

Ida-Kaisa Isoviita

KEHDOSTA KEHTOON -SUUNNITTELU- MALLIN ERITYISPIIRTEET JA HAASTEET

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Ida-Kaisa Isoviita: Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin erityispiirteet ja haasteet
(Special features and challenges of cradle to cradle design)

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tuotantotalous
Toukokuu 2019

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tarkastella kehdosta kehtoon -suunnittelumallia, sen erityispiirteitä ja haasteita sekä sitä, miten nämä tekijät vaikuttavat tuotesuunnitteluun. Kandidaatintyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Kandidaatintyössä käytetyt kirjallisuuslähteet ovat laadukkaita tieteellisiä julkaisuja, joiden valinnassa on painotettu viittausten lukumäärää sekä julkaisuajankohtaa.

Aluksi käsitellään lyhyesti kiertotaloutta, ekotehokkuutta ja ekojärkevyyttä, jotka ovat keskeisiä käsitteitä kehdosta kehtoon -suunnittelumallissa. Käsitteiden kautta tulisikin saavuttaa erityisesti ymmärrys ekotehokkuuden ja ekojärkevyyden tavoitteista, ja näin ollen myös eroavaisuuksista. Seuraavaksi siirryttiin tarkastelemaan kehdosta kehtoon -suunnittelumallia, minkä jälkeen tarkastelua suunnattiin tutkimuskysymysten pohjalta. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin erityispiirteiden tunnistaminen suoritettiin vertailuna, jossa vertailtava suunnittelustrategia oli ekosuunnittelu. Viimeisimpänä tarkasteltiin kehdosta kehtoon -suunnittelumallin haasteita erityisesti tuotesuunnittelussa, mutta myös laajemmin.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli nähdään luonnon innoittamana, kestävyyttä edistävänä suunnittelustrategiana, jossa materiaalivirrat ovat suljettuja. Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli ja sen periaatteet perustuvat ekojärkevyyteen ja sen tunnistetaan olevan merkittävä kiertotalouden ajuri. Kehdosta kehtoon -materiaalivirrat ovat jaettu biologiseen kiertoon ja tekniseen kiertoon, mikä mahdollistaa tehokkaan kierrättämisen ja uudelleenikäytön sekä materiaalien resursistatuksen säilymisen.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli eroaa merkittävästi perinteisestä lineaarimallista, mutta eroavaisuuksia on havaittavissa myös muiden kestävien suunnittelustrategioiden välillä. Merkittävimpänä erityispiirteenä kehdosta kehtoon -suunnittelumalli nähdään innovatiivisuus, ratkaisuiden kontekstisidonnaisuus ja kunnianhimoiset tavoitteet. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin haasteita tunnistettiin muun muassa logistiikassa, kierrätettävyydessä, materiaalituntemuksessa ja organisaatiotasolla.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella esille nousi kaksi merkittävää tulosta. Tarkastellut tutkimukset osoittavat, että kehdosta kehtoon -suunnittelumallissa ilmenee useita, merkittäviä eroavaisuuksia verratessa teoriaa, arviointia ja sertifiointikäytäntöä. Lisäksi tutkimukset kehdosta kehtoon -suunnittelumallin soveltamisesta ovat suppeita ja harvassa, jolloin käsitys kokonaisvaltaisesta soveltamisesta on puutteellista.

Avainsanat: kiertotalous, ekojärkevyyttä, kehdosta kehtoon -suunnittelumalli

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Kandidaatintyöni aihe, kehdestä kehtoon -suunnittelumalli, vastasi opintojeni suuntautumista, kiinnostuksenkohteitani ja ajankohtaisuutta. Aihe kandidaatintyölleni valikoitui prof. Saku Mäkisen kanssa käydyn keskustelun jälkeen, ja valinta oli mitä sopivin. Kandidaatintyö eteni asetettujen tavoitteiden mukaisesti, eikä tarkasteltavan aiheen rajoitukset juurikaan muuttuneet.

Kiitokset haluan osoittaa ohjaajalleni Johanna Kirjavaiselle ja professori Saku Mäkiselle. Heidän opastuksellaan kandidaatintyö oli mielekkäästi toteutettavissa selkeän tarkastelusuunnan myötä, huolimatta alkuvaiheessa esiintyneestä motivaatiopulasta. Erityiskiitokset ystäville, jotka tsemppasivat sekä ylä- että alamäessä.

Tampereella, 5.5.2019

Ida-Kaisa Isoviita

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KIERTOTALOUS	3
3. KEHDOSTA KEHTOON.....	6
3.1 Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli.....	6
3.2 Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin arviointi.....	9
4. KEHDOSTA KEHTOON -SUUNNITTELMALLI TUOTESUUNNITTELUSSA....	11
4.1 Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin erityispiirteet.....	11
4.2 Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin haasteet	14
5. PÄÄTELMÄT	18
LÄHTEET	21

1. JOHDANTO

Kestävä kehitys on jatkuva, ohjattu muutos kohti kestävää tulevaisuutta, mitä tarkastellaan kolmesta näkökulmasta: ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen sekä kulttuurinen kestävyys. Kestävyyden saavuttamiseksi muutos on toteutettava siten, että kaikki kolme näkökulmaa huomioidaan tasavertaisesti. Kestävä kehitys on ajankohtainen tavoite, joka on kansainvälisesti merkittävä ja joka tunnustetaan kansainvälisesti. Jotta kestävyteen tähtäävät tavoitteet saavutettaisiin, on kehitettävä ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäviä ratkaisuja. McDonough et al. (2003) tähdentävätkin taloudellisesti tuottavien, sosiaalisesti suotuisien ja ekologisesti älykkäiden teollisuuden prosessiratkaisujen olevan toteutettavissa kehdosta kehtoon -suunnittelumallin avulla.

Tämänhetkiset teollisuuden prosessit perustuvat oletukseen yksisuuntaisesta, lineaarisesta materiaalivirrasta, jossa tuotteet valmistetaan luonnosta saatavista raaka-aineista ja jossa tuotteet hävitetään lopulta jätteenä. Täten tuotantomäärien ja -nopeuden sekä toksisuuden minimointi ovat lähestymistapoja, joilla kestävyttä edistetään. (Braungart et al. 2007) Toisaalta lähestyttäessä kestävyttä suunnittelun näkökulmasta merkityksellistä ei ole jo puutteellisten systeemien hienosäätäminen, vaan perustavanlaatuisen siirtymisen perinteisistä systeemeistä kohti kehdosta kehtoon -systeemejä (McDonough et al. 2003).

Michael Braungart ja William McDonough (2002) esittävät teoksessaan *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* näkemyksen, jossa ajurina taloudelliselle ajattelutavalle ja kehitykselle on ekojärkevyyden, ei ekotehokkuus. Teoksessa esitetty lähestymistapa suunnittelulle herättikin kiinnostuksen systeemille muutokselle, sillä kehdosta kehtoon -suunnittelumalli mahdollistaa taloudellisen aktiivisuuden ja kulutuksen keskittymällä suunnittelussa olevien epäkohtien kehittämiseen (Lacy & Rutqvist 2015, s. 21–22).

Edistyksellinen kehdosta kehtoon -suunnittelumalli haastaakin edeltäjänsä kehittämällä teollisuuden systeemin, jota ohjaavat ekologiset, taloudelliset sekä sosiaaliset tavoitteet (Braungart et al. 2007). Materiaaliresurssien ekologisena ja taloudellisena haasteena koetaan resurssien palauttaminen takaisin ympäristöön tai vaihtoehtoisesti resurssien kierrätettävyyden tehostaminen uudelleenkäytön kautta (El-Haggar 2007, s. xiii). Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli pureutuu tunnistettuihin haasteisiin kehittämällä tuotteita ja tuotantomenetelmiä, jotka perustuvat suljettuihin materiaalivirtoihin ja joiden tavoitteena on hyödyntää jäte raaka-aineena (Braungart et al. 2007).

Kandidaatintyön aihevalinta perustuu laajemmin kestävään kehitykseen ja kiertotalouteen, ja näin ollen aihe on ajankohtainen. Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli on itsessään suhteellisen uusi ja yksityiskohtainen, spesifimpi ilmiö. Kandidaatintyön tavoitteena onkin tarkastella kehdosta kehtoon -suunnittelumallia ja sen vaikutuksia tuotesuunnitteluun, jolloin tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Millaisia ovat kehdosta kehtoon -suunnittelumallin erityispiirteet?
- Mitkä ovat kehdosta kehtoon -suunnittelumallin haasteita?

Kandidaatintyö toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jolloin tutkimuskysymyksien kannalta tuloksellista ei ole saavuttaa yhtä vastausta, vaan enemminkin vaihtoehtoisia näkökulmia tarkasteltavaan aiheeseen. Täten tutkimuskysymykseen pohjautuvat tulokset ja päätelmät eivät ole absoluuttisia totuuksia, vaan näkökulmia tiettyjen olosuhteiden sekä tekijöiden seurauksista, hyödyistä ja haitoista.

Tutkimuskysymyksiin perustuen tarkastelu on rajattu pääasiallisesti kehdosta kehtoon -suunnittelumalliin, mikä on aihekokonaisuuden laajuudesta johtuen välttämätöntä. Yksityiskohtaisemman rajauksen myötä tarkastelussa keskitytään ainoastaan kehdosta kehtoon -suunnittelumalliin, eikä siihen liittyviin sertifikaatteihin tai sertifiointiprosesseihin. Kandidaatintyön pääkäsitteitä ovat tällöin ekojärkevyyys (engl. eco-effectiveness) ja kehdosta kehtoon -suunnittelumalli (engl. cradle to cradle design). Kyseisiä pääkäsitteitä käytettiin myös hakusanoina. Kehdosta kehtoon -suunnittelumalliin rinnastettavia käsitteitä ovat uusiojalostus (engl. upcycling) ja teollinen ekologia (engl. industrial ecology), mutta näitä käsitteitä ei kuitenkaan tarkastella tässä kandidaatintyössä.

