

Otto Auvinen

KONSEPTOINTI TUOTEKEHITYKSESSÄ JA SEN VAIKUTUKSET TUOTTEEN ELINKAAREN LOPUN KUSTANNUKSIIN

Kandidaatintyö
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Tarkastaja: Mikko Vanhatalo
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Otto Auvinen: Konseptointi tuotekehityksessä ja sen vaikutukset tuotteen elinkaaren lopun kustannuksiin

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma, konetekniikka

Huhtikuu 2021

Tuotteiden kulutus ja luonnonvarojen käyttö on kasvanut ja samaan aikaan tuotteiden keskimääräinen elinikä on lyhentynyt. Monet yritykset näkevät tuotteen elinkaaren lopussa (engl. end-of-life, EOL) syntyvät kustannukset vain pakollisena pahana, joten niihin ei kiinnitetä huomiota. Tämä johtaa energia- ja kustannustehottomaan tuotteen hävittämiseen. Tuotteen elinkaaren lopun tehostamisessa on suunnittelijalla suuri vastuu, koska tuotekehitysprosessin konseptivaiheessa on parhaimmat mahdollisuudet vaikuttaa EOL-kustannuksiin. Tämän työn tavoitteena on selvittää, miten suunnittelija voi vaikuttaa tuotteen EOL-kustannuksiin tuotekehityksen konseptivaiheessa.

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Aluksi käydään läpi tuotekehityksen ja konseptoinnin taustoja. Niihin liittyvää tutkimusta on olemassa kattava määrä ja tässä työssä käytetään alan tunnetuimpia lähteitä. Tuotteen EOL-vaiheessa tarkastellaan hävittämisen lisäksi kiertotalouden tuomia mahdollisuuksia. Koska kiertotalous on hyvin tuore innovaatio, ovat tutkimuksessa käytetyt lähteet uudempia. Työn lopussa yhdistetään aiemmin opitut asiat konseptoinnista ja tuotteen elinkaaren lopusta ja esitetään erilaisia konseptoinnin työkaluja ja metodeja EOL-kustannusten tunnistamisen ja vähentämisen tueksi.

Tutkimus osoittaa, että kiertotalouden muodot ovat kustannustehokkaita ratkaisuja tuotteen elinkaaren lopussa. Työssä käydään läpi kolme eri kiertotalouden muotoa ja jokaiselle niistä esitetään yksi suunnitteluperiaate. Konseptoinnissa tehtävien päätösten vaikutus tuotteen elinkaaren lopun kustannuksiin havaitaan näiden periaatteiden kautta.

Avainsanat: konseptointi, kiertotalous, EOL, tuotekehitys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

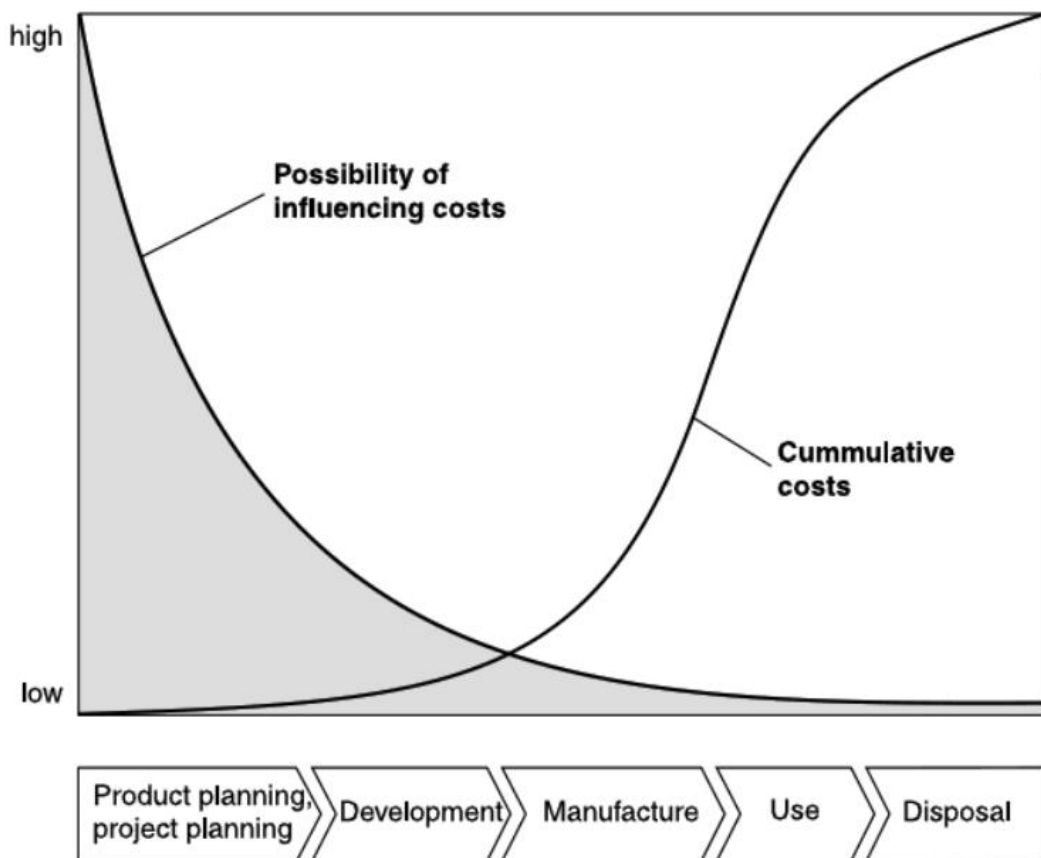
1. JOHDANTO	1
2. TUOTEKEHITYSPROSESSI	3
2.1 Merkitys yrityksessä	3
2.2 Tuotekehityksen vaiheet	3
2.3 Tiimin luominen	4
3. KONSEPTOINTI	6
3.1 Tarpeiden tunnistaminen	6
3.2 Tavoitteiden asettaminen	6
3.3 Konseptien luonti	7
3.4 Konseptin valinta	9
4. TUOTTEEN ELINKAAREN LOPPU	10
4.1 Hävittäminen	10
4.1.1 Kaatopaikat	10
4.1.2 Polttaminen	11
4.2 Kiertotalous	11
4.2.1 Kierrätys	12
4.2.2 Uudelleenvalmistus	13
4.2.3 Uudelleenkäyttö	14
5. TYÖKALUT JA METODIT	15
5.1 Kustannusten tunnistaminen	15
5.2 Suunnitteluperiaatteet	16
5.2.1 Design for durability	16
5.2.2 Design for disassembly	17
5.2.3 Design for recycling	18
5.3 Kustannuksiin vaikuttaminen konseptivaiheessa	19
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	22
LÄHTEET	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EOL	end-of-life
EOW	end-of-waste
DFX	design for X
DFD	design for disassembly

1. JOHDANTO

Konseptointi on lyhyt ja kustannuksiltaan pieni osa tuotekehitysprosessia. Siitä huolimatta sen vaikutukset tuotekehitysprosessin ja koko tuotteen elinkaaren kustannuksiin ovat merkittäviä. Väärät päätökset suunnitteluvaiheessa voivat johtaa kalliisiin toimenpiteisiin myöhemmin.



Kuva 1. Päätösten ja kustannusten välinen yhteys tuotteen luomisesta hävittämiseen (Ehrenspiel et al. 2007 s. 11)

Kuva 1 hahmottaa hyvin konseptoinnin tärkeyttä kertyviä kustannuksia ajatellen. Tuotteen hävittämisen vaiheessa ei käytännössä voi enää kustannuksiin vaikuttaa, joten se on tehtävä suunnitteluvaiheessa. Kuvasta voidaan myös havaita kiertotalouden mahdollisuudet. Jos tuote ei päätyisi kiertoon, niin kaikki siihen asti kertyneet kustannukset menisivät käytännössä hukkaan.

Ympäristövaikutukset ovat ajankohtainen, koko maailmaa koskeva ongelma. Päästöt lisääntyvät, kallisarvoisia materiaaleja kaivetaan yhä enemmän ja samaan aikaan jätteen määrä kasvaa. Näiden ongelmien takia kiertotalous on noussut tavoiteltavaksi talouden muodoksi. Nimensä mukaan kiertotaloudessa materiaali pysyy kierrossa lineaarisen elinkaaren sijaan. Kiertotalouden onnistumiseen vaikuttaa monta tekijää, mutta suunnittelijalla on siihen suuri vastuu tuotteen suunnitteluvaiheessa.

Tässä työssä tutkitaan miten suunnittelija voi konseptivaiheessa vaikuttaa tuotteen elinkaaren lopussa syntyviin kustannuksiin ja edistää kiertotaloutta. Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Tuotekehitykseen ja konseptointiin liittyen käytetään lähteinä alalla tunnettuja ja hyväksytyjä teoksia. Kiertotalouden ja ympäristötietoisuuden uutuuden takia tuotteen elinkaaren loppuun liittyviin asioihin käytetään lähteinä uusia, aikaisintaan vuonna 2015 julkaistuja teoksia.

