

Vaahdotuskennon rajapintamittarin modernisointi

Arto Roponen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Roponen, Arto	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2017
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Vaahdotuskennon rajapintamittarin modernisointi		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Outotec Oyj		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli modernisoida Outotec LevelSense™ -tuotteen mittasauva. Tuotekehityksen tavoitteena oli suunnitella tuotannoltaan ja tuotantokustannuksiltaan optimoidut versiot kolmesta standardipituisesta mittasauvasta. Mittasauvan tuli toteuttaa tuotteen toiminnan kannalta oleelliset vaatimukset, ja olla kokoonpanoltaan nopeampi ja yksinkertaisempi. Tuotteen tuotannon optimoimiseksi tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman modulaarinen tuoterakenne. Kehitettävän tuotteen tuli olla toimeksiantajan toimintastrategian mukaisesti ympäristövaikutuksiltaan mahdollisimman alhainen, minkä vuoksi suunnittelussa hyödynnettiin elinkaariajattelua ja ympäristönmukaisen tuotesuunnittelun periaatteita.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperustassa perehdyttiin tuotekehitysprosesseihin ja niiden eri vaiheisiin sekä moduloinnin teoriaan ja soveltamiseen tuotekehityksessä tuotannon optimoimiseksi. Lisäksi perehdyttiin elinkaariajatteluun ja ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun periaatteisiin osana tuotekehitysprosessia.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena suunniteltiin kokoonpanoltaan optimoidut ja valmistuskustannuksiltaan alhaisemmat versiot tuotteen standardipituisista mittasauvoista. Suunniteltu mittasauva on rakenteeltaan modulaarinen ja ympäristövaikutuksiltaan edeltävää tuotetta alhaisempi. Suunnitelluista mittasauvoista luotiin mallit, joiden avulla toimeksiantaja pystyy valmistamaan prototyypin testausta varten ja saattamaan uudistetun tuotteen tuotantoon. Toimeksiantaja pystyy soveltamaan opinnäytetyön tuloksia lisäksi muiden tuoteportfolionsa mittalaitteiden rakenteiden modernisoinnissa, minkä ansiosta toimeksiantajan opinnäytetyöstä saama hyöty ulottuu kehityksen kohteena olleen tuotteen ulkopuolelle.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Tuotekehitys, modulaarisuus		
<p>Muut tiedot</p> <p>Laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) 24 §:n mukaan salassa pidettäviä ovat asiakirjat, jotka koskevat esimerkiksi kunnan liike- tai ammattisalaisuuksia. Liikesalaisuuden julkitulo voi aiheuttaa yritykselle tappioita ja aiheuttaa kilpailijoille taloudellista hyötyä. Liikesalaisuus voi olla myös tekninen salaisuus. Tämän vuoksi opinnäytetyö on osittain salattu.</p>		

Author(s) Roponen, Arto	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 52	Permission for web publication: x
Title of publication Modernizing interface measurement unit for flotation cell		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Matilainen, Jorma; Nuutinen, Marjukka		
Assigned by Outotec Oyj		
Abstract <p>The aim of the thesis was to modernize the measurement head of Outotec LevelSense™. The goal of the product development was to design new versions of the three standard length measurement heads with the aim of optimizing production and reducing production costs. The measurement head had to fulfill the requirements vital for the functionality of the product with faster and easier assembly. To achieve optimized production, the aim was to develop a structure with the highest possible level of modularity. To achieve the requirement for the developed product to have the lowest possible environmental impact per assignor strategy, life-cycle thinking and principles of environmentally sustainable product development were applied.</p> <p>The theoretical basis of the thesis was based on different phases of product development processes, and the theory of modular design and its application in product development to optimize production. Life-cycle thinking and principles of environmentally sustainable product development as part of the product development process were also examined.</p> <p>The results of the thesis included redesigned versions of the standard length measurement heads of the product, with optimized assembly and reduced production costs. The structure of the designed measurement head has a high level of modularity and smaller environmental impact compared to the previous version. The results include the models of the redesigned measurement heads for the assignor to produce a prototype for testing and eventually begin the production. In addition, Outotec can apply the results of the thesis to modernize other measurement units in its product portfolio, expanding the gains of the thesis beyond the scope of the developed product.</p>		
Keywords/tags (subjects) Product development, modularity		
Miscellaneous According to section 24 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999) any official documents containing business or professional secrets of a municipality are to be kept in secrecy. Publishing a business secret may cause losses to an entity or economic benefit to a competitor. In addition, a business secret may be a technical secret. For these reasons this thesis is partially confidential.		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tausta	4
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	4
1.3	Tietoperusta	5
1.4	Tutkimusasetelma	5
1.5	Outotec.....	6
2	Keskeiset käsitteet ja lyhenteet	8
2.1	Käsitteet.....	8
2.2	Lyhenteet.....	9
3	Outotec LevelSense™.....	9
3.1	Outotec LevelSense™ -rajapintamittari	9
3.2	Sähköinen resistanssitomografia	11
4	Tuotekehitysmallit.....	12
4.1	Stage-Gate-menetelmä	12
4.2	Tuotekehitysmalli Outotec.....	20
5	Modulaarinen tuoterakenne.....	23
5.1	Modulointi ja moduuli.....	23
5.2	Moduloinnin edut ja haitat	23
5.3	Modulaarinen ja integraalinen tuoterakenne.....	24
5.4	Tuoterakenteen modulaarisuuden tyypit	25
6	Elinkaariajattelu tuotesuunnittelussa.....	28
6.1	Ympäristötietoisuus yrityksen toiminnassa	28
6.2	Elinkaariajattelu.....	29
6.3	Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu.....	30
6.4	Elinkaariarviointi.....	31
7	Suunnittelun toteutus.....	33
7.1	Lähtökohdat	33

7.2	Alkuperäinen tuoterakenne	33
7.3	Toiminnallisen rakenteen suunnittelu	35
8	Tuotekehityksen tulokset	39
8.1	Mittasauvan rakenne	39
8.2	Modulaarisuus	41
8.3	Elinkaaren ympäristövaikutukset	41
9	Pohdinta.....	42
9.1	Suunnittelutyön toteutus	42
9.2	Luotettavuuden arviointi.....	43
9.3	Jatkotutkimuksen kohteet.....	44
	Lähteet	45
	Liitteet	48

Kuviot

Kuvio 1. Outotec LevelSense™ (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013)	10
Kuvio 2. Outotec LevelSense™ asennettuna vaahdotuskennossa (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013)	11
Kuvio 3. Outotec LevelSense™ -tuotteen mittapää (Outotec, sisäinen lähde).....	11
Kuvio 4. Stage-Gate-menetelmä (Cooper 2011)	13
Kuvio 5. Modulaarisuuden eri tyyppisiä (Österholm & Tuokko 2001, 11)	27
Kuvio 6. Modulaarisen tuoterakenteen erikoistyyppit pino- ja valintamodulaarisuus (Suolahti 2010, 29)	28
Kuvio 7. Outotec LevelSense™ -tuotteen alkuperäinen mitta-alueeltaan 690 mm pitkä mittasauva	34
Kuvio 8. Elektrodi ja eristerenkaiden kokoonpano alkuperäisessä mittasauvassa .	34
Kuvio 9. Elektrodi sijoittuminen mittasauvoissa	36
Kuvio 10. Mittasauvan yläosan rakenne	38
Kuvio 11. Mitta-alueeltaan 1909 mm pitkän mittasauvan vahvike	38
Kuvio 12. Modernisoidut standardipituiset mittasauvat	40
Kuvio 13. Modernisoitu versio Outotec LevelSense™ -rajapintamittarin mitta-alueeltaan 690 mm pitkstä mittasauvasta	40

1 Johdanto

1.1 Tausta

Markkinoilla vallitsevan ja jatkuvasti kasvavan kilpailun vuoksi teollisuuden yritysten on tärkeää panostaa jatkuvaan tuotekehitykseen kasvattaakseen kilpailukykyään ja säilyttääkseen jo hankitun markkinaosuutensa. Uusien tuotteiden kehittämisen lisäksi yritysten on tärkeää kehittää olemassa olevia tuotteitaan huomioiden asiakkaiden muuttuvat tarpeet. Tämä johtaa tyypillisesti tuotevariaatioiden lisääntymiseen yritysten täytyessä pystyä tarjoamaan räätälöityjä tuotteita asiakkailleen. Useat teollisuuden yritykset hyödyntävätkin tuotekehityksessään modulaarista suunnittelua minimoidakseen vaadittavien komponenttien määrän ja mahdollistaakseen yksinkertaisemman tuoteportfolioiden hallinnan. Modulaarisen suunnittelun hyödyntämisellä tuotekehityksessä mahdollistetaan myös tuotannon yksinkertaistaminen ja siten tuotannollisten säästöjen saavuttaminen.

Etenkin suurten kansainvälisesti toimivien yritysten toimintastrategiaan sisältyy yhä vahvempana osana ympäristötietoisuus ja luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen. Tuotteiden suunnittelussa ja tuotannossa hyödynnetään elinkaariajattelua eli keskittään suunnittelemaan tuotteet siten, että tuotteen elinkaaren aikana aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman alhaiset. Ympäristömyötäisellä tuotesuunnittelulla pystytään vaikuttamaan tuotteen elinkaaren aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin jo tuotekehityksen alkuvaiheista lähtien.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää modernisoidut versiot Outotec LevelSense™ -tuotteen kolmesta standardipituisesta mittapäästä käyttäen hyväksi modulaarista suunnittelua. Työssä keskityttiin kehittämään tuotannoltaan ja tuotantokustannuksiltaan mahdollisimman optimoitu versio. Suunnittelun kriteerinä oli lisäksi Outotecin strategian mukaisesti kehittää tuote, jonka elinkaaren ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman alhaiset. Elinkaaren ympäristövaikutusten minimoimiseen hyödynnettiin elinkaariajattelun ja ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun periaatteita. Ta-

voitteena työssä oli suunnitella uudistetut versiot mittasauvoista ja mallit, jotka esittelevät tuotteen toteuttamiskelpoisuutta. Opinnäytetyössä suunniteltujen mittasauvojen mallien avulla toimeksiantaja pystyy valmistamaan prototyypin testausta varten ja saattamaan uudistetun tuotteen tuotantoon. Toimeksiantaja pystyy soveltamaan opinnäytetyön tuloksia lisäksi muiden tuoteportfolion mittalaitteiden rakenteiden modernisoinnissa.

1.3 Tietoperusta

Opinnäytetyön tietoperusta perustuu pääasiassa aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja tutkimusartikkeleihin. Tietoperustassa käytettiin monipuolisesti vieraskielistä ja kotimaista kirjallisuutta, joka hankittiin pääasiassa internetistä ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun sekä Itä-Suomen yliopiston tietokannoista. Hankittuun materiaaliin perehdyttiin lukemalla ja vertailemalla vieraskielisten lähteiden kirjallisuutta kotimaisiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen. Kirjallisuuden hankinnassa pyrittiin käyttämään alkuperäisiä lähteitä mahdollisuuksien mukaan. Alkuperäistä materiaalia vertailtiin sitä hyödyntäneiden opinnäyte- ja diplomitöiden teoriaperustoihin. Aineiston analysoinnissa keskityttiin vertailemaan löydettyä tietoa vähintään kahden tai useamman lähteen kesken, minkä avulla varmistuttiin tiedon oikeellisuudesta ja oikeaoppisesta tulokinnasta.

1.4 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tavoitteena on optimoida ja kehittää olemassa olevan tuotteen rakennetta. Tuotekehityksellisen luonteensa vuoksi opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus ja tutkimusotteena on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kananen (2015, 48) määrittelee kehittämistutkimuksessa tutkimuksen kohteeksi prosessin, toiminnon, asiantilan tai tuotteen, jota pyritään kehittämään. Kananen mukaan kehittämistutkimuksen tavoitteena on aikaansaada muutos. Kehittämistutkimus on joko yhdistelmä kvalitatiivista eli laadullista ja kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta tai tutkimusotteena voi olla myös pelkästään kvalitatiivinen tutkimus. (Kananen 2015, 39.)

Kanasen mukaan laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmät jaetaan primääri- ja sekundääriaineistoon. Primääriaineisto kerätään kyseessä olevaa tutkimusongelmaa varten ja se koostuu tutkimukseen kohdistetusta havainnoinnin, haastatteluiden sekä kyselyjen avulla koostetusta aineistosta. Sekundääriaineistoa ovat kaikki muut olemassa olevat ilmiöön liittyvät dokumentit. (Kananen 2015, 76.)

Opinnäytetyön aiheesta on olemassa runsaasti kirjoitettua materiaalia, minkä vuoksi opinnäytetyön tietoperustan rakentamisessa käytettiin aineistonkeruumenetelmänä pääosin olemassa olevia dokumentteja, eli sekundääriaineistoa. Opinnäytetyön tuotekehityksen toteutusvaiheessa käytettiin laajan sekundääriaineiston lisäksi primääriaineistoa, kuten kehitettävän tuotteen parissa työskennelleiltä työntekijöiltä saatua tietoa.

Opinnäytetyön tavoitteet kysymyksiksi muotoiltuna ovat seuraavat:

- Kuinka Outotec LevelSense™ -tuotteen mittapäästä saadaan helpoiten valmistettava?
- Miten tuotteen valmistus- ja materiaalikustannuksia saadaan optimoitu?
- Kuinka minimoidaan tuotteen elinkaaren ympäristövaikutukset?

1.5 Outotec

Outotecin nykyisen toiminnan ja teknologian juuret perustuvat kahden suuren kaivos- ja metalliyhtiön tietoon ja kokemukseen: Outokumpu Groupin sekä Lurgi Metallurgie GmbH:n. Lurgi Metallurgie GmbH yhdistyi Outokumpu Technologyn kanssa vuonna 2001. Vuonna 2006 Outotec irtautui Outokumpu Groupista ja aloitti itsenäisenä yhtiönä nimellä Outokumpu Technology Oyj. Seuraavana vuonna 2007 nimeksi muutettiin Outotec. (History n.d.)

Outotecin toimintastrategia perustuu kestävään luonnonvarojen hyödyntämiseen ja yhtiö pyrkii toimittamaan asiakkailleen kestäviä elinkaariratkaisuja, jotka takaavat parhaan mahdollisen tuoton. Outotec pyrkii jatkuvasti laajentumaan yhä enemmän energiateollisuuteen ja teollisuusvesien käsittelyyn olemassa olevan malmeista metalliksi -arvoketjun kattavan teknologian kehittämisen lisäksi. Edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi Outotec keskittyy toimintansa kehittämiseen kehittyvillä markkinoilla, johtavan teknologian kehittämiseen ja kustannustehokkuuden parantamiseen. (Strategy n.d.)

Outotecin toiminta jakautuu kahteen liiketoimintayksikköön, Minerals Processing sekä Metals, Energy & Water. Outotec tarjoaa ratkaisuja esisoveltuvuustutkimuksista aina tuotantolaitoksiin sekä niiden elinkaaripalveluihin asti mineraalien ja metallien rikastuksessa. (Liiketoiminta n.d.)

Minerals Processing -yksikkö sisältää:

- Rikastamot
- Hienonnusteknologiat
- Vaahdotusteknologiat
- Vedenpoistoteknologiat, vesien hallinta
- Palvelut
- Käyttö ja kunnossapito

(Liiketoiminta n.d.)

Liiketoimintayksikkö Metals, Energy & Water kattaa ratkaisut metallinjalostukseen, uusiutuvan energian tuotantoon sekä teollisuusvesien hallitsemiseen. Outotec tarjoaa ratkaisuja, joilla saadaan jalostettua puhtaiksi metalleiksi käytännössä kaikenlaiset malmit ja rikasteet. Tarjontaan sisältyvät myös alkuainerikin jalostaminen, rikkihapon tuotanto sekä metallurgisten laitosten poistokaasujen käsittely. Energiasektorilla Outotec tarjoaa palveluita ja tuotteita sekä uusiutumattoman että uusiutuvan energian tuotantoon. Teollisuusvesien hallinnan osalta Outotec tarjoaa teollisten prosessi- ja jätevesien käsittelyyn ratkaisuja, joiden avulla saadaan minimoitua energian kulutus ja varmistetaan ympäristösäädösten mukainen toiminta. (Liiketoiminta n.d.)

Metals, Energy & Water yksikkö kattaa:

- Värimetallien tuotantoteknologiat
- Rautametallien ja -ferroseosten tuotantoteknologiat
- Kevytmetallien tuotantoteknologiat
- Uusiutuvan ja vaihtoehtoisen energian tuotantoteknologiat, jätevoimalaratkaisut
- Teