

Juho Loponen

LIKKUVIEN TYÖKONEIDEN JA TUO- TANTOLAITTEIDEN MODERNISOINTI KIERTOTALOUDEN LÄHTÖKOHDISTA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Nillo Adlin
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Juho Loponen: Liikkuvien työkoneiden ja tuotantolaitteiden modernisointi kiertotalouden lähtökohdista
Kandidaatintyö, 33 sivua
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2021

Kiertotalouden liiketoimintamallit ovat viime aikoina olleet tutkimusten kohteena. Liiketoimintamallien keskeisenä ajatuksena on resurssien tehokkaampi käyttäminen ja laitteiden käyttöiän pidentäminen. Samaan aikaan modernisointi on prosessi, jolla olemassa olevaan laitteeseen tuodaan uusia ominaisuuksia tai sen olemassa olevia ominaisuuksia parannetaan, jotta konetta voidaan hyödyntää pidempään.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa kokonaiskuvaa modernisoinnista osana kiertotaloutta sekä selvittää modernisoinnin tuotekehitykseen liittyviä haasteita. Lisäksi työssä esitellään työkaluja tuotekehityksen haasteiden ratkaisemiseen. Käsitettä modernisoinnin tuotekehitys käytetään tarkoittamaan suunnittelutyötä, jonka tavoitteena on modernisoidun laitteen suunnittelu olemassa olevan laitteen pohjalta. Työ toteutetaan strukturoituna kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen internetistä löytyviä tietokantoja. Aihepiiristä poimituilla hakusanoilla ja niistä muodostetuilla hakusanapareilla haetaan artikkeleita systemaattisesti eri tietokannoista. Artikkelien soveltuvuutta työhön arvioidaan otsikoiden ja tiivistelmien perusteella.

Työssä tunnistetaan muutamia erilaisia toteutustapoja modernisoinnille. Näiden toteutustapojen voidaan tietyin rajoittein todeta edistävän kiertotalouden tavoitteita. Tulkintaan tuo epävarmuutta monet eri syyt, jonka vuoksi modernisointia voidaan tehdä. Modernisoinnin toteuttaminen kiertotalouden lähtökohdista vaikuttaa erityisesti modernisointiprosessin tavoitteiden määrittelyyn.

Modernisoinnin yhteydessä tehtävää tuotekehitystä rajoittaa monet tekijät, joita työssä tuodaan esille. Yhdistävänä tekijänä eri rajoitteille on jonkin modernisoinnin tuotekehityksessä tarvittavan oleellisen tiedon kuten tuotetiedon puuttuminen tai sen hankala saatavuus. Työn viimeisessä osassa on esiteltynä näitä rajoittavia tekijöitä sekä työkaluja, joilla tuotekehityksen päätöksentekoa ja tiedonhankintaa voidaan helpottaa.

Avainsanat: modernisointi, kiertotalous, kiertotalouden liiketoimintamallit, uudelleentulo, tuotekehityksen työkalut

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KIERTOTALOUDEN TAVOITTEET	3
2.1 Mitä on kiertotalous?	3
2.2 Kiertotalous suomalaisella konepajasektorilla	4
3. MODERNISOINTIPROSESSIN KUVAUKSET KIRJALLISUUDESSA	6
3.1 Modernisoinnin motiivit	6
3.2 Modernisoinnin toteutustavat	8
3.2.1 Modernisointi osana uudelleenvalmistusta	8
3.2.2 Peruskorjaus	9
3.2.3 Modernisointi yksittäisprojektina	13
4. MODERNISOINNIN TUOTEKEHITYKSEN RAJOITTEET JA TYÖKALUT	14
4.1 Modernisoinnin tuotekehitys	14
4.2 Modernisoinnin tuotekehityksen reunaehdot	16
4.2.1 Modernisoinnin toteuttajan vaikutus	16
4.2.2 Tuotetieto sekä luotettavuustieto	17
4.2.3 Lain asettamat rajoitteet	18
4.3 Työkalut modernisoinnin tuotekehityksen avuksi	20
4.3.1 Design Structure Matrix ja HAZOP	20
4.3.2 Decision Matrix ja Quality Function Deployment	23
4.3.3 Käänteinen suunnittelu	25
5. YHTEENVETO	28
LÄHTEET	31

LYHENTEET JA MERKINNÄT

API	Application Programming Interface
BOM	Bill of Materials
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
DSM	Design Structure Matrix
GRPN	Global Risk Priority Number
HAZOP	Hazard and Operational Study
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
QFD	Quality Function Deployment
RPN	Risk Priority Number

1. JOHDANTO

Ympäristötietoisuuden kasvaessa useat eri teollisuudenalat ovat alkaneet selvittää, kuinka ne voisivat vähentää toiminnasta aiheutuvia päästöjä. Yksi osa-alue, jolla päästöjen vähennystä sekä resurssien tehokkaampaa käyttöä tavoitellaan on kiertotalous, jonka yhtenä tavoitteena on pidentää olemassa olevien tuotteiden elinkaarta. Kiertotalouden roolia eri teollisuudenaloilla sekä erilaisia liiketoimintamalleja on tutkittu useissa selvityksissä niin kansallisesti kuin kansainvälisesti. Esimerkiksi Sitra (2014) on selvittänyt kiertotalouden tuomia mahdollisuuksia eri teollisuudenaloille. Konetekniikan alalla kiinnostus on koneenrakennukseen liittyvissä toimenpiteissä. Yhdeksi konepajateollisuuden keinoksi esitetään uudelleenvalmistus, joka voidaan määritellä prosessiksi, jossa käytetty tuote palautetaan uutta vastaavaan tilaan (Karvonen et al. 2015b, s. 7). Elinkaaren aikana tuotteesta olisi kuitenkin mahdollista tehdä myös aiempaa versiota parempi, eli käytännössä modernisoida. Modernisoinnin etuna on se, että sen avulla pystytään vastaamaan teknologian kehitykseen tuotteen elinkaaren aikana ja saadaan käytetty kone pysymään riittävän tehokkaana ja toimivana asiakkaan näkökulmasta.

Tässä kandidaatintyössä on tavoitteena muodostaa kokonaiskuvaa modernisointiprosessista sekä modernisoinnin osuudesta kiertotaloudessa. Työllä pyritään lisäksi selvittämään, minkälaisia ongelmia modernisoinnin tuotekehitykseen liittyy ja minkälaisia työkaluja sekä keinoja näiden ongelmien ratkaisuun löytyy kirjallisuudesta. Modernisoinnin tuotekehityksellä tarkoitetaan tässä työssä kehitystyötä, jonka tavoitteena on vaatimustenmukaisen, modernisoidun laitteen kehittäminen. Tällöin suunnittelutyön lähtökohtana toimii jo olemassa oleva tuote. Tutkimukselle on asetettu kaksi tutkimuskysymystä, jotka ovat:

1. Minkälainen on modernisointiprosessi kiertotalouden lähtökohdista?
2. Mitkä tekniset tekijät rajoittavat modernisointihankkeen tuotekehitystä ja millaisia työkaluja modernisoinnin suunnitteluun on kehitetty?

Työssä keskitytään modernisointiprosessiin erityisesti tuotekehityksen näkökulmasta ja tarkastelun kohteena on liikkuvat työkonet sekä tuotantolaitteet. Tarkastelusta on jätetty pois modernisoinnin taloudellinen tarkastelu, sillä sen sisällyttäminen työhön ei olisi ollut työn laajuus huomioiden mahdollista. Täytyy kuitenkin huomata, että taloudellinen tarkastelu on oleellinen osa arvioitaessa modernisoinnin kokonaisuutta liiketoimintana.

Työ toteutetaan strukturoituna kirjallisuustutkielmana käyttäen hyväksi internetin tietokantoja, kuten Andor, Scopus ja Springerlink. Tutkimusta varten luotiin kiertotalouteen, modernisointiin, tuotekehitykseen sekä uudelleentaloustukseen liittyviä hakusanoja niin suomeksi kuin englanniksi. Hakusanalista täydennettiin lähteistä löytyneiden tulosten ja uusien käsitteiden pohjalta. Eri tietokannoista haettiin systemaattisesti tietoa kyseisillä hakusanoilla ja hakutulosten sopivuutta työhön arvioitiin artikkelien otsikkoon, johdantoon sekä tiivistelmään perustuen. Hakutuloksista jätettiin huomiotta tulokset, jotka eivät koskeneet konepajasektoria tai käsittelevät työn rajauksen kannalta epäolennaisia seikkoja modernisoinnista. Työn loppuvaiheessa suoritettiin lisäksi kohdennettuja hakuja täydentämään joitakin faktatietoja.

Työn ensimmäisessä osassa esitellään käsite kiertotalous sekä sen tavoitteet yleisellä tasolla. Tavoite ei ole tehdä tarkkaa selvitystä kiertotalouden eri nyansseista, vaan muodostaa käsitys siitä, mitä on kiertotalous ja kuinka se voisi näkyä suomalaisella konepajasektorilla. Ensimmäisen osan jälkeen tiedetään kiertotalouden tavoitteet, jotta modernisointia voidaan analysoida sen osana.

Työn seuraavassa osassa pyritään ymmärtämään tarkemmin modernisointia sekä sen erilaisia muotoja. Modernisointia voidaan tehdä monista eri lähtökohdista ja sillä voidaan tavoitella erilaisia asioita, kuten tehokkuuden parantaminen tai päästöjen pienentäminen. Modernisoinnin ymmärtämiseksi esitellään muutamia prosessimalleja sekä käsitteitä, jotka liittyvät modernisointiin. Toisen osan jälkeen voidaan ymmärtää modernisointiprosessia, siihen tarvittavaa tietoa ja modernisoinnin erilaisia muotoja. Lisäksi voidaan muodostaa käsitys modernisoinnista osana kiertotaloutta.

Työn viimeisessä osassa tarkastellaan tarkemmin modernisointia tuotekehityksen näkökulmasta. Viimeisessä osassa keskitytään modernisointia rajoittaviin tekijöihin sekä keinoihin, joilla modernisoinnin tuotekehityksen haasteisiin voidaan vastata. Työn viimeisen osan tavoitteena on muodostaa käsitys siitä, minkälaisia asioita tulee selvittää ja minkälaista tietoa tulee olla saatavilla, jotta modernisoinnin tuotekehitystä voidaan tehdä.

Työ on kokonaisuutena tärkeä, sillä siinä pyritään selvittämään hajanaista modernisointiin liittyvää kirjallisuutta ja käsitteistöä. Modernisoinnista löytyvä lähdekirjallisuus koostuu monilta osin yksittäistä projektia varten tehdyistä selvityksistä ja kokonaiskuvaa luovia selvityksiä on vähemmän. Työssä tuodaan esille lisäksi modernisointiin liittyviä käytännön ongelmia sekä ongelmien ratkaisuun kehitettyjä työkaluja. Modernisointiprosessin sekä sen rajoitteiden tuntemisella voidaan kehittää tehokkaita ja toimivia liiketoimintamalleja.

2. KIERTOTALOUDEN TAVOITTEET

Luvussa 2.1 tarkastellaan käsitettä kiertotalous ja muodostetaan kokonaiskuva kiertotalouden tavoitetilasta. Luvussa 2.2 esitellään tarkemmin kiertotaloutta suomalaisella konepajasektorilla. Kokonaisuutena luvun tavoitteena on muodostaa lukijalle ymmärrys kiertotalouden ja sen liiketoimintamallinen ideasta ja tavoitteista.

2.1 Mitä on kiertotalous?

Kiertotaloudelle löytyy useita määritelmiä hieman näkökulmasta riippuen. Määritelmät ovat kuitenkin keskenään samansuuntaisia. Teoreettisemmalla tasolla kiertotaloudelle voidaan määrittää kolme tavoitetta, jotka ovat resurssien kierron hidastaminen, resurssien kierron sulkeminen ja resurssien käytön vähentäminen. Resurssien kierron hidastamiseen pyritään toimenpiteillä, kuten pitkäikäisempien tuotteiden suunnittelulla ja tuotteen elinkaaren pidentämisellä esimerkiksi uudelleenvalmistamalla. Resurssien kierron sulkeminen sisältää ajatuksen kierrättämisestä, ja resurssien käytön vähentäminen tarkoittaa, että tuotteisiin käytettävän materiaalin määrää vähennetään. (Bocken et al. 2016, s. 309) Resursseilla tarkoitetaan tässä tapauksessa erityisesti materiaali- sekä energioresursseja.