Työssä käydään ensiksi läpi tuotekehitysprosessi yrityksissä, miksi se on tärkeää ja mistä se koostuu. Sen jälkeen keskitytään tuotekehityksen konseptivaiheeseen. Neljännessä luvussa käsitellään tuotteen elinkaaren loppua hävittämisen ja kiertotalouden muotojen kannalta. Viidennessä luvussa esitetään eri kiertotalouden suunnitteluperiaatteita ja miten suunnittelija voi hyödyntää niitä konseptivaiheessa. Viimeinen luku tuo yhteen tärkeimmät työssä tehdyt päätelmät.

2. TUOTEKEHITYSPROSESSI

Tuotekehitysprosessi on yritysten toimintaa, jossa luodaan liiketoimintaa kehittämällä uusia tuotteita tai parantamalla olemassa olevia. Prosessissa tunnistetaan tarpeet ja markkinoiden tilanne, minkä jälkeen idea jalostetaan valmiiksi tuotteeksi.

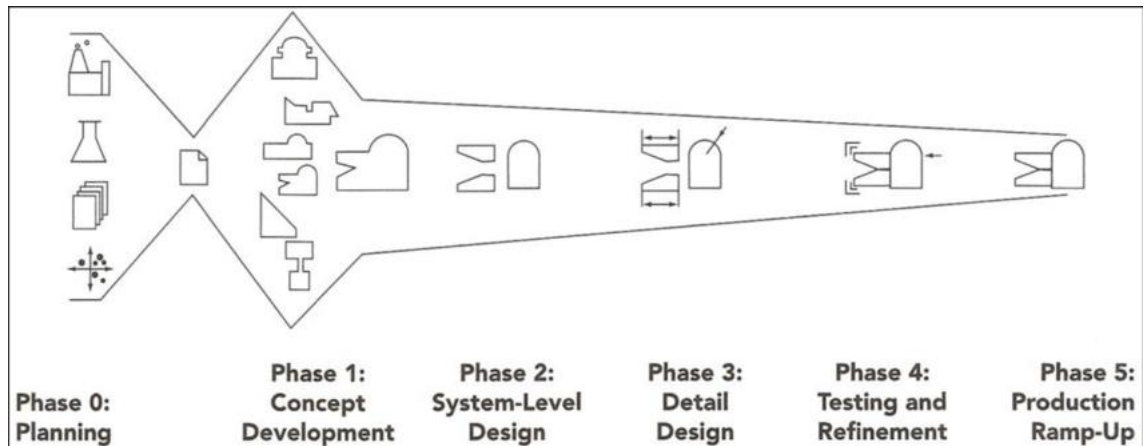
2.1 Merkitys yrityksessä

Tuotekehitys on ratkaisevassa asemassa yrityksen menestyksessä. Kehittämällä uusia tuotteita yritykset pystyvät tuottamaan arvoa asiakkailleen, uudistua ja kehittyä muuttuvan ympäristön mukana. Tuotekehitys määrittää tuotteen toiminnot, turvallisuuden, valmistuksen, käytön, huollon ja hävittämisen (Pahl et al. 2007 s. 6). Vaikuttamalla näihin ominaisuuksiin yritys voi saada kilpailuetua esimerkiksi tuotteen hinnan ja laadun kautta. (Brown & Eisenhardt 1995)

Merkitystä lisää tuotekehityksen nopeutunut tahti. Olemalla ensimmäinen tekijä markkinoilla nähdään tuovan kilpailuetua jäljessä tuleviin, koska silloin pystyy vaikuttamaan enemmän alan standardeihin ja vahvistamaan asemaansa toimittajien ja markkinoiden keskuudessa (Cankurtaran et al. 2013). Olemalla ensimmäinen ei kuitenkaan suoraan tarkoita menestystä, vaan tuotteen tulee myös vastata kuluttajien tarpeisiin. Yritys voi yhtä hyvin menettää kilpailuetuaan, jos se tuo markkinoille tuotteen, joka ei vastaa asiakkaiden odotuksia. (Brown & Eisenhardt 1995)

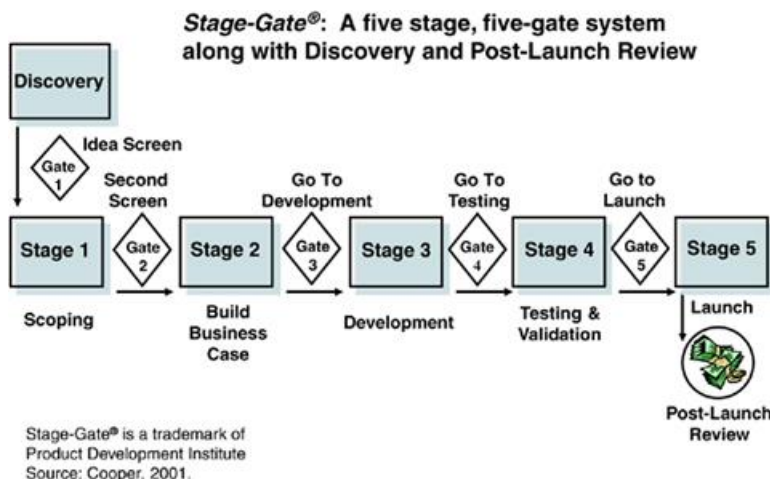
2.2 Tuotekehityksen vaiheet

Tuotekehitysprosessi sisältää vaiheet idean syntymisestä lanseeraukseen. Eri yrityksissä vaiheet ovat erilaisia, mutta geneerisestä tuotekehitysprosessin mallista voidaan tunnistaa kuusi vaihetta: kaavoitus, konseptointi, järjestelmä tason suunnittelu, yksityiskohtien suunnittelu, testaaminen ja tuotanto. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 12–16)



Kuva 2. Tuotekehityksen vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012 s. 14)

Yleinen malli tuotekehitysprosessin toteuttamiselle on Stage-Gate -malli. Malli on luotu ohjaamaan prosessia menestyneiden tuotteiden pohjalta. Prosessi jaetaan vaiheisiin (stage), joilla on tietyt tehtävät. Näitä vaiheita seuraa aina portti (gate), jossa arvioidaan tehtyä työtä ja tehdään päätös prosessin jatkamisesta. Kuva 3 havainnollistaa Stage-Gate -mallia. Malli ohjaa tuotekehitysprosessin etenemistä ja auttaa epäonnistuvan prosessin keskeyttämisen mahdollisimman aikaisin säästämällä kustannuksia.



Kuva 3. Stage-Gate -malli (Cooper 2008)

Kuva 3 saa Stage-Gate -mallin näyttämään lineaariselta prosessilta, mutta sitä se ei kuitenkaan ole. Vaiheiden sisällä on iteraatioita ja itse vaiheiden välillä on päällekkäisyys mahdollista. Kuvassa 3 kehitykseen menemisen portti on kriittisin, koska sen jälkeen kustannukset alkavat kertyä huomattavasti. (Cooper 2008)

2.3 Tiimin luominen

Tiimin jäsenet ja tuotekehitysprosessin ympäristö ovat merkittävässä asemassa projektin onnistumisen kannalta, mikä usein jätetään liian vähälle huomiolle. Tiimistä saadaan eniten irti hyödyntämällä jokaisen erityisosaamista heidän omilla rooleillaan. Johdon

vastuulla on tunnistaa jäsenten osaamiset ja tiedot ja sijoittaa heidät niihin sopiviin tehtäviin. Yhteinen ymmärrys kehitystyön tavoitteesta tuo tiimin yhteen ja motivoi heitä sen saavuttamiseen. Tiimin ympäristön tehtävänä on tehostaa työntekoa. Jos siihen ei kiinnitetä huomiota, voi se olla esteenä. Ympäristöllä tarkoitetaan suunnittelutiimin ja ulkopuolisten tekijöiden välistä kanssakäymistä sekä konkreettista tilaa, jossa tiimi työskentelee. Esimerkiksi itse organisaation innovatiivinen arvomaailma ja 3D-tulostettu malli, jonka jokainen osapuoli voi ymmärtää, edistää suunnittelutyötä. (Andreasen et al. 2015, s. 71–89)

Tähän saakka on käsitelty, miksi tuotekehitys on tärkeää ja mitä se sisältää. Ennen varsinaisen prosessin aloitusta on muodostettava tiimi, ja jo siinä kohtaa voi onnistumisen todennäköisyyttä parantaa panostamalla siihen. Kun tiimi on luotu ja yhteinen tavoite on selvä, voidaan aloittaa tuotekehitysprosessin toinen osa, konseptointi.

3. KONSEPTOINTI

Konsepti on kuvaus tuotteesta. Se on yksityiskohdiltaan niin tarkka, että voidaan nähdä, onko ehdotettu ratkaisu hyvä. Lisäksi konseptin tulee olla realisoitavissa ja sillä on oltava korkea onnistumisen todennäköisyys. (Andreasen et al. 2015, s. 26)

Konseptointi on konseptin luomiseen johtavaa työtä. Kirjallisuudessa yleisesti hyväksytty vaiheistus konseptoinnille on seuraava: tarpeiden tunnistaminen, tavoitteiden asettaminen, ideoiden luonti ja konseptin valinta. Suunnittelijan tekemillä päätöksillä näissä vaiheissa on merkittävä vaikutus tuotteen koko elinkaareen. Tässä luvussa tutkitaan konseptoinnin vaiheita tarkemmin.

