



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

KIERTOTALOUDEN MITTARIT

Manu Kangas

TUOTANTOTALOUS

Kandidaatintyö

Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Kiertotalouden mittarit

Manu Kangas

Oulun yliopisto, Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 24 s.

Työn ohjaajat yliopistolla: Pasi Rönkkö ja Pekka Tervonen

Kiertotalous on alkanut keräämään mielenkiintoa yhteiskunnassa ja sen nähdään olevan korvike pitkään vallinneelle lineaariselle järjestelmälle. Kiertotaloudessa tuotteita suunnitellaan, valmistetaan ja käytetään kestävästi ja materiaaleja uusiokäytetään. Kiertotalous on saanut alkunsa kestävä kehityksen periaatteiden: ympäristöllisen, taloudellisen ja sosiaalisen kestävyuden yleistyessä. Jotta toiminta olisi todellisuudessa kestävä, tulee sen suorittamista pystyä mittaamaan ja todentamaan. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitä tutkimusta kiertotalouden mittaamisesta on tehty ja mitä mittareita kiertotalouden mittaamiseen on tuote- ja yritystasolla.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksen ensimmäisessä vaiheessa käytiin läpi aikaisempia tutkimuksia yleisesti kiertotaloudesta ja sen mittaamisesta. Tutkimuksia läpikäymällä selvisi kiertotalouden määrittelyä ja yhteyttä kestäväan kehitykseen. Kiertotalouden mittaamista tutkimalla selvisi kiertotalouden mittaamisen merkitys, mittareiden luokittelua ja mittaamisen haasteita. Kirjallisuuskatsauksen toisessa osassa tehtiin systemaattinen katsaus kiertotalouden mittareista tuote- ja yritystasolla. Tuote- ja yritystason mittareita löydettiin yhteensä 17.

Löydetyt mittarit ovat ominaisuuksiltaan ja mitattavilta kohteiltaan erilaisia. Koska mittareilla on useita erilaisia kohteita voivat yritykset vertailla niitä ja löytää itselleen sopivia. Mittareiden joukosta huomattiin myös, että suurin osa mittareista käsitteli vain ympäristöllistä ja taloudellista kestävyyttä, eikä juuri ollenkaan sosiaalista kestävyyttä. Tulevaisuuden haasteeksi jääkin selvittää, miten kiertotalouden mittareissa tuote- ja yritystasolla huomioidaan myös sosiaalinen kestävyys.

Asiasanat: kiertotalous, mittarit, kestävä kehitys

ABSTRACT

Circular economy metrics

Manu Kangas

University of Oulu, Degree Programme of Industrial Engineering and Management

Bachelor's thesis 2023, 24 pp.

Supervisors at the university: Pasi Rönkkö and Pekka Tervonen

Circular economy has started to gain interest in the society and it is seen as a substitute to the linear systems that has been in place for a long time. In circular economy products are designed, produced, and used sustainably and materials are reused. Circular economy has started as sustainable development principles of environmental, economic, and social sustainability have become more common. In order for the activity to be sustainable in reality its performance must be able to be measured and verified. The aim of this study is to find out what previous studies say about measuring circular economy and what circular economy metrics exist in product and company level.

This research was carried out as a literature review. In the first part of the literature review previous studies about circular economy in general and circular economy measuring were reviewed. By going through the studies, the definition of the circular economy and its connection to sustainable development became clear. By researching the measurement of the circular economy, the importance of measuring the circular economy, the classification of metrics and the challenges of measurement became clear. In the second part of the literature review a systematic literature review on circular economy metrics in product and company level was done. 17 product and company level metrics were found.

The metrics found are different from their characteristics and measuring objectives. Because they have different measuring objectives, companies can compare them and choose suitable for them. Among the metrics, it was also noticed that most of the metrics dealt only with environmental and economic sustainability and hardly at all with social sustainability. The challenge for the future remains to find out how social sustainability is also taken into account in circular economy metrics at the product and company level.

Keywords: Circular economy, metrics, sustainable development

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
1.1 Työn tausta	5
1.2 Tutkimusmenetelmä	6
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	7
2.1 Kestävä kehitys ja kiertotalous	7
2.2 Kiertotalouden mittaaminen	9
2.3 Kiertotalouden mittareiden luokittelu	10
3 KIERTOTALOUDEN MITTAREITA TUOTE- JA YRITYSTASOLLA	12
4 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	17
LÄHDELUETTELO	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Kiertotalous on kerännyt huomioita viimeisen vuosikymmenen aikana ja aihe kiinnostaa laajasti. Perinteisestä lineaarisesta mallista, jossa raaka-aineista valmistetaan tuotteita, jotka käytön jälkeen päätyvät jätteeksi kaatopaikoille ja poltetaan, ollaan siirtymässä kohti kiertotalouden mallia. Siinä tuotteita pyritään suunnittelemaan ja valmistamaan kestävästi ja resursseja kierrätetään ja uusiokäytetään. Kiertotalouteen liittyy olennaisesti kestävä kehityksen ulottuvuudet. Kiertotaloudellinen toiminta on ympäristöllisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävä.

Kiertotaloutta edistetään varsinkin Euroopan unionissa, Kiinassa ja Japanissa poliittisilla päätöksillä. Kuluttajat valitsevat entistä tarkemmin kestävästi valmistettuja tuotteita. Yritysten täytyy ottaa kuluttajat ja päätöksentekijät huomioon tässä muutoksessa, samalla kannattavasti toimien ja tuottaen voittoa omistajilleen. Jotta toiminta todella olisi kiertotalouden mukaista, tarvitaan vakaita mittareita sen todentamiseksi. Tällöin yritykset voivat uskottavasti markkinoida itseään tai tuotteitaan kiertotaloudella ja asiakkaat voivat todella tietää, että ostavat vastuullisia tuotteita.

