettiseen tuotesuunnitteluun. Kiertotalouden kannalta toimiva tuote on suunniteltu päivitettäväksi, uudelleen valmistettavaksi, uudelleen käytettäväksi, kierrätettäväksi ja kestäväksi. Jos suunnittelussa näitä seikkoja ei ole otettu huomioon, tuotteen kierrätys voi olla usein jopa mahdotonta tai ainakin tavattoman kallista. Jotta resursseja voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, tuotteen elinkaaren eri toimijoiden (valmistaja, uudelleen valmistaja, kierrättäjä ja seuraavan kierron hyödyntäjä) pitäisi olla hyvin verkottuneita ja suunnitelmallisia toiminnassaan resurssien hyödyntämisessä.

Tuotteissa käytettävät materiaalit pitäisi huomioida niin kestävänsä kehityksen (ekosuunnittelun) kuin kiertotalouden kannalta: pyritään käyttämään materiaaleja, jotka eivät ole myrkyllisiä, pyritään käyttämään uusiomateriaaleja tai muita sekundäärisiä materiaalilähteitä, käytetään materiaaleja, joita pystytään taloudellisesti ja energiatehokkaasti kierrättämään. Resurssiviisaus tarkoittaa myös kevyempiä, resurssitehokkaampia tuotteita ja tuotteita, joiden valmistukseen, käyttöön, uudelleen käyttöön ja lopulta kierrätykseen käytetty energia on mahdollisimman pieni.

Tuotesuunnittelun ohella tarvitaan kokonaisvaltaista systeemistä muutosta, esimerkiksi uudenlaisia liiketoiminta-, palvelu-, logistiikka- ja jakamismalleja, jotka muuttavat sekä markkinoita että kuluttajien käyttäytymistä. Kiertotalouden yhtenä tärkeimpänä mahdollistajana ovat uudet

¹⁷ Kriwet, A. Zussman, E. and Seliger, G. Systematic Integration of Design-for- Recycling into Product Design. International Journal of Production Economics, 3, 1995, vol. 38, no. 1. pp. 15-22 ISSN 0925-5273 Van Schaik, A. and Reuter, M.A. Handbook of Recycling E. Worrell and M.A. Reuter eds., Boston: Elsevier, 2014 Chapter 22 - Material-Centric (Aluminum and Copper) and Product-Centric (Cars, WEEE, TV, Lamps, Batteries, Catalysts) Recycling and DfR Rules, pp. 307-378 ISBN 9780123964595

liiketoimintamallit¹⁸, jotka keskittyvät suorituskykyyn tai toiminnallisuuteen tuotteiden omistamisen sijaan. Liiketoimintamalli kuvaa, miten yritys luo, jakaa ja tulouttaa arvoa. Kiertotalouden periaatteita noudattavia liiketoimintamalleja on jo olemassa ja kierrätys on monella sektorilla vakiintunut toimintatapa, samoin tuotteiden uudelleenvalmistus. Esimerkki tällaisesta on Ricoh, joka toimittaa tulostusratkaisuja, dokumenttienhallintajärjestelmiä ja IT palveluja. Vuonna 1994 yritys aloitti Comet Circle -ohjelman ympäristövaikutusten pienentämiseksi. Lähtökohtana on, että kaikki tuotteen osat pitää suunnitella siten, että ne voidaan kierrättää tai käyttää uudelleen. Yritys on yksi ensimmäisistä, joka on ottanut kiertotalouden mukaisen toiminnan liiketoimintamalliinsa. Tuotevalmistajana Ricoh voi vähentää oman toimintansa ympäristövaikutuksia suunnittelemalla tuotteet koko elinkaari huomioon ottaen. Leasing -liiketoimintamalli varmistaa sen, että tuotteet palautetaan sopimuskauden päättyessä ja tuotteet voidaan soveltuvin osin uudelleen valmistaa ja materiaalit kierrättää.