Ensimmäisenä kandidaatintyössä käsitellään kiertotaloutta, ekotehokkuutta ja ekojärkevyyttä. Seuraavaksi määritetään kehdosta kehtoon -suunnittelumalli, sen tavoitteet ja haasteet. Viimeisessä luvussa ennen päätelmiä tarkastellaan kehdosta kehtoon -suunnittelun erityispiirteitä ja haasteita tuotesuunnittelun näkökulmasta. Lopuksi päätelmissä käydään läpi merkittävimpiä löydöksiä tutkimuskysymysten pohjalta, tarkastellaan tutkimuksen rajoitteita sekä pohditaan jatkotutkimusmahdollisuuksia.

2. KIERTOTALOUS

Ympäristön ja kehityksen maailmankomission (WCED) laatimassa Brundtlandin-raportissa kestävä kehitys määriteltiin kehitykseksi, joka vastaa nykypäivän tarpeisiin vaaran-
tamatta tulevien sukupolvien mahdollisuutta vastata omiin tarpeisiinsa (World Commission on Environment and Development 1987). Kestävä kehitys tunnustetaan kansainvälisesti tulevaisuuden tavoitteena, joka tarkastelee päätöksentekoa ja toimintaa taloudellisesta, ekologisesta ja sosiaalisesta sekä kulttuurillisesta näkökulmasta. Kestävä kehitys on kattava käsite, joka käsittää lukuisia konsepteja, kuten kiertotalouden.

Kiertotalous (engl. circular economy) on kansainvälinen talousmalli, joka ymmärretään osana kestävästä kehityksestä. Kiertotaloudella tarkoitetaan yleisesti talousmallia, joka on luonteeltaan voimistava ja regeneratiivinen ja jonka tavoitteena on kestävä kasvu (Ellen MacArthur Foundation 2017). Kiertotalous vaikuttaa erityisesti ekologiseen ja taloudelliseen kestävyys, mikä on havaittavissa kiertotalouden pyrkimyksistä ja tavoitteista. Kiertotalouden perustava pyrkimys on erottaa taloudellisen aktiivisuuden ja ympäristövaikutusten oleva suora relaatio; kiertotaloudessa talouskasvu on riippumaton luonnonvarojen kulutuksesta (Lacy & Rutqvist 2015, s. 4–5; Sitra 2018).

Kiertotaloudessa materiaali kiertää suljetussa prosessissa, jolloin materiaalin häviäminen ja jätteen syntyminen on minimoitu. Kiertotalouden päämääränä on tuotteen ikuinen elinkaari, mikä korvaa perinteisen, lineaarisen ”ota, valmista, hävitä” -mallin. (Karvonen et al. 2015) Kiertotaloudessa arvonaluonti perustuu resurssi- ja materiaalihallintaan, jonka lähtökohdaksi on regeneratiivinen suunnittelu (Lacy & Rutqvist 2015, s. 4–5). Tällöin kulutus perustuu palveluiden käyttämiseen: jakaminen, vuokraaminen ja kierrättäminen, johon perustuvat myös kiertotalouden liiketoimintamallit. Ratkaisevassa asemassa kiertotalouden edistämiseksi ovat kuluttajat ja yrityksen asenteineen sekä toimintatapoineen, sillä kiertotalouden soveltaminen vaatii myös toimintaympäristön kehittämistä. (Sitra 2018)

Kiertotalous on osa kokonaisvaltaista muutosta, jossa lineaarisesta tuotanto- ja kulutustavasta siirrytään kohti tiiviiden kiertojen tuotantoa, kulutusta ja palveluja ja joka perustuu taloudelliseen ja ekologiseen kestävyys. Näin ollen, kiertotalouden keskeisiksi käsitteiksi nousevat ekotehokkuus ja ekojärkevyyt.

Braungart et al. (2007) toteavat, että ekotehokkuudelle on monia määritelmiä. Alkuperäisen määritelmän mukaan ekotehokkuus saavutetaan kilpailukykyisten tuotteiden ja palveluiden kautta, jotka ovat tyydyttävät tarpeen ja jotka vähentävät elinkaaren aikaisia

ympäristövaikutuksia ja resurssitarvetta maapallon kantokyvyn mukaisesti (World Business Council for Sustainable Development, Braungart et al. 2007 mukaan). Huolimatta lukuisista määritelmistä Braungart et al. (2007) korostavat ekotehokkuuden perustuvan ydinajatukseen, jossa pienemmällä panoksella tavoitellaan merkittävämpää tuotosta.

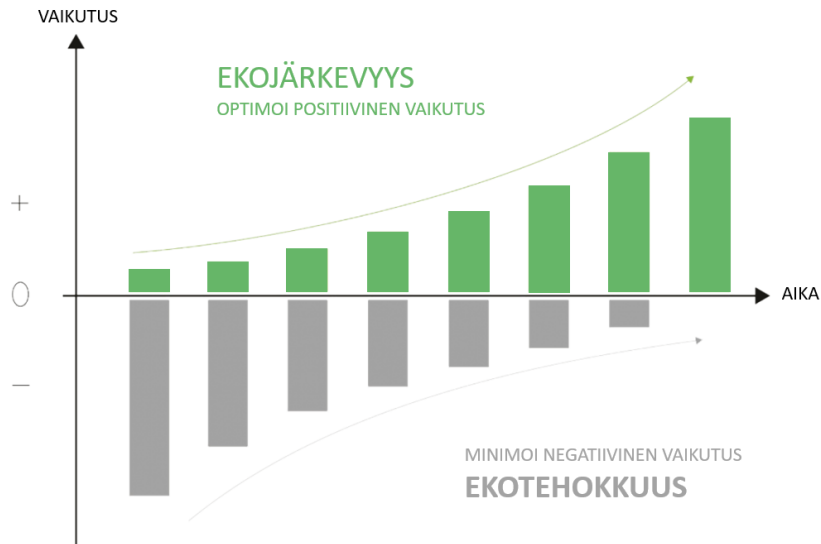
Ekotehokkuuden koetaan kattavan energia- ja materiaalitehokkuuden kasvun, resursien lisääntyneen produktiivisuuden, vähentyneen myrkyllisyyden, lisääntyneen kierrätettävyyden ja tuotteen pidennetyn eliniän. Edellä mainitut konseptit perustuvat kuitenkin oletukseen teollisten systeemien lineaarisesta, kehdestä hautaan -materiaalivirrasta. (Braungart et al. 2007) Ekotehokkuuden painotetaan rakentuvan nykyisen tuotanto- ja kulutusmallin mukaisesti, jolloin resurssien tuottavuuden kasvattaminen vaikuttaa myös käsitykseen lineaarimallin hyväksyttävyydestä (Lacy & Rutqvist 2015, s. 125). Ekotehokkuuden vaikutus lineaarimallin saattaa olla harhaanjohtava, sillä ekotehokkuus minimoi negatiivisia ympäristövaikutuksia kuitenkin poistamatta niitä.

Ekotehokkaiden strategioiden potentiaali on havaittavissa ainoastaan lyhyellä aikavälillä, sillä pitkällä aikavälillä strategiat ovat riittämättömiä saavuttamaan taloudellisia tai ekologisia tavoitteita. Ekotehokkuuden ja strategiaan perustuvien toimintatapojen puutteellisuutta perustellaan seuraavasti:

- Ekotehokkuus ei osoita tarvetta materiaalivirtojen perusteelliselle uudelleensuunnittelulle.
- Ekotehokkuus on lähtökohtaisesti ristiriidassa pitkäaikaisen talouskasvun ja innovoinnin kanssa.
- Ekotehokkuus ei keskity myrkyllisyydestä aiheutuvaan ongelmaan.

(Braungart et al. 2007)

Ekotehokkuuden nähdään mahdollistavan negatiivisten vaikutusten minimoinnin lyhyellä aikavälillä kuitenkin tarjoamatta pitkäaikaista hyötyä tai pureutumista tämän hetkisen suunnittelun aiheuttamaan ydinongelmaan. Ekotehokkuuden haasteisiin syventyen McDonough ja Braungart (2002) ovat lähestyneet tavoiteltavia ratkaisuja optimoinnin ja positiivisten vaikutusten näkökulmasta. Tällöin tavoitteena ovat ratkaisut, jotka tuottavat yhä hyödyllisempiä seurauksia, toisin sanoen ekojärkeviä ratkaisuja. (McDonough & Braungart 2002) Positiivisten vaikutusten optimointi on ekojärkevyyden lähtökohta, jolloin ekotehokkuuteen perustuvien, vähemmän haitallisten ratkaisujen saavuttaminen ole tarkoituksenmukaisia. Ekojärkevyyden keskittyminen ekotehokkaan lähestymistavan puutteellisuuteen tukien sekä ekosysteemejä että tulevaisuuden talouskasvua (Braungart et al. 2007; Toxopeus et al. 2015). Ekotehokkuuden ja ekojärkevyyden periaatteiden välinen ero on havainnollistettu seuraavassa kuvassa (kuva 1).



Kuva 1: Ekotehokkuus vs. ekojärkevyyys (muokattu lähteestä EPEA GmbH 2019b).

Braungartin et al. (2007) mukaan ekojärkevyyys perustuu käsitykseen, jossa tuotteet ja niiden materiaalivirrat muodostavat kokonaisuuden, jossa materiaalien laadun ja tuottavuuden säilymistä edistetään syklisten materiaalivirtojen kautta. Kun kierrätettävien materiaalien laatua ja tuottavuutta ylläpidetään, tuotteiden lyhyet elinkaaret ovat mahdollisia innovatiivisen soveltamisen tuloksena. (Braungart et al. 2007) Ekojärkevyyden näkökulmasta tuotteiden lyhyet elinkaaret ovat perusteltuja, eikä kiertotalouden mukainen tuotteiden elinkaarien pitkittäminen ole välttämätöntä.

Ekojärkevässä teollisuuden systeemissä kokonaistehokkuuteen vaikuttavat materiaalin resurssistatus, systeemin optimitehokkuus sekä jäteteettämyys. Tyypillisesti pyrkimys jäteteettämyyteen heijastuu lieveilmiönä materiaalien resurssistatuksen säilyttämistä. Tällöin tuleekin huomioida, ettei jätteiden eliminoiminen ole kuitenkaan ekojärkevyyden päämäärä, vaan resurssien laadun ja tuottavuuden säilyttäminen läpi useiden elinkaarien. (Braungart et al. 2007)

Taloudellinen, ekologinen sekä sosiaalinen kestävyys huomioidaan ekojärkevyydessä, sillä tuotteiden ja palveluiden suunnittelemiseen ja tuottamiseen sisällytetään kyseiset näkökulmat. Tällöin tuotteet ja palvelut mahdollistavat kolmioishuippuperiaatteen (engl. triple top line) mukaisen kasvun; tuotteet parantavat luonnon ja yhteiskunnan hyvinvointia ja tuottavat taloudellista arvoa. (McDonough & Braungart 2002, s. 152–153; Braungart et al. 2007)

3. KEHDOSTA KEHTOON

Koklacovan ja Volkovan (2017, s. 52) mukaan vastuullisia sekä kestäviä ratkaisuja tuottavat suunnittelukonseptit on mahdollista jakaa tavoitteen perusteella kolmeen eri tyyppiin: 1. Konseptit, jotka pyrkivät vähentämään negatiivisia seurauksia (ekotehokkuus). 2. Konseptit, jotka pyrkivät eliminoimaan jätteen. 3. Konseptit, jotka pyrkivät parantamaan positiivisia vaikutuksia (ekojärkevyyks). Ekojärkevästä konsepteista keskeisin on kehdosta kehtoon -suunnittelumalli, joka tunnustetaan kiertotalouden merkittäväksi ajuriksi (EPEA 2019b) ja joka tarjoaa käytännöllisen viitekehyksen tuotteiden ja teollisten systeemien suunnittelulle (Braungart et al. 2007).

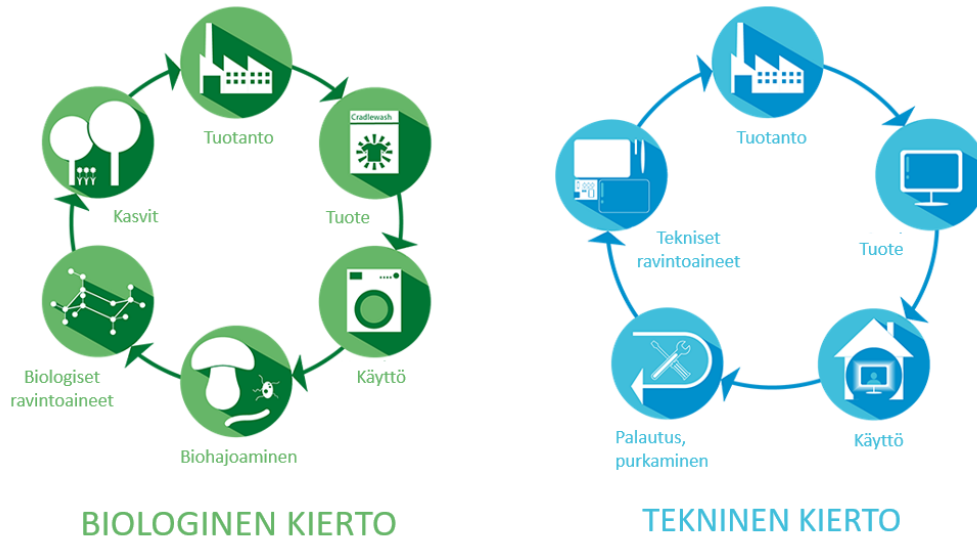
3.1 Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli

William McDonough ja Michael Braungart ovat kehittäneet kehdosta kehtoon -suunnittelumallin, jossa tarkoituksenmukainen suunnittelu ja kemia yhdistyvät teollisuuden tuotteissa (C2CPII 2016). Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli perustuu vertailuun, jossa teollisuuden vallitsevaa, lineaarista infrastruktuuria verrataan luonnon innoittamaan materiaalivirtaan ja tuotesuunnitteluun (McDonough & Braungart 2002, s. 92–93).

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli heijastaa luonnon uusiutuvaa tuottavuutta painottaen oikeiden valintojen ja menetelmien kautta saavutettavia edistyksellisiä seurauksia (C2CPII 2016). Näin ollen kehdosta kehtoon -ajattelutavassa keskitytään ideologiseen muutokseen, jossa vähemmän haitalliset seuraukset eivät ole riittäviä, vaan tavoitteena on optimoida positiivisia seurauksia (Toxopeus et al. 2015). McDonough et al. (2003) korostavat kehdosta kehtoon -suunnittelumallin tarkastelevan kestävyttä tuotesuunnittelun näkökulmasta, mikä mahdollistaa perustavanlaatuisen muutoksen perinteisestä, lineaarisista materiaalivirroista kohti turvallisia, regeneratiivisia sekä suljettuja materiaalivirtoja.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli määrittelee tuotteiden ja teollisten prosessien suunnittelulle viitekehyksen, jossa kaksi erillistä kiertoa mahdollistavat materiaalien muuttamisen ja hyödyntämisen ravinteina (Braungart et al. 2007). Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli rakentuu kahdesta suljetusta kierrosta: biologinen kierto (engl. biological cycle) ja tekninen kierto (engl. technical cycle). Tämän perusteella muodostuvat kaksi erillistä, suljettua kiertoa sekä suljettua materiaalivirtaa. (Toxopeus et al. 2015) Materiaalivirtojen mukaiset materiaalit ovat jaettu sekä biologisiin että teknisiin ravinteisiin, jotka ovat hyödynnettävissä joko biosfäärissä tai teollisuuden prosesseissa (McDonough & Braungart

2002, s. 92–93). Toisin sanoen materiaalit ovat suunniteltavissa siten, että ne virtaavat suljetussa systeemissä, joka sisältää tuotannon, käytön, palautuksen ja uudelleenvalmistuksen (McDonough et al. 2003). Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin mukaiset materiaalivirrat, eli biologinen kierto ja tekninen kierto, ovat havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2: Kehdosta kehtoon -materiaalivirrat: biologinen ja tekninen kierto (muokattu lähteestä EPEA GmbH 2019a).

Biologisessa ja teknisessä kierrossa olevat tuotteet identifioidaan perustuvan kulutukseen tai palvelun tarjoamiseen. Biologisessa kierrossa olevat materiaalit tai tuotteet perustuvat käyttöön, jossa tuote on mahdollista kuluttaa sen käyttöiän aikana. Kyseiset kulutustuotteet koostuvat biologisista ravinteista ja niiden valmistuksessa tulisi hyödyntää uusituvia raaka-aineita, sillä valmistusmateriaalit palautuvat lopulta ympäristöön. (Braungart et al. 2007; Toxopeus et al. 2015) Tekstiilit, puhdistustuotteet ja pakkausmateriaalit ovat eräitä esimerkkejä kulutustuotteista biologisessa kierrossa. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallissa on mahdollista havaita myös puolisoljettu kiertomalli, jossa tekninen ja biologinen materiaalivirta yhdistyvät; materiaalit ovat osa teknistä kiertoa rajoitetun kierros määrään, kunnes päätyvät turvallisesti takaisin biologiseen kiertoon (Toxopeus et al. 2015). Esimerkkejä puolisoljetun kiertomallin tuotteista ovat muun muassa paperi ja biopohjaiset muovit (C2CPII 2016).

Teknisessä kierrossa materiaalit ja tuotteet ovat suunniteltu tarjoamaan käyttäjälle palvelua siirtämättä materiaalienomistusoikeutta (C2CPII 2016). Toisin sanoen tekninen kierto perustuu palvelutuotteisiin, jossa palvelu tarjotaan käyttäjälle kestohyödykkeenä ja joiden omistajuus säilyy valmistajalla. Palvelutuotteet mahdollistavat suljetun materiaalivirran teollisissa systeemeissä, sillä palveluliiketoimintamallissa materiaalin oletetaan säilyvän osana teknistä kiertoa myös palvelutuotteen käyttövaiheessa. (Braungart

et al. 2007; Toxopeus et al. 2015) Palvelutoimintamallissa tekniset ravinteet pyritään säilyttämään suljetussa systeemissä, sillä talteen otetut ravinteet pystytään hyödyntämään mahdollisimman arvoa tuottavasti useissa, peräkkäisissä palvelutuotteiden elinkaarissa (Braungart et al. 2007). Esimerkkejä teknisessä kierrossa sovellettavista toimintamalleista ovat palvelusopimukset sekä leasing-vuokraus.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin ydin perustuu luonnon innoittamaan tuotesuunnitteluun, jossa elinkaaren loppuvaiheessa olevat tuotteet toimivat uusien tuotteiden raaka-aineena ja jossa materiaalit kiertävät jatkuvissa, suljetuissa materiaalivirroissa. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallissa materiaalivirrat tai ravinteiden hyödyntäminen useissa tuote-elinkaarissa eivät kuitenkaan perustu kierrättämiseen, vaan uusiojalostukseen (engl. upcycling) (Braungart et al. 2007). Sekä biologiset että tekniset ravinteet määritellään uusiojalostettaviksi materiaaleiksi, jolloin materiaalien laatua ja arvoa ylläpidetään tai parannetaan entisestään peräkkäisissä elinkaarissa. Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli edistää uusiojalostuksella materiaalien resurssistatuksen säilyttämistä saavuttaakseen suljetut kierrot. (Lorach-Massana et al. 2015)

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin mukaiset tuotteet ja tarjottavat palvelut saavutetaan seuraavien periaatteiden kautta:

- Eliminoi perinteinen käsite jätteestä.
- Käytä uusiutuvaa energiaa.
- Juhlista monimuotoisuutta. (C2CPII 2016)

Täten kehdestä kehtoon -suunnittelumalli perustuu kolmeen peruseriaatteen, joista ensimmäinen käsittelee materiaalin resurssiluonnetta. Toisin sanoen biologisessa tai teknisessä kierrossa olevia materiaaleja ei nähdä jätteenä, vaan toisen tuotteen raaka-aineena ja osaksi tuotteen elinkaarta. (C2CPII 2016) Tehokas materiaalivirran hallitseminen biologisessa ja teknisessä kierrossa eroaa vallitsevasta käytännöstä, ja täten muodostaa kehdestä kehtoon -suunnittelumallin perustan: jätettä ei ole (McDonough & Braungart 2002, s. 103–104). Toinen peruseriaatteista käsittelee kestävien energialähteiden käyttöönottoa sekä merkitystä, sillä uusiutuva energia koetaan ainoaksi vaihtoehdoksi kehdestä kehtoon -suunnittelumallissa. Peruseriaatteista viimeinen huomioi monimuotoisuuden. Biodiversiteetti ja kulttuurillinen sekä käsitteellinen monimuotoisuus edistävät suhteita, luovuutta ja innovointia, minkä lisäksi niiden koetaan olevan avainasemassa systeemin kestävyuden parantamisessa. (C2CPII 2016)

Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli perustuu ekojärkevyyden periaatteisiin edistääkseen positiivista ekologista jalanjälkeä (Toxopeus et al. 2015), mikä on mahdollista havaita myös edellä mainituista periaatteista. Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli ei kuitenkaan

perustu ainoastaan kestävään ajattelutapaan, vaan myös yksityiskohtaiseen ja kehittyneeseen sertifiointiviitekehukseen, jonka avulla suunnittelumalli eroaa muista kestävästä lähestymistavoista (Toxopeus et al. 2015).

Sertifikaatti (Cradle to Cradle Certified™) ei rajoitu yksittäisiin teollisuuden aloihin tai tuotetyyppeihin, vaan se on yleisesti sovellettavissa materiaaleihin, osakokonaisuuksiin sekä valmiisiin tuotteisiin (C2CPII 2016). Sertifiointiprosessissa käytettävä viitekehys ohjaa ja kannustaa suunnittelijoita jatkuvaan parantamiseen, ja näin ollen sertifikaatti itsessään sisältää myös jatkuvan parantamisen -konseptin (Toxopeus et al. 2015; C2CPII 2016). Lisäksi sertifikaattia on mahdollista soveltaa kaupallisesti, jolloin sertifikaatti nähdään muodollisena, markkinoitavana palkkiona käyttöön otossa vaadittavista investoinneista ja työstä (Toxopeus et al. 2015).

Sertifikaattia tai sertifiointiprosessia ja sen toteuttamista ei käsitellä tämän tarkemmin, sillä tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella kehdosta kehtoon -suunnittelumallia, eikä siihen liittyvää sertifikaattia tai sertifiointiprosessia.

3.2 Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin arviointi

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin tavoitteena on kehittää tuote- ja prosessisuunnittelua tarkastelemaan sekä edistämään maapallon biodiversiteettiä ja ekologista kestävyttä. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin avulla tavoitellaan luonnon tervettä, regeneratiivista tuottavuutta sekä materiaalien kokemista varoina, ei velkana. (C2CPII 2016) Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli koetaan tiede- ja arvoperustaiseksi visioksi kestävydestä, joka edistää jatkuvaa innovointia kehittäen taloudellisesti, sosiaalisesti sekä ekologisesti suotuisia tuotteita, palveluita ja teollisia systeemejä (McDonough et al. 2003; C2CPII 2016). Koklacova ja Volkova (2017, s. 62–64) kritisoivat kehdosta kehtoon -suunnittelumallin keskittyvä ainoastaan ekologiseen ulottuvuuteen, eikä täten käsittelevän kaikkia ulottuvuuksia: sosiaalinen sekä kulttuurillinen, ekologinen ja taloudellinen. Kritiikkiin kyseenalaistaa kehdosta kehtoon -suunnittelumallin lähestymistavan suunnitteluprosessiin taloudellisten, ekologisten ja sosiaalisten kysymysten pohjalta.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin keskeisenä tavoitteena on edistää rajatonta taloudellista ja tuotannollista kasvua. Suunnittelumallin mukaiset kasvutavoitteet eivät kuitenkaan ole huomioineet maapallon biokapasiteettiin liittyviä rajoitteita. Llorach-Massana et al. (2015) epäilevät suunnittelumallin liittyvien kasvutavoitteiden ja biologisen kierron yhteensopivuutta, sillä odotettava resurssitarve ja kulutusnopeus eivät vastaa luonnollisten

prosessien vaatimuksia. Bjørn ja Hauschild (2013) toteavatkin, että suljettujen materiaa-
livoirtojen käyttöönotto ei yksinään tue tavoiteltua kasvua, vaan kasvun tukemiseksi tarvi-
taan myös neitseellisiä raaka-aineita.

Biologinen kierto ja biologiset ravinteet sekä niiden ekologiset vaikutukset ovat kritisoi-
tuja, sillä niiden koetaan olevan ristiriidassa monimuotoisuutta tavoittelevan periaatteen
kanssa; useat biologiset kierrot ja biologisten ravinteiden suuret konsentraatiot vaikutta-
vat sekä ekosysteemin toimintaan että haitallisesti ekosysteemin sopeutumiskykyyn
(Bjørn & Hauschild 2013; Llorach-Massana et al. 2015). Toisaalta kehdestä kehtoon -
suunnittelumallia on kritisoitu siitä, ettei teknisten ravinteiden käyttövaiheen aikana ta-
pahtuvia määrän ja laadun muutoksia huomioida (Reay et al. 2011).

Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli määrittelee viitekehysten, jota hyödynnetään tuot-
teissa, palveluissa ja teollisissa prosesseissa, sekä laajemmin teollisissa systeemeissä
(Braungart et al. 2007). Ekojärkevyyteen perustuvien ratkaisujen saavuttamiseksi tarvi-
taan oikeat teknologiat sekä strategiat, ja ratkaisujen optimointi edellyttää tuotekehityk-
sen, teollisuuden ja talouden jatkuvaa kehittämistä (Braungart et al. 2007; Toxopeus et
al. 2015). Laajassa mittakaavassa kehdestä kehtoon -suunnittelumallin toteuttaminen
edellyttäisi merkittäviä sosiaalisia ja infrastruktuurillisia muutoksia, sillä materiaalivoirtojen
sulkeminen ja jätteiden kokonaisvaltainen hyödyntäminen vaatisi logistiikan sekä tuote-
ja materiaalihallinnan kehittämistä. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin tehokkuutta tai
ekologisia edistysaskelia ei voida kuitenkaan taata, vaikka vaaditut muutokset toteutui-
sivat. (Llorach-Massana et al. 2015)

Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli tai sertifikaatti eivät tarkastele kokonaisvaltaisesti
uusiutuvaan energiaan ja sen soveltamiseen liittyviä rajoitteita. Epäkohdaksi nähdään
tavoite hyödyntää ainoastaan uusiutuvia energialähteitä ja -tuotantomuotoja, mikä osoit-
tautuu kannattomaksi, mutta myös mahdottomaksi, tavoitteeksi kansantalouden näkö-
kulmasta. Lisäksi kehdestä kehtoon -suunnittelumalli olettaa, ettei uusiutuvista energia-
lähteistä tai niiden hyödyntämisestä aiheudu ympäristövaikutuksia. (Llorach-Massana et
al. 2015)

Keskeisenä kritiikin kohteena ovat kehdestä kehtoon -suunnittelumallin vaikutukset kes-
tävyyteen ja elinkaarien kokonaisvaltaisen arvioinnin puutteellisuus. Kehdestä kehtoon -
suunnittelumallin ei koeta tavoittelevan ympäristövaikutusten edistämistä kaikissa elin-
kaaren vaiheissa, minkä seurauksena merkittävimpien vaiheiden ympäristöongelmat ei-
vät välttämättä näyttäytyä suunnittelumallia sovellettaessa. (Bjørn & Hauschild 2013; Llo-
rach-Massana et al. 2015)

4. KEHDOSTA KEHTOON -SUUNNITTELMALLI TUOTESUUNNITTELUSSA

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin koetaan haastavan edeltäjänsä kehittämällä ratkaisuja, joita ohjaavat ekologiset, taloudelliset ja sosiaaliset tavoitteet. Asetettaessa kehdestä kehtoon -suunnittelumalli ja perinteinen lineaarimalli vastakkain suunnittelustrategioiden väliset erot ovat selkeästi huomattavissa. Toisaalta verrattaessa kehdestä kehtoon -suunnittelumallia toiseen kestävään suunnittelustrategiaan erot periaatteissa, toimintatavoissa ja lopputuloksissa eivät ole yhtä selkeitä. Näin ollen erityispiirteiden tunnistaminen toteutetaan vertailemalla kehdestä kehtoon -suunnittelumallia ja ekologista suunnittelua, mutta ennen sitä määritellään lyhyesti ekologinen suunnittelu eli ekosuunnittelu.

Ekosuunnittelu (engl. ecodesign) on yksi tunnetuimmista ja eniten hyödynnetyistä strategioista, jotka sisällyttävät kestävyuden osaksi tuotesuunnitteluprosessia (de Pauw et al. 2014). Ekosuunnittelussa tavoitteena on vähentää tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia tinkimättä laadusta (Koklacova & Volkova 2017, s. 57); ympäristövaikutuksia vähennetään optimoimalla tuotantoa ja kulutusta, vähentämällä resurssitarvetta, ympäristöystävällisellä materiaalikulutuksella sekä elinkaarihallinnalla (Klavins et al. 2010). Ekosuunnittelu on vakiinnuttanut paikkansa kirjallisuudessa laajentaen suunnittelukäytäntöihin perustuvaa tutkimusta sekä soveltamista, mistä lähtien myös ekologisen suunnittelun menetelmiä ja työvälineitä on tutkittu sekä kehitetty edelleen (de Pauw et al. 2014).

4.1 Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin erityispiirteet

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli määritellään strategiseksi työvälineeksi, jota soveltamalla yritykset tuottavat pitkäaikaisia ja kestäviä ratkaisuja. Suunnittelumalli vastaakin kasvaneeseen kiinnostukseen strategisista suunnittelukonsepteista, jotka tarjoavat ekojärkeviä ja sosiaalisesti kestäviä ratkaisuja. (Koklacova & Volkova 2017, s. 48, 58–59) Strategisena työvälineenä ja suunnittelukonseptina kehdestä kehtoon -suunnittelumalli tunnustetaan suhteellisen uudeksi lähestymistavaksi, jonka kehitys on toteutettu pääasiassa suunnittelukäytäntöihin perustuen, kun taas ekosuunnittelussa kehitykseen ovat vaikuttaneet sekä tiedeyhteisöt että teollisuus (de Pauw et al. 2014).

Kehityksen lähtökohdista riippumatta molemmat suunnittelustrategiat keskittyvät yhdistämään kestävä kehityksen ulottuvuuksista ekologisen kestävyuden osaksi suunnitteluprosessia (de Pauw et al. 2010). Toisaalta ekosuunnittelu kattaa suunnitteluprosessissaan ekologisen kestävyuden lisäksi myös sosiaalisen ja taloudellisen kestävyuden, kun taas kehdosta kehtoon -suunnittelumalli tarkastelee ainoastaan ekologista kestävyyttä (Koklacova & Volkova 2017, s. 64). Koklacova ja Volkova (2017, s. 62) korostavat kuitenkin, että suunnittelukonsepteissa kestävyuden ulottuvuuksia ei tarkastella riittävän laajasti ja monipuolisesti, mihin perustuen merkityksellisempää on analysoida konseptien eroavaisuuksia sekä potentiaalista soveltuvuutta tarkemmin.

Sovellettaessa kehdosta kehtoon -suunnittelumallia vaihtoehtoiset lähestymistavat kestävyteen ja sen integroimiseen ovat mahdollisia (de Pauw et al. 2014). Suunnitteluprosessin luonteesta ja tavoitteesta riippuen kaikkia kehdosta kehtoon -suunnittelumallin elementtejä ei sovelleta, vaikka mahdollisimman kattava soveltaminen on tarkoituksenmukaista. Projektikokonaisuuden kannalta suunnitteluprosessissa sovellettaviksi valikoidut tekijät ovat hyödyllisiä, mutta prosessinäkökulmasta niiden merkittävyys voi vaihdella. (de Pauw et al. 2013) Prosessikohtainen tuotesuunnittelu vaikuttaa täten merkittävästi siihen, mitkä kestävyuden osa-alueista huomioidaan ja miten niitä painotetaan suhteessa toisiinsa. Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin soveltamista ja vaikutusta suunnitteluprosessin lopputulokseen ei ole juurikaan tutkittu, minkä seurauksena vertailu kehdosta kehtoon -suunnittelumallin ja vakiintuneen ekosuunnittelun välillä on puutteellista (de Pauw et al. 2014). Vertaillen laajemmin suunnittelustrategioita olennaista on tällöin huomioida tutkimuksen ja saatavilla olevan tiedon puutteellisuus.

Määritellessä tavoitteellista ja menestyksellistä tuotetta suunnittelustrategioiden väliset kriteerit ja terminologia eroavat toisistaan; ekosuunnittelu perustuu ekotehokkuuden periaatteisiin ja kehdosta kehtoon -suunnittelumalli noudattaa ekojärkevyyden periaatteita (de Pauw et al. 2014). Toisin sanoen tavoitteena ekosuunnittelussa on minimoida tai vähentää tuotteiden elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia, kun taas kehdosta kehtoon -suunnittelumallin tavoitteena ovat ratkaisut, jotka tuottavat hyödyllisiä ja positiivisia vaikutuksia. Tapaustutkimuksen perusteella de Pauw et al. (2014) korostavat kehdosta kehtoon -suunnittelumallilla saavutettavien ratkaisujen kontekstisidonnaisuutta; ratkaisut hyödyttävät systeemiä, jossa tuote toimii ja johon vaikuttavat ihmiset, sidosryhmät sekä olosuhteet. Ekosuunnittelun osalta kontekstisidonnaisuus ei ole yhtä merkittävää, sillä strategian tavoitteena on analysoida ja vertailla tämänhetkisten tuotteiden ongelmakohtia ja tähän perustuen tuottaa ratkaisuja. (de Pauw et al. 2014)

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli on sekä ekojärkevyyttä edistävä strategia että kunnianhimoinen lähestymistapa tuotesuunnitteluun (Braungart et al. 2007; de Pauw et al.

2014). Edeltävään näkökulmaan perustuen kehdestä kehtoon -suunnittelumallia soveltamalla pyritään optimaaliseen tulokseen, joka ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, vaan saavutettaviin ratkaisuihin vaikuttavat monet tekijät. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallia ja ekosuunnittelua vertailevassa tapaustutkimuksessa de Pauw et al. (2014) osoittavat, että kehdestä kehtoon -suunnittelumalli kannustaa tarkastelemaan ratkaisumahdollisuuksia laajemmin; vaihtoehtoiset ja uudet ratkaisutavat tuotetoimintojen, järjestelmätoimintojen tai käyttäjien tarpeiden täyttämiseksi. Täten kehdestä kehtoon -suunnittelumalli kannustaa luoviin ja innovatiivisiin ratkaisuihin, mutta tarjoaa myös suunnitteluprosessia ohjaavat suunnitteluperiaatteet ja -työvälineet. (de Pauw et al. 2014)

Suunnittelustrategiat, jotka perustuvat lineaarisiin materiaalivirtoihin ja ekotehokkuuteen, pyrkivät kierrätettävyyden ja pidennetyn eliniän kautta pidentämään tuotteen elinkaarta. Ekotehokkuuteen perustuva kierrättäminen kuitenkin heikentää kierrätettävien materiaalien laatua ja käytettävyys kohdistuu ainoastaan alempiarvoisiin sovelluskohteisiin (engl. downcycling). Ekotehokkuuteen verrattuna ekojärkevyyttä perustuu materiaalien innovatiiviselle soveltamiselle ja materiaalien resurssistatuksen säilyttämiselle, mikä mahdollistaa tuotteiden lyhyetkin elinkaaret. (Braungart et al. 2007) Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli perustuu ekojärkevyyteen, ja näin ollen suunnittelumallin periaatteet mahdollistavat myös lyhyen elinkaaren sovellusten toteuttamisen. Braungart et al. (2007) korostavatkin, ettei tuotteiden pidennetyn elinkaaren ja materiaalien resurssistatuksen säilymisen välillä ei ole automaattista syy-seuraus-suhdetta.

Materiaaliresurssien kierrättäminen ja uudelleenkäyttö perustuvat keskeisesti sääntelyohjaukseen. Tästä huolimatta globaalit resurssimarkkinat ja ekologisesti kestävä teollisuustoiminta ohjaavat kierrättämistä ja uudelleenkäyttöä kohti markkinalähtöisyyttä, jolloin avainasemassa ovat resurssien kysyntä ja tarjonta. (Kumar & Putnam 2008) Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli perustuu ympäristötavoitteisiin (Despeisse et al. 2013), sillä suljetut, jatkuvat biologiset ja tekniset materiaalivirrat edellyttävät materiaalien talteenottoa ja hyödyntämistä tuotannon syötteinä uusiojalostuksessa. Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli tarjoaakin erinomaiset lähtökohdat sääntelyohjaukseen perustuvalle kierrättämiselle ja uudelleenkäytölle. Esimerkkinä kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltuvuudesta sääntelyohjaukseen Kumar ja Putnam (2008) nostavat esille korostetun tuottajavastuun, erityisesti tuotteen elinkaaren loppuvaiheessa.

Toisaalta kierrättämistä ja uudelleenkäyttöä on mahdollista tarkastella kannattavuuden näkökulmasta, mikä eroaakin merkittävästi perinteisestä, säädellystä lähestymistavasta. Kierrättämisen ja uudelleenkäytön perustuessa markkinalähtöisyyteen materiaalien kierrätettävyyden vaikuttavat olennaisesti niiden kysyntä ja tarjonta. (Kumar & Putnam 2008) Tällöin liiketoiminnassa yhä merkityksellisempää on rinnastaa käytöstä poistetut

tuotteet ja jäte resurssilähteiksi sekä kehittää tapoja resurssilähteiden turvaamiselle, talteenotolle ja uudelleenkäytölle (Kumar & Putnam 2008; Lacy & Rutqvist 2015, s. 52). Nykypäivänä ja tulevaisuudessa globaali resurssikilpailu vaikuttaa merkittävästi materiaalien saatavuuteen ja hinnoitteluun (Kumar & Putnam 2008; Lacy & Rutqvist 2015, s. 52), jolloin rajallisesti saatavien materiaalien osalta kierrättäminen perustuu niiden arvoon (Kumar & Putnam 2008). Voidaankin todeta, että kierrättämistä ja uudelleenkäyttöä tukeva sääntelyohjaus ei ole ainoastaan pakottavaa toimintaa, vaan se mahdollistaa myös lähtökohdat liiketoiminnan kannattavuuden parantamiselle. Tällöin kehdestä kehtoon -suunnittelumallin koetaan myötävaikuttavan ekologiseen ja taloudelliseen tehokkuuteen sekä parantavan prosessien suorituskykyä ja kustannustehokkuutta.

Kehdestä kehtoon -suunnittelumallissa eri analyysimenetelmien soveltaminen on mahdollista, kuitenkin huomioiden suunnittelumallin peruseräaatteet ja tavoitteet. Soveltamiseksi perustuen elinkaariarviointia ei voida käyttää kehdestä kehtoon -suunnittelumallin mukaisten tuotteiden ympäristöhyötyjen arvioinnissa, koska elinkaariarviointi laskelmoi tämänhetkissä olosuhteissa tapahtuvat, kontekstiriippumattomat ympäristövaikutukset. (de Pauw et al. 2013). Näin ollen elinkaariarvioinnin lähtökohdat ovat ristiriidassa kehdestä kehtoon -suunnittelumallin kautta tavoiteltavien kontekstisidonnaisten ratkaisujen kanssa.

Analyysimenetelmien soveltamisen rajoituksilla on kuitenkin merkittäviä negatiivisia vaikutuksia tuotesuunnitteluun ja ympäristövaikutusten arviointiin. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin tuotteita ja prosesseja ei ole mahdollista luoda tai kehittää elinkaariarvioinnin lähtökohdista, mikä kasvattaa riskiä mahdollisista epäsuotuisista ja ennakoimattomista ympäristövaikutuksista (Braungart et al. 2007; de Pauw et al. 2014). Lisäksi kokonaisvaltaista analyysia kehdestä kehtoon -suunnittelumallin vaikutuksesta kestäväyyteen ei ole mahdollista suorittaa, sillä suunnittelumalli ei tarjoa kvalitatiivista suunnittelutyökäytäntöä tuotteen elinkaaren ympäristövaikutusten arvioimiseen (de Pauw et al. 2014), eikä elinkaariarviointia ole mahdollista soveltaa.

4.2 Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin haasteet

Ympäristölainsäädäntö, ympäristöstandardit sekä markkinoiden asettamat vaatimukset standardien täyttymiselle vaikuttavat merkittävästi yritysten toimintaan. Vaatimukset luovat yritystoiminnalle paineita ja haasteita, mutta pantaessa täytäntöön ja toteutuessaan onnistuneesti ne edesauttavat menestymistä (Kumar & Putnam 2008). Vaikka yritykset ja valtionjohto ovat tunnistaneet kestäväyyteen liittyvät haasteet ja tavoitteet, teollisessa systeemisuunnittelussa tarvittavat perusteelliset muutokset ja järjestelmäratkaisut ete-

nevät hitaasti (Despeisse et al. 2013). El-Haggar (2007, s. xiv) epäilee, että ympäristölainsäädäntöön kohdistuvat kustannukset ja tuotot asettavat haasteita teollisuudelle, sillä sääntelyyn rinnastettava toiminta sekä toimintamallit koetaan erittäin kalliiksi. Näin ollen sääntelyyn perustuva toiminta nähdään esteenä sekä taloutta että teollisuutta edistävälle kehitykselle. (El-Haggar 2007, s. xiv)

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli haastaa tuotesuunnittelun tavoittelemaan suotuisia vaikutuksia ympäristön, yhteiskunnan sekä talouden näkökulmasta. Suunnittelumallia soveltavien yritysten tavoitteiden ja niiden kunnianhimon havaitaan vaikuttavan siihen, missä tuotesuunnittelun vaiheessa suunnittelumallin mukaista strategiaa käytetään aktiivisesti ja miten suunnittelumalli mukautuu suunnitteluprosessiin sekä vaikuttaa suunnittelutoimintaan (de Pauw et al. 2013). Tarkoituksenmukaisessa kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltamisessa haasteeksi koetaan kuitenkin tarkastelunäkökulman vääristyminen. Sertifiointiprosessi ja sertifiointiin liittyvät kriteerit painottuvat kehdestä kehtoon -strategian käyttöönottoon organisaatiossa, jolloin ekojärkevyyden toteutuminen tuotesuunnittelussa jää keskeisenä tekijänä arvioimatta (de Pauw et al. 2014).

Tämänhetkiset tutkimukset keskittyvät korostamaan kehdestä kehtoon -suunnittelumallin ja siihen perustuvan strategian hyötyjä ja haittoja, vaikka käsitys kokonaisvaltaisesta soveltamisesta on puutteellista. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltamista suunnitteluprosessissa analysoivat tutkimukset ovat harvassa, erityisesti todenmukaiseen soveltamiseen perustuvat. (de Pauw al. 2013) Kokonaisvaltaisen käsityksen puutteellisuudesta johtuen Bakker et al. (2010) ja Toxopeus et al. (2015) ovat tarkastelleet tapaustutkimusten kautta kehdestä kehtoon -suunnittelumallin käyttöönottoa liiketoimintaympäristössä, minkä perusteella suunnittelumallin käyttöönotossa on havaittu haasteita. Tarkastelussa tunnistetut kehdestä kehtoon -suunnittelumallin haasteet käsittelivät muun muassa logistiikka, tuote- ja materiaalisuunnittelua, materiaalien kierrätettävyyttä, energia- tehokkuutta sekä organisaation sidosryhmiä.

Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin käyttöönoton merkittävimmäksi haasteeksi nostetaan paluulogistiikka (engl. reverse logistics), johon vaikuttaa kiinteästi yrityksen liiketoimintamalli. Puutteellinen paluulogistiikka ei ainoastaan vaikuta suunnittelumallin käyttöönoton järkevyyteen, vaan myös suunnittelumalliin perustuvan liiketoiminnan kannattavuuteen sekä mahdolliseen kustannustehokkuuteen. Käyttöönoton realismisuus perustuu paluulogistiikan olemassaoloon ja toimivuuteen sekä materiaalien korkeaan palautusprosenttiin, minkä takia liiketoimintamallin tulisi kattaa myös paluulogistiikka. Olemassa oleva paluulogistiikka ja valmiiksi korkea materiaalien paluuprosentti helpottavat

kehdestä kehtoon -suunnittelun käyttöönottoa, jolloin käyttöönotto on myös realistisempaa ja mahdollisesti kustannustehokkaampaa verrattuna yrityksiin, joiden paluulogiikka on puutteellinen tai sitä ei ole. (Bakker et al. 2010)

Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin lähtökohta ja olennainen osa tuotesuunnittelua on tuotteiden purettavuus. Bakker et al. (2010) ilmaisevat, että purettavuudessa on keskiyttävä helppoutteen sekä erityisesti toteutettavuuteen siten, että materiaalit ovat irrotettavissa vaurioitta. Monet tuotteista sisältävät kuitenkin sekä biologisia että teknisiä ravinteita, jolloin haasteena uudelleenkäytölle ja kierrätettävyydelle on materiaalien erottaminen toisistaan. (Bakker et al. 2010) Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin merkittävimpänä haasteena voidaankin nähdä hybridituotteet, jotka sisältävät biologisia ja teknisiä ravinteita siten, että niiden erottaminen toisistaan on mahdotonta (McDonough & Braungart 2002; Bakker et al. 2010).

Bakker et al. (2010) väittävät, että useiden suunnittelijoiden tuntemus materiaaleista ja niiden koostumuksesta on puutteellista. Tarvittavien tietojen ja ymmärryksen puutetta perustellaan tuotteiden monimutkaisuudella tai komponenttien osakokoonpanolla, jolloin komponenteista saatavat materiaalitiedot eivät ole riittävän yksityiskohtaisia. Suunniteltaessa tuotteen kierrätettävyyttä tarvittavat tiedot ja asiantuntemus ovat vaadittavia ominaisuuksia, mutta erityisesti uusiojalostuksessa materiaalien ominaisuudet sekä koostumuksen perusteellinen tuntemus on välttämätöntä. (Bakker et al. 2010) Heikko ja riittämätön ymmärrys materiaaleista ja niiden kehittymisestä asettavat haasteita kehdestä kehtoon -materiaalivirtojen suunnittelulle, sillä uusiojalostuksessa vaadittava materiaalituntemus on yksityiskohtaisempaa kuin kierrättämisessä.

EPEA (Environmental Protection Encouragement Agency), MBDC (McDonough Braungart Design Chemistry) ja Cradle to Cradle Products Innovation Institute (C2CPII) ovat keskeisimmät tutkimuslaitokset kehdestä kehtoon -suunnittelussa ja -sertifiointiprosessissa. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin materiaalien ja prosessien arviointi toteutetaan täten kyseisten tutkimuslaitosten toimesta, jolloin suunnittelumallin käyttöönoton ja soveltamisen nähdään olevan myös voimakkaasti tutkimuslaitoksista riippuvaa. Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin hyväksytyt arviointiperusteet ovat osittain julkisia, mikä asettaa kyseiset tutkimuslaitokset monopoliasemaan muihin tutkimuslaitoksiin verrattuna. Toiminnan osittainen läpinäkymättömyys vaikeuttaa kehdestä kehtoon -sertifikaatin ja sertifiointiprosessin kopioitavuutta, mutta toisaalta soveltavan yrityksen epävarmuus kehdestä kehtoon -suunnittelumallin materiaalien ja prosessien hyväksyttävyydestä kasvaa. (Toxopeus et al. 2015)

Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli soveltuu heikosti uusien tuotteiden innovoinnille, sillä lähtökohtaisesti suunnittelumallin koetaan olevan puutteellinen innovoinnin ohjaamisessa (Toxopeus et al. 2015). Valtaosa kehdosta kehtoon -kehityshankkeista keskittyykin olemassa olevien tuotteiden optimointiin, eikä kokonaan uusien tuotteiden suunnitteluun (C2CPII 2019). Perusteeksi edellä mainitulle väitteelle esitetään tutkimuslaitosten, kuten EPEA ja MBDC, tavoitetta noudattaa materiaaliarviointeja ja sisäisiä menettelytapoja sen sijaan, että tuotteita arvioitaisiin innovatiivisesta kehdosta kehtoon -näkökulmasta. Esteenä innovoinnille nähdään myös kehdosta kehtoon -suunnittelumallia soveltavan yrityksen ja tutkimuslaitoksen välillä olevaan salassapitosopimukseen perustuva yhteistyö. Tietämyksen ja innovaatioiden suojaaminen salassapitosopimuksilla on liiketoiminnan kannalta tarpeellista, mutta tämän nähdään vaikuttavan negatiivisesti avoimeen innovointiin, innovaatioiden kehittämiseen sekä totutettujen innovaatioiden selviytymiseen. (Toxopeus et al. 2015)

Tavoitteellinen yhteistyö ja kokonaisvaltainen sitoutuminen kehdosta kehtoon -periaatteisiin koetaan olevan haaste organisaatorakenteen ja -kulttuurin osalta, mutta myös yrityksen ja sen sidosryhmien välillä (Bakker et al. 2010; Toxopeus et al. 2015). Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin periaatteiden toteuttaminen vaatii kokonaisvaltaista sitoutumista organisaatiotasolla, sillä päätökset toteutetaan eri toimintojen yhteistyönä, ja osa päätöksistä on totutettavissa ainoastaan strategisen johtamisen tasolla (Bakker et al. 2010). Sitoutumisen lisäksi haasteena nähdään yhteistyö kehdosta kehtoon -suunnittelumallia soveltavien yritysten välillä. Toxopeus et al. (2015) korostavat tutkimuslaitosten avainasemaa tavoitteellisten yhteistyökumppanuuksien muodostamisessa, mikä ei kuitenkaan toteudu tutkimuslaitosten tämän hetkisen toiminnan kautta.

Energiankulutus yleisesti koetaan olevan kehdosta kehtoon -suunnittelumallin heikkous, koska suunnittelumalli keskittyy pääosin materiaaleihin, eikä päätavoitteena ole energivirrat ja niiden arviointi (Toxopeus et al. 2015). Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin materiaalikeskeisyys vaikuttaakin epäsuotuisasti suunnittelumallin energiatavoitteisiin siirtäen huomiota pois toisesta peruseriaatteesta: käytä uusiutuvaa energiaa. Todellisuudessa suurin osa tavanomaisten tuotteiden ympäristöongelmaista liittyvät energiankulutukseen joko tuotannossa, käytössä tai hävittämisvaiheessa (Bakker et al. 2010; Toxopeus et al. 2015). Toxopeus et al. (2015) korostavatkin kehdosta kehtoon -suunnittelumallin vajaavaisuutta tuotteen kulutusvaiheessa, sillä sekä suunnittelumalli että sertifiointiprosessi tarkastelevat poikkeuksetta vain kierron alkua ja loppuvaihetta, vaikka todellisuudessa merkityksellistä olisi tarkastella kiertoa kokonaisuutena eri vaiheineen.

5. PÄÄTELMÄT

Kirjallisuuskatsauksen myötä rakentui yksiselitteinen käsitys siitä, mikä on kehdosta kehtoon -suunnittelumalli. Kehdosta kehtoon -suunnittelumalli nähdään luonnon innoittamana, kestävyyttä edistävä ja suhteellista uutuusarvoa sisältävänä lähestymistapana suunnitteluun. Lähtökohtana suunnittelumallissa on ekojärkevyys, jolloin oikeiden valintojen ja menetelmien kautta saavutetaan hyödyllisiä vaikutuksia ja jolloin positiiviset vaikutukset pyritään optimoimaan. Useissa kirjallisuuslähteissä korostettiin kehdosta kehtoon -suunnittelumallin perustuvan erityisesti ekojärkevyteen ekotehokkuuden sijasta ja sitä, kuinka suunnittelumalli nähdään kehitysaskelena perinteisestä, lineaarisesta lähestymistavasta. Braungart et al. (2007) esittävät kuitenkin näkemyksen, jossa ekotehokkuus ja ekojärkevyys ovat toisiaan täydentäviä strategioita; saavutettua ekojärkevyyden mukaiset tavoitteet systeemin ekotehokkuuden kehittäminen ei ole ainoastaan ekologisesti välttämätöntä vaan myös asianmukaista.

Toisena tunnusomaisena määritteenä kehdosta kehtoon -suunnittelumallissa ovat suljetut ja erilliset materiaalivirrat: biologinen kierto ja tekninen kierto, joiden perusteella materiaalit myös jaotellaan biologisiin ja teknisiin ravinteisiin. Materiaalien yksityiskohtaisen luokittelun voidaan todeta vaikuttavan keskeisesti tuotesuunnitteluun, sillä kehdosta kehtoon -materiaalivirrat edellyttävät tarkkaa materiaalituntemusta: materiaalien koostumus, vaihtoehtoiset materiaalit ja materiaalien kehitys. Oletuksista huolimatta vain harva tutkimus korosti materiaalien olevan kriittinen tekijä suunnittelumallia sovellettaessa. Valtaosa tutkimuksista painottikin ainoastaan materiaalien resurssitilasta ja luokittelua ravinteiksi kierrätettävyydessä, tarkemmin uusiojalostuksessa. Laajemmassa tarkastelussa kehdosta kehtoon -suunnittelumalli osoittautui painottuvan materiaalikeskeisyyteen, minkä todettiin vaikuttavan negatiivisesta suunnittelumallin muihin peruseräisiin.

Kehdosta kehtoon -suunnittelumallin mukaiset materiaalivirrat eroavat vallitsevasta käytännöstä, ja näin ollen muodostavat ajattelumallin perustan: jätettä ei ole. Kierrättämisessä, talteenotossa ja uudelleenkäytössä kulminoituvat kehdosta kehtoon -materiaalivirtojen haasteellisuus. Teoriapohjalta kehdosta kehtoon -suunnittelumallin koetaan mahdollistavan materiaalivirtojen tehokkaan hallinnan, missä fokus painottuu materiaalien resurssiluonteeseen ja uusiojalostukseen ja mikä mahdollistaa tuotteiden lyhyetkin elinkaaret vastoin yleismaallista oletusta kestävydestä. Kierrättämistä tarkastellessa tutkimukset korostavat teknistä materiaalivirtaa, koska teknisten ravinteiden talteenotto

koetaan kannattavaksi sekä taloudellisesti että ekologisesti. Kuitenkin käytännössä keh-
dosta kehtoon -materiaalivirtojen käyttöönotossa ja soveltamisessa havaitaan olevan lu-
kuisia haasteita, sillä suunnittelumallin yleinen ja kattava soveltaminen vaatii mittavia
muutoksia yhteiskunnassa ja sen toiminnassa.

Kestävyyden mukainen toiminta koetaan yleisesti kannattamattomaksi ja kalliiksi, ja näin
ollen myös laajemmin esteeksi taloudelliselle ja teolliselle kehitykselle. Koska monet tut-
kimuksista esittivät kehdestä kehtoon -suunnittelumallin strategisena työvälineenä ym-
päristölainsäädännön ja -standardien vaatimuksiin, vain harvat keskittyivät tarkastele-
maan sen käyttöönoton realistisuutta tai kannattavuutta. Liiketoiminnan näkökulmasta
käyttöönottoon vaikuttivat muun muassa yrityksen liiketoimintamalli ja sidosryhmät. Keh-
dosta kehtoon -suunnittelumallin merkittävimmät haasteet ovat paluulogiikka ja riittävä
materiaalien palautusprosentti. Yrityksen harjoittaman liiketoimintamallin tulisikin tarjota
ratkaisu tunnistettuihin haasteisiin, jotta mahdollinen käyttöönotto nähtäisiin realistisena.
Toisaalta kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltaminen vaatii kokonaisvaltaista si-
toutumista niin organisaatiotasolla kuin tuotesuunnitteluun ja -valmistukseen vaikutta-
vien sidosryhmien välillä. Toxopeus et al. (2015) korostavat tutkimuslaitosten toimin-
nassa tarvittavaa painopisteen siirtämistä tietoaustan tarjoamiseen ja toimintaan eri tuo-
tekehittäjien ja valmistajien välille, mikä kehittäisi kehdestä kehtoon -suunnittelumallista
kiinnostuneiden ja soveltavien yritysten vuorovaikutusta sekä yhteistyötä.

Toteutetut tapaustudkimukset havaitsivat kehdestä kehtoon -suunnittelumallin kannusta-
van innovatiivisuuteen ja ratkaisumahdollisuuksien laajempaan tarkasteluun, toisin sa-
noen out-of-the-box -ajatteluun. Kehdestä kehtoon -suunnittelumalli vaikuttaakin teo-
riapohjalta tehokkaalta visiolta, joka asettaa kunnianhimoisia, ekojärkeviä tavoitteita. Ta-
paustutkimuksen havaintoihin perustuen Toxopeus et al. (2015) osoittivat, että kehdestä
kehtoon -suunnittelumallissa ilmenee useita, merkittäviä eroavaisuuksia verratessa teo-
riaa, arviointia ja sertifiointikäytäntöä. Seurauksena eroavaisuuksista ekojärkevyyteen
perustuva kokonaisvaltainen ja innovointia tavoitteleva suunnittelumalli osoittautuikin
käytännössä ainoastaan ekotehokkaaksi. (Toxopeus et al. 2015)

Kandidaatintyön suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, jolloin merkittävimäksi rajoitteeksi
havaittiin kehdestä kehtoon -suunnittelumalliin perustuvien tutkimusten ja saatavilla ole-
van tieteellisen tiedon puutteellisuus. Kandidaatintyö toteutettiinkin muutamaa keskei-
seen lähteeseen perustuen, minkä seurauksena työssä painottuivat merkittävien tutkijoi-
den näkemykset kehdestä kehtoon -suunnittelumallista. Tarkastelunäkökulmilta tutki-
mukset kehdestä kehtoon -suunnittelumallista olivat rajallisia; tutkimukset keskittyivät
joko hyötyihin tai haittoihin, eivät molempiin. Toxopeus et al. (2015) korostavatkin keh-
dosta kehtoon -suunnittelumallin soveltamista tarkastelevien tutkimusten suppeutta ja

puutteellisuutta erityisesti osa-alueilla, joissa arvioidaan sovellettavaa liiketoimintamallia kehdestä kehtoon -suunnittelumalliin ja jossa tarkastellaan kehdestä kehtoon -suunnittelumallin vaikutuksiin suunnitteluprosessiin ja sen lopputulokseen. Kandidaatintyössä tarkasteltiin muutamaa tapaustutkimusta, jotta käsitys kehdestä kehtoon -suunnittelumallin sekä teoreettisista että käytännöllisistä hyödyistä ja haitoista saavutettaisiin. Tapaustutkimuksiin on kuitenkin suhtauduttava harkiten, erityisesti tarkastellessa tosielämään perustuvia suunnittelukäytäntöjä havaittujen tulosten ja niistä muodostettujen tulkintojen perusteella.

Kehdestä kehtoon -suunnittelumallin käyttöönottoa ja soveltamista ei ole juurikaan tutkittu, erityisesti todenmukaiseen soveltamiseen perustuvia tieteellisiä tutkimuksia ei ole. Tällöin potentiaalisin jatkotutkimusaihe on tarkastella kehdestä kehtoon -suunnittelumallin käyttöönottoa ja soveltamista liiketoimintaympäristössä: Millaisia vaikutuksia kehdestä kehtoon -suunnittelumallin käyttöönotolla on? Miten vaatimukset kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltamiseksi toteutettiin? Miten kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltaminen eroaa toimialoittain, toiminnan laajuuden tai yrityskoon kannalta? Lisäksi jatkotutkimusaiheeksi voidaan nostaa kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltamisen mahdollisuudet Suomessa: Onko Suomessa potentiaalia kehdestä kehtoon -suunnittelumallin soveltamiselle? Onko kehdestä kehtoon -suunnittelumalli sovellettavissa Suomen teollisissa symbiooseissa?

LÄHTEET

- Bakker, C.A., Wever, R., Teoh, C. & de Clercq, S. (2010). Designing cradle-to-cradle products: A reality check. *International Journal of Sustainable Engineering*. Vol.3(1), pp. 2–8.
- Bjørn, A. & Hauschild, M.Z. (2013). Absolute versus Relative Environmental Sustainability. *Journal of Industrial Ecology*. Vol.17(2), pp. 321–332.
- Braungart, M., McDonough, W. & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. Vol.15(13), pp. 1337–1348.
- C2CPII. Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2016). Cradle to Cradle Certified Product Standard. Saatavissa (viitattu 20.1.2019): https://s3.amazonaws.com/c2c-website/resources/certification/standard/STD_C2CCertified_ProductStandard_V3.1_082318.pdf.
- C2CPII. Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2019). Cradle to Cradle Certified Product Registry. Saatavissa (viitattu 27.4.2019): <https://www.c2ccertified.org/products/registry>.
- Despeisse, M., Ball, P.D. & Evans, S. (2013). Strategies and ecosystem view for industrial sustainability. In: Nee, A.Y.C., Song, B. & Ong, S. *Re-Engineering Manufacturing for Sustainability - Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Springer. pp. 565–570.
- EI-Haggar, S.M. (2007). *Sustainable industrial design and waste management: cradle-to-cradle for sustainable development*. Elsevier Academic Press. Amsterdam, Boston. 401 p.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Circular Economy*. Saatavissa (viitattu 29.4.2019): <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>.
- EPEA GmbH. (2019a). *Cradle to Cradle®*. Saatavissa (viitattu 3.4.2019): <https://epea-hamburg.com/cradle-to-cradle/>.
- EPEA GmbH. (2019b). *Cradle to Cradle: Implementation in practice*. Saatavissa (viitattu 3.4.2019): <https://epea-hamburg.com/implementation-practice/>.
- Klavins, M., Filho, W.L. & Zaloksnins, J. (2010). *Environment and Sustainable Development*. Riga, Academic Press of University of Latvia. pp. 192–193.
- Koklacova, S. & Volkova, T. (2017). Design Thinking, Design Management and Design Concepts for Promoting Socially Responsible Solutions. In: Nelson, W.D. *Advances in business and management*. Vol. 12. New York, Nova Science Publishers, Inc. pp. 47–99.
- Karvonen, I., Jansson, K., Vatanen, S., Tonteri, H., Uoti, M. & Wessman-Jääskeläinen, H. (2015). *Uudelleenvalmistus osana kiertotaloutta*. VTT. Saatavilla (viitattu 15.4.2019): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T207.pdf>.
- Kumar, S. & Putnam, V. (2008). Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. *International Journal of Production Economics*. Vol.115(2), pp. 305–315.
- Lacy, P. & Rutqvist, J. (2015). *Waste to wealth: the circular economy advantage*. Palgrave Macmillan. Basingstoke, Hampshire, Palgrave Macmillan. 264 p.

- Llorach-Massana, P., Farreny, R. & Oliver-Solà, J. (2015). Are Cradle to Cradle certified products environmentally preferable? Analysis from an LCA approach. *Journal of Cleaner Production*. Vol.93, pp. 243–250.
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: remaking the way make things*. New York, North Point Press. 193 p.
- McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P.T. & Zimmerman, J. B. (2003). Applying the Principles of Green Engineering to Cradle-to-Cradle Design. *Environmental Science & Technology*. Vol.37(23), pp. 435A–441A.
- de Pauw, I.C., Karana, E., Kandachar, P. & Poppelaars, F. (2014). Comparing Biomimicry and Cradle to Cradle with Ecodesign: a case study of student design projects. *Journal of Cleaner Production*. Vol.78, pp. 174–183.
- De Pauw, I., Kandachar, P., Karana, E., Peck, D. & Wever, R. (2010). Nature inspired design: Strategies towards sustainability. *Knowledge Collaboration & Learning for Sustainable Innovation*, Netherlands and October 25–29, 2010. Delft University of Technology, The Hague University of Applied Sciences, TNO. pp. 1–21.
- de Pauw, I., Karana, E. & Kandachar, P. (2013). Cradle to cradle in product development: A case study of closed-loop design. In: Nee, A.Y.C., Song, B. & Ong, S. *Re-Engineering Manufacturing for Sustainability - Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Springer. pp. 47–52.
- Reay, S., McCool, J. & Withell, A.J. (2011). Exploring the feasibility of cradle-to-cradle (product) design: Perspectives from New Zealand scientists. *Journal of Sustainable Development*. Vol. 4(1), pp. 36–44.
- Sitra. (2018). Mitä nämä käsitteet tarkoittavat?. Saatavissa (viitattu 29.4.2019): <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>.
- Toxopeus, M.E., de Koeijer, B.L. A & Meij, A.G.G. H (2015). Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice? *Procedia CIRP*. Vol. 29, pp. 384–389.
- World Commission on Environment and Development (1987). *The Brundtland report: Our common future*. Oxford University Press, Oxford.