Lisääntyneen huomion takia myös tutkimuksia kiertotaloudesta on tehty kasvavissa määrin. Kiertotalouden mittaamiseksi tarvitaan kuitenkin lisää tutkimuksia ja kuten EASAC (2016) raportissaan mainitsee, yksi kiertotalouden kriittisimmistä kysymyksistä on, kuinka sitä mitataan. Tässä työssä selvitetään, millaista tutkimusta kiertotalouden mittaamisesta on tehty. Työn tarkoituksena on myös kartoittaa, miten kiertotaloutta mitataan tuote- ja yritystasolla. Työssä perehdytään alan kirjallisuuteen ja pyritään saamaan vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

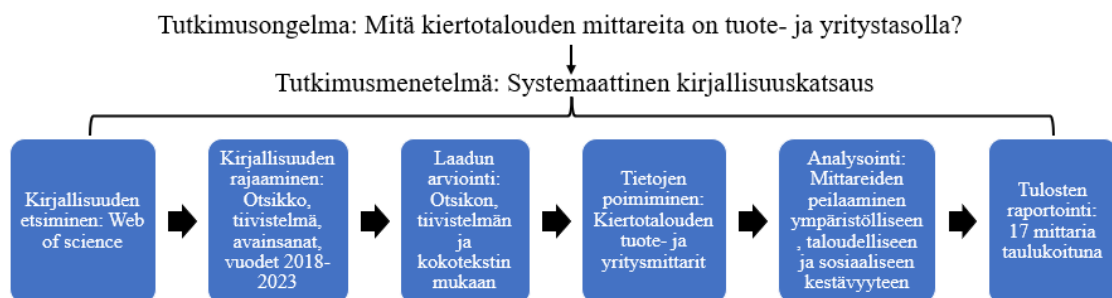
Q1: Mitä kiertotalouden mittaamisesta on kirjoitettu tutkimuksissa?

Q2: Minkälaisia mittareita kiertotalouden mittaamiseen löytyy tuote- ja yritystasolla?

1.2 Tutkimusmenetelmä

Tämä tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Työn ensimmäisessä osassa luodaan teoreettinen viitekehys kiertotaloudelle ja sen mittaamisella. Osiossa käydään läpi kiertotalouden ja kestävän kehityksen yhteyttä, kiertotalouden määrittelemistä ja kiertotalouden mittaamisen näkökulmia. Tähän aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen perehtymällä saadaan pohjatiedot suorittaa tutkimus kiertotalouden mittareista.

Teorian jälkeen tehtiin systemaattinen kirjallisuuskatsaus kiertotalouden mittareista tuote- ja yritystasolla. Tämä kirjallisuuskatsaus noudatti Xiaon ja Watsonin (2019) esittämää prosessikuvausta. Kun tutkimusongelma oli määritelty ja tutkimusmenetelmäksi valittu kirjallisuuskatsaus, noudatti prosessi seuraavaa järjestystä: kirjallisuuden etsiminen, rajaaminen, laadun arviointi, tietojen poimiminen, analysointi ja tulosten raportointi (kuva 1). Kirjallisuuskatsaus tehtiin Web of Science tiivistelmätietokannassa ja hakuterminä käytettiin: ”circular economy” AND (indicator* OR metric* OR measure*). Hakutuloksia rajattiin otsikkoon, tiivistelmään ja avainsanoihin. Mukaan otettiin englanninkielisiä teoksia vuosilta 2018–2023. Tätä vanhempia mittareita otettiin myös mukaan tuloksiin, jos niihin viitattiin vielä paljon nykyisissä tutkimuksissa. Julkaisuille tehtiin esikarsintaa otsikkojen ja tiivistelmien perusteella ja tämän jälkeen kokotekstien perusteella. Julkaisujen joukosta etsittiin mittareita, jotka oli tarkoitettu nimenomaan tuote- ja yritystasolle. Tuloksiin päätyi 17 mittaria 15 yhteensä artikkelista.



Kuva 1: Kirjallisuuskatsausprosessi (Mukaiillen Xiao ja Watson, 2019)

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Kestävä kehitys ja kiertotalous

Kestävän kehityksen periaatteiden käyttöönoton ja kehittämistyön tuloksena kiertotalouden käsite on saanut alkunsa (Banaite ja Tamošiuniene 2016). Tämän takia on aiheellista aloittaa kestävän kehityksen perusideaan tutustumisella.

Kestävä kehitys sai alkunsa ratkaisuna teollisuuden kestävämpään resurssien hyödyntämiseen ja ympäristön tilan heikentymiseen (Duran et al., 2015). Tavoitteena kestävälle kehitykselle on varmistaa parempi elämänlaatu kaikille maapallon asukkaille, niin nykyisille kuin tulevillekin, yhteensovittamalla taloudellinen ja sosiaalinen edistyminen vaarantamatta planeetan luonnollista tilaa. Geissdoerfer et al. (2017a) määrittelevät kestävän kehityksen taloudellisen suoriutumisen, sosiaalisen osallisuuden ja ympäristön sietokyvyn tasapainotettuna yhteen liittämisenä. Kestävästä kehityksestä ja sen kolmesta peruseriaatteesta (ympäristöllinen, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys) on tullut Euroopan Unionin poliittinen tavoite vuodesta 1999 lähtien (Banaite ja Tamošiuniene, 2016).

Kiertotalous on alkanut viime vuosikymmenenä keräämään mielenkiintoa tutkijoiden joukossa ja aiheesta on kirjoitettu kasvavassa määrin tutkimuksia (Ghisellini et al., 2016a). Koska kiinnostus aihetta kohtaan on kasvanut ja tutkimuksia tehdään kasvavissa määrin, on kiertotaloudelle kehitetty useita määritelmiä, joiden avulla mallia yritetään selittää. Monesti kiertotalouden määrittelemisen koostuu irrallisista ja epämääräisistä ideoista eri aloilta (Korhonen et al., 2018). Selkeyden nimissä on hyvä tutkia tieteellistä kirjallisuutta ja löytää yleisesti käytettyjä määritelmiä kiertotaloudelle.