Kirchherr et al. (2017) tutkivat yhteensä 114 ei kiertotalouden määritelmää ja tämän pohjalta määrittivät kiertotalouden ”taloudelliseksi systeemiksi, joka korvaa elinkaaren loppumisen konseptin vähentämisellä, kierrättämisellä ja materiaalien palauttamisella tuotanto sekä kuluttajaprosesseissa.” Kiertotalous toimii mikrotasolla (yritykset, tuotteet, kuluttajat), mesotasolla (ekopuistot) sekä makrotasolla (kaupungit, alueet, valtiot). Sen tavoitteena on paitsi toteuttaa kestävä kehitys myös luoda ympäristön laatua, taloudellista menestystä sekä sosiaalista yhdenvertaisuutta. (Kirchherr et al. 2017, s. 229)

Ellen MacArthur Foundation (2013), jonka selvityksiä myös yllä mainittu tutkimus on analysoinut, määrittelee kiertotalouden teolliseksi systeemiksi, joka on perusajatukseltaan korjaava ja uudistava. Määritelmän mukainen talous perustuu muutamaankin perusperiaatteeseen, joita ovat esimerkiksi elinkaaren pidentäminen muunneltavuuden avulla, jätteen poistaminen suunnitteluvaiheessa siten, että tuote suunnitellaan purettavaksi ja osat uudelleenkäytettäväksi sekä uusiutuvien energialähteiden suosiminen. (Ellen MacArthur Foundation 2013, s.22)

Sitra (2014) puolestaan määrittelee omassa kiertotalouden mahdollisuuksia tutkivassa selvityksessään kiertotalouden taloudeksi, jossa resurssien käyttö on kestäväää ja materiaalit ja tuotteet kiertävät systeemissä kulumisen sijaan. Sitra esittää kolme kohtaa, jossa nykyinen lineaarinen toimintamalli hukkaa arvoa. Nämä kohdat ovat tuotannon materiaalihokkuuden puute, jätteen menetetty arvo sekä materiaalien kierrättäminen liian matala-arvoisen kierron kautta. (Sitra 2014, s. 4)

Kiertotalous pyrkii määritelmästä riippumatta käyttämään resursseja kestäväällä tavalla siten, että käytetyt resurssit säilyvät kierrossa mahdollisimman pitkään. Kiertotalouden resursseista keskeinen on käytetyt materiaalit. Materiaalivirtoja voidaan tulkita esimerkiksi 6R-viitekehityksessä, jonka ajatuksena on ohjata materiaalien kestävämpään käyttöön. 6R-viitekehitys koostuu vähentämisestä (reduce), uudelleenkäyttämistä (reuse), kierrättämisestä (recycle), palauttamisesta (recover), uudelleensuunnittelusta (redesign) sekä uudelleenvalmistuksesta (remanufacture). (Kutz 2007, s. 38)

2.2 Kiertotalous suomalaisella konepajasektorilla

Konepajasektori on yksi suomalaisen talouden keskeinen osa-alue, jota ei voida sivuuttaa tutkittaessa kiertotalouden tavoitteita. Se on samalla myös sektori, johon tässä työssä tullaan keskittymään. Koneet ja laitteet muodostivat vuonna 2019 13,3 prosentin -osuuden suomen viennistä, mikä vastaa 8,644 miljardia euroa (Tilastokeskus 2020). Sitran (2014) mukaan kiertotalouden tuomilla uusilla liiketoimintamalleilla on mahdollisuus luoda varovaisesti arvioiden 300–400 miljoonan euron kasvupotentiaali. Konepajasektorilla tuotteiden käyttöiät vaihtelevat siten, että pienimmät laitteet, kuten työstökoneet, voivat olla käyttöikänsä 3–5 vuotta. Toisaalta laivojen moottorin käyttöikä voi olla 25 vuotta. Tuotettujen laitteiden kappalemäärä sekä asennuksen kiinteys tekevät eroja sektorin sisällä. Parhaimmillaan samasta tuotoksesta olisi mahdollista saada katetta useamman kerran. (Sitra 2014, s. 14–15)

Liikkuvien työkoneiden -sektorilla kiertotalouden liiketoimintamallit luovat mahdollisuuksia koneiden elinkaaren pidentämiseen. Toisaalta kiertotalouden liiketoiminta muilla sektoreilla, kuten kierrätyslaitoksissa, luo kysyntää liikkuville työkoneille. (Tirkkonen 2018, s. 52)

Käytännöllisemmällä tasolla kiertotalouden liiketoimintamallien perusta on leasing- ja palvelupohjaisissa malleissa, modulaarisuudessa sekä uudelleenvalmistuksessa ja käänteisissä toimitusketjuissa. Edellä mainitut tekijät muodostavat toisiaan vahvistavan kierteen. Toisaalta ne ovat tiukasti kytköksissä toisiinsa, mikä tarkoittaa sitä, että tehokkaan uudelleenvalmistuksen saavuttaminen vaatii myös modulaarisuuden kehittämistä.

(Sitra 2014, s. 18–19) Modulaarisuus ei itsessään ole liiketoimintaa, vaan se mahdollistaa tehokkaan liiketoiminnan esimerkiksi leasing-palveluiden osalta.

Halonen ja Majuri (2018) jaottelevat edelleen liiketoimintamalleja pienempiin kokonaisuuksiin. Pirkanmaalaisille pk-yrityksille tehty selvitys pyrkii selkeyttämään kiertotalouden liiketoimintamalleja ja jakaa liiketoimintamallit kolmeen pääkategoriaan, jotka ovat jaetut resurssit ja tuotteet palveluna, tuotteiden ja komponenttien elinkaaren pidentäminen ja uudelleenkäyttö sekä kierrätys. Tämän lisäksi esimerkiksi toinen pääkategoria jakautuu edelleen konkreettisempiin liiketoimintoihin, kuten huoltoon, modernisointiin ja uudelleenvalmistukseen. (Halonen & Majuri 2018)

Monet edellä mainituista liiketoimintamalleista perustuvat siihen, että tuotteen käyttöikää pidennetään tekemällä toimenpiteitä sen elinkaaren loppuvaiheilla. Bocken et al. (2016) esittävät liiketoimintamalleiksi kestävämpien tuotteiden valmistamisen sekä loppukäyttäjien kuluttamisen vähentämisen. Käytännössä tuotteen elinkaari suunniteltaisiin alun perin pidemmäksi ja tuotteet tehtäisiin korjattaviksi. (Bocken et al. 2016, s. 313)

Tuotteen taloudellista käyttöikää pidentämällä saadaan hidastettua materiaalikiertoa korkeammalla tasolla eli valmiiden koneiden ja tuotantolaitteiden tasolla, eikä koneita jouduta purkamaan raaka-aineiksi. Näin ollen koneisiin laitetuista resursseista saadaan säästettyä suurempi osa kuin kierrätyksessä. (Karvonen et al. 2015b, s. 7–10) Yhteen vetona voidaan todeta, että kiertotaloudella pyritään muiden muassa hidastamaan, kaivantamaan ja vähentämään resurssien käyttöä. Konepajasektorilla kiertotaloutta voidaan edistää esimerkiksi uudelleenvalmistuksella ja modernisoimalla, joilla pyritään pidentämään tuotteen käyttöikä.

3. MODERNISOINTIPROSESSIN KUVAUKSET KIRJALLISUUDESSA

Kokonaisuutena luvun 3 tavoitteena on muodostaa käsitys modernisoinnin syistä sekä modernisoinnin käytännön toteutuksista. Luvussa 3.1 esitellään modernisointihankkeiden motiiveja sekä tavoitetilaa. Luvussa 3.2 käsitellään modernisointia kirjallisuudesta löytyvien prosessikuvausten kautta. Modernisointia kuvaava käsitteistö on melko laaja, joten luvussa 3.2 pyritään jaottelamaan erityyppisiä modernisointeja, jotta lähteissä esiintyviä käsitteitä voitaisiin ymmärtää paremmin. Työssä käytetään termiä modernisointi kuvastamaan kaikkia modernisoinnin toteutusmuotoja. Mikäli on tarpeen tarkentaa modernisoinnin tyyppiä, työssä käytetään luvun 3.2 mukaista jaottelua.

3.1 Modernisoinnin motiivit

Modernisointi ei ole käsitteenä uusi, ja modernisointiprojekteja on toteutettu useilla teknologian osa-alueilla, erityisesti raskaammassa teollisuudessa. Malm et al. (2006, s. 14) määrittelevät tekemässään modernisoinnin turvallisuutta koskevassa selvityksessä modernisoinnin käytössä olevan koneen tai koneyhdistelmän muuttamiseksi siten, että sen käyttötarkoitus ei muutu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laite tekee modernisoinnin jälkeen samaa työtehtävää kuin ennen modernisointia. Halonen et.al (2018, s. 18) määrittelevät, että ”modernisointi on käytössä olevan tuotteen ominaisuuksien parantamista ja monipuolistamista suhteessa sen alkuperäisesti suunniteltuihin ominaisuuksiin.” Modernisoinnissa tuodaan laitteeseen uusia ominaisuuksia, jotka parantavat sen toimintakykyä ja ominaisuuksia. Modernisoitavia kohteita ovat usein esimerkiksi työstökoneiden ohjausjärjestelmät.

Modernisointia voidaan tehdä monista eri lähtökohdista ja on ilmeistä, että modernisoinnin lähtökohdat ja tavoitteet vaikuttavat myös modernisointiprosessin kulkuun. Työn kannalta keskeistä on, mitkä modernisoinnin tavoitteet voidaan perustella kiertotaloudella. Malm et al. (2006) nostavat tuotantolaitteiden modernisoinnin syiksi kapasiteetin ja tuotavuuden lisäyksen, automaatioasteen nostamisen, laadun parantamisen, kunnossapidon syyt, ympäristövaatimukset sekä luotettavuuden ja turvallisuuden parantamisen. Toisaalta Halonen et.al (2018, s. 18) nostavat omassa kiertotalouden liiketoimintamalleja käsittelevässä selvityksessään esille modernisoinnin syiksi lisäksi energiatehokkuuden parantamisen sekä käytettävyyden.

Modernisointia ajatellaan myös vaihtoehtona koneen ja tuotantolaitteen korvaamiselle uudella laitteella. Usein koneen vaihtamisen syynä on sen kasvavat käyttö- ja huoltokustannukset tai uuden koneen parempi tehokkuus. Edellä mainitut tekijät voivat vaikuttaa myös samanaikaisesti. (Hartman 2005, s. 733) Tämän lisäksi yhtenä tuotteen käytöstä poistamisen syynä voi olla sen ”poistuminen muodista” uusien ja kehittyneempien laitteiden tullessa markkinoille. (King et al. 2006, s. 260)

Kun verrataan modernisointia uuden tuotteen hankintaan, yksi syistä modernisoinneille näyttäisi olevan modernisoinnin pienemmät kustannukset suhteessa uusiin hankintoihin. Modernisointeja tehdäänkin esimerkiksi raskaammassa teollisuudessa, kuten nosturien ja hissien teollisuudenalalla sekä puolustusvoimissa (Konecranes Oyj; Kone Oyj; Millog Oy). Esimerkiksi Konecranes markkinoi modernisointia uuden hankintaa alemmilla kustannuksilla. Edellä mainittu kustannusnäkökulma on modernisoinnin yhteydessä usein esille tuleva seikka, mutta tässä työssä ei kustannusnäkökulmaa tutkita riittävän tarkasti, jotta siitä voitaisiin tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

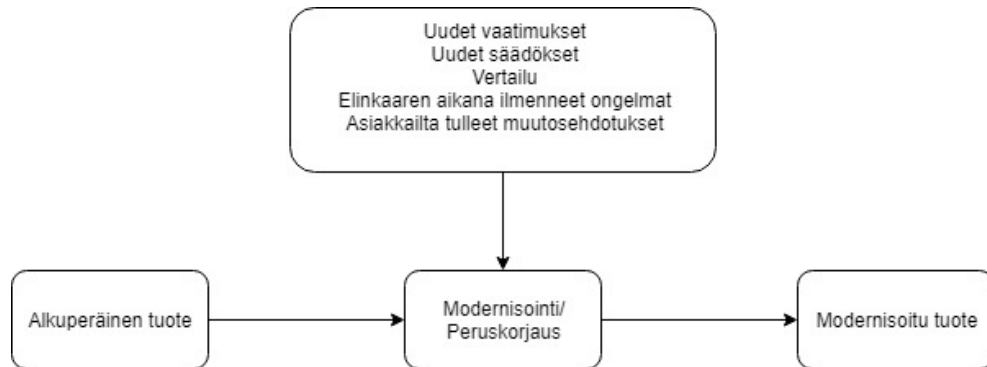
Modernisoinnilla pyritään vaikuttamaan tuotteeseen sen elinkaaren aikana. Englanninkielisellä termillä redesign puolestaan tarkoitetaan tuotteen kehittämistä tuotesukupolvitain siten, että uudet ominaisuudet tuodaan aina uuteen tuotesukupolveen (Zolghadri et al. 2018, s. 263–264). Tällaista toimintamallia voidaan havaita esimerkiksi autoteollisuudesta ja teknologiateollisuudesta. Redesign-prosessissa ei kerätä olemassa olevia tuotteita, pureta niitä ja päivitä paremmaksi, vaan hyödynnetään edellisistä tuotesukupolvista saatavaa tietoa ja jalostetaan siitä uuden tuotesukupolven tuote. Joissakin tapauksissa redesign käsitetään yhtenä modernisoinnin muotona, mutta toimintamalli ei ole yhtä selkeästi nähtävissä osana kiertotalouden tavoitteita, joten sitä ei käsitellä tarkemmin tässä työssä.