3.1 Tarpeiden tunnistaminen

Konseptointi alkaa tarpeiden tunnistamisella. Kaksi yleisintä keinoa tunnistaa asiakkaan tarpeet ovat haastattelut ja tuotteen käytön tutkiminen. Haastatteluissa on tehokasta kuulla pääkäyttäjiä ja käyttäjiä, joilla on erityisiä tarpeita. Pääkäyttäjät käyttävät tuotetta enemmän kuin muut ja sen takia tunnistavat tarpeet nopeammin ja yksityiskohtaisemmin. Pääkäyttäjät myös muokkaavat ja suunnittelevat omia tuotteitaan, joten he ovat hyvä lähde innovaatioille (Hippel 2005, s. 22–23). Käyttäjä, jolla on esimerkiksi näkövamma, tunnistaa tarkkuuteen liittyvät tarpeet ennen muita ja on tämän takia arvokas henkilö haastateltavaksi (Ulrich & Eppinger 2012, s. 75–78).

Asiakkaan tarpeiden tunnistamisessa tulee huomioida ihmisten erilaiset luonteenpiirteet ja se, mihin markkinasegmenttiin tuote kohdistetaan. Tulee huomioida myös muiden kuin asiakkaiden tarpeet, koska jokaisella osallisella on omat tarpeensa tuotteelle, esimerkiksi logistiikka haluaa tuotteesta helposti kuljetettavan. (Andreasen et al. 2015, s. 124–127) Työtä jatketaan siihen asti, kunnes ei uusia tarpeita enää tunnisteta. Tämän jälkeen tarpeet järjestetään omiin luokkiinsa ja asetetaan niille suhteellinen tärkeysjärjestys. Vaiheen lopputuloksena on lista ominaisuuksista, jotka tuotteelta vaaditaan. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 81–87)

3.2 Tavoitteiden asettaminen

Asiakkaalta kerätyt tarpeet eivät sellaisenaan sovellu tavoitteiksi, koska niissä on tulkinnan varaa. Sen vuoksi asetetaan tavoitteet, jotka jokainen projektin jäsen ymmärtää ja joiden toteutumista voidaan seurata. Tavoitteiden asettamista voidaankin pitää asiakas-

tarpeiden kääntämisenä insinöörien kielelle. Asiakkaan tarpeisiin vastaamisen lisäksi tavoitteet ovat taloudellisesti kannattavia ja teknologian puolesta mahdollisia. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 92–94)

Kirjallisuudessa on eriäviä mielipiteitä tavoitteista. Ulrich ja Eppinger (2012, s. 95–104) asettavat vain mitattavia tavoitteita. Asiakkaan tarpeesta luodaan mittari ja tälle asetetaan tavoitearvo. Tavoitearvot voidaan selvittää tekemällä vertailuanalyysia (eng. benchmarking) markkinoilla olevista tuotteista. Tavoitearvon lisäksi on myös hyvä asettaa hyväksyttävä arvo, jossa tuotetta on vielä järkevä valmistaa. Esimerkkinä tästä on asiakkaan tarve kevyestä tuotteesta. Tällöin mittarina on tuotteen massa ja tavoitearvo voi olla esimerkiksi 700 g ja hyväksyttävä arvo 1 kg. Arvot ovat siis yksiselitteisiä.

Andreasen et al. (2015, s. 170) laajentavat Ulrichin ja Eppingerin näkemystä jakamalla tavoitteet kolmeen osaan: vaatimuksiin, kriteereihin ja haluttuihin toimintoihin. Vaatimuksiin tiivistyvät Ulrichin ja Eppingerin tavoitteet. Kriteerit eroavat vaatimuksista niiden subjektiivisuudella. Niissä on enemmän tulkinnan varaa eri ratkaisujen välillä, esimerkiksi tuotteen ulkonäön viehättävyys on yksi mahdollinen kriteeri. Yksiselitteisyyttä vastaan on myös ajatus, että avoimet tavoitteet mahdollistavat yllättäviä ratkaisuja ideointivaiheessa (Hansen & Andreasen 2007).

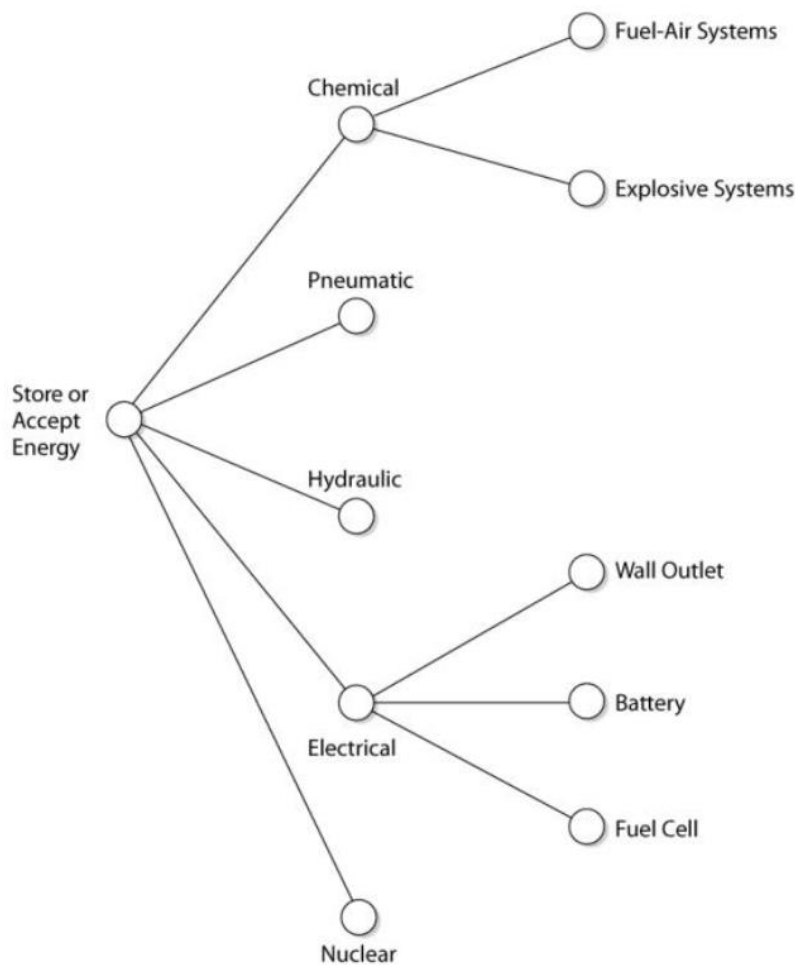
3.3 Konseptien luonti

Tähän mennessä asiakkaan tarpeet on saatu ilmaistua konkreettisina tavoitteina. Tämän vaiheen tarkoituksena on luoda tuotteesta useita konsepteja, jotka vastaavat näitä tavoitteita. Menetelmiä on monia ja tässä työssä konseptin luominen käydään läpi Ulrichin ja Eppingerin viiden vaiheen menetelmän mukaan. Menetelmän vaiheet ovat ongelman hahmottaminen, ratkaisujen etsiminen ulkoisesti ja sisäisesti, järjestelmällinen tutkiminen ja lopuksi prosessin pohtiminen.

Menetelmän ensimmäinen vaihe on isojen ongelmien jakaminen pienempiin osaongelmiin, jotka ovat helpommin ymmärrettävissä. Ongelmiin jako voidaan tehdä esimerkiksi toimintojen tai tarpeiden perusteella. Vaiheen lopuksi määritetään kriittisimmät osaongelmat, joihin panostetaan seuraavassa vaiheessa, joka on ratkaisujen etsiminen. Ratkaisujen etsiminen aloitetaan ulkoisista lähteistä, joita voivat olla aiemmin mainitut pääkäyttäjät, patentit, asiantuntijat, olemassa olevat tuotteet ja kirjallisuus. Omien ratkaisujen etsiminen on tuotekehitysprosessin luovin osuus ja siihen on olemassa valtava määrä eri menetelmiä, joista tunnetuimpia ovat aivoriihi ja analogiat (Mital 2008, s. 63–64). Perinteisesti luovaa työtä on harjoitettu ryhmätyönä tiimin kesken. Kirjallisuudessa ehdotetuksi rakenteeksi on kuitenkin noussut hybridimuoto, jossa luovaa työtä tehdään

sekä yksilönä että ryhmässä. Hybridimuodossa jäsenet ensin kehittävät ideoita itseksensä, milloin heillä ei ole paineita toisten mielipiteistä ja tämä johtaa erilaisiin ja useampiin ratkaisuihin. Näitä ratkaisuja käydään sen jälkeen ryhmässä läpi ja jalostetaan eteenpäin. Tämän mallin katsotaan tuottavan enemmän ja laadukkaampia ideoita. (Girotra et al. 2010; Ulrich & Eppinger 2012, s. 117–130)

Järjestelmällisen tutkimisen tavoitteena on yhdistää edellisten vaiheiden pienempien osaongelmien ratkaisut yhdeksi kokonaisuudeksi. Erilaisten mahdollisten ratkaisuyhdistelmien määrä voi nopeasti nousta liian suureksi ja tätä varten on olemassa kaksi työkalua: konseptien luokituspuu ja yhdistelmätaulukko. Konseptien luokituspuussa ratkaisut jaetaan erillisiin luokkiin niiden ominaisuuksien perusteella.



Kuva 4. Konseptien luokituspuu (eng. concept classification tree) (Ulrich & Eppinger 2012 s. 132)

Kuvasta 4 nähdään suoraan yksi puun hyödyistä: se jakaa ratkaisut selvästi erillisiin haaroihin, jolloin niiden käsittelystä tulee helpompaa. Toinen puun tuoma hyöty ideointityöhön on heikompien haarojen karsiminen. Tällä tavalla saadaan tehokkaasti vähennettyä

mahdollisten ratkaisujen määrää. Konseptien yhdistelmätaulukkoa käytetään luokituspuun kanssa. Taulukossa yksi puun haara jaetaan sen osaongelmiin ja niille asetetaan ratkaisuvaihtoehdot. Tällöin muodostuu taulukko, jossa yhdistelemällä eri ratkaisuja pienempiin osaongelmiin, saadaan muodostettua ratkaisu puussa olevaan haaraan. Yhtä lailla yhdistelmätaulukossa voidaan karsia heikompia ratkaisuja pois, jolloin ajatustyö kevenee. Ulrichin ja Eppingerin konseptien luomismenetelmän viimeisessä vaiheessa pohditaan suoritettua työtä ja mietitään, löydettiinkö kaikki mahdolliset ratkaisut ja onko vielä jotain vaihtoehtoisia lähestymistapaa ongelmaan. (Ulrich & Eppinger s. 130–140)

3.4 Konseptin valinta

Tässä vaiheessa suunnittelijoilla on monta erilaista konseptia ja nyt niistä on valittava paras. Valinnan merkitys on suuri, koska tämän jälkeen tuleviin toimiin vaikuttaa suoraan valitun konseptin ominaisuudet. Valinta voidaan tehdä intuitiivisesti, mutta rationaalisella lähestymistavalla saadaan paremmin karsittua heikompia konsepteja pois (Andreasen et al. 2015, s. 182).

Yleinen tapa valita konsepti on matriisien käyttö. Matriiseihin valitaan tuotteelta haluttavia kriteerejä, mitä on jo aiemmin tarpeiden tunnistamisessa ja tavoitteiden asettamisessa määritetty. Tärkeätä on pitää mielessä asiakkaan näkökulman lisäksi yrityksen taloudelliset tavoitteet ja konseptin käsiteltävyys suunnittelun kannalta (Andreasen et al. 2015, s. 184). Konseptit pisteytetään kriteerien pohjalta ja pisteytyksessä voidaan käyttää eri painoarvoja. Pisteytyksen jälkeen konseptit ovat paremmuusjärjestyksessä, mutta valintaa ei tehdä heti, sillä paras konsepti voi löytyä yhdistelemällä konsepteja. Esimerkiksi jos monelta kriteeriltä hyvä oleva konsepti ei pärjää yhden huonon ominaisuuden vuoksi, voidaan tutkia, onnistuuko sen ominaisuuden korvaaminen toisen konseptin ratkaisulla. Yhdistelemällä saadut konseptit niin ikään pisteytetään ja näin päädytään parhaaseen konseptiin. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 150–153)

4. TUOTTEEN ELINKAAREN LOPPU

Konseptoinnin jälkeen tuotteen elinkaari koostuu valmistuksesta, myynnistä ja käytöstä. Käytön kesto vaihtelee eri tuotteiden välillä päivistä vuosikymmeneihin, mutta lopulta saatetaan tuotteen elinkaaren loppu (eng. end-of-life, lyh. EOL). EOL on vaihe, jolloin tuotteesta on tullut jätettä. Jäte on ylijäämä ja tarpeeton tuote, jolla ei ole arvoa omistajalle ja jonka hän haluaa hävittää (Christensen 2010, s. 3). Jätteen määritelmästä huomataan, että tuotteen ei täydy hajota ollakseen jätettä. Tässä luvussa EOL-vaihetta tutkitaan hävittämisen ja kiertotalouden kannalta.

4.1 Hävittäminen

Jos tuotetta ei saada takaisin kiertoon, tulee se hävittää. Käytettyjä keinoja hävittämiseen ovat kaatopaikat, polttaminen ja kompostointi. Eurostatin (ec.europa.eu/eurostat 9.3.2021) mukaan, vuonna 2019 EU:ssa yhdyskuntajätteestä 23 % päätyi kaatopaikoille, 26 % poltettiin ja 17 % kompostoituihin. Polttaminen ja kompostointi ovat nousseet 20 vuoden aikana, kun taas kaatopaikkojen käyttö on laskenut. Tässä luvussa keskitytään kaatopaikkoihin ja polttamiseen, koska kompostointi liittyy orgaanisen materiaalin kiertoon.

4.1.1 Kaatopaikat

Kaatopaikat ovat perinteinen jätteiden sijoituspaikka. Kehityksistä huolimatta kaatopaikoilla on yhä ongelmansa: ne vievät tilaa, houkuttelevat eläimiä, aiheuttavat haju- ja äänihaittoja sekä päästöjä. Suurin haitta tuotteiden päätyemisestä kaatopaikoille on niiden menetetty hyöty. Kaatopaikoilla tuotteista ei saada enää lisähyötyjä, vaan sen sijaan energiaa kuluu haittojen minimoimiseen. Kaatopaikkasijoitus ei siis ole tehokas tapa huolehtia jätteistä, ja Suomessa sen käyttö yhdyskuntajätteen käsittelytavoista on laskenut 2000-luvun alun yli 50 prosentista alle prosenttiin (Tilastokeskus).

Kaatopaikkojen päästöjä ovat kaasut ja suotovesi. Kaatopaikalta vapautuvia kaasuja ovat hiilidioksidi ja metaani, jotka ovat kasvihuonekaasuja. Suotovesi on jätteiden läpi kulkenutta vettä, esimerkiksi sadevesi ja sulanut lumi, ja se voi pilata ympärillä olevan pinta- ja pohjaveden. Näiden merkittävien ympäristöhaittojen takia on kaatopaikkojen kehitys pääsääntöisesti keskittynyt päästöjen hallitsemiseen. (Christensen 2010 s. 695–705)

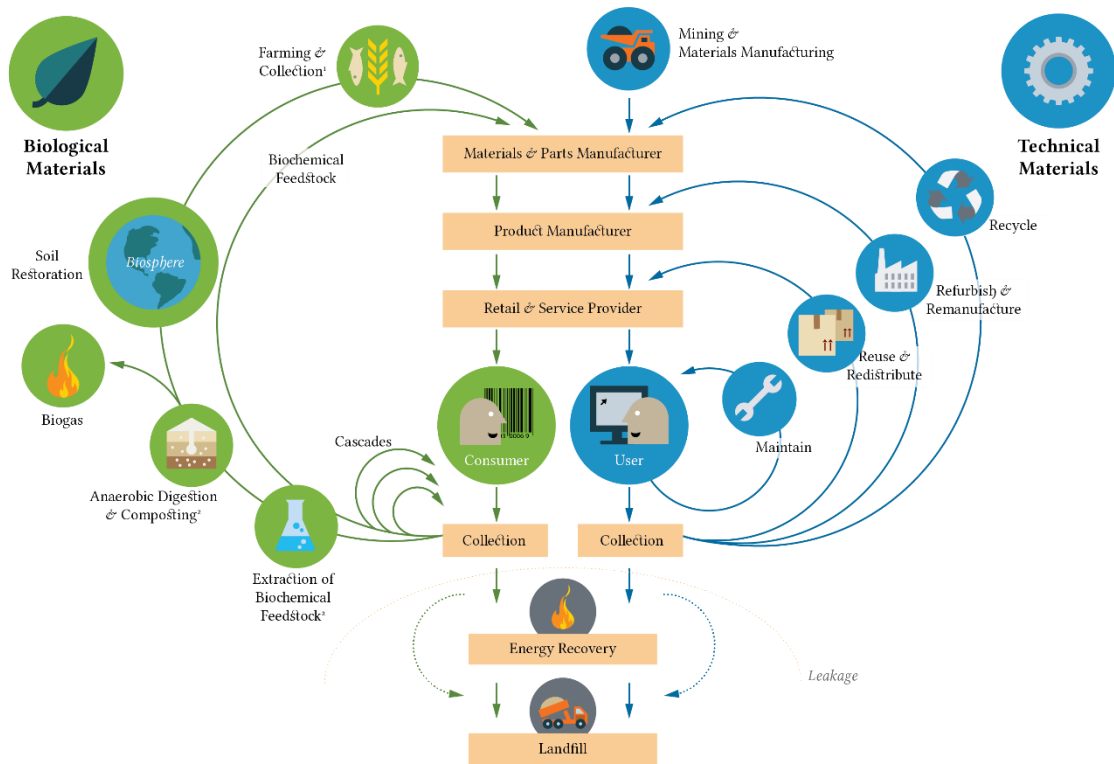
4.1.2 Polttaminen

Kaatopaikkasijoittamisen osuutta jätteiden hävittämisessä on viime vuosina eniten syrjäyttänyt polttaminen (Tilastokeskus). Jätteitä polttamalla saadaan niissä oleva energia talteen sähkön ja lämmön muodossa, jonka takia käsittelytapaa kutsutaan yleisesti energiahyödyntämiseksi. Palamistuotteina syntyy suurimmaksi osaksi savukaasuja mutta myös tuhkaa. Savukaasut ovat ongelmallinen osa jätteiden polttoa, koska ne sisältävät myrkyllisiä yhdisteitä. Tämän takia iso osa jätteenpolton resursseista menee savukaasujen puhdistamiseen. Suurin osa polttamisessa syntyvästä kiinteästä materiaalista on tuhkasta ja palamattomista jätteistä koostuvaa pohjakuonaa. Pohjakuonaa käytetään uusiomateriaalinen rakentamisessa vaihtelevin määrin eri valtioissa. Käyttämätön pohjakuona viedään kaatopaikoille. (Christensen 2010 s. 366, 393, 430–463)

Jätteiden polttaminen on kaatopaikkaa tehokkaampi ratkaisu, koska polttamalla voidaan ottaa vapautuvaa energiaa talteen ja pohjakuonaa voidaan käyttää uusiomateriaalina. Polttamista ei kuitenkaan voida pitää kierrättämisenä, koska materiaali poistuu kierrosta. Vielä tehokkaampi tapa on siis hyödyntää jätteet materiaaleina, jota käsitellään seuraavaksi.

4.2 Kiertotalous

Kiertotaloudesta on tullut yleisesti käytetty termi talouden muodolle, jossa materiaali pysyy mahdollisimman kauan kierrossa palveluiden, huollon ja kierrätyksen avulla. Yritykset saavat uusia liiketoimia kiertotalouden muodoista suojaten samalla ympäristöä ja edistäen ihmisten hyvinvointia. Tällainen talouden muoto mahdollistaa kestävä kehityksen kolme osa-aluetta: talouden, ympäristön ja sosiaalisen kehityksen. (Ncibi & Sillanpää 2019, s. 1, 12–13)



Kuva 5 Kiertotalousjärjestelmän kaavio (Ellen MacArthur Foundation 2019)

Kuvassa 4 nähdään kiertotalouden mukaiset toimenpiteet käytön jälkeen. Kierrosta poistumisen vaiheet energian talteenotto ja kaatopaikat käytiin jo läpi, joten tässä luvussa tarkastellaan kierrätystä, uudelleenvalmistusta ja uudelleenkäyttöä.

4.2.1 Kierrätys

Kierrätys on jätteen muuntamista takaisin käytettäväksi materiaaliksi (eng. end-of-waste, lyh. EOW). Euroopan komission direktiivissä 2008 (European Commission 2008) EOW-statukselle on määritetty seuraavat neljä kriteeriä:

1. Ainetta tai esinettä käytetään tiettyihin tarkoituksiin.
2. Tällaiselle aineelle tai esineelle on markkinoita tai kysyntää
3. Aine tai esine täyttää tarkoituksia koskevat tekniset vaatimukset ja tuotteisiin sovellettavan nykyisen lainsäädännön ja standardit.
4. Aineen tai esineen käyttö ei johda haitallisiin ympäristö- tai terveysvaikutuksiin.

Kriteerit helpottavat jokaista eri materiaali- ja jätevirtaa tunnistamaan omat EOW pisteensä, joka taas edistää kierrätyksen standardointia. (Ragossnig & Schneider 2019)

Tuotteen kierrättävyyteen vaikuttaa sen materiaalikoostumus. Mitä enemmän eri materiaaleja tuotteessa, sitä enemmän joudutaan tekemään erottelua. Tuotteen materiaalien

eroteltavuus oli lähtökohta Gutowskin & Dahmuksen kierrätyksen kannattavuuden mitaamiselle. He vertasivat tuotteessa olevien materiaalien markkina-arvoa ja niiden eroteltavuutta. (Dahmus & Gutowski 2007)

Mohamed Sultan et al. kehittivät tuotteen kierrättämisen haluttavuuden mittarin, joka on kehitys aikaisemmasta kannattavuuden mittarista. Haluttavuus on summa tuotteen materiaalien erottelun yksinkertaisuudesta, materiaalien kriittisyydestä ja kierrätysteknologian valmiudesta. Materiaalin kriittisyydellä tarkoitetaan sen saatavuutta ja tärkeyttä valmistuksessa. Vertaamalla haluttavuutta ja tuotteen materiaalien arvoa, voidaan päätellä mitä tuotteita tulisi kierrättää. (Mohamed Sultan et al. 2017)

Kuvasta 4 nähdään, että kolmesta kiertotalouden vaihtoehdosta, kierrätyksen kierros takaisin käyttöön on pisin. Kierrätyksessä säästyy pelkästään uusien raaka-aineiden hankkiminen, valmistusprosessi suoritetaan yhä alusta loppuun. Tämä tarkoittaa, että kierrätys vaatii enemmän työtä kuin uudelleenvalmistus tai uudelleenkäyttö, minkä syystä ne menevät etusijalle.

4.2.2 Uudelleenvalmistus

Uudelleenvalmistus on houkutteleva liiketoimintamalli yrityksille, koska se tuo kilpailuetua pienentämällä kustannuksia, saavuttamalla uusia asiakkaita ja parantamalla ympäristönsuojelua. Uudelleenvalmistuksella tarkoitetaan prosessia, jossa käytetty tuote palautetaan toimivaan kuntoon erilaisilla toiminnoilla. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi tarkastaminen, purkaminen, puhdistaminen, kokoaminen ja testaaminen. Prosessi eroaa huollosta ja korjaamisesta, koska uudelleenvalmistuksessa tuote palaa takaisin valmistajalle ja yleensä päätyy uudelle käyttäjälle. Normaalisti valmistuksesta uudelleenvalmistus taas eroaa siinä, että uudelleenvalmistuksessa ei ole vakioitua prosessia. Normaali valmistus on monessa tapauksessa helppoa ja halpaa toteuttaa automaatiolla, mutta lähes kaikki uudelleenvalmistus joudutaan tekemään manuaalisesti. Käytöstä poistuneet tuotteet ovat keskenään erilaisia, joten ne vaativat erilaisia toimenpiteitä. (Charter 2019 s. 186–192)

Kierrätykseen verrattuna uudelleenvalmistuksessa syntyy vähemmän ympäristövahinkoja, koska uudelleenvalmistuksessa osat ovat jo valmiiksi muotoiltu. Samasta syystä uudelleenvalmistuksen kustannukset ovat valmistusta pienemmät. Ongelmia kustannuksissa ovat niiden epävarmuus. Tarvittavien operaatioiden määrä vaihtelee tuotteiden välillä ja kustannukset ja ympäristövaikutukset kasvavat operaatioiden määrän kasvaessa. (Liao et al. 2018) Minjung ja Harrison (2017) painottavat käytettyjen tuotteiden määrän

ja takaisinostohinnan sekä uudelleenvalmistetun tuotteen myyntihinnan merkitystä taloudellisen voiton maksimoinnissa.

4.2.3 Uudelleenkäyttö

Uudelleenkäytössä tuotetta ei tuhota, vaan se käytetään uudelleen joko samaan tai toiseen tarkoitukseen. Kiertotalouden silmukassa uudelleenkäytetty tuote palaa käyttöön jonkin palvelun kautta käymättä välissä valmistajalla. Autot ovat hyvä esimerkki jo olemassa olevasta uudelleenkäytetyistä tuotteista. Autokaupat myyvät enemmän käytettyjä autoja, kuin uusia tehtaalta tulleita. Tällainen palvelu pidentää auton ikää ja vähentää sen hävittämisestä aiheutuvia kustannuksia. (Cooper & Gutowski 2017) Suuremmat tuotteet, kuten autot, ovat haluttuja tuotteita uudelleen käyttää niiden arvon vuoksi, mutta vähemmän arvokkaiden tuotteiden myynti käytettyinä on yleistynyt. Kirpputorit ovat yhä suosittuja ja nettikauppa helpottaa kahden osapuolen välisen vaihtokaupan.

Käytön iän pidentämistä ei voida kuitenkaan aina pitää kustannustehokkaimpana ratkaisuna. Jos vanha tuote on energiatehokkuudeltaan uutta huonompi, voi sen käyttö tulla lopulta kalliimmaksi. (Cooper & Gutowski 2017) Auton tapauksessa tämä tarkoittaisi, että on parempi ostaa uusi auto kuin jatkaa vanhalla autolla, joka kuluttaa enemmän polttoainetta ja vaatii enemmän korjauksia kuin uusi.

5. TYÖKALUT JA METODIT

Tähän mennessä on käyty läpi konseptointi ja tuotteen EOL. Tämän luvun tarkoitus on tuoda nämä yhteen ja tutkia, miten konseptoinnilla voidaan vähentää tuotteen EOL-vaiheessa syntyviä kustannuksia. Ensiksi käydään läpi, miten konseptivaiheessa voi tunnistaa EOL-kustannuksia, jonka jälkeen esitetään erilaisia suunnitteluperiaatteita kiertoalouden edistämiseksi. Lopussa nämä periaatteet yhdistetään konseptointiin ja EOL-kustannuksiin.

5.1 Kustannusten tunnistaminen

Aluksi on hyvä tunnistaa syyt miksi valmistava yritys ottaisi tuotteen EOL-kustannukset huomioon, sillä se kattaa vain pienen osan koko tuotteen elinkaaren kustannuksista. Tällä hetkellä merkittävin syy, miksi yritykset suunnittelevat EOL:ää varten, on lainsäädännön tuomat pakotteet. Esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkalaitteiden valmistajilla on tuottajavastuu, eli he ovat velvollisia hoitamaan tuotteidensa jätehuollosta (Tukes). Pitkään tuotteissa on täytynyt olla energiamerkintä ja nyt sen lisäksi on EU:ssa suunnitteilla merkintä tuotteen huollettavuudelle. Toinen syy EOL-suunnittelua varten on markkinointi. Asiakkaita kiinnostaa yhä enemmän tuotteen ympäristövaikutukset, joten markkinoimalla tuotetta vihreänä, voi yritys kasvattaa myyntiään. Viimeinen ja selkein syy tuotteen EOL-suunnittelua varten on EOL-kustannusten pienentäminen. (Cheung et al. 2015)

Kriittinen tekijä kierrätyksen ja uudelleentuloisuuden kustannusten tunnistamiseen aikaisessa vaiheessa on tuotteessa olevien osien määrä. Tämä johtuu siitä, että molemmissa tapauksissa tuote tullaan purkamaan ainakin jossain määrin. Uudelleentuloisudessa tuotetta ei yleensä pureta kokonaan, vaan tärkeintä on saavuttaa arvokkaimmat kokonaisuudet (Soh et al. 2015). Mitä enemmän tuotteessa on osia, sitä enemmän tehdään työtä ja sitä enemmän nousee kustannukset. Suunnitteluvaiheessa voidaan myös käyttää apuna vikaantumisdataa. Jos tuotteessa on osa, jonka odotettu elinkaari on kaksi kertaa pienempi kuin koko tuotteen, niin silloin tuotteen kannattaa mennä uudelleentuloistukseen, jossa kriittinen osa joko vaihdetaan tai korjataan. Toisaalta jos kriittinen osa on hyvässä kunnossa tuotteen EOL-vaiheessa, voidaan se erikseen poimia tuotteesta ja käyttää uudelleen pienin kustannuksin. (Cheung et al. 2015)

5.2 Suunnitteluperiaatteet

Tässä luvussa käsitellään kolmea suunnitteluperiaatetta, jotka edistävät tuotteen tuomaa arvoa sen elinkaaren lopussa. Periaatteet käydään läpi 'Design for X' (lyh. DFX) -metodeilla. DFX-metodeissa X on jokin tuotteeseen liittyvä ominaisuus, johon suunnittelussa kiinnitetään erityistä huomiota (Andreasen et al. 2015, s. 348–349). Tässä työssä käydään läpi kolme ominaisuutta: kestävyys, purettavuus ja kierrätettävyys. Kestävyys pitää tuotteen kierrossa pidempään ja samalla mahdollistaa uudelleenkäytön. Purettavuus pidentää tuotteen ikää huollettavuuden helpottamisella ja on tärkeä osa uudelleenvalmistusta ja kierrätystä. Aluksi käydään läpi kestävyys ja purettavuus, koska ne pitää tuotteen kierrossa ja ovat sen takia tehokkaimpia ratkaisuja. Lopulta tuote ei kuitenkaan enää pysy ehjänä ja sen on mentävä kierrätyksen läpi ja se käsitellään viimeisenä.

5.2.1 Design for durability

Kestävä tuote pysyy käytössä pitkään ja tuottaa enemmän arvoa elinkaarensa aikana. Kestävät tuotteet pysyvät ehjänä ja se mahdollistaa niiden uudelleenkäytön eri omistajien välillä. Osa valmistajista suunnittelee tuotteensa hajoamaan ennen aikaisesti lisätäkseen myyntiään. Tätä toimintaa vastaan on EU:ssa asetettu kahden vuoden takuu tuotteille ja Ranskassa ennen aikaisen hajoamisen suunnittelu on lain mukaan rangaistava teko. (Maitre-Ekern 2016) Nyt kuitenkin kestävyyttä pidetään tavoiteltavana ominaisuutena jo aiemmin mainitun ekologisen ja kuluttajakäyttäytymisen muutoksen takia.

Tuote voi olla sekä käytön että ulkonäön kannalta kestävä. Käytön kestävyys vaikuttaa tuotteen kykyä kestää vaurioita ja kulumista. Suunnittelija voi lisätä tuotteen vaurioiden sietokykyä lisäämällä vahvistavia rakenteita tuotteen heikoimpiin kohtiin. Materiaalivalinta vaikuttaa vaurioihin ja kulumiseen. Pitkällä aikavälillä materiaali väsyä, mikä lisää todennäköisyyttä säröille ja lopulliselle vauriolle. Materiaalin kovuus ilmaisee sen kykyä vastustaa naarmuuntumista ja muita pinnan muodonmuutoksia. Naarmuja vakavampaa kulumista syntyy liikkuvissa osissa kitkan takia. Kitkan aiheuttaman kulumisen hallitsemiseksi voidaan valita eri keinoja: voiteluaineet, pinnoitteet, jännitysten pienentäminen ja karkaiseminen (Lehtovaara 2021).

Välillä tuotteesta luovutaan vielä sen toimiessa, koska sen ulkonäkö ei enää miellytä. Suunnittelijan tehtäväksi nousee siis myös tuotteen esteettinen kestävyys. Ajattomuus on olennaisin tekijä tuotteen esteettisyyden säilyttämisessä. Neutraalius, minimaalisuus, symmetrisuus ja värien harmonisuus ovat hyviä ajattomuuden ohjenuoria. (Harper 2018 s. 1–4) Toinen merkittävä tekijä mikä kannattaa huomioida on ikääntyminen, eli mitä ma-

terialle tapahtuu ajan kuluessa. Esimerkkinä tästä toimii valkoiset muovit, mitkä ostohetkellä ovat kauniin puhtaita, mutta muuttuvat vuosien kuluessa ikävän keltaisiksi. Vastakohtaisesti nahka ja jotkin metallit paranevat iän myötä.

5.2.2 Design for disassembly

Tuotteen uudelleenvalmistusta ja kierrätystä voi konseptivaiheessa edesauttaa suunnitelmalla tuote helposti purettavaksi (eng. design for disassembly, lyh. DFD). DFD suosii enemmän uudelleenvalmistusta, koska kierrättäessä purkaminen on yleensä tuotetta tuhoavaa toimintaa.

Tärkeimmät DFD-strategiat liittyvät osien ja liitosten määrään sekä laatuun ja purkamisjärjestykseen. Luonnollisesti mitä vähemmän osia on tuotteessa, sitä vähemmän on purettavaa. Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta, että tuote ei olisi yhtä arvokas, vaan samat ominaisuudet saadaan aikaiseksi vähemmällä määrällä osia. (Talen Peiró et al. 2017) Tästä esimerkkinä voi käyttää tietokoneen näppäimistö. Sen sijaan että jokainen nappi olisi oma osansa, voisi näppäimistö olla yksi iso osa.

Osat ovat toisissaan kiinni erilaisilla liitoksilla ja kiinnikkeillä. Niiden tehtävä on tietenkin pitää tuote kasassa ja purkamisen tavoite menee juuri sitä tehtävää vastaan. Purkamista varten liitoksia tulisi olla mahdollisimman vähän ja niiden tulisi olla yksinkertaisia. Yksinkertaisimpia kiinnikkeitä purkamisen kannalta ovat kiinnikkeet, jotka eivät vaadi työkaluja avaamiseen. (Talen Peiró et al. 2017) Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset napsautettavat ja kierrettävät kiinnikkeet. Jos tällaiset kiinnikkeet eivät ole järkeviä tuotteen kannalta, niin kannattaa ne suunnitella tarvittavien työkalujen kautta. Purkamisessa säästyy huomattavasti aikaa ja sitä kautta kustannuksia, jos työkaluja ei täydy jatkuvasti vaihtaa. Ymmärrettävä esimerkki tästä ovat ruuvit ja ruuvimeisseli. Tuotteen purkaminen on työllästä, jos se sisältää monta erilaista ruuvia, joita varten pitää vaihtaa ruuvimeisseliä. Standardointi on hyödyllinen väline tähän ongelmaan. Samalla on järkevää suunnitella kiinnikkeiden paikat helposti käsiteltäviksi. Huonoimpia liitoksia purkamista ajatellen ovat liimaaminen ja hitsaaminen, koska liimattujen osien purkamiseen tarvitaan liuottimia ja hitsattuja osia ei voida purkaa vahingoittamatta tuotetta.

Purkamisjärjestyksellä on suuri vaikutus uudelleenvalmistuksen helppouteen. On monta eri reittiä, miten tuote voidaan purkaa, jotta päästään haluttuun tilaan. Suunnitteluvaiheessa tämä haluttu tila voidaan päätellä tunnistamalla tuotteen arvokkaat komponentit. Sen jälkeen voidaan tunnistaa kaikki purkamisen reitit ja löytää niistä lyhin. Lyhin reitti ei välttämättä ole kuitenkaan tehokkain, jos se on käytännön tasolla vaikea. Käytännön

vaikuteen vaikuttaa aiemmin mainitut osien ja liitosten yksinkertaisuus ja saavutettavuus, joten suunnittelemalla lyhimmän purkureitin käytännön toiminnot, voi suunnittelija optimoida uudelleenvalmistuksen kustannukset. CAD-ohjelmat ja räjäytyskuvat ovat hyödyllisiä työkaluja suunnittelijalle parhaimman purkureitin tunnistamiseen. (Soh et al. 2015; Talen Peiró et al. 2017)

DFD pidentää tuotteen ikää huoltamisen avulla, koska purettavuus on iso osa tuotteen huollettavuutta. Jotkin yritykset suunnittelevat tahallaan tuotteensa vaikeasti korjattavaksi samaan tapaan kuin ennenaikaisen hajoamisen, jotta ihmiset joutuisivat ostamaan uusia tuotteita. EU:n 1.3.2021 voimaan tullut direktiivi kamppailee tämän harjoittamista vastaan asettamalla huoltovaatimuksia jääkaapeille, pesukoneille, TV:lle ja pyykinpesukoneille. Direktiivin mukaan valmistajien tulee tarjota huoltopalveluita ja tuotteiden on oltava huollettavissa yleisesti saatavilla työkaluilla. (ifixit.com 25.3.2021)

Huollettavuuden ominaisuuksia voidaan tunnistaa tarkastelemalla iFixit.com -sivun (25.3.2021) arvostelemia kannettavia tietokoneita asteikolla yhdestä kymmeneen sen mukaan, kuinka helppo niitä on huoltaa. Viimeisellä sijalla arvosanalla 0 on Microsoftin Surface Laptop 2017. He sanovat, että koneen sisään ei pääse aiheuttamatta vahinkoa, kuulokeliitäntä on modulaarinen, mutta ensin pitää irrottaa jäähdytyslementti, tuuletin, näyttö ja emolevy. Lisäksi CPU, RAM ja kovalevy ovat juotettu emolevyyn. Ensimmäisellä sijalla arvosanalla 10 on EliteBook 800 G5 2020. Siitä he kehuvat, että RAM, SSD ja akku ovat helposti saatavilla ja irrotettavia, kaikki liikkuvat osat ovat modulaarisia ja näytön voi nopeasti korvata ilman enempää purkamista. Arvosteluista erotetaan selvästi modulaarisuuden tärkeys. Osien ollessa yksinäisiä modulaarisia kokonaisuuksia, ei täydy hävittää koko tuotetta yhden osan hajotessa. Modulaarisuus mahdollistaa myös osien päivittämisen, tehden tuotteesta entistä paremman.

5.2.3 Design for recycling

Lopulta tuotteen rakennetta ei enää voida pitää ehjänä, jolloin kierrätyksestä tulee kustannustehokas ratkaisu. DFD on yksi osa tuotteen kierrätettävyyttä, ja tuotteessa käytettävät materiaalit ovat toinen asia millä suunnittelija voi parantaa kierrätettävyyttä konseptivaiheessa. de Aguiar et al. (2017) tunnistaa neljä materiaaleihin liittyvää aluetta, jotka vaikuttavat tuotteen kierrätettävyyteen: infrastruktuuri, yhteensopivuus, haitalliset materiaalit ja saastuminen.

Infrastruktuurilla tarkoitetaan mitä teknologioita, logistiikkoja ja laitoksia on olemassa tuotteessa käytetyille materiaaleille. Jos osat ovat keskenään yhteensopivia, voidaan niitä käsitellä yhdessä. Tämä helpottaa kierrätystä, koska osia ei silloin tarvitse purkaa

ja lajitella. Haitallisten materiaalien sisällyttäminen tuotteeseen vaikeuttaa kierrätystä, koska ne pitää käsitellä erikseen omilla toimenpiteillään. Saastumisella tarkoitetaan materiaalien ominaisuuksien muuttumista. Ominaisuudet voivat muuttua esimerkiksi valmistuksen pinnoituksessa sekä käytön aikana ruostuessa. (de Aguiar et al. 2017)

Näiden neljän osa-alueen avulla voidaan tunnistaa, miten suunnittelija voi materiaalivalinnoillaan lisätä tuotteen kierrätettävyyttä. Infrastruktuurin kannalta on valittava materiaaleja, joille on olemassa paikallinen kierrätysverkosto. Käytännössä tämä tarkoittaa helposti kierrätettävien materiaalien käyttöä. Mahdollisimman vähän erilaisten materiaalien käyttö lisää tuotteen yhteensopivuutta. Jos tuotteessa on käytetty vain yhtä materiaalia, on se erittäin helppo kierrättää. Modulaarisuus lisää yhteensopivuutta, jos osakokonaisuudet voidaan käsitellä sellaisenaan. Haitallisten aineiden vähentäminen lisää kierrätettävyyttä, mutta jos haitallisia aineita on pakko käyttää, tulee niiden erottamisen olla helppoa. Saastumisen vähentämiseksi voidaan valita materiaaleja, joita ei tarvitse pinnoittaa ja jotka ovat korroosionkestäviä.

5.3 Kustannuksiin vaikuttaminen konseptivaiheessa

Tämän luvun tarkoituksena on yhdistää edellisen luvun DFX-metodit aiemmin läpikäytyyn konseptivaiheeseen ja tutkia niiden vaikutuksia tässä työssä esitettyihin tuotteen EOL-muotoihin. Ongelmaa lähestytään käytännön esimerkillä ja sen kautta laajennetaan yleisemmäksi.

Konseptoinnin ideointivaiheessa ei vielä kannata tuoda esille EOL-kustannuksia, koska ne rajoittavat syntyvien ideoiden määrää ja tällöin voi parhaat ratkaisut joutua löytymättä. Ideointivaiheen jälkeen tuleva ratkaisujen järjestelmällisen tutkimuksen vaihe on siis oikea hetki, jolloin alkaa ottamaan huomioon tuotteen EOL-kustannuksia. Vertailtavien ratkaisujen yhdeksi painopisteeksi katsotaan niiden soveltuvuus ja vaikutus eri EOL-muotoihin. Samaa periaatetta voi käyttää konseptin valinta vaiheessa, jossa valintamatriisiin asetetaan EOL-kriteerejä pisteytettäväksi. Kuten tässä työssä on käyty läpi, eniten hyötyä tuotteista elinkaaren lopussa saadaan kiertotalouden muodoilla, jolloin vältetään kaatopaikkasijoittaminen ja polttaminen.

Lähestytään asiaa käytännön esimerkillä tutkimalla kahta erilaista kynää: kuulakärki- ja täytekyntää. Aluksi on syytä huomioida, miksi kynien EOL:lla on väliä. Kyniä on maailmassa miljardeja digitalisaatioista huolimatta, ja ne ovat usein herkästi pois heitettävissä halvan hintansa vuoksi, joten jätettä niistä syntyy paljon. Kuulakärki- ja täytekyntällä on

sama tavoite saada mustetta paperille, mutta erilaiset ratkaisut sen saavuttamiseen. Niimensä mukaan kuulakärkikynässä on kynän kärjessä kuula, joka levittää musteen paperille. Täytekyynässä muste saadaan kynän kärkeen kapillaari-ilmion avulla.

Kuulakärkikynän kärjen täytyy olla sisään vedettävä musteen kuivumisen estämiseksi. Yleinen ratkaisu sisään vedettävyyteen on jousimekanismi, mikä ei ole tässä työssä opitun pohjalta hyvä ratkaisu. Jousi väsyvä käytössä ja lopulta ei enää toimi, jolloin kynä heitetään pois, mahdollisesti vielä mustetta sisällään. Jousi lisäksi vaikeuttaa kierrättämistä, koska se on ylimääräinen osa ja metallia. Olemassa oleva ratkaisu sisään vedettävyydelle on kiertomekanismin käyttö. Konseptivaiheessa siis pelkästään kiertomekanismin valitseminen jousen sijasta lisäisi kierrätettävyyttä sekä käyttöikää, joka puolestaan vähentää kaatopaikkakuormaa ja jätteiden polttoa.

Molempien kynien tulee myös säilöä muste jollakin tavalla. Täytekyynän ratkaisu on EOL mielessä parempi, koska sen mustesäiliö on tarkoitettu uudelleenkäytettäväksi. Kuulakärkikynä joutaa taas roskikseen, kun siitä muste loppuu. Täytekyynän ratkaisu siis mahdollistaa uudelleenkäytön periaatteessa loputtomia kertoja.

Kootaan tämän esimerkin ja aiemmin käytyjen periaatteiden perusteella taulukko, jossa selvennetään konseptivaiheessa tehtävien päätösten vaikutuksia tuotteen EOL-kustannuksiin. Konseptivaiheessa tehtäviä päätöksiä on luonnollisesti paljon enemmän, kuin mitä taulukossa on esillä. Taulukon tarkoitus onkin ennemmin näyttää tuotekehittäjälle, miten päätökset vaikuttavat tuotteen EOL-kustannuksiin, ja soveltaa sitä oman tuotensa ratkaisuihin.

Taulukko 1. Konseptivaiheen päätösten vaikutuksia kiertotalouden muotoihin.

Konseptivaiheen päätös	Kierrätys	Uudelleenvalmistus	Uudelleenkäyttö
Vähemmän osia	+ Vähemmän eroteltavaa	+ Vähemmän purettavaa/vaihdeettavaa	
Osien yhteensovittavuus	+ Vähemmän erilaisia materiaaleja		
Liikkuvien ja kuluvien osien minimointi			+ Kestävyys
Liikkuvien ja kuluvien osien käsiteltävyys	+ Purettavuus	+ Purettavuus ja osien vaihdettavuus	+ Huollettavuus
Modulaarisuus	+ Purettavuus	+ Purettavuus ja osien vaihdettavuus	+ Huoltaminen ja päivittäminen
Väsyvien mekaanismien, kuten jousien, välttäminen			+ Kestävyys
Haitallisten aineiden, esim. paristojen, välttäminen	+ Ei ylimääräistä vaivaa		
Yksinkertaiset liitokset	+ Purettavuus	+ Purettavuus	+ Huollettavuus

Lopuksi vielä todetaan, että säästöjä tuotteen EOL-kustannuksiin jokaisesta kolmesta kiertotalouden muodosta tulee purettaessa kaatopaikkojen kuormaa ja vähentämällä jät-
teiden polttoa. Uudelleenvalmistuksessa ja kierrätyksessä lisää säästöä tulee siihen teh-
dyn työn helpottamisesta ja nopeuttamisesta ja uudelleenkäytössä säästöä tulee tuot-
teen pidennetystä eliniästä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää, miten suunnittelija voi tuotekehityksen konseptivaiheessa vähentää valmistettavan tuotteen EOL-kustannuksia. Ensiksi työssä luotiin pohja tälle kysymykselle selventämällä konseptoinnin rooli tuotekehitysprosessissa ja mitä tuotteelle voi tapahtua siitä luovuttaessa. Kustannustehokkaiksi EOL-malleiksi valikoitui kiertotalouden muodot: kierrätys, uudelleenvalmistus ja uudelleenkäyttö. Sen jälkeen työssä tutkittiin, miten tuotteen voi suunnitella näitä kolmea kiertotalouden muotoa varten.

Uudelleenkäyttöä varten suunnitellun tuotteen tärkeimmäksi ominaisuudeksi tuli kestävyys. Kävi ilmi, että kestävyteen vaikuttaa tuotteen fyysisten ominaisuuksien lisäksi tuotteen esteettinen kestävyys. Purettavuutta voidaan pitää tuotteen tärkeimpänä ominaisuutena EOL-kustannuksia ajatellen, koska se edistää jokaista kolmea läpikäytyä muotoa. Tuotteen ikää voidaan pidentää purkamalla ja päivittämällä osia, uudelleenvalmistus on halpaa ja helppoa silloin kun tuote on purettavissa ja kierrätys vaatii tuotteen purkamisen eri osiin. Tuotteen kierrätettävyyteen vaikutti purettavuuden lisäksi siihen valitut materiaalit ja niille olemassa oleva infrastruktuuri.

Arvioimalla tuotteen konseptivaiheen vaihtoehtoisia ratkaisuja pitäen mielessä nämä kiertotalouteen vaikuttavat ominaisuudet, voi suunnittelija vaikuttaa EOL-kustannuksiin. Mielessä pidettäviä ominaisuuksia on enemmän mitä tässä työssä voidaan esittää, joten jatkotutkimuksena olisi hyvä tunnistaa niitä lisää. Hyödyllistä kehitystä olisi myös tutkia tiettyjen tuotteiden EOL-kustannuksia, joita ei vielä tähän mennessä ole otettu kunnolla huomioon. Suurinta huomiota tähän mennessä ovat saaneet isot laitteet, mutta kuten aiemmin todettiin, voi pienemmilläkin tuotteilla olla isot vaikutukset. Syytä on kuitenkin muistaa, että tuotteen EOL-kustannukset ovat vain yksi osa erittäin laajaa aluetta, eli kompromissit ovat väistämättömiä.

Yritysten EOL-ajatteluun on tähän mennessä pitkälti vaikuttanut lain asettamat painokset. On kuitenkin selvää, kuten tässä työssäkin huomattiin, että suunnittelulla EOL:ää varten on suuret mahdollisuudet muuttuvassa maailmassa. Suunnittelu kiertotalouden muotoja varten edistää tietenkin kiertotalouteen siirtymistä, mutta myös kasvattaa siitä saatuja hyötyjä. Yritysten tilaisuutena on omaksua kiertotalouden liikemuotoja ja sisällyttää ne osaksi heidän tuotekehitysprosessinsa ja konseptoinnin tavoitteita. Tällöin kasvaneen liiketoiminnan lisäksi yritys auttaa myös vähentämään ympäristövaikutuksia.

LÄHTEET

Andreasen, M. M., Hansen, C.T. & Cash, P. (2015). *Conceptual design: Interpretations, Mindset and Models*. Springer International Publishing AG, 394 p.

Brown, S. & Eisenhardt, K. (1995). Product Development: Past Research, Present Findings, and Future Directions. *The Academy of Management review*, Vol.20 (2), pp. 343–378.

Cankurtaran, P., Langerak, F. & Griffin, A. (2013). Consequences of new product development speed: a meta-analysis. *The journal of product innovation management*, 2013, Vol.30 (3), pp. 465–486.

Charter, M. (2019). *Designing for the circular economy*. Abingdon, Oxon: Routledge, 425 p.

Cheung, W., Marsh, R., Griffin, P., Newnes, L., Mileham, A. & Lanham, J. (2015). Towards cleaner production: a roadmap for predicting end-of-life costs at early design concept. *Journal of cleaner production*, Vol.87, pp. 431–441.

Christensen, T. (2010). *Solid Waste Technology and Management*. Hoboken: John Wiley & Sons, incorporated p. 1026.

Cooper, D.R. & Gutowski, T.G. (2017). The Environmental Impacts of Reuse: A Review. *Journal of industrial ecology*, Vol.21 (1), pp. 38–56.

Cooper, R.G. (2008). Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process—Update, What’s new, and NexGen Systems. *The Journal of product innovation management*, 2008-05, Vol.25 (3), pp. 213–232.

Dahmus, J. & Gutowski, T. (2007). What Gets Recycled: An Information Theory Based Model for Product Recycling. *Environmental science & technology*, 2007-11-01, Vol.41 (21), pp. 7543–7550.

de Aguiar, J., de Oliveira, L., da Silva, J., Bond, D., Scalice, R. & Becker, D (2017). A design tool to diagnose product recyclability during product design phase. *Journal of cleaner production*, 2017-01-10, Vol.141, pp. 219–229

Eurostat, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.3.2021): ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_treatment.

European Commission (2008) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*.

Ehrenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U. & Hundal, M. (2007). *Cost-Efficient design*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 544 p.

Ellen MacArthur Foundation, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.3.2019): ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail.

Girotra, K., Terwiesch, C. & Ulrich, K.T. (2010). Idea Generation and the Quality of the Best Idea. *Management science*. [Online] 56 (4), 591–605

Hansen, C.T. & Andreasen, M.M. (2007). Specifications in early conceptual design work. *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design*, Vol. 42.

Harper, K. (2018). *Aesthetic Sustainability: Product Design and Sustainable Usage*. 1st edition, Milton Routledge, 170 p.

Hippel, E. von. (2005) *Democratizing innovation*. Cambridge Mass.: MIT Press, 204 p.

iFixit, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): ifixit.com

Lehtovaara, A. (2021). *Introduction to Tribology luentosarja*, Tampereen yliopisto

Liao, H., Deng, Q., Wang, Y., Guo, S. & Ren, Q. (2018). An environmental benefits and costs assessment model for remanufacturing process under quality uncertainty. *Journal of cleaner production*, 2018-03-20, Vol.178, pp. 45–48.

Maitre-Ekern, E. & Dalhammar C. (2016) *Regulating Planned Obsolescence: A Review of Legal Approaches to Increase Product Durability and Reparability in Europe*. *Review of European, comparative & international environmental law*, 2016-11, Vol.25 (3), pp. 378–394

Minjung, K. & Harrison, K. (2017). Green profit maximization through integrated pricing and production planning for a line of new remanufactured products. *Journal of cleaner production*. 2017-01-20, Vol.142, pp. 3454–3470.

Mital, A. (2008). *Product development a structured approach to consumer product development, design, and manufacture*. Amsterdam; Butterworth-Heinemann, An imprint of Elsevier, p. 444.

Mohamed Sultan, A., Lou, E. & Mativenga, P. (2017). What should be recycled: An integrated model for product recycling desirability. *Journal of cleaner production*, 2017-06-15, Vol.154, pp. 51–60.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3rd edition, 2007, London: Springer London, 629 p.

Ragossnig, A. & Schneider, D. (2019). Circular economy, recycling and end-of-waste. *Waste management & research*, 2019-02, Vol.37 (2), pp. 109–111.

Sillanpää, M. & Ncibi, M. (2019). *The circular economy: case studies about the transition from linear economy*. London: Academic Press, 335 p.

Soh, S., Ong, S.K. & Nee, A.Y.C (2015). Application of Design for Disassembly from Remanufacturing Perspective. *Procedia CIRP*, 2015, Vol.26 pp. 577–582.

Talen Peiró, L., Ardente, F. & Mathieux, F. (2017). Design for Disassembly Criteria in EU Product Policies for a More Circular Economy: A Method for Analyzing Battery Packs in PC-Tablets and Subnotebooks. *Journal of industrial ecology*, 2017-06, Vol.21 (3), pp. 731–741

Tilastokeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.3.2021): stat.fi/til/jate/index.html

Tukes, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.3.2021): tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/sahko-ja-elektroniikkalaiteromuser-weee.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2012). *Product design and development*. 5th edition. New York: McGraw-Hill Irwin. 415 p.