Kiertotalous nähdään uutena talouden järjestelmänä, joka korvaa perinteisen lineaarisen mallin, jonka mukaisesti tavaroita valmistetaan, kulutetaan ja heitetään pois (Ghisellini et al., 2016a). Kirchherr et al. (2017) käyvät läpi 114 julkaisua kiertotaloudesta ja analysoivat näistä kiertotalouden määritelmää luodakseen yhteisen määritelmän. Heidän määritelmänsä mukaisesti kiertotalous on taloudellinen järjestelmä, joka korvaa lineaarisen käsityksen tuotteiden elinkaaresta ja sen loppumisesta kaatopaikalle. Sen sijaan kiertotaloudessa materiaalien käyttöä vähennetään, uudelleen käytetään, kierrätetään ja otetaan talteen niin valmistuksessa, jakelussa kuin kulutuksessa.

Geissdoerfer et al. (2017a) kuvaavat kiertotaloutta uudistuvana järjestelmänä, jossa syötetyt resurssit, jätteet, päästöt ja energian hukka pyritään minimoimaan. Minimointi tehdään hidastamalla, kaventamalla ja sulkemalla materiaali- ja energiasilmukoita. Toimenpiteet, joilla tämä saavutetaan ovat kestävä suunnittelu ja huolto, korjaaminen, uudelleenkäyttö, uudelleenvalmistus, kunnostus ja kierrätys (Kuva 2).



Kuva 2: Kiertotalous (Mukaiillen Euroopan komissio; Banaite ja Tamošiuniene, 2016)

Kuten edellä on todettu, kiertotalous on vahvasti linkittynyt kestäväan kehitykseen. Nykyisen taloudellisen ympäristön ja vähenevät luonnonvarat huomioiden, kestäväan kehityksen tavoitteiden tulisi keskittyä väestön tyytyväisyyden maksimoimnin lisäksi myös resurssien tehokkaampaan käyttöön (Duran et al., 2015). Tähän kiertotalous pyrkii vastaamaan.

Materiaalien kierrättämisen tiedetään nykyään hyödyttävän ympäristön lisäksi hyvin myös taloutta ja yhteiskuntaa laajemminkin. Kaikki materiaali, joka saadaan

kierrätetyksi, pystyy korvaamaan raaka-aineita ja näiden paikantamiseen, louhimiseen ja käsittelyyn vaadittua toimintaa. Tällaiset toiminnot ovat vaaraksi ympäristölle kuluttamalla energiaa, saastuttamalla ja muokkaamalla maisemaa. Joihinkin raaka-aineisiin liittyy myös sosiaalisia ongelmia, kuten konfliktit, ihmisoikeusloukkaukset ja mustat markkinat. (Di Maio ja Rem, 2015a)

2.2 Kiertotalouden mittaaminen

Kiertotaloudellisen edistymisen mittaaminen tarkoittaa kvantitatiivisen tai puolikvantitatiivisen tiedon keräämistä ja näistä indikaattorien muodostamista, jotka tarjoavat merkityksellistä tietoa (Potting et al., 2017). Useat tutkimukset puoltavat kiertotalouden mittaamisen tärkeyttä. Kiertotalouden monipuolisista ja epämääräisistä määritelmistä huolimatta kiertotalouden mittaamiseen tarvitaan menetelmiä, joilla edistystä voidaan seurata (Moraga et al., 2019). Aranda-Usón et al. (2020) linjaavat, että ei ole epäilystäkään siitä, että ympäristövaikutuksia mittaavien standardoitujen kiertotalousmittareiden käyttöönottoa tarvitaan. Hyvin suunnitellut mittarit auttavat ympäristöystävällisen kehityksen johtamisessa ja ohjaavat kiertotalouden mukaisten käytänteiden toteuttamiseen (Geng et al., 2013a). Oikeanlaisella kiertotalouden mittaamisella yhteiskunta voi saavuttaa sosiaalisia, ympäristöllisiä, taloudellisia ja strategisia tavoitteitaan (Di Maio ja Rem, 2015b). EU-jäsenmaiden kansallisten tiedeakatemioiden yhteistyöelin EASAC (2016) linjaa raportissaan, että yksi kiertotalouden kriittisimmistä kysymyksistä on se, kuinka kiertotaloutta mitataan.

Kiertotalouden mittarin tarjoama tieto auttaa kuluttajia tekemään vastuullisia ostopäätöksiä (Rabta, 2020). Kuluttajien elämäntavat ovat muuttuneet ja asiakkaat ovat entistä tietoisempia ympäristöystävällisyydestä ja sosiaalisesta kestävyyydestä (Ghisellini et al., 2016b). Asiakaskäyttäytyminen osoittaa, että asiakkaat, joilla on taipumusta etsiä lisätietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista, ostavat mieluummin kiertotalouden kannalta suotuisasti pakattuja tuotteita (Testa et al., 2020). Tutkiessaan asiakkaiden halukkuutta ostaa kiertotaloudellisia tuotteita Boyer et al. (2021) huomasivat, että keskimääräinen asiakas suosi lähes aina enemmän kiertotaloudellista tuotetta, kuin vastaavilla ominaisuuksilla lineaarisen mallin mukaista tuotetta. He myös havaitsivat, että asiakkaat olivat johdonmukaisesti valmiita maksamaan enemmän tuotteista, joiden valmistukseen oli käytetty kohtalaisia määriä kierrätettyä materiaalia.