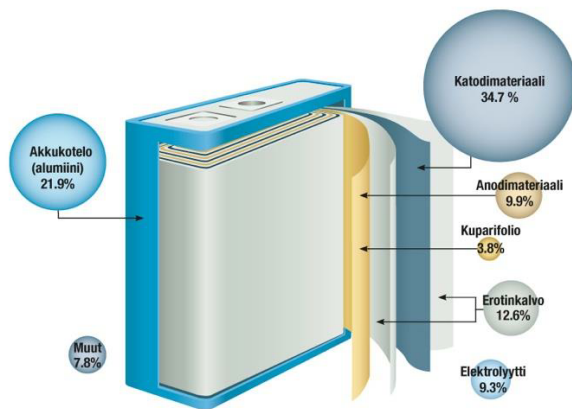
Palveluiden kehittäminen on yksi mahdollisuus saada aikaan kiertotalouden mukaista liiketoimintaa. Muutos tuoteorientoituneesta toimijasta kohti palvelujen tuotantoa tukee muutosta kohti kiertotaloutta, koska tällöin motivaatio tuotteiden eliniän pidentämiseen nousee ja korjaaminen, uudelleenvalmistus ja resurssien tehokkaampi käyttö tulevat entistä tärkeämmäksi. Tuotteiden vuokraaminen tai liisaaminen ei ole sinänsä uutta vaan malleja on ollut laajasti käytössä jo tietyillä toimialoilla ja tuotteilla, kuten autoteollisuudessa ja lentokoneteollisuudessa. Yksittäiselle tuotteita valmistavalle yritykselle se voi kuitenkin olla uusi tapa toimia. Esimerkiksi Philips on aloittanut valaistuksen myymisen palveluna, jotta käytettyjen lamppujen keräämistä ja kierrättämistä voi tehostaa. Yritys pystyy tavoittamaan enemmän asiakkaita, jos he pitävät valaistuslaitteiden omistuksen itsellään. Asiakkaiden ei tarvitse maksaa suuria etukäteiskustannuksia ja Philips voi varmistaa laitteiston kierrättämisen elinkaaren lopussa. Asiakkaille palvelusta lopputuloksena on hyvä valaistuksen toimivuus, hyvä energiatehokkuus ja pieni materiaalijalanjälki.

Kiertotalous voi luoda kysyntää uusille palveluille, kuten, tuotteiden kerääminen ja logistiikka, tuotteiden jälkimarkkinat sekä alustat, jotka mahdollistavat tuotteiden pidemmän iän tai korkeamman käyttöasteen.

Esimerkkinä litium-akut

CloseLoop-hankkeen kehitystyön yhdeksi esimerkkikohteeksi on valittu tulevaisuuden vähähiilisen energiateknologian tuotteista litium-akut, joiden käytön oletetaan kasvavan voimakkaasti sähköautojen ja kiinteistökohtaisten aurinkosähkövarastojen yleistyessä.

¹⁸ European Parliament. Closing the loop. New circular economy package. Briefing January 2016. Seppälä, J. et al. 2016. Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston kanslia.



Kuva 4. Litium-akun rakenne.

Litium-akku muodostuu kuparifoliolle pinnoitetusta grafiittianodista (miinus-elektrodi) ja alumiinifoliolle pinnoitetusta oksidi- tai fosfaattikatodista (plus-elektrodi). Elektrodienvälissä on huokoinen polymeerikalvo, joka estää oikosulun elektrodien välillä ja joka on täytetty litium-suolaa sisältävällä elektrolyytillä (Kuva 4). Yleisimmin esim. kuluttajaelektroniikassa käytetty katodimateriaali on litium-koboltti-oksidi.

Perinteisesti litiumioniakun on ajateltu tulleen käyttöikänsä loppuun, kun akun alkuperäisestä kapasiteetista on jäljellä 70-80 %. Tämä perustuu turvallisuuteen, sillä litiumioniakun ikääntyessä sen sisällä voi tapahtua akun turvallisuutta heikentäviä muutoksia: negatiiviselle elektrodille saostuu metallista litiumia ja tästä voi seurata akun sisäinen oikosulku, joka johtaa pahimmillaan akun ylikuumentumisen aiheuttamaan paloon tai räjähdysriskiin. Toisaalta litiumioniakkua käytetään sovelluksissa, joissa energian varastointiin käytettävältä laitteelta edellytetään suurta energiatihedyyttä kuten matkapuhelimissa tai sähköautoissa. Kapasiteetin lasku johtaa akusta energiaa saavan laitteen käyttöaikaajan lyhentymiseen ja latausvälien tihtymiseen, jolloin käyttäjä näkökulmasta akun korvaaminen uudella tulee tarpeelliseksi.

Akkujen päätyminen kierrätykseen on perinteinen tapa käsitellä ikääntyneet laitteet. Ikääntyneissä litiumioniakuissa on kuitenkin paljon energianvarastointikapasiteettia jäljellä. Tällaisten akkujen hyödyntäminen muissa, energiatihedyyden suhteen vähemmän vaativissa käyttökohteissa on järkevää. Tällaisia kohteita ovat erilaiset kiinteät sovellukset kuten varavoimanlähteet ja energiantasaus uusiutuviin energiantuotantomuotoihin perustuvissa järjestelmissä.

Erityisesti autonvalmistajat ovat kehittäneet uusiokäyttökonseptia omille tuotteilleen. Esimerkiksi Mercedes-Benz (Daimler) yhteistyökumppaneineen on kehittänyt litium-ioniakkujen kierrätystä, uudelleenvalmistusta ja uudelleenkäyttöä¹⁹, (Kuva 5).

Tärkeää on, että akkujen suunnittelussa otetaan huomioon käytettävät materiaalit ja niiden sopivuus kierrätykseen. Myös akkujen rakenteen pitää olla sellainen, joka mahdollistaa komponenttien korvaamisen. Näin voidaan varmistaa, että uudelleenvalmistuksessa voidaan kuluneet tai vialliset osat vaihtaa uusiin. Ajoneuvossa käytön jälkeen akkuja voidaan hyödyntää energian varastoinnissa. Tämä liiketoimintamalli mahdollistaa akkujen hyödyntämisen mahdollisimman pitkään.

¹⁹ <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next/e-mobility/the-second-lives-of-lithium-ion-batteries/>

Li-ioniakkuja kierrätetään akuille tarkoitetuissa kierrätysprosesseissa sekä osana muiden metallien primäärituotantoa. Akuista otetaan talteen lähinnä koboltti, nikkeli ja kupari. Litiumin pitoisuus akussa on alhainen eikä sen talteenotto ole nykyisin vielä taloudellisesti kannattavaa. Litiumista kierrätetäänkin maailmanlaajuisesti alle 1 %²⁰. Suomessa Li-ioniakkujen litiumia ei oteta lainkaan talteen. Tulevaisuudessa Li-ioniakkujen ja siten myös litiumin kysynnän ennustetaan kasvavan mm. sähkö- ja hybridiautoissa sekä uusiutuvan energian varastointiin liittyvissä sovelluksissa. Jotta litium riittäisi näihin nykyistä suurempiin akkusovelluksiin, olisi sille kehitettävä taloudellisesti kannattava kierrätysprosessi.

E-mobility – thought to the end! Biggest 2nd-use battery storage in the world



DAIMLER


THE MOBILITY HOUSE

GETEC | GRUPPE

REMONDIS®
IM AUFTRAG DER ZUKUNFT

²⁰ Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonneman, G.; Buchert, M. & Hagelüken, C. UNEP (2011) Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. [Verkkojulkaisu]. 2011. [Viitattu: 4.10.2016]. Saatavissa: <http://www.unep.org/resourcepanel-old/Publications/Recyclingratesofmetals/tabid/56073/Default.aspx>. ISBN: 978-92-807-3161-3.

Kuva 5. Daimlerin kiertotalouskonsepti. Lähde: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Worlds-largest-2nd-use-battery-storage-is-starting-up.xhtml?oid=13634457>

Akkujen kierrätyksen ja uusiokäytön ohella komponenttien uusiokäyttö on kolmas vaihtoehto ikääntyvän akun hyödyntämiseen. Akun eri komponenttien, erityisesti elektrodien, ikääntymisen aste saattaa erota huomattavasti. Näin ollen vaurioitumattoman tai vähemmän vaurioituneen elektrodin erottaminen ja käyttö on kiertotalouden näkökulmasta tehokkaampi keino kuin koko akun kierrätys.

Hankkeen tuoma lisäarvo

CloseLoop-hankkeessa tarkastellaan ratkaisukeskeisesti suljettujen materiaali kiertojen teknologioita, uusia liiketoimintamalleja sekä kuluttajien toimintaa kiertotaloudessa. Tavoitteena on tehdä korkean jalostusarvon teknologioista Suomen taloudelle uusi osaamisalue.

Keskeisenä tutkimusmenetelmänä on materiaalien ominaisuuksien, materiaali virttojen sekä talteenotto prosessien matemaattinen mallinnus. Mallien avulla voidaan kehittää kriittisiä raaka-aineita korvaavia materiaaleja ja komponentteja, analysoida jätevirttojen hyödyntämisen taloudellisia reunaehtoja sekä optimoida talteenotto prosessien suorituskykyä. Vahva mallinnusosaaminen tehostaa kokeellista tutkimusta merkittävästi.

Hydrometallurgiset menetelmät ovat avainasemassa, jotta entistä kompleksisimmista kierrätysraaka-aineista saataisiin talteen myös sellaiset metallit, jotka nykyään menetetään kuonaan, jätteisiin tai sivuvirtoihin. Hydrometallurgisten menetelmien etuna on niiden skaalautuvuus – uudet prosessit voidaan suunnitella pienillekin raaka-ainevirroille. Tämän lisäksi hydrometallurgisten menetelmien avulla (selektiivinen liuotus ja talteenotto) voidaan ottaa talteen hyvinkin pieniä metallipitoisuuksia epäpuhtaista liuoksista. Tämä on tulevaisuudessa entistä tärkeämpää kun kierrätysraaka-aineen merkitys lisääntyy ja kriittisten metallien kiertotalous tulee varmistaa. Hankkeessa kehitetään prosesseja, joilla arvometallit kannattaa kierrättää entistä alhaisempina pitoisuuksina sekä materiaaleja, joissa kriittiset raaka-aineet on korvattu yleisesti saatavilla olevilla ja halvemmilla materiaaleilla. Esimerkiksi litium akuille kehitetään orgaanisia yhdisteitä elektrodimateriaaleiksi sekä litiumin talteenotto prosessi.

Akkujen uusiokäyttöä edistetään tutkimalla akkujen ikääntymistä eri käyttöolosuhteissa ja kehittämällä menetelmiä, joilla akun tai kennojen ikääntymistä voidaan tutkia itse akkuja tai kennoja vahingoittamatta, minkä jälkeen akuston parhaiten säilyneistä kennoista voidaan uusiokäyttöön koota uusi käyttöturvallinen akku. Lisäksi pohditaan akkujen rakenteen kehittämistä kiertotalouteen paremmin sopivaksi siten, että akun suorituskyky ei kärsi. Ajatuksena on kehittää akun rakennetta siten, että akun purkaminen osiin on aiempaa helpompaa. Näin ollen arvokkaiden komponenttien, esimerkiksi eheänä säilyneiden elektrodien, ja raaka-aineiden kierrätys onnistuu jouhevammin. Menetelmiä sovelletaan sekä kaupallisten että projektissa kehitettävien uusien ratkaisujen kiertotaloudessa.

Teknisen kehityksen ohella liiketoimintamallien kehittäminen on yksi hankkeen keskeisiä alueita. Näitä kehitetään yhdessä eri sidosryhmien kanssa, jolloin uusissa innovatiivisissa

liiketoimintamalleissa otetaan huomioon niin yritysten, paikallisten toimijoiden, poliittisten päättäjien kuin kuluttajienkin näkökulmat. Kestävien liiketoimintamallien tutkimusta tehdään kansainvälisestikin intensiivisesti monella taholla ja yhteistyössä yritysten kanssa. CloseLoop-hankkeessa erityisenä lisäarvona on yhteistyö myös muiden kuin yritysten kanssa; tällöin kehitystyöhön saadaan yhdistettyä niin paikalliset kuin kansallisen tason toimijat sekä kuluttajat. Tämä tuo kansainvälisestikin kiinnostavaa lisäarvoa hankkeelle, etenkin kun kehitys- ja tutkimustyötä tehdään tiiviissä yhteistyössä Cambridgen yliopiston kanssa. Hankkeessa kehitettäviä konsepteja myös testataan yhdessä loppukäyttäjien ja kuluttajien kanssa. Poikkitieteellisen mallinnusympäristön avulla voidaan arvioida uusien kiertotalouskonseptien toimivuutta ja vaikutuksia politiikan, kulutusyhteiskunnan ja markkinoiden kannalta. Tämä tuottaa tulevaisuuden suuntaamisen kannalta tärkeää tietoa päättäjille ja yrityksille.