Modernisoinnin tavoitteet vaihtelevat toteutuksesta toiseen. Tavoitetila on tapauskohtainen ja yhdellä modernisointiprojektilla voi olla useita eri tavoitteita. Mikäli modernisointia tehdään kiertotalouden lähtökohdista, tulisi arvioida, kuinka modernisoinnin tavoite vastaa kiertotalouden tavoitteita. Modernisoinnin käytännön toteutukselle löytyy kirjallisuudesta muutamia erilaisia lähestymistapoja, joita esitellään seuraavissa luvuissa.

3.2 Modernisoinnin toteutustavat

Tässä luvussa esitellään erilaisia tapoja toteuttaa modernisointi. Asiaa lähestytään kirjallisuudesta löytyvien prosessikaavioiden avulla. Prosessikaavioissa esiintyy myös modernisoinnille keskeisiä tietovirtoja, joihin keskitytään paremmin luvussa 4.

Seuraavassa kuvassa 1 on kuvattuna modernisointiprosessi yleisellä tasolla. Kuvasta käy ilmi modernisointiprosessiin tarvittavia lähtötietoja sekä modernisoinnin yleinen periaate.



Kuva 1. *Modernisointi/Peruskorjaus-prosessi (mukaillen Barbosa & Souza 2017, s. 24).*

Kuvasta 1 tehtävä keskeinen havainto on modernisointiin tarvittavat lähtötiedot, joita ovat esimerkiksi uudet säädökset sekä asiakkailta tulleet muutosehdotukset. Prosessiin tulee syötteenä alkuperäinen tuote sekä modernisoinnissa tarvittavat määrätykset ja tiedot. Uudet vaatimukset voivat pitää sisällään esimerkiksi tehokkuuteen liittyviä vaatimuksia tai vaatimuksia kiertotalouden tavoitteiden täyttämiseksi. Toisaalta tärkeänä tekijänä ovat myös elinkaaren aikana kertynyt asiakaspalaute sekä elinkaaren aikana ilmenneet ongelmat. Prosessin lopputuotteena saadaan modernisoitu tuote

3.2.1 Modernisointi osana uudelleent valmistusta

Uudelleent valmistusta käsittelevässä selvityksessä Karvonen et al. (2015b) toteavat, että uudelleent valmistuksessa käytetyt tuotteet tai komponentit palautetaan uutta vastaavaan tilaan. Toisaalta uudelleent valmistuksessa tuote saatetaan päivittää myös vanhaa tuotetta paremmaksi. (Karvonen et al. 2015b, s.12) Uudelleent valmistus mahdollistaa tuotteen myynnin ”uutena” sekä mahdollistaa tuotteen peruskorjaamisen tarvittaessa päivitettyillä osilla (King et al. 2006; Ke et al. 2011, s. 437) . Myös Ljomah et al. (2002) toteavat, että uudelleent valmistuksessa käytetty tuote palautetaan vähintään alkuperäisen tuotteen tasolle (katso Matsumoto & Ljomah 2013) Uudelleent valmistuksen ja modernisoinnin

raja on paikoitellen epätarkka, sillä uudelleenvalmistuksen yhteydessä on mahdollista tehdä modernisoinniksi luokiteltavia toimenpiteitä ja silti prosessi käsitetään uudelleenvalmistuksena. Toisaalta modernisoinnin ja uudelleenvalmistuksen tekeminen samassa prosessissa on järkevää muiden muassa siitä syystä, että molemmat toimenpiteet vaativat alkuperäiseen laitteen purkamista, ja uudelleenvalmistettuun tuotteeseen on järkevää suunnitella modernisoituja osia, jos ne esimerkiksi edistävät tuotteen toimintavarmuutta. (Barbosa & Souza 2017, s. 24)

Uudelleenvalmistukseen ja sen yhteydessä tehtävään modernisointiin liittyy muutamia haasteita. Yksi haasteista liittyy uudelleenvalmistusprosessin laatu- ja kustannuskysymyksiin. Lisäksi voi olla haastavaa tunnistaa tuotteet, joille uudelleenvalmistus on teknisesti mahdollista ja samalla taloudellisesti kannattavaa. (Östlin 2008; Karvonen et al. 2015a, s. 3 mukaan)

3.2.2 Peruskorjaus

Englanninkielisessä kirjallisuudessa esiintyy muutamia käsitteitä prosessille, jossa yhdistetään uudelleenvalmistusta ja modernisointia. Barbosa ja Souza (2018, s. 2523) määrittelevät puolustusteollisuuden uudelleenvalmistusta ja modernisointia käsittelevässä tutkimuksessaan termin major overhaul (suom. peruskorjaus), jolla tarkoitetaan prosessia, jossa jokainen komponentti tutkitaan yksityiskohtaisesti ja kunnostetaan tarvittaessa. Jos komponentilta tarvitaan parempaa suorituskykyä, kuin alkuperäiseltä komponentilta, se voidaan modernisoida prosessin yhteydessä (Barbosa & Souza 2018, s. 23–24). Käsite ottaa selkeästi esille mahdollisuuden päivittää osia, mikäli se on tarpeellista. Työssä uudelleenvalmistuksen ja modernisoinnin yhdistävästä prosessista käytetään nimitystä peruskorjaus.

Toinen modernisoinnin ja uudelleenvalmistuksen rajamaastoon sijoittuva englanninkielinen käsite on retrofit, joka käsittää kaikenlaisen modernisoinnin, päivittämisen ja uudelleenvalmistuksen. (Zolghadri et al. 2018; Pueo et al. 2020, s. 4306). Retrofit -prosessia tekevät toimijat voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jotka ovat:

- Suuret energia- ja puolustussektorilla toimivat yritykset, jotka saattavat tehdä retrofit-prosessin useaan kertaan tuotteen elinkaaren aikana. Tässä tapauksessa investoinnit ja riskit ovat suuret, joten muutosten täytyy olla tarkkaan harkittuja.
- Auto-, kodinkone- sekä teknologiateollisuuden toimijat, jotka joutuvat teknologian vanhenemisen takia uudelleensuunnittelemaan tuotteita.

- Pienet- ja keskisuuret yritykset teknologia-alalla, jotka pyrkivät pysymään mukana kilpailussa kustannustehokkaalla tavalla. Tällöin päivitys on enemmän kertaluonteinen, kuten prototyyppi, ja siksi sen kehitys eroaa massatuotannosta. (Pueo et al. 2020, s. 4306)

Edellä mainittujen lisäksi laitteen elinkaaren aikana tehdyistä päivityksistä ja kunnostuksesta käytetään suomen kielessä käsitettä elinjaksopäivitys tai elinkaaripäivitys. Esimerkiksi Millog oy markkinoi internetsivuillaan elinjaksopäivityksiä. (Millog Oy) Kuvattu elinjaksopäivitys muistuttaa sisällöltään työn tapauksessa käytettyä peruskorjaus-prosessia. Lähde kuvastaa tässä tapauksessa lähinnä modernisoinnin käsitteistön moninaisuutta eikä sen pohjalta voida tehdä suurempia johtopäätöksiä.

Peruskorjaus-prosessin aikana on hyvä mahdollisuus tehdä tuotteelle modernisointeja, jotka korjaavat sen elinkaaren aikana ilmenneitä ongelmia tai toisaalta tekevät tuotteesta uusia vaatimuksia vastaavan. Tehtäessä muutoksia tuotteeseen, tarvitaan lisäksi työkaluja, jolla tehtyjä muutoksia verrataan tuotteen alkuperäiseen rakenteeseen. (Barbosa & Souza 2017) Kuvassa 2 on kuvattuna peruskorjaus-prosessin vaiheet erityisesti tuotekehityksen näkökulmasta.



Kuva 2. Peruskorjaus -prosessi kuvattuna tuotekehityksen näkökulmasta (mukailen Pueo et.al 2020).

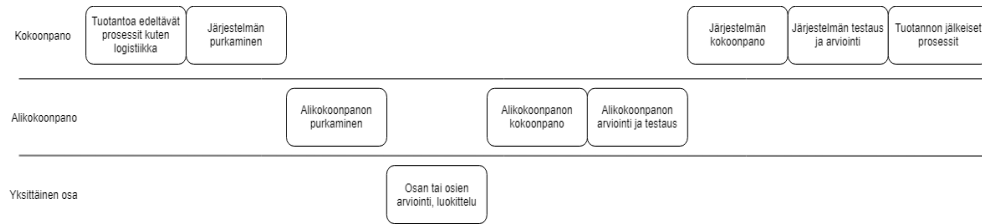
Pueo et al. (2020, s. 4308) jakavat peruskorjaus -prosessin kuvan 2 mukaisesti seitsemään osaan, joidenka avulla suunnittelijat voivat ottaa huomioon suunnitteluun liittyvät seikat systemaattisella tavalla. Kuvasta 2 voidaan havaita yhtäläisyyksiä kirjallisuudesta löytyviin tuotekehityksen prosessimalleihin. Keskeisenä erona on kuitenkin se, että yllä olevassa prosessikuvauksessa on vaihe uudelleenvalmistus- ja modernisointitarpeen arviointi, jossa tehdään arviointi siitä, mitkä osat tai kokoonpanot tulisi modernisoida, kunnostaa tai uudelleenvalmistaa. Työssä tästä käytetään nimeä peruskorjaus-analyysi. Prosessin vaiheet on kuvattu tarkemmin seuraavassa taulukossa 1, johon on kerätty kuvan 2 mukaisen prosessin vaiheet sekä kerrottu vaiheeseen liittyvät toimenpiteet ja niiden sisältö.

Taulukko 1. Peruskorjaus-prosessin vaiheet kuvattuna tarkemmin (mukailten Pueo et al. 2020, s. 4310–4314).

Prosessin vaihe	Vaiheen sisältö
Yleinen suunnittelu	Tuotantojärjestelmän puutteiden tunnistaminen. Markkinatutkimus potentiaalisista ratkaisuista. Tarpeiden yhdistäminen suunnitteluspesifikaatioon.
Uudelleenvalmistus- ja modernisointitarpeen arviointi	Analysoidaan tuotteen osien kunto sekä huollon, vaihtamisen, uudelleenvalmistuksen tai modernisoinnin tarve. Tehdään make or buy päätös kerätyn tiedon pohjalta.
Konseptisuunnittelu	Luodaan erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja huomioiden olemassaolevat rajoitteet. Tehdään päätös konseptista, jota aletaan toteuttaa.
Teoreettisesti toimiva järjestelmä	Puretaan ongelma osiin ja tarkastellaan alikokoonpanojen tasolla. Valitaan toimilaitteet sekä sensorit ja päätetään miten mitkin alikokoonpanoa hyödynnetään. Alikokoonpanojen ja pääkokoonpanon yhteensopivuus varmistetaan.
Yksityiskohtainen suunnittelu	Tehtyjen suunnitelmien pohjalta tehdään piirustukset sekä tarvittavat dokumentaatiot, joita tuotantovaiheessa tarvitaan. Tehdään tarvittaessa ohjeet valmistusvaiheeseen.
Valmistaminen	Hankitaan tarvittavat osto-osat. Valmistetaan tarvittavat osat. Kokoonpannaan alikokoonpanot sekä pääkokoonpano. Integroidaan tietokone-, sähkö- ja ohjausjärjestelmät.
Toiminnan varmistaminen, testaus ja dokumentointi	Testataan laitteen toimivuus. Palataan suunnitteluvaiheeseen, mikäli havaitaan ongelmia. Dokumentoidaan tehdyt muutokset.

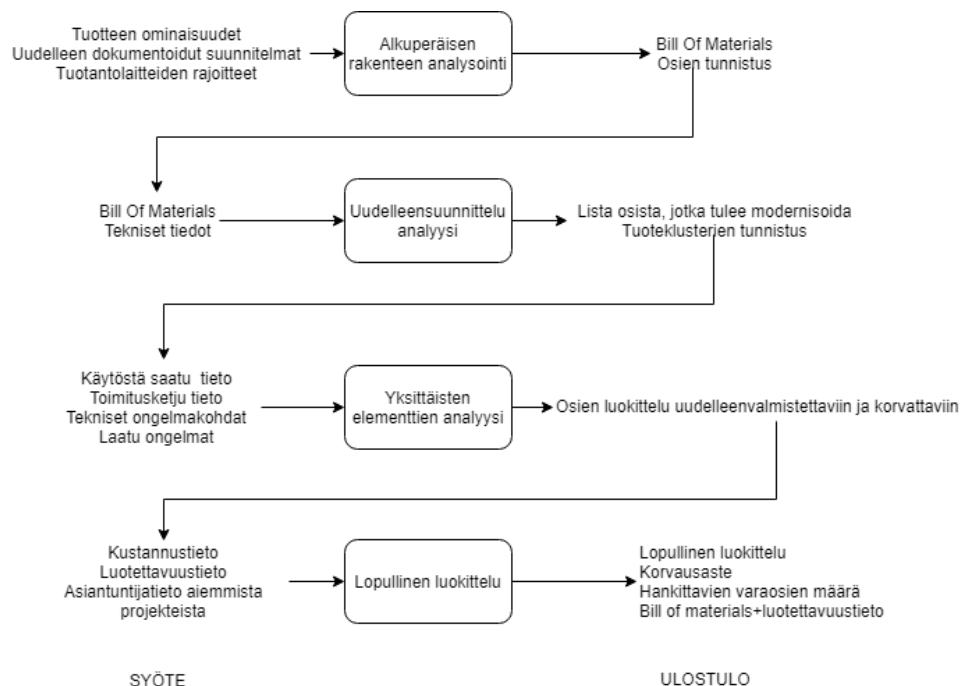
Taulukon vaiheista työn kannalta keskeinen on vaihe 2, jossa toteutetaan laitteen peruskorjaus-analyysi. Toisaalta tulee huomata, että muut vaiheet on tunnistettavissa myös yleisesti tuotekehitystä käsittelevistä prosessimalleista. Vaiheeseen 2 liittyy keskeisesti myös työn seuraavassa luvussa 4 esiteltävät rajoitteet, jotka liittyvät tiedon saatavuuteen.

Pueo et alin (2020) koostamassa prosessimallissa kuvataan laajasti erilaiset suunnittelun vaiheet. Mallissa ei kuitenkaan keskitytä kovinkaan tarkasti kokoonpanon osien jaotteluun niiden modernisointi- tai uudelleenvalmistustarpeen mukaan. Kuvissa 4 ja 5 on kuvattuna tarkemmin peruskorjaus-analyysin vaiheet.



Kuva 3. Karkea kuvaus peruskorjaus -analyysin tekemisestä (mukaillen Barbosa & Souza 2018, s. 2527).

Kuvasta 3 havaitaan, että analysointi etenee pääkokoonpanon tasolta kohti osien arviointia. Keskeinen havainto kuvasta 3 on se, että ennen kokoonpanon arviointia, tulee se olla purettuna osiin. Osan perusteellisen arvioinnin kannalta tämä on keskeistä, mutta toisaalta se voi tehdä käytännön prosessin myös melko työlääksi. Kuvan 3 mukainen yksittäisten osien arviointi on kuvattuna tarkemmin seuraavassa kuvassa 4.



Kuva 4. Tarkka kuvaus peruskorjaus -analyysistä (mukaillen Barbosa & Souza 2018, s. 2528).

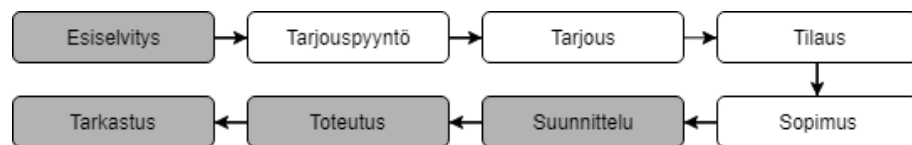
Kuvassa 4 vasemmalla on kuvattuna jokaiseen vaiheeseen tarvittavia tietoja ja kuvassa oikealla vastaavasti jokaisesta vaiheesta syntyvä uusi tieto. Kuvattu prosessi etenee ylhäältä alas vaihe kerrallaan. Kuvasta voidaan havaita, että osan perusteellinen luokittelu vaatii monenlaista lähtötietoa, kuten tiedon tuoterakenteesta BOM (eng. Bill Of Materials), laatuongelmista sekä kustannuksista.

3.2.3 Modernisointi yksittäisprojektina

Yksi eriteltävä modernisoinnin muoto on modernisoinnit yksittäisprojekteina. Tällöin modernisoinnin yhteydessä vanhaa laitetta ei pureta kokonaan, vaan laitteesta poistetaan pääasiassa osat, jotka on tarkoitus korvata modernisoinnissa. Tämänkaltaista modernisointia voisi olla esimerkiksi työstökoneen ohjauksjärjestelmän päivittäminen tai uusien, turvallisuutta parantavien, ominaisuuksien lisääminen. Esimerkiksi Kone oy:n sekä Konecranes Oy:n modernisointiliiketoiminta käsittää tämänkaltaista modernisointia (Kone Oyj; Konecranes Oyj). Modernisoinnilla yksittäisprojektina on yksi keskeinen eroavaisuus uudelleentulomuksen yhteydessä tapahtuvaan modernisointiin. Ero on se, että yksittäisprojektina tehtävässä modernisoinnissa asiakkuus ei vaihdu toisin kuin uudelleentulomuksen yhteydessä tehtävässä modernisoinnissa. (Halonen & Majuri 2018). Luokittelu omistussuhteen muuttumisen mukaan ei ole kuitenkaan yleispätevä modernisoinnin kaikkiin muotoihin ja siitä löytyy kirjallisuudessa melko vähän tietoa.

Englannin kielessä edellä mainittua prosessia kuvataan esimerkiksi termeillä One-off tai Batch upgrading, jotka tarkoittavat yhden tai useamman toiminnon päivittämistä monimutkaisesta tuotteesta, kuten lentokone. Päivityksiä voi olla useita tuotteen elinkaaren aikana. (Zolghadri et al. 2018, s. 263)

Yleisesti modernisointia yksittäisprojektina voidaan esittää kuvan 5 mukaisella prosessilla. Prosessikuvauksesta käy ilmi kyseisen toimintatavan projektiluonteisuus, sillä prosessi pitää sisällään tarjouskyselyyn ja sopimukseen liittyviä vaiheita. Kun modernisointia toteutetaan osana uudelleentulomusta tuotantomuoto muistuttaa enemmän tuotantolinjaa kuin projektituotantoa.



Kuva 5. Modernisoinnin toteuttaminen projektimuotoisena (mukailten Malm et al. 2006).

Kuvassa 5 on merkittynä harmaalla työn kannalta keskeiset vaiheet. Malm et alin (2006, s. 28) mukaan tuotantolaitteen modernisoinnin suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon kohteen toimintaympäristö ja toimintatavat, muutostilanteeseen liittyvät riskit sekä huomioida asiakasvaatimukset. Käytännössä edellä mainitut seikat tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

4. MODERNISOINNIN TUOTEKEHITYKSEN RAJOITTEET JA TYÖKALUT

Luvussa 3 esiteltiin erilaisia modernisointiprosesseja ja samalla prosessin eri vaiheissa nousi esille tarvittavia tietoja, esiintyviä rajoitteita ja tehtäviä päätöksiä. Luvussa 4 selvitetään tarkemmin modernisoinnin tuotekehitystä, siinä esiintyviä rajoitteita sekä muutamia kirjallisuudesta löytyviä työkaluja, jolla modernisoinnin suunnittelun rajoitteisiin ja haasteisiin voidaan vastata. Luvussa käsitellään valikoidusti sellaisia rajoitteita, jotka voidaan ajatella olevan keskeisiä. Luvussa esiintyvien rajoitteiden lisäksi kirjallisuudesta on mahdollista nimetä myös muunlaisia rajoitteita.

4.1 Modernisoinnin tuotekehitys

Tuotekehitysprosessilla tarkoitetaan tässä työssä prosessia, jossa suunnitellaan joko täysin uusi tuote tai uusi tuotesukupolvi aiemmista sukupolvista kerätyn tiedon pohjalta. Suunnittelun tavoitteena ei tällöin ole muutostyöt olemassa olevaan rakenteeseen kuten modernisoinnin tuotekehityksessä. Tuotekehitysprosessia voidaan kuvata monella eri tavalla. Yksi tavallisista tavoista kuvata tuotekehitysprosessia on Cooperin (1990) kehittämä tuotekehityksen porttimalli, jossa tuotekehitys jaetaan standardoituihin lohkoihin, jotka voidaan nimetä jokaiseen tuotekehitysprosessiin. Lohkoina voi olla esimerkiksi ennakkotietojen asettaminen, liiketoimintasuunnitelman laatiminen, kehitystyö, testaus ja julkaisu. Jokaisen toiminnan jälkeen tapahtuu lohkoon liittyvä päätös, joka vie seuraavaan vaiheeseen. (Cooper & Kleinschmidt 1991, s. 137–138)

Modernisoinnin tuotekehitystä voidaan niin ikään tarkastella porttimallin avulla. Keskeisimmät erot modernisoinnin tuotekehityksessä suhteessa tavalliseen kehitystyöhön liittyvät tehtäviin päätöksiin ja tietovirtoihin. Taulukossa 2 on listattuna modernisointia käsittelevästä kirjallisuudesta löytyviä päätöksiä sekä tietovirtoja, jotka liittyvät modernisointiprosessiin.

Taulukko 2. Modernisoinnin suunnittelussa tarvittavia tietoja

Tarvittava tieto	Kuvaus	Lähde
Luotettavuustieto	Alkuperäisen laitteen ja sen osien luotettavuus	Barbosa & Souza 2017 Barbosa & Souza 2018
Asiakaspalaute ja asiakasvaatimukset	Asiakailta tulleet kehitysehdotukset ja vaatimukset	Pueo et al. 2020, s.4311
Uudet säädökset, lait sekä turvallisuus	Lainsäädännön asettamat rajoitteet, jotka koskevat modernisointia	Malm et al. 2006, s. 7–8 Barbosa & Souza 2017, s. 24
Toiminnalliset vaatimukset	Laitteen toimintaan liittyvät vaatimukset	Zolghadri et al. 2018, s.273
Suorituskykyvaatimukset	Taso, jolla laitteen osien tulee suoritua esimerkiksi tehokkuuden osalta	Zolghadri et al. 2018, s.273
Tuotetieto	Alkuperäinen tuoterakenne(BOM) sekä tekninen dokumentaatio	Pueo et al. 2020, s.4311 Mo & Sinha 2014
Tieto toimintaympäristöstä ja toimintatavoista	Tieto siitä, minkälaisessa ympäristössä konetta käytetään ja millä tavalla	Malm et al. 2006, s. 28
Arvio modernisoinnin riskeistä	Muutostilanteen mukana tuomat riskit	Malm et al. 2006, s. 28
Muutosehdotukset elinkaarenaikaisiin ongelmiin	Elinkaaren aikana tulleet laitteen toimintaan liittyvät parannusehdotukset	Barbosa & Souza 2017, s.24

Taulukosta 2 voidaan havaita, että se sisältää modernisoidulle tuotteelle asetettuja uusia vaatimuksia koskien esimerkiksi suorituskykyä. Toisaalta taulukossa esiintyy myös tietoja, jotka periytyvät tuotteen alkuperäisestä rakenteesta, kuten BOM sekä käytön aikana kerätystä tiedosta, kuten luotettavuustieto sekä asiakaspalaute.

Modernisointiprosessiin liittyy olennaisesti päätöksenteko. Seuraavassa taulukossa 3 on kuvattuna modernisoinnin aikana tehtäviä keskeisiä päätöksiä.

Taulukko 3. Modernisoinnissa tehtäviä päätöksiä

Päätös	Kuvaus	Lähde
Päätös modernisoitavista osista	Päätös siitä, mitkä osat modernisoidaan, uudelleenvalmistetaan tai vaihdetaan	Barbosa & Souza 2018
Make or buy päätös	Päätös siitä, toteutetaanko modernisointi "talon sisällä" vai ostetaanko se palveluna	Pueo et al. 2020
Modernisoinnin tavoitetilan määrittely	Tehdään päätös, mitä modernisoinnilla tavoitellaan	Zolghadri et al. 2018

Yllä olevat päätökset ovat hyvin yleisluontoisia ja vaihtelevat toteutustavan mukaan. Mikäli modernisointi toteutetaan peruskorjaus-prosessina, tulee erityisesti kysymykseen päätöksenteko siitä, mitkä osat modernisoidaan ja mitkä ei. Toisaalta kaikissa modernisointityypeissä on keskeistä selvittää heti aluksi, mitä modernisoinnilla tavoitellaan. Kierotalouden kannalta on keskeistä, että tavoitetila vastaa kiertotalouden tavoitteita. Erilaisia modernisoinnin tavoitteita on kuvattuna tarkemmin luvussa 3.1.

Seuraavissa luvuissa selvitetään tarkemmin, millaisia rajoitteita tarvittavien tietojen puuttuminen aiheuttaa modernisointiprosessille ja millä tavalla modernisointiin liittyvää päätöksentekoa voidaan helpottaa.

4.2 Modernisoinnin tuotekehityksen reunaehdot

Modernisoinnin yhteydessä tapahtuva tuotekehitys eroaa hieman tuotekehityksestä, jolla pyritään suunnittelemaan täysin uusi tuote, koska valmiin tuotteen päälle suunnittelu rajoittaa joitakin suunnitteluratkaisuja. Toisaalta laitteen historian aikana kertyneen tiedon saatavuus aiheuttaa rajoitteita suunnittelutyölle. Barbosan ja Souzan (2017) mukaan modernisoinnin tuotekehityksen ja tuotekehityksen yhtäläisyydet liittyvät ideoiden tuottamiseen, ratkaisujen arviointiin ja päätöksentekoon. Toisaalta erottavina tekijöinä ovat peruskorjaus-prosessin pienempi liikkumavara tuotesuunnittelussa, koska jokainen suunnitteluratkaisu tulee tehdä vanha tuote huomioon ottaen. Suunnittelussa tulee ottaa myös huomioon riski, joka liittyy tuotteeseen tehtyjen muutosten vaikutukseen tuotteen toimintaa verrattuna alkuperäiseen tuotteeseen (Barbosa & Souza 2017 s. 24, s.28). Seuraavissa alaluvuissa perehdytään tarkemmin muutamaan rajoitteita luovaan tekijään.

4.2.1 Modernisoinnin toteuttajan vaikutus

Modernisoinnin tuotekehityksessä yksi keskeinen tekijä tiedon saatavuuden kannalta on modernisoinnin toteuttajataho. Uudelleenvalmistuksen osalta toteuttajat voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, jotka ovat tuotteen alkuperäinen valmistaja OEM (eng. Original Equipment Manufacturer), sopimusvalmistajat sekä itsenäiset toimijat (Östlin 2008; Karvonen et al. 2015a, s. 4). OEM vetoisessa uudelleenvalmistuksessa OEM uudelleenvalmistaa koneet itse. Koneet saapuvat uudelleenvalmistukseen esimerkiksi huoltokeskuksilta tai jälleenmyyjiltä. OEM valmistajalla on mahdollisuus yhdistää uudelleenvalmistus osaksi tuotantoprosessia ja se voi toimia yhteistyössä myös muiden toimijoiden kanssa, jolloin puhutaan OEM keskeisestä verkostosta. (Karvonen et al. 2015a, s. 10)

Sopimusvalmistajan tapauksessa uudelleenvalmistus perustuu tuotteen alkuperäisen valmistajan ja sopimusvalmistaja väliseen sopimukseen. Valmistusmuoto voidaan nähdä OEM keskeisen verkoston alamuotona. Itsenäiset toimijat toimivat yleensä alueilla, jossa OEM ei toimi aktiivisesti suorassa asiakastuessa.

Itsenäiset uudelleenvalmistajat eivät ole aktiivisessa yhteistyössä alkuperäisen valmistajan kanssa ja heidän tulee ostaa ahiot itse. Tehokkuuden kannalta itsenäiset toimijat keskittyvät tiettyyn teollisuudenalaan, kuten autoteollisuuteen. Itsenäisten toimijoiden yhteistyötä kuvataan teollisuusalakeskeiseksi uudelleenvalmistusverkostoksi. Monella

suomalaisella yrityksellä on tilanne, että asiakkaat ovat maantieteellisesti hajallaan ja käytettyjä aihioita ei ole saatavilla riittävästi tietyltä alueelta. (Karvonen et al. 2015a, s. 10–11) Suomalaisen teollisuuden osalta Karvonen et al. (2015a, s. 12) toteavat, että verkostoituminen on välttämätöntä, mutta potentiaalisten kumppanien löytäminen saattaa olla haastavaa.

Itsenäisillä toimijoilla saattaa muodostua haasteeksi uudelleentalmistuksessa tarvittavan tiedon saatavuus, koska alkuperäinen valmistaja saattaa kokea heidät kilpailijoina ja tämän vuoksi ei jaa tietoa itsenäisille toimijoille. Tässä tapauksessa itsenäiset toimijat saattavat joutua keräämään tietoa käänteisen suunnittelun menetelmillä. (Matsumoto & Ijomah 2013, s. 395–396)

4.2.2 Tuotetieto sekä luotettavuustieto

Tuotetietoa tarvitaan modernisoitujen koneiden suunnittelutyössä huolimatta modernisoidun tavoitteista. Toisaalta elinkaarenaikaisen luotettavuustiedon tärkeys ja rajoittavuus nousee esille, mikäli modernisointia tehdään luotettavuuden parantamisen lähtökohdista. Tuotetiedon hallintaan liittyy muutamia käsitteitä, jotka on hyvä selvittää ennen asian varsinaista käsittelyä. Tuotetiedon hallinta PDM (eng. Product Data Management) tarkoittaa tuotteeseen liittyvien suunnitteludokumentaatioiden, tuoterakenteen sekä eri revisioiden hallintaa. Tuotteen elinkaaren hallinta PLM (eng. Product Lifecycle Management) vie tiedon hallinnan pidemmälle ottaen mukaan tuotteen elinkaaren aikana syntyvän tiedon, kuten analysointitulokset, testiraportit, komponenttien ympäristövaikutukset, suunnitteluvaatimukset, muutostarpeet, valmistusmenetelmät, laatu tiedon sekä tavaran toimittajat. (Saaksvuori & Immonen 2008, s. 1–2). Käytännössä koneiden ja laitteiden tuotetietoa hallitaan jollakin PDM- tai PLM-ohjelmistolla.

Monet tässäkin työssä esitellyt tutkimukset mainitsevat tuotetiedon tarpeen modernisointiprosessin alkuvaiheissa. Barbosa ja Souza (2017, s. 32) tuovat esille, että prosessin ensimmäisessä vaiheessa tulee tehdä tuotteen analysointi, jonka tavoitteena on kerätä tietoa alkuperäisestä rakenteesta. Alkuperäisen tuotteen analysoinnissa tulee hankkia tietoa tuotteen tuoterakenteesta sekä aiemmin suoritetuista purkamisista ja kokoamisista. (Barbosa & Souza 2018, s. 2528)

Toisaalta Pueo et al. (2020) kehottavat varmistamaan prosessin alkupäässä, että alkuperäinen tekninen dokumentaatio on yhtäläinen tuotteen senhetkisen rakenteen kanssa.

Zolghadri et al. (2018, s. 268) tuovat esille, että tuotteen eri osat saattavat olla eri päivitysasteilla. Jokin osa saattaa olla päivitetty kolmesti, kun taas toinen osa saattaa olla päivitetty vasta kaksi kertaa.

Tietyllä ajanhetkellä koneen rakennetta voidaan kuvata perustasojen avulla. Perustasolla tarkoitetaan tuotteen rakennetta tietyllä hetkellä sen elinkaaren aikana. Kun tuotteeseen tehdään päivityksiä, täytyy perustaso päivittää. Tällaisia päivityksiä ovat esimerkiksi osien korvaaminen vanhentumisen takia, muutokset suorituskyvyn parantamiseksi sekä muuttuvien tarpeiden vuoksi tehdyt muutokset. (Mo & Sinha 2014, s. 157) Haastetta luo kuitenkin se, että koneen elinkaaren aikana, eri koneyksilöitä saatetaan päivittää eri tavalla. Mo ja Sinha (2014, s. 157) toteavatkin, että koneen käytönaikaisen organisaation tulee huomata, että jokainen tuote saattaa todellisuudessa olla eri konfiguraatiolla

Zolghadri ja Couffin (2018) esittelevät tuotetiedon saatavuuden kannalta kaksi tilannetta. Joko tarvittava tieto on saatavilla ja se on käsiteltävissä jollakin PDM-ohjelmistolla tai tietoa ei ole saatavilla eikä sitä ole mahdollista käsitellä. Mikäli tuotetieto on saatavilla esimerkiksi alkuperäisellä valmistajalla, se voi olla jo alkujaan riittävä tai siihen on mahdollista lisätä tietoa. Toisessa tapauksessa tietoa ei ole saatavilla, jolloin tarvittava tieto pitää kerätä ennen modernisoinnin aloittamista. (Zolghadri et al. 2018, s. 276)

Tuotteen perustason määrittämistä vaikeuttaa osaltaan kannibalisaatio, millä tarkoitetaan sitä, että korjattavaan koneeseen vaihdetaan osa, jostakin toisesta koneesta, jonka toimittamisella ei ole niin kiire. Tämä luo ongelmia esimerkiksi kannibalisoidun koneen tuoterakenteen perustason määrittämisessä. (Mo & Sinha 2014, s. 157)

Tuotteen rakenteen selvittämisen lisäksi saatetaan tarvita tietoa tuotteen komponenttien luotettavuudesta, mikäli modernisointia tehdään koneen luotettavuuden parantamiseksi, kuten Souza et al. (2017) tekevät tutkimuksessaan. Mikäli luotettavuustietoa ei ole saatavilla tai se on vaikeasti kerättävissä, saattaa tämä rajoittaa modernisoinnin suunnittelua tai heikentää luotettavuuden pohjalta tehtyjen analysointien laatua.

4.2.3 Lain asettamat rajoitteet

Liikkuvaa työkonetta tai tuotantolaitetta modernisoitaessa voi tulla eteen myös turvallisuuteen ja lakiin liittyviä tekijöitä. Seuraavaksi esitellään muutamia modernisoinnin lakiasioihin liittyviä seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon modernisointia suunniteltaessa. Kyseessä ei kuitenkaan ole kattava selvitys kaikista modernisoinnin lakiasioihin liittyvistä seikoista.

Yleisesti koneisiin liittyvä lainsäädäntö voidaan suomessa jakaa kahteen osaan. Ennen markkinoille saattamista koneeseen tulee soveltaa koneasetusta (12.6.2008/400), joka korvaa aiemmin voimassa olleen konepäättöksen. Jo käytössä oleviin koneisiin sovelletaan käyttöasetusta (403/2008), jonka soveltamisalaan kuuluvat kaikki koneen, välineet, tekniset laitteet sekä niiden yhdistelmät (Työsuojeluhallinto 2009, s. 6)

Konelaisissa (26.11.2004/1016) esitetään käytössä olevien koneiden muuttamisesta seuraavasti:

9 § (6.4.2018/215) Teknisen laitteen edelleen luovuttajan velvollisuudet

Markkinoille luovutetun teknisen laitteen edelleen luovuttajan on osaltaan varmistettava, että laite on turvallisuuden kannalta siten vaatimustenmukainen kuin se oli markkinoille luovutettaessa. Lisäksi tulee varmistaa, että asianmukaiset ohjeet ovat laitteen mukana.

10 § Käytössä olevat tekniset laitteet

Mitä 8 ja 9 §:ssä säädetään, koskee soveltuvin osin myös käytössä olevien teknisten laitteiden myyntiä, vuokrausta ja muuta luovuttamista.

Jos tekniseen laitteeseen tehdään käyttötarkoituksen vastaisia tai muita olennaisia turvallisuuteen vaikuttavia muutoksia, sitä käsitellään uutena laitteena ja siihen sovelletaan, mitä 4 ja 5 §:ssä säädetään.

Käytännössä tämä tarkoittaa, että modernisoidun laitteen turvallisuustaso ei saa alentua, ja edelleen kaikista muutoksista tulee olla asianmukaiset ohjeet. Mikäli koneeseen tehdään merkittäviä muutoksia, käsitellään sitä siinä tapauksessa uutena koneena ja siihen sovelletaan kaikkia konepäättöksen vaatimuksia. Sunqvistin (2010, s. 5) mukaan tavallisesti merkittävät muutokset tarkoittavat sitä, että koneen käyttötarkoitusta muutetaan esimerkiksi siten, että käsin ohjattavasta työstökoneesta tehdään automaation avulla ohjelmoitava valmistusjärjestelmä.

Käytännössä modernisoinnin kannalta on keskeistä, kuinka suuria muutostöitä ollaan tekemässä. Mikäli muutokset ovat laajuudeltaan niin suuria, että koneen osalta aletaan soveltaa koneasetusta, tuo tämä mukanaan runsaasti selvitystyötä liittyen koneen vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen. Vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen vaatii konelain (26.11.2004/1016) mukaan esimerkiksi vaatimuksenmukaisuuden osoittamista varten tarvittavat asiakirjat sekä laitteen käyttöä varten tarvittavat käyttöohjeet.

4.3 Työkalut modernisoinnin tuotekehityksen avuksi

Seuraavissa luvuissa esitellään työkaluja, jolla voidaan edistää modernisoinnin tuotekehitystä sekä parantaa tietoon perustuvaa päätöksentekoa. Luvussa 4.3.1 esitelty työkalu pyrkii helpottamaan luotettavuuteen perustuvaa päätöksentekoa, luvussa 4.3.2 esitellyt työkalut auttavat erilaisten ratkaisujen vertailussa sekä asiakkaan tarpeiden sekä teknisten ominaisuuksien yhdistämisessä. Luvussa 4.3.3 esitellään laajempaa kokonaisuutta, joka pitää sisällään useita eri menetelmiä. Kaikilla luvun 4.3.3 menetelmillä on kuitenkin yhteistä se, että niillä pyritään hankkimaan tietoa tuotteen rakenteesta ja ominaisuuksista.

4.3.1 Design Structure Matrix ja HAZOP

Peruskorjaus-prosessissa yksi keskeisistä päätöksistä on modernisoitavien osien valinta laitteesta, jota ollaan modernisoimassa. Erityisesti tilanteessa, jossa modernisointia tehdään tavoitellen modernisoidulta laitteelta alkuperäistä parempaa luotettavuutta.

Barbosan ja Souzan (2017) kehittämä malli hyödyntää suunnittelumatriisia DSM (eng. design structure matrix) sekä HAZOP-analyysiä (eng. Hazard And Operational Study) Menetelmän ideana on koostaa alkuperäisestä koneesta matriisi pohjautuen koneen tuoterakenteeseen, ja verrata eri muutosvaihtoehtoja alkuperäisestä laitteesta luotuun lähtötasoon.

Suunnittelumatriisi on perusajatukseltaan verkostonmallinnustyökalu, jolla voidaan esittää verkoston osien suhteita. Matriisilla soveltuu hyvin monimutkaisten järjestelmien suunnitteluun ja sitä on käytetty insinöörijohtamisessa. Käytännössä DSM on $n \times n$ -matriisi, jossa n on systeemin elementtien lukumäärä. Sovelluksesta riippuen n voi kuvata esimerkiksi organisaatiossa olevien henkilöitä tai prosesseja. (Eppinger & Browning 2012, s. 1–3) Tässä tapauksessa matriisin rivit ja sarakkeet kuvaavat koneen tuoterakenteen osia ja/tai osakokoonpanoja. Käytetyn suunnittelumatriisin alkiot jaetaan lisäksi neljään osaan, jotka kuvaavat kahden osan välistä vuorovaikutusta. Vuorovaikutusta kahden osan välillä voidaan kuvata fyysisellä vuorovaikutuksella, energialla, materiaalilla tai informaatiolla. (Pimpler & Eppinger 1994, Barbosa & Souza 2017 mukaan)

HAZOP-analyysissä tutkittavasta järjestelmästä muodostetaan konseptimalli, joka hyödyntää kaikkea saatavilla olevaa tietoa järjestelmästä. Tämän jälkeen arvioitavien osien

toimintaan liittyvät riskit ja potentiaaliset ongelmat arvioidaan arviointiryhmässä. Arvioiden laatu on kiinni arviointiin osallistuvien henkilöiden ammattitaidosta, käytetyn tiedon tarkkuudesta ja suunnittelun laadusta. (Crawley & Tyler 2015, s. 10–12)

Barbosan ja Souzan (2017) kehittämä menetelmä koostuu kolmesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa tuotteesta pyritään koostamaan tiedot alkuperäisestä laitteesta. Tarvittaessa voidaan hyödyntää käänteisen suunnittelun menetelmiä. Toisessa vaiheessa tehdään kriittinen arvio laitteen aiemmasta toiminnasta ottaen huomioon luotettavuus (reliability), käytettävyys (availability), huollettavuus (maintainability) ja tuettavuus (supportability). (Barbosa & Souza 2017, s. 31–32)

Kolmannessa vaiheessa suunnittelumatriisin sekä riskianalyyysien avulla tehdään päätös siitä, mitkä osat tai osakokoonpanot tulisi suunnitella uudelleen ja modernisoida. Aiemmissä vaiheissa kerätyn tiedon pohjalta koostetaan suunnittelumatriisi, jonka sarakkeet ja rivit kuvaavat koneen osia. Tämän jälkeen komponentin vaikutusta muihin fyysisen vuorovaikutuksen, energian, materiaalin ja informaation osalta. Samalla vuorovaikutuksesta aiheutuville ongelmille selvitetään ilmentymisluku (eng. occurrence) sekä vaikuttavuusluku (eng. impact factor) HAZOP-analyyysin perusteella. Matriisin diagonaaleille lasketaan niin ikään ilmentymisluku sekä vaikuttavuusluku perustuen osasta itsestään johtuvaan riskiin. Jokaiselle osalle määritellään lisäksi vakavuusluku (eng. severity) asteikolla 1–10, missä 1 tarkoittaa, että havaittavaa vaikutusta ja 10 tarkoittaa, että vaikuttaa turvalliseen operointiin ilman varoitusta.

	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
Osa 1		Fyysinen Energia Materiaali; Tieto		
Osa 2				
Osa 3				
Osa 4				

Kuva 6. Osien riskianalyyysiin käytettävä matriisi (mukaillen Barbosa & Souza 2017, s. 33).

Kuvan 6 mukainen matriisi täytetään sekä ilmentymislukujen, että vaikuttavuuslukujen perusteella, joita arvioidaan seuraavan kuvan 7 kriteerien mukaisesti. Diagonaalille asetetaan osasta itsestään johtuvat riskit. Muihin soluihin kirjataan vuorovaikutuksesta johtuvia ilmentymislukuja tai vaikuttavuuslukuja.

<u>Todennäköisyys ilmentymiselle</u>	<u>Arvo</u>	<u>Vaikutus vakavuuteen</u>	<u>Arvo</u>
Korkea, tapahtuma lähes vääjäämätön	10	Korkea	1
	9		
Korkea, toistuva ilmentyminen	8	Keskinkertainen	0,5
	7		
Keskinkertainen, satunnainen ilmentyminen	6	<u>Matala</u>	<u>0,1</u>
	5		
	4		
Matala, suhteellisen harvinainen	3		
	2		
<u>Epätodennäköinen</u>	<u>1</u>		

Kuva 7. *Arviointikriteerit ilmentymisluvulle sekä vaikuttavuudelle (mukaillen Barbosa & Souza 2017, s. 34)*

Kuvassa 7 vasemmalla on kuvattuna ilmentymisluvun arviointiin käytettävä kriteeristö, jonka perusteella kuvan 6 mukaista matriisia täytetään. Kuvassa 7 oikealla on kuvattuna vaikuttavuusluvun arviointiin käytettävä kriteeristö.

Täydennettyjen matriisien sarakkeista sekä osalle määritellystä vakavuusluvusta (eng. severity) saadaan laskettu jokaiselle osalle riskiluku RPN (eng. Risk Priority Number) ja edelleen jokaisen riskiluvun summana saadaan kokonaiselle kokoonpanolle laskettua globaali riskiluku GRPN (eng. Global Risk Priority Number). Edelleen saadaan laskettua kokonaisriski konfiguraatiolle kaavalla

$$Risk_i = GRPN * P(\text{performance} < \text{target}), \quad (1)$$

missä P kuvaa riskiä, että jokin tekninen suorituskyky ei saavuta tavoitetta. Konfiguraatiolle saadaan laskettua kustannus-hyöty-indeksi (CBI) kaavalla

$$CBI = \frac{Cost_i}{Risk_i} - \frac{Cost_0}{Risk_0}, \quad (2)$$

missä $Cost_i$ kuvaa tarkasteltavan vaihtoehdon kustannusta, $Cost_0$ alkuperäisen rakenteen kustannusta, $Risk_i$ kyseisen rakenteen kokonaisriskiä ja $Risk_0$ alkuperäisen laitteen kokonaisriskiä.

Mitä suurempi indeksiluku saadaan, sitä parempi kyseinen vaihtoehto on mallin mukaan tarkasteltuna. (Barbosa & Souza 2017, s. 32–36) Kun verrataan keskenään eri vaihtoehtojen kustannus-hyöty-indeksejä, voidaan tehdä johtopäätöksiä eri konfiguraatioiden toiminnasta suhteessa muihin.

Edellä esitellyllä menetelmällä on muutamia rajoitteita. Analysoinnissa käytetään useita subjektiivisia arvioita, jotka vaikuttavat analyysin onnistumiseen. Toisaalta menetelmällä tehdään arvioita perustuen riskiarviointiin siitä, että tavoiteltua suorituskykyä ei saavuteta. Tämä luo osaltaan epävarmuutta mallin tuloksiin. (Barbosa & Souza 2017, s. 43)

4.3.2 Decision Matrix ja Quality Function Deployment

Pueo et alin (2020) tekemässä tutkimuksessa tarkastellaan renkaan profiilin testauslaitteen modernisointia renkaan pyörimisen testauslaitteeksi. Tutkimuksessa Pueo et al. käyttävät muutamia eri tuotekehityksen työkaluja, joilla voidaan arvioida erilaisia suunnitteluratkaisuja.

QFD (eng. Quality Function Deployment) on tuotekehityksen työkalu, jolla voidaan ottaa huomioon asiakkaan tarpeet ja yhdistää ne tekniseen toteutukseen. Ennen työkalun käyttöönottoa tulee muodostaa poikkitieteellinen työryhmä, joka tekee analysointia. Lisäksi tulee ymmärtää syvällisemmin asiakkaan tarpeita sekä odotuksia. Yleensä QFD tehdään neljässä eri faasissa, jotka ovat vaikutus tyytyväisyyteen, toiminnalliset vaatimukset, suunnitteluparametrien valinta sekä prosessimuuttujien valinta. (Yang & El-Haik 2009) Käytännössä QFD voidaan tehdä esimerkiksi kuvan 8 mukaisella taulukolla

Tuotteen ominaisuudet		Asiakasvaatimukset ja tarpeet													
		Tärkeisyys 1-5	Suunnittelu parametri 1	Suunnittelu parametri 2	Suunnittelu parametri 3	Suunnittelu parametri 4	Suunnittelu parametri 5	ECM tuote 1(1-5)	Kilpailija 1(1-5)	Kilpailija 2(1-5)	Tekninen tavoite (1-5)	Kehittämissuuhde	Markkinamiehyys	Absoluuttinen painoarvo	Sijitus
Tekniset yksityiskohdat	Tekninen ominaisuus 1														
	Tekninen ominaisuus 2														
	Tekninen ominaisuus 3														
	Tekninen ominaisuus 4														
	Tekninen ominaisuus 5														
	Tekninen ominaisuus 6														
Kokoonpantavuus	Kokoonpantavuus 1														
	Kokoonpantavuus 2														
	Kokoonpantavuus 3														

Absoluuttinen tärkeys															
Suhteellinen tärkeys															
Sijitus															
Kilpailija-analyysi															
Kehitettävä tuote															
Kilpailija 1															
Kilpailija 2															
Tavoitteen määrittely															
Tavoitteen saavuttamisen tekninen vaikeus(1-5)															

Korrelaatiomatriisi															
Vahva korrelaatio (9)															
Keskinkertainen korrelaatio (3)															
Heikko korrelaatio (1)															

Kuva 8. Esimerkki QFD taulukosta (mukaan Pueo et al. 2020)

Kun asiakastarpeet on selvitetty, ne listataan kuvan 8 mukaisen matriisin oikealla olevaan sarakkeeseen asiakasvaatimukset ja tarpeet. Jokaiselle asiakastarpeelle määritetään edelleen tärkeysluku (eng. importance) väliltä 1–5. Matriisin yläosan kohtaan tuotteen ominaisuudet listataan tuotteen tekniseen rakenteeseen liittyvät tekijät. Jokaista tuotteen teknistä ominaisuutta verrataan tiettyyn asiakastarpeeseen asteikolla 0(ei vaikutta), 1, 3, 9(vaikuttaa paljon). Kun kaikki arviointi on tehty, voidaan jokaiselle tekniselle ominaisuudelle laskea absoluuttinen tärkeys (eng. absolute importance) sekä suhteellinen tärkeys (eng. relative importance). Lisäksi matriisin avulla voidaan arvioida kilpailijoiden ratkaisuja ja ottaa ne mukaan kokonaisarvioon.

Päätöksentekomatriisi (eng. decision matrix) on QFD:tä yleisluontoisempi suunnittelun työkalu. Hainesin (2014) mukaan matriisilla voidaan ottaa huomioon tietyn vaihtoehdon vaikutus esimerkiksi asiakastyytyvyyteen, asiakkaiden säilymiseen tai tuotteesta saattaviin tuottoihin. Lisäksi jokaiselle kategorialle on mahdollista antaa painokerroin, jonka avulla voidaan painottaa eri kategorioiden vaikutusta lopputulokseen eri tavalla. (Haines 2014) Päätöksentekomatriisi voidaan esittää esimerkiksi kuvan 9 mukaisella tavalla.

Decision matrix		Painokerron %	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
		Vaatus 1			
Vaatus 2					
Vaatus 3					
Vaatus 4					
Vaatus 5					
Vaatus 6					
Painotettu kokonaistulos	100				
Sijoitus	1-3				

Kuva 9. Päätöksentekomatriisi (mukaillen Pueo et al. 2020)

Kuvan 9 matriisin ensimmäiseen sarakkeeseen listataan tarkasteltavat ominaisuudet sekä niiden suhteellinen painoarvo, joka määritellään suunniteltujen tavoitteiden pohjalta. Jokaiselle vaihtoehdolle annetaan pisteet esimerkiksi asteikolla 1–5 sen mukaan, kuinka hyvin ne toteuttavat kyseisen ominaisuuden. Lopuksi lasketaan jokaiselle ratkaisulle painotettu kokonaistulos. Parhaiten vaihtoehdoista selviää se, jolla on suurin painotettu kokonaistulos.

4.3.3 Käänteinen suunnittelu

Laitetta modernisoitaessa saattaa tulla eteen tilanteita, jossa laitteesta ei ole saatavilla dokumentoitua tietoa. Puuttuvaa tietoa voi liittyä esimerkiksi laitteen rakenteeseen, osien 3D-malleihin tai sähkökaavioihin. Souza et alin (2017, s. 31) mukaan alkuperäisen tuotteen rakennetta selvitetessä on mahdollista ottaa käyttöön käänteisen suunnittelun (eng. reverse engineering) menetelmiä puuttuvan tiedon hankkimiseksi.

Otto et alin (1998, s. 226) mukaan käänteinen suunnittelu on uudelleensuunnittelu-prosessi, jolla pyritään selvittämään ja ymmärtämään alkuperäisen tuotteen ominaisuudet ja toiminta täydellisesti. Käänteinen suunnittelu on laaja käsite, jota sovelletaan monilla suunnittelun aloilla aina sähkösuunnittelusta mekaaniseen suunnitteluun (Pierre Antoine et al. 2013).

Raja et al. (2008) määrittelevät käänteisen suunnittelun toiseksi insinööriyön osaksi. Tavallinen tapa suunnitella tuotteita on edetä korkealta abstraktitasolta esimerkiksi konseptista kohti konkreettisempaa laitetta. Käänteinen suunnittelu puolestaan pyrkii luomaan jo olemassa olevasta tuotteesta piirustukset sekä tuoterakenteen. Käänteisellä suunnittelulla pyritään tarvittaessa kopioimaan tuotteen 3D geometria tietokoneella luettavaan muotoon. (Raja & Fernandes 2008, s. 2)

Raja ja Fernandes (2008) listaavat kirjassaan syitä, jonka vuoksi käänteistä suunnittelua voidaan joutua hyödyntämään. Näitä syitä ovat esimerkiksi:

- Osan alkuperäistä valmistajaa ei enää ole, mutta varaosille on silti tarvetta.
- Alkuperäinen valmista ei enää valmista tuotetta, koska se on vanhentunut.
- Alkuperäinen tuotedokumentaatio on hukkunut tai sitä ei ole koskaan ollut.
- 3D CAD (eng. Computer Aided Design) tietoa ei ole saatavilla. (Raja & Fernandes 2008)

Otto ja Woodi (1998) esittelevät toimintamallin, joka yhdistää käänteisen suunnittelun sekä uudelleensuunnittelun (eng. redesign) yhdeksi kokonaisuudeksi. Toimintamallissa käänteisen suunnittelun vaihe koostuu kahdesta osasta. Tutkiminen ja hypoteesi sekä käytännön kokemukset. Käytännössä toimenpiteet pitävät sisällään toimenpiteitä, kuten tuotteen testikäyttö, osaluettelon laatiminen, tuotteen osien testaus sekä vapaakappakuvan laatiminen.

Messler (2014) mukaan tuotteen purkamisen käänteisen suunnittelun vuoksi koostuu viidestä vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa listataan suunnittelun ongelmat tai purka-

misen tarkoitus. Löytöjen dokumentoinniksi tehdään tietosivu, joka pitää sisällään esimerkiksi osien nimet, tiedon geometriasta ja työstötavan. Toisessa vaiheessa valmistaututaan purkamaan tuote ja varataan purkamista varten tarvittavat välineet. Kolmannessa vaiheessa tutkitaan tuotteen toimitussisältöä. Neljännessä vaiheessa tuote puretaan, mitataan ja mitattua tietoa analysoidaan ja tiedot kirjataan ensimmäisessä vaiheessa luodulle tietosivulle. Viimeisessä vaiheessa tehdään systeeminen malli, jonka tarkoituksena on selventää jokaisen osan merkitystä kokonaisuudessa. (Messler 2014)

Yksi käänteisen suunnittelun keskeinen menetelmä on 3D-skannaus (eng. 3D scanning), jolla muodostetaan olemassa olevasta geometriasta 3D malli, jota voidaan käsitellä esimerkiksi Solid Worksin kaltaisilla CAD-ohjelmistoilla. Rajan ja Fernandesin (2008) mukaan 3D skannaus koostuu kolmesta vaiheesta, jotka ovat: skannaus, pistepilven prosessointi sekä sovelluksen mukaisen geometrian luonti. Skannausta varten on niin ikään olemassa kolmen tyyppiä menetelmiä. Koskettavat skannauslaitteet perustuvat koordinaattimittauskoneessa olevan kosketuspään ja mitattavan kappaleen fyysiseen kontaktiin. Mittalaitteella suoritetaan lukuisia mittauksia ja näin saadaan aikaan pistepilvi. Toinen 3D-skannaus menetelmä on ei-koskettavat menetelmät, joka pitää sisällään lukuisia eri teknologioita, kuten mikroaaltoihin tai laseriin perustuvat menetelmät. Ideana kaikissa on, että mitattavaan kappaleeseen ei kosketeta fyysisesti mittauksen aikana. Kolmas menetelmä on tuhoava menetelmä (eng. destructive method), jonka ideana on, että kappaleesta poistetaan CNC-jyrsimellä (eng. Computerized Numerical Control) ohuita tasoja yksi kerrallaan ja jokaisessa välissä kappaleesta otetaan poikkileikkauskuva. Näitä kuvia yhdistämällä saadaan aikaan malli kokonaisesta kappaleesta. (Raja & Fernandes 2008, s. 4–47)

Liikkuvien työkonien kehitys kulkee jatkuvasti kohti digitaalisia ohjausjärjestelmiä sekä automatisoituja työkonieita (Tirkkonen 2018, s. 52). Tämän seurauksena pelkästään tuotteen mekaanisia ominaisuuksia tutkimalla koneen toiminnasta ei välttämättä ymmärretä vielä kovinkaan paljoa, vaan täytyy tarkastella koneen automaatiota, anturointia sekä sähköjärjestelmiä. Termiä käänteinen suunnittelu käytetään myös tietokoneen ohjelmistojen toiminnan selvittämisestä. Bell (2006) määrittelee käänteisen suunnittelun tutkimusprosessiksi, jolla pyritään selvittämään ohjelmiston toiminta ja esittämään se ymmärrettävästi. Tietotekniikassa käänteistä suunnittelua voidaan hyödyntää esimerkiksi liiketoimintadatan taltioimiseen, kuluttajien tuotteiden parantamiseen tai ohjelmistorajapintojen API (eng. Application Programming Interface) löytämiseen. (Bell 2006, s. 4–5)

Käänteinen suunnittelu on keino saada tietoa laitteesta, josta ei ole säilynyt luotettavaa dokumentaatiota. Hankittava tieto voi liittyä esimerkiksi tuotteen geometriaan tai tuote-

rakenteeseen. Käänteisen suunnittelun menetelmiä voidaan soveltaa niin tuotteen mekaanisen rakenteen selvittämiseen kuin ohjelmistojen toimintaan. Modernisoinnin kannalta käänteisen suunnittelun menetelmät ovat tarpeellisia, mikäli alkuperäisistä osista ei ole saatavilla 3D malleja, vaikka niille olisi tarvetta. Toisaalta ohjelmiston ja automaation toiminnan selvittämiseksi voidaan hyödyntää käänteisen suunnittelun menetelmiä tapauksissa, joissa modernisointi koskee niitä.

5. YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa kokonais kuvaa modernisointiprosesseista sekä selvittää modernisoinnin osuutta ja merkitystä kiertotaloudessa. Työssä asetettiin kaksi tutkimuskysymystä, jotka olivat:

1. Minkälainen on modernisointiprosessi kiertotalouden lähtökohdista?
2. Mitkä tekniset tekijät rajoittavat modernisointihankkeen tuotekehitystä ja millaisia työkaluja modernisoinnin suunnitteluun on kehitetty?

Työ toteutettiin strukturoituna kirjallisuuskatsauksena muodostamalla erilaisia hakusanoja ja hakemalla niiden avulla systemaattisesti tietoa eri tietokannoista. Lähteiden soveltuvuutta työhön arvioitiin otsikoiden ja tiivistelmien perusteella. Työn alussa luotiin kokonais kuvaa kiertotalouden käsitteistöstä sekä kiertotalouden osuudesta konepajasektorilla. Seuraavassa osassa tutkittiin modernisoinnin tavoitteita sekä erilaisia modernisointiprosesseja. Työn viimeisessä osassa koostettiin modernisoinnin tuotekehitystä rajoittavia tekijöitä sekä esiteltiin muutama suunnittelun työkalu, jolla modernisoinnin suunnittelun haasteisiin voidaan vastata.

Työn yhdeksi keskeiseksi haasteeksi muodostui modernisoinnin käsitteen määrittely, sillä kirjallisuudessa on useita eri käsitteitä, jolla modernisointia voidaan kuvata. Käsitteistö pitää sisällään paljon samankaltaisuutta määrittelyssä, mutta silti ei voida aivan aukottomasti vetää johtopäätöksiä eri käsitteillä esiteltujen modernisointien välillä. Osaltaan käsitteistöä laajentaa myös se, että uudelleenvalmistus voidaan ymmärtää siten, että se pitää sisällään modernisoinniksi luokiteltavia toimenpiteitä. Työn osalta modernisoinnin toteutus jaettiin kolmeen eri luokkaan, jotka olivat uudelleenvalmistus, peruskorjaus sekä modernisointi yksittäisprojektina. Työssä kuvattiin prosessikuvaukset näiden modernisointitapojen osalta. Jatkotutkimuksissa olisi tarpeellista kehittää selkeä jaottelu eri modernisointitapojen välille ottaen huomioon työssä käsiteltujen seikkojen lisäksi muiden muassa tuotantomuoto ja omistussuhteiden vaihtuminen.

Kiertotaloudesta pyrittiin työssä luomaan lyhyttä ja täsmällistä kokonais kuvaa, jotta modernisointia voitaisiin tulkitella sen osana. Kiertotalouden määrittelyä vaikeutti se, että sille löytyi kirjallisuudesta useita määritelmiä hieman lähteestä riippuen. Työssä onnistuttiin kuitenkin löytämään eri määritelmistä yhteneväisyyksiä siten, että sen pohjalta voidaan tehdä johtopäätöksiä.

Työssä käsitellyn perusteella modernisointi sopii loogisesti osaksi kiertotalouden tavoitteita tietyn epävarmuuksin. Modernisoimalla pystytään pidentämään tuotteen elinkaarta

ja näin ollen hidastamaan materiaalien kiertoa, mikä on yksi kiertotalouden keskeisistä tavoitteista. Toisaalta ei voida yksikäsitteisesti näyttää, että kaikki modernisointi pidentäisi tuotteen käyttöikää tai hidastaisi materiaalikiertoa. Syy tälle on se, että modernisoinnin käsitteiden ja modernisoitaviksi luokiteltavien toimenpiteiden kenttä on laaja. Yksi ongelmakohtana voi olla esimerkiksi tuotteen ulkonäköön liittyvät modernisoinnit. Toisaalta selkeästi laitteen elinkaarta pidentävät toimenpiteet ja muutostyöt soveltuvat kiertotalouden tavoitteisiin hyvin. Modernisointiprosessin osalta kiertotalouden tavoitteiden toteutuminen otetaan huomioon prosessin tuotekehityksessä yhdessä muiden vaatimusten kanssa. Kiertotalouden lähtökohta vaikuttaa suunnittelussa erityisesti tavoitetilan määrittelyyn.

Työn toinen tutkimuskysymys käsitteli modernisoinnin tuotekehityksen reunaehtoja. Työssä onnistuttiin koostamaan kattava lista reunaehtoja, jotka modernisoinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Monet reunaehdoista liittyvät tarvittavien tietojen, kuten ajantasaisen tuoterakenteen saatavuuteen. Toisaalta saatetaan tarvita myös koneen elinkaaren aikana muodostunutta tietoa, kuten asiakaspalautetta ja luotettavuustietoa. Työssä rajattiin alussa pois muutamia rajoittavia tekijöitä, kuten kustannukset. Kustannusten tarkastelu on kuitenkin oleellinen osa modernisoinnin arviointia liiketoiminnallisessa mielessä.

Rajausten lisäksi muutamien käsiteltyjen reunaehtojen tarkasteluun liittyy rajoitteita. Laikiin ja turvallisuuteen liittyvät asia käsiteltiin työssä hyvin pintapuolisesti, joten niiden perusteella ei voida vetää kattavia johtopäätöksiä. Keskeinen syy pintapuoliseen käsitteelyyn oli monissa lähdemateriaaleissa esiintynyt vanhentuneeseen lainsäädäntöön viittaaminen ja sovellettavan lain tapauskohtaisuus. Toisaalta modernisoinnin toteuttajatahon luomista rajoitteista ei voida vetää kaikenlaista modernisointia kattavia johtopäätöksiä, sillä työssä esitelty lähdemateriaali käsitteli toteuttajatahon vaikutusta pelkästään uudelleenvalmistuksen osalta. Toteuttajatahon vaikutukset tarkoittavat käytännössä haasteita esimerkiksi tiedon tai tarvittavien osien saatavuudessa.

Työhön valikoitiin muutama työkalu, jolla modernisoinnin tuotekehitystä voidaan edistää. Esitellyt työkalut ovat modernisoinnin päätöksenteossa ja tiedon hankinnassa varsin käyttökelpoisia. Modernisoinnin työkalujen valintaan vaikuttaa pitkälti modernisoinnin tavoitteet ja senhetkiset rajoitteet, joten kaikkiin modernisointeihin työkaluja ei voi soveltaa. Lisäksi tulee huomata, että modernisoinnissa voidaan hyödyntää myös muunlaisessa tuotekehityksessä käytettyjä työkaluja. Työllä onnistuttiin vastaamaan toiseen tutkimuskysymykseen tiettyjen rajoitteiden puitteissa.

Työn tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuvaa modernisoinnista osana kiertotaloutta, missä työ onnistui hyvin. Työssä luotua kokonaiskuvaa voi hyödyntää osana aihepiirin jatkotutkimusta, johon työssä löytyi useita aiheita. Yhtenä pois rajattuna aihepiirinä oli kustannustarkastelu, joka on kuitenkin varsin merkittävä osa, mikäli arvioidaan modernisointia liiketoimintana. Toisaalta modernisoinnin hajanaiseen käsitteistöön tulisi kehittää selkeät määrittelyt erityyppisille modernisoinneille ja selvittää niiden erovaisuudet. Yksi selkeästi modernisointiin liittyvä kokonaisuus olisi lisäksi modernisoinnin ja uudelleenvalmistuksen valmistusmenetelmät, joista olisi hyvä tehdä selvitys mahdollisissa jatkotutkimuksissa, jotta modernisointia voitaisiin tehdä tehokkaalla tavalla suurien koneiden lisäksi myös pienemmissä koneissa.

LÄHTEET

Valtioneuvoston asetus

työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta, 403/2008, 2008, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta, 12.6.2008/400, 2008, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>.

Laki eräiden laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta, 26.11.2004/1016, 2004, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016#a20.1.2006-45>.

Barbosa, G.E. & Souza, G.F.M. (2018) A method for defence product major overhaul analysis focusing on interfaces redesign and extended life supportability, *International Journal of Production Research*, 56(7), pp. 2523–2538. doi: 10.1080/00207543.2017.1391414.

Barbosa, G.E. & Souza, G.F.M. (2017) A risk-based framework with Design Structure Matrix to select alternatives of product modernisation, *Journal of Engineering Design*, 28(1), pp. 23–46. doi: 10.1080/09544828.2016.1258458.

Bell, W. (2006) Reverse Engineering. Delhi, Global Media.

Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C. and van der Grinten, B. (2016) Product design and business model strategies for a circular economy, *Journal of industrial and production engineering*, 33(5), pp. 308–320. doi: 10.1080/21681015.2016.1172124.

Cooper, R.G. (1990) Stage-gate systems: A new tool for managing new products, *Business horizons*, 33(3), pp. 44–54. doi: 10.1016/0007-6813(90)90040-I.

Cooper, R.G. & Kleinschmidt, E.J. (1991) New product processes at leading industrial firms, *Industrial marketing management*, 20(2), pp. 137–147. doi: 10.1016/0019-8501(91)90032-B.

Crawley, F. & Tyler, B. (2015) HAZOP: Guide to Best Practice. Saint Louis, Elsevier.

Ellen MacArthur Foundation (2013) Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition, Ellen MacArthur Foundation.

Eppinger, S.D. & Browning, T.R. (2012) Design Structure Matrix Methods and Applications. Cambridge, MIT Press.

Haines, S. (2014) Decision making techniques. 2nd edition., New York, McGraw-Hill Education.

Halonen, N. & Majuri, M. (2018) Kiertotalouden liiketoimintamallit, Tampereen teknillinen yliopisto.

Hartman, J.C. (2005) A note on 'a strategy for optimal equipment replacement', *Production planning & control*, 16(7), pp. 733–739. doi: 10.1080/09537280500168373.

- Karvonen, I., Jansson, K., Tonteri, H., Vatanen, S. and Uoti, M. (2015a) Enhancing re-manufacturing – studying networks and sustainability to support Finnish industry, *Journal of remanufacturing*, 5(1), pp. 1–16. doi: 10.1186/s13243-015-0015-6.
- Karvonen, I., Jansson, K., Vatanen, S., Tonteri, H., Uoti, M. and Wessman-Jääskeläinen, H. (2015b) Uudelleenvalmistus osana kiertotaloutta. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Ke, Q., Zhang, H., Liu, G. and Li, B. (2011) Remanufacturing Engineering Literature Overview and Future Research Needs *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing* Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, pp. 437–442.
- King, A.M., Burgess, S.C., Ijomah, W. and McMahon, C.A. (2006) Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle? *Sustainable Development*, 14(4), pp. 257–267. doi: <https://doi.org/10.1002/sd.271>.
- Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling*, 127, pp. 221–232. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- Kone Oyj (2021) Hissien peruskorjaus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.4.2021): <https://www.kone.fi/olemassa-olevat-rakennukset/hissin-peruskorjaus/> .
- Konecranes Oyj (2021) Miksi nosturisi kannattaa modernisoida?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.4.2021): <https://www.konecranes.com/fi/huolto/modernisoinnit/miksi-nosturisi-kannattaa-modernisoida> .
- Kutz, M. (2007) Environmentally Conscious Mechanical Design. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Malm, T. & Hämäläinen, V. (2006) Turvallisuustietoinen koneiden ja tuotantolinjojen modernisointi, Espoo, VTT.
- Matsumoto, M. & Ijomah, W. (2013) Remanufacturing, in Kauffman, J. and Lee, K. (eds.) *Handbook of Sustainable Engineering* Dordrecht, Springer Netherlands, pp. 389–408.
- Messler, R.W. (2014) Reverse Engineering: Mechanisms, Structures, Systems & Materials. New York, McGraw-Hill Education.
- Millog Oy (2018) Elinjaksopäivitykset, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.4.2021): <https://millog.fi/palvelut/elinjaksopaivitykset/> .
- Mo, J.P.T. & Sinha, A. (2014) Engineering Systems Acquisition and Support. Cambridge, Elsevier Science & Technology.
- Östlin, J. (2008) On Remanufacturing Systems: Analysing and Managing Material Flows and Remanufacturing Processes, Linköping studies in science and technology.
- Otto, K.N. & Wood, K.L. (1998) Product Evolution: A Reverse Engineering and Re-design Methodology, *Research in engineering design*, 10(4), pp. 226–243. doi: 10.1007/s001639870003.

- Pierre Antoine, A., Ali, S. and Durupt, A. (eds) (2013) Reverse Engineering for Manufacturing Approach: Based on the Combination of 3D and Knowledge Information. 23rd edn. German Academic Society for Product Development WiGep; Series number, .
- Pueo, M., Santolaria, J., Acero, R. and Sierra-Pérez, J. (2020) Design methodology for production systems retrofit in SMEs, *International journal of production research*, 58(14), pp. 4306–4324. doi: 10.1080/00207543.2019.1651460.
- Raja, V. & Fernandes, K.J. (2008) Reverse Engineering An Industrial Perspective. 1st edn. London, Springer London.
- Saaksvuori, A. & Immonen, A. (2008) Product Lifecycle Management. 3rd edn. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Sitra (2014) Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle, Sitran selvityksiä 84, Sitra.
- Sundqvist, M. (2010) Turvallisuusvastuut koneiden modernisoinnissa, MetSta ry.
- Tilastokeskus (2020) Suomi lukuina 2020, Tilastokeskus.
- Tirkkonen, J. (2018) Liikkuvat työkonet kehityspolkukatsaus, Business Finland.
- Työsuojeluhallinto (2009) Käyttöasetuksen soveltamissuosituksia, Työsuojelujulkaisu 91, Työsuojeluhallinto.
- Yang, K. & El-Haik, B.S. (2009) Quality Function Deployment (QFD). 2nd ed., New York, McGraw-Hill Education.
- Zolghadri, M., Zolghadri, M., Couffin, F. and Couffin, F. (2018) One-off or batch upgrading of complex products and systems: concepts, data model and analysis framework, *Research in engineering design*, 29(2), pp. 263–284. doi: 10.1007/s00163-017-0268-1.