Myös lainsäätäjiä ja päättäjiä kiinnostaa kiertotalous. Hallituksilla onkin Rabta (2020) mukaan mahdollisuus vaikuttaa siirtymässä kohti kiertotaloutta säädöksillä, veroilla ja tukiaisilla. Poliittisia päätöksiä ja uusia lakeja kiertotalouden eteen valmistellaan ja kiertotalouden mallia edistetään etenkin Kiinassa, Japanissa ja Euroopan unionissa (Geissdoerfer et al., 2017b). Asiakkaiden käyttäytyminen ja poliittiset päätökset on otettava huomioon yritysten päätöksenteossa, jotka hakevat samalla voittojen maksimointia (Rabta, 2020). Yrityksillä on näin ollen uskottavia kannustimia pyrkiä esittämään mahdollisimman hyviä ja korkeita kierrätyksen arvoja. Tämän takia on tärkeää, että käytetyt kiertokulkumittarit ovat vankkoja opportunistista toimintaa vastaan. (Linder et al., 2017a)

Kiertotalouden mittaamisen keskeisiksi haasteiksi tutkimukset mainitsevat olemassa olevien mittareiden yksipuolisuuden ja datan saatavuuden ongelmat. On hyvin tyypillistä, että yritykset jättävät kiertotalouden sosiaalisen ulottuvuuden käsittelemättä. Vaikka yritykset pitävät sosiaalista ulottuvuutta tärkeänä osana kiertotaloudellista toimintaa, eivät ne suorita tähän liittyvää arviointia (Walker et al., 2021). Tarkastellessaan niin kirjallisuutta kuin teollisuuden käytäntöjä huomasivat Calzolari et al. (2022), että kun siirtymistä kohti kiertotaloutta mitataan toimitusketjuissa, on sosiaalisten vaikutusten tarkastelu hyvin yksinkertaistettua ja pinnallista. Avoimen datan saatavuus on mittareiden käytännön sovellettavuuden kannalta merkittävää. Vaikka kelvollinen indikaattori mittaamiseen löydetään, tiedon puuttuminen tai tiedon keräämisen vaikeus ja kustannukset voivat johtaa indikaattorin hylkäämiseen (Pitkänen et al., 2023).

2.3 Kiertotalouden mittareiden luokittelu

Mittareita voidaan luokitella sen mukaan, mitä vaatimuksia kiertotalouden mittaamiseen on. Elia et al. (2017) esittää tällaisiksi vaatimuksiksi viittä eri luokkaa: luonnonvarojen syötön ja käytön vähentäminen, päästötasojen vähentäminen, arvomateriaalien häviöiden vähentäminen, uusiutuvien ja kierrätettävien resurssien lisääminen, ja tuotteiden arvon säilymisen lisääminen.

Mittareiden luokitteluun käytetään etenkin tasoja, joilla mittausta tehdään. Nämä tasot on jaoteltu kolmeen: mikro-, meso- ja makrotasoon. Mikrotaso käsittää kiertotalouden toimia, joita tehdään tuote- ja yritystasolla. Mesotasolla tarkoitetaan ekoteollisuuspuistoja, joissa useat yritykset maantieteellisesti lähellä toisiaan jakavat

tietoa ja resursseja yhteistoiminnalla. Makrotasolla tarkoitetaan kiertotaloutta edellä mainittuja laajemmassa kontekstissa. Makrotason toimet voivat liittyä kaupunkeihin, maakuntiin ja alueisiin, valtioihin tai jopa suurempiin kansainvälisiin toimijoihin. (Ghisellini et al., 2016a)

Makrotason mittareita on sovellettu ja tutkittu mikrotasoa enemmän (Bracquené et al., 2020a; Linder et al., 2017b). Tuotetason kiertotalousmittari on arvokas yrityksen sidosryhmille vanhan idiomien mukaisesti: ”Se mitä mitataan, sitä hallitaan” (Linder et al., 2017b). Tämän tiedon pohjalta tämän työn tarkastelukulma kiertotalouden mittareista mikrotasolla eli tuotteissa ja yrityksissä on sopiva.

3 KIERTOTALOUDEN MITTAREITA TUOTE- JA YRITYSTASOLLA

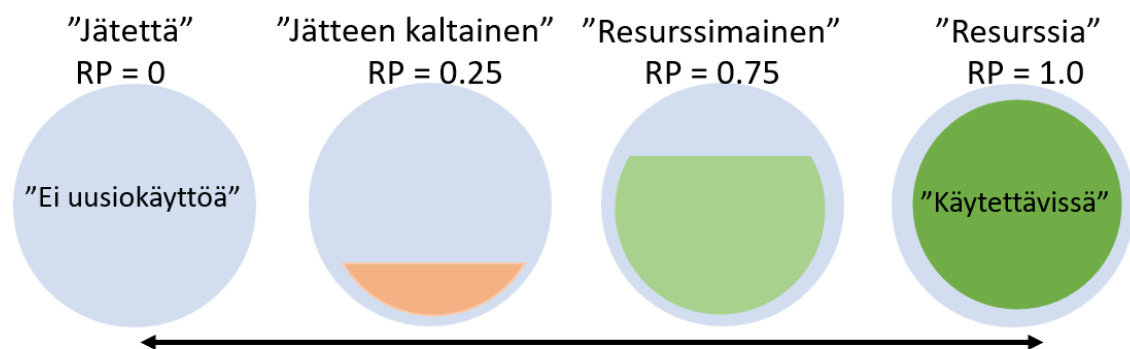
Tässä osiossa esitetään systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tuloksia kiertotalouden mittareista mikrotasolla. Mittareita on myös peilattu kestäväen kehityksen ulottuvuuksiin eli kuinka ne vastaavat ympäristölliseen, taloudelliseen ja sosiaaliseen kestävyys (taulukko 1).

Yleisesti käytetyimpiä menetelmiä kiertotalouden mittaamiseen ovat Sassanelli et al. (2019) mukaan elinkaariarviointiin perustuvia tai monitavoitearvioinnin avulla luotuja. Tuotteiden elinkaaria pidentävät toiminnot, kuten korjaus, uudelleenkäyttö ja komponenttien kerääminen uudelleenkäyttöä varten, vaativat kaikki helposti saavutettavat komponentit (Vanegas et al. 2018a). He esittävätkin tutkimuksessaan mittarin, jonka avulla voidaan arvioida komponenttien purkamisen helppoutta ja määrää, missä määrin on realistista purkaa komponentit tuhoamatta niitä ja näin käyttää niitä korjaukseen ja uudelleenvalmistukseen. Mittari eDiM (ease of Disassembly) auttaa laskemaan arvioin tuotteen purkamiseen vaadittavasta ajasta sekunteina. Sen avulla voidaan edistää tuotteiden suunnittelua kiertotalouden vaatimusten mukaisesti.

Yksittäisten mittareiden yhdistämistä monitavoitearvioinnilla on käytetty parantamaan kiertotalouden mittausta. Niero ja Kalbar (2019a) käyttävät monitavoitearviointia yhdistämään mittareita, jotka mittaavat kiertotaloudellisuutta eri näkökulmista. Heidän tutkimuksessaan materiaalien kierrätettävyyteen ja elinkaariarviointiin perustuvien mittarien yhdistäminen ratkaisee konflikteja eri mittareiden välisistä tuloksista ja näyttää näin antavan luotettavamman kuvan todellisesta kiertotaloudellisuudesta.

Bracquené et al. (2020a) mukaan yleisimmin viitattuja mikrotason mittareita ovat MCI (Material Circularity Indicator), CEI (Circular Economy Index) ja RPI (Reuse Potential Indicator). CEI mittaa suhdetta, kuinka elinkaarensa lopussa olevien tuotteiden kierrätysmateriaalien arvo vertautuu siihen materiaalien kokonaisarvoon, jota kierrätysprosessissa vaadittaisiin uusien vastaavien tuotteiden valmistukseen (Di Maio and Rem, 2015a). Koska CEI keskittyy kierrätysprosessin tehokkuuteen, muut materiaalien uusiokäytön muodot jäävät ulkopuolelle eikä mittari näin ollen ole täysin validi tuotteen kierrätettävyyden mittari (Linder et al., 2017a). RPI puolestaan mittaa materiaalien kierrätettävyyden potentiaalia (Park and Chertow, 2014a). Se ilmoittaa,

kuinka suuren osan tuotteen materiaaleista voi kierrättää uusiokäyttöön ja kuinka paljon päätyy jätteeksi. Tällä tavoin helposti jätteeksi ajateltu voidaan todistaa olevan vielä uusiokäytettävissä. Mittari ilmoittaa potentiaaliluvun 0 ja 1 väliltä (kuva 3). MCI kehitettiin mittaamaan materiaalivirtoja tuotteen eri elinkaaren vaiheissa (Ellen MacArthur Foundation, 2015a). Mittarilla tarkastellaan, kuinka paljon tuotteen valmistuksessa lineaarista virtausta on minimoitu ja korjaavaa virtaa lisätty. Mittaria voidaan käyttää myös yritystasolla, kun lasketaan yhteen kaikkien tuotteiden mitattuja arvoja.



Kuva 3 Reuse Potential Indicator (Mukaiillen Park & Chertow, 2014b)

MCI:n ollessa hyvin tunnettu ja viitattu mittari, on siihen kohdistunut myös kritiikkiä ja parannusehdotuksia (Bracquené et al., 2020b; Linder et al., 2017a). Mittaria on kritisoitu muun muassa sen kyvyttömyydestä ottaa huomioon erialaisia materiaalkiertoja (uudelleenkäyttö vs. kierrätys), näiden yhteensovittamista tai alaspäin kierrättämisen vaikutuksia. Mittarin pohjalta on kehitetty myös paranneltu versio PCI (Product Circularity Indicator), jonka esitetään selvittävän aiemman mittarin vajavaisuudet (Bracquené et al., 2020b).

Materiaalien kierrätettävyyden mittaamisesta tuotetasolla puhuttaessa Niero ja Kalbar (2019) mainitsee kaksi mittaria, joiden kehittäjinä ovat olleet kiertotalouden vaikutusvaltaisimpia toimijoita. Nämä mittarit ovat jo edellä mainittu MCI sekä materiaalien kierrätysarvoa mittaava MRS (Material Reutilization Score). MRS määrittää tuotteen kierrätettävyyden kahden muuttujan kautta. Nämä muuttujat ovat kierrätettyjen materiaalien osuus ja tuotteen luontainen kierrätettävyyden, toisin sanoen kuinka paljon tuotteen materiaaleista voi kierrättää ensimmäisen käyttövaiheen jälkeen.

MRS muistuttaa peruseriaatteeltaan toista mainittua mittaria eli materiaalien kierrätettävyyden potentiaalimittaria RPI:tä.

Materiaalien käyttöön tuotteissa on kehitetty muitakin mittareita. Materiaalien säilyttämiseen kehitettyjä mittareita ovat esimerkiksi UOR ja FRS, jotka mittaavat kuinka hyvin käytössä olevat materiaalit säilyvät käytettävänä (Moraga et al., 2021a). Näiden mittareiden avulla voidaan löytää materiaalin säilyvyyden kannalta ongelmakohtia tuotesuunnittelussa, valmistuksessa ja elinkaaren loppuvaiheessa.

Steinmann et al. (2019) ovat kehittäneet materiaalien laatua käsittelevän mittarin Qc. Mittari on tehty kiertotalouden näkökulmasta ja se perustuu energian käyttöön. Kierrätettyjen tuotteiden valmistukseen käytettyä energiankulutusta verrataan mittarin avulla primääriraaka-aineista valmistettuihin tuotteisiin.

Kiertotaloudessa materiaaleja käytettäessä priorisoidaan jo kierrossa olevia materiaaleja, mutta (Sherwood et al., 2022) mukaan on hyväksytty, että kaivostoiminta ei tule kokonaan loppumaan. Sen takia he esittävät resurssien käytön ja tuotteiden suorituskyvyn välille mittaustapaa PwRD (Performance -weighted abiotic Resource Depletion). Mittari ilmaisee materiaalien toimittamiseen liittyviä riskejä ja osoittaa järkeviä toimia kiertotalouden ylläpitämiseen. Mittarin avulla pystytään hallitusti myös käyttämään uusia raaka-aineita valmistuksessa.

Massan mittaamiseen perustuvia indikaattoreita, kuten erilaiset kierrätysasteen mittarit, ovat yleisiä. Nämä eivät kuitenkaan ota ympäristöä hyvin huomioon (Haupt ja Hellweg, 2019). Niinpä he kehittivät erityisesti ympäristön huomioon ottavan mittarin. REV (retained environmental value) mittaa materiaalin tai tuotteen valmistuksen ympäristövaikutusta sellaisissa tuotteissa, joita valmistetaan kierrätetyistä materiaaleista.

Linder et al. (2017b) esittävät uutta mittaria, joka perustuu tuotteen osien taloudelliseen arvoon ja niiden kautta luotuun tuotteen kierrätettävyyden mittaukseen. Tämä tehdään yhdistämällä tuotteen arvoketjun tapahtumat ja tuotteen osien taloudellinen arvo ja kierrätettävyyys.

Jäteveden käsittelyä varten on kehitetty kiertotaloudellinen mittari WCI (Wastewater Circconomics Index). Tämä indeksimäinen mittari yhdistelee jäteveden tuotannon tehokkuutta, kierrätettävyyttä ja uudelleenkäyttöä kiertotalouden mukaisesti. Mittari on

tarkoitettu hyödynnettäväksi jätevesilaitoksilla ja sen tarkoitus on parantaa taloudellista suoriutumista. (Kayal et al., 2019)

Sacco et al. (2021) mukaan kiertotalouden mikrotason mittareiden ja kiertotalouden arviointitapojen parissa on epäjohtonmukaisuutta, joka ohjaa kirjoittajia uuden arviointityökalun kehittämiseen. Tämän seurauksena uutta kiertotalouden arviointityökalua CM-FLAT (Circularity and Maturity Firm-Level Assessment tool) esitetään yritystasolle käytettäväksi. Arviointityökalun avulla yritykset voivat arvioida omaa liiketoimintaansa suhteessa kiertotalouteen ja ottaa käyttöön kiertotalouden mukaisia käytäntöjä ja prosesseja. CM-FLAT avulla esitetään yrityksille joukko kysymyksiä ja vastausten perusteella analysoidaan yrityksen kiertotaloudellisuutta.

Rossi et al. (2020a) esittävät joukon mittareita, joiden on tarkoitus vastata kattavasti kiertotalouden osa-alueisiin. Esitetyt mittarit liittyvät materiaalien käyttöön, talouteen ja sosiaalisiin asioihin. Mittareita on kaiken kaikkiaan 16 ja ne liittyvät muun muassa materiaalien käytön vähentämiseen, taloudelliseen tulokseen, investointeihin kiertotalouteen ja työpaikkojen luontiin. Kirjoittajien tarkoituksena on luoda yksinkertainen ja selkeä joukko mittareita, joita voi käyttää laajasti useilla aloilla.

Materiaalien käytön kierrätystä ja pitkäikäisyyttä yhdistelevää mittaria esittää (Figge et al., 2018). Mittaria esitetään käytettäväksi, koska materiaalin kierrätyskertojen määrä tai pitkäikäisyys eivät itsenään pysty kirjoittajan mukaan ilmaisemaan todellista resurssien käyttöä kiertotalouden näkökulmasta. Materiaaleja saatetaan käyttää useasti, mutta vain lyhyen aikaa kokonaisuudessaan. Tai materiaaleja voidaan käyttää pitkään, mutta ei kiertotalousmallin mukaisesti uudestaan.

Taulukko 1: Kiertotalouden mittarit mikrotasolla

Mittari	Kuvaus	Kestävän kehityksen ulottuvuudet			Lähde
		Ympäristö	Talous	Sosiaalinen	
MCI	Laskee tuotteen materiaalivirtojen kiertoa	x	-	-	(Ellen MacArthur Foundation, 2015b)
CEI	Mittaa, kuinka hyvin jätteen käsittelijä tuottaa arvoa jäteprosessilla	-	x	-	(Di Maio and Rem, 2015b)

4 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Oikeanlaisen mittarin valinta voi olla haasteellista yrityksille. Mittareita löytyy paljon ja oikean menetelmän valinta voi osoittautua työlääksi. Kuten Geng et al. (2013b) toteavat, auttaa oikean mittarin käyttäminen ympäristöystävällisen kehityksen johtamisessa ja ohjaavat kiertotalouden mukaisten käytänteiden toteuttamiseen. Siksi näitä mittareita on hyvä etsiä ja esittää käytettäväksi. Tässä työssä esitettyjen tulosten pohjalta osa yrityksistä voi löytää joitakin keskeisiä kiertotalouden mittareita ja pohtia niiden soveltuvuutta omiin tarkoituksiin.

Mittareita valittaessa tulisi ottaa huomioon kestävän kehityksen periaatteet. Edellä esitetyn taulukon tulos tukee jo teoriassa (Calzolari et al., 2022; Walker et al., 2021) esitettyä tietoa, että kiertotalouden mittarit ovat yksipuolisia kestävän kehityksen näkökulmasta. Suurin osa mittareista tuote- ja yritystasolla käsittelee ympäristöllistä tai taloudellista kestävyyttä yhdessä tai erikseen, mutta sosiaalisen kestävyuden mittaamisen ei löytynyt yhtä paljon mittareita. Tämä ei toisaalta yllätä, sillä etenkin taloudellisuuden voisi olettaakin löytyvän melkein jokaisesta yritystason mittarista. Yrityksethän tähtäävät voittavaan liiketoimintaan ja talous näyttelee tärkeää roolia myös kiertotalouteen siirryttäessä. Lisäksi kiertotalouden tavoitteet saatetaan helposti yksinkertaistaa ympäristön suojelemiseen eikä sosiaalista kestävyyttä muisteta sisällyttää.

Sosiaalisen kestävyuden puuttumisen suuresta osasta mittareita voi selittää osaltaan myös datan keräämisen haasteet. Kuten Pitkänen et al., (2023) esittävät, datan kerääminen on yksi merkittävä haaste kiertotalouden mittaamiseen. Tätä voi mahdollisesti selittää se, että sosiaalisiin ongelmiin voi olla haasteellista löytää samalla lailla laskettavaa ja mitattavaa tietoa, kuin ympäristöllisiin tai taloudellisiin ongelmiin, varsinkin yritystasolla.

Yhdistelemällä mittareita ja käyttämällä mittareiden joukkoa näyttäisi olevan mahdollista vastata eri kestävyuden ulottuvuuksiin, kuten Rossi et al. (2020a) joukko eri mittareista näyttää. Monitavoitearvioinnin tapaisella menetelmällä, kuten Niero ja Kalbar, (2019b) toteavat, voisi mahdollisesti yhdistää kahta tai useampaa mittaria ja vastata laajasti kestävyuden ongelmiin. Toisaalta useamman mittarin käyttäminen voi vaatia enemmän resursseja ja näin kynnyks tähän voi olla vielä iso.

Tässä työssä käsiteltiin kiertotalouden mittaamista yleisesti ja tutkittiin mitä kiertotalouden mittareita löytyy mikrotasolla eli tuote- ja yritystasolla. Työ eteni kestäväen kehityksen ja kiertotalouden määrittämisen kautta kiertotalouden mittaamisen teoriaan. Teoriaosuuden jälkeen suoritettiin systemaattinen kirjallisuuskatsaus kiertotalouden mittareista mikrotasolla. Tuloksissa löydettyjä mittareita peilattiin kestäväen kehityksen ulottuvuuksiin ja tarkasteltiin kuinka hyvin mittarit vastaavat näihin.

Kiertotalouteen liittyy olennaisesti kestävä kehitys. Jotta kiertotalous olisi kestävä, tulisi sen toteuttaa niin ympäristöllisen, taloudellisen ja sosiaalisen kestävyden ulottuvuuksia. Jotta kiertotaloutta voidaan hallita, pitää sitä pystyä mittaamaan kunnollisilla mittareilla. Kiertotalouden mittaamisen puolesta puhuvat useat tässä työssä esillä olleet tutkimukset. Näyttäisi siltä, että yrityksille, jotka toimivat kiertotaloudessa olisi perusteltua siirtyä kohti kiertotaloutta ja sen kunnollista mittaamista. Varsinkin yritykset, joiden asiakasjoukkoa ovat kestävästä kehityksestä ja kierrätyksestä kiinnostuneet kuluttajat, tulisi miettiä miten kiertotaloutta mitataan. Myös valtioiden lisääntyneen kiinnostuksen takia tulevaisuudessa tullaan todennäköisesti näkemään enemmän erilaisia lakiehdotuksia tai kannustimia kiertotalouteen siirtymiseen. Siirtymistä helpottamaan ja johtamisen helpottamiseksi oikeanlaisten mittaustapojen valinta on tärkeää.

Tutkimuksen luotettavuuden arviointiin käytetään usein reliabiliteettia ja validiteettia. Reliabiliteetilla arvioidaan, kuinka toistettava tutkimus on ja kuinka hyvin muut tutkijat tulisivat samoihin tuloksiin. Validiteetin avulla taas arvioidaan, ovatko tutkimusmenetelmät tarkkoja ja mittaavatko ne todella sitä, mitä niiden on tarkoitus mitata. Saunders et al. (2009)

Kirjallisuuskatsaus menetelmänä oli hyvä valinta ja sen avulla saatiin vastauksia tutkimuskysymyksiin. Kirjallisuuskatsauksella ja artikkeleiden arvioinnilla työhön saatiin olennaisia kiertotalouden mittareita. Tulokset vaikuttavat loogisilta ja tukevat esitettyä tietoa aiemmista tutkimuksista. Kirjallisuuskatsauksen avulla saatiin myös vastaukset esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Voidaan siis todeta, että kirjallisuuskatsauksen reliabiliteetti ja validiteetti ovat hyviä.

Kirjallisuuskatsausta laajentamalla tulosten määrää olisi voinut kasvattaa. Tutkimukseen olisi myös voitu lisätä tutkimusmenetelmäksi kysely yrityksille, jossa olisi selvitetty mitataanko kiertotaloutta ja jos mitataan, niin miten. Kandidaatintyön laajuutta ajatellen tähän työhön saatiin kuitenkin sopiva määrä tutkimuksia ja mittareita. Kiertotalouden

ajankohtaisuuden takia pyrin valitsemaan tutkimukseen mahdollisimman ajankohtaisia artikkeleita. Tämä voi vaikuttaa heikentävästi työn luotettavuuteen. Toisaalta enemmistö valituista artikkeleista oli julkaistu vertaisarvioituissa akateemisissa julkaisuissa. Tämä lisää luotettavuutta tutkimukseen.

Tulevaisuudessa kiertotalouden mittareille on varmasti kysyntää. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää yrityksissä, joissa pohditaan mittareiden käyttöönottoa. Tutkimuksissa voidaan tämän työn perusteella pohtia erilaisten mittareiden yhdistämistä. Lisäksi jatkotutkimuksissa voidaan pohtia esiin tulleita haasteita datan keräämisen vaikeudesta ja sosiaalisen ulottuvuuden mittaamisesta. Sosiaalisen kestävyuden puuttuminen tämänhetkisistä mittareista näyttää selkeältä tämän tutkimuksen tuloksissa. Tutkimusta sosiaalisen ulottuvuuden mittareista olisi siis tehtävä, jotta kiertotaloudellista toimintaa voidaan johtaa entistä kestävämmäksi.

LÄHDELUETTELO

- Aranda-Usón, A., Portillo-Tarragona, P., Scarpellini, S., Llena-Macarulla, F., 2020. The progressive adoption of a circular economy by businesses for cleaner production: An approach from a regional study in Spain. *J Clean Prod* 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119648>
- Banaite, D., Tamošiuniene, R., 2016. Sustainable development: The circular economy indicators' selection model. *Journal of Security and Sustainability Issues* 6. [https://doi.org/10.9770/jssi.2016.6.2\(10\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2016.6.2(10))
- Boyer, R.H.W., Hunka, A.D., Linder, M., Whalen, K.A., Habibi, S., 2021. Product Labels for the Circular Economy: Are Customers Willing to Pay for Circular? *Sustain Prod Consum* 27. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.010>
- Bracquené, E., Dewulf, W., Duflou, J.R., 2020b. Measuring the performance of more circular complex product supply chains. *Resour Conserv Recycl* 154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104608>
- Calzolari, T., Genovese, A., Brint, A., 2022. Circular Economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators* 13. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100160>
- Di Maio, F., Rem, P.C., 2015b. A Robust Indicator for Promoting Circular Economy through Recycling. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* 06. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.610096>
- Duran, D.C., Artene, A., Gogan, L.M., Duran, V., 2015. The Objectives of Sustainable Development - Ways to Achieve Welfare. *Procedia Economics and Finance* 26. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00852-7](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00852-7)
- European Academies' Science Advisory Council (EASAC), 2016. Indicators for a circular economy. https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Circular_Economy/EASAC_Indicators_web_complete.pdf

- Elia, V., Gnoni, M.G., Tornese, F., 2017. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *J Clean Prod* 142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- Ellen MacArthur Foundation, 2015b. *Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity*. Ellen MacArthur Foundation.
- Figge, F., Thorpe, A.S., Givry, P., Canning, L., Franklin-Johnson, E., 2018. Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy. *Ecological Economics* 150. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.030>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017b. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *J Clean Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y., Sarkis, J., Ulgiati, S., Zhang, P., 2013b. Measuring China's circular economy. *Science* (1979). <https://doi.org/10.1126/science.1227059>
- Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016b. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *J Clean Prod* 114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Haupt, M., Hellweg, S., 2019. Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators* 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
- Kayal, B., Abu-Ghunmi, D., Abu-Ghunmi, L., Archenti, A., Nicolescu, M., Larkin, C., Corbet, S., 2019. An economic index for measuring firm's circularity: The case of water industry. *J Behav Exp Finance* 21. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2018.11.007>
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resour Conserv Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics* 143. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Linder, M., Sarasini, S., van Loon, P., 2017b. A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *J Ind Ecol* 21. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
- Moraga, G., Huysveld, S., De Meester, S., Dewulf, J., 2021b. Development of circularity indicators based on the in-use occupation of materials. *J Clean Prod* 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123889>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G.A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., Dewulf, J., 2019. Circular economy indicators: What do they measure? *Resour Conserv Recycl* 146. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Niero, M., Kalbar, P.P., 2019b. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resour Conserv Recycl* 140. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.002>
- Park, J.Y., Chertow, M.R., 2014b. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. *J Environ Manage* 137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.053>
- Pitkänen, K., Karppinen, T.K.M., Kautto, P., Pirtonen, H., Salmenperä, H., Savolahti, H., Schubin, E., Myllymaa, T., 2023. How to measure the social sustainability of the circular economy? Developing and piloting social circular economy indicators in Finland. *J Clean Prod* 392. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136238>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A., 2017. Circular Economy: Measuring innovation in the product chain - Policy report, PBL Publishers.
- Rabta, B., 2020. An Economic Order Quantity inventory model for a product with a circular economy indicator. *Comput Ind Eng* 140. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106215>

- Rossi, E., Bertassini, A.C., Ferreira, C. dos S., Neves do Amaral, W.A., Ometto, A.R., 2020b. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *J Clean Prod* 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137>
- Sacco, P., Vinante, C., Borgianni, Y., Orzes, G., 2021. Circular economy at the firm level: A new tool for assessing maturity and circularity. *Sustainability (Switzerland)* 13. <https://doi.org/10.3390/su13095288>
- Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., Terzi, S., 2019. Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *J Clean Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.019>
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, a., 2009. *Research Methods for Business Students, Business.*
- Sherwood, J., Gongora, G.T., Velenturf, A.P.M., 2022. A circular economy metric to determine sustainable resource use illustrated with neodymium for wind turbines. *J Clean Prod* 376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134305>
- Steinmann, Z.J.N., Huijbregts, M.A.J., Reijnders, L., 2019. How to define the quality of materials in a circular economy? *Resour Conserv Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.040>
- Testa, F., Iovino, R., Iraldo, F., 2020. The circular economy and consumer behaviour: The mediating role of information seeking in buying circular packaging. *Bus Strategy Environ* 29. <https://doi.org/10.1002/bse.2587>
- Vanegas, P., Peeters, J.R., Cattrysse, D., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., Dewulf, W., Duflou, J.R., 2018b. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resour Conserv Recycl* 135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022>

Walker, A.M., Opferkuch, K., Roos Lindgreen, E., Simboli, A., Vermeulen, W.J.V., Raggi, A., 2021. Assessing the social sustainability of circular economy practices: Industry perspectives from Italy and the Netherlands. *Sustain Prod Consum* 27. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.030>

Xiao, Y., Watson, M., 2019. Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *J Plan Educ Res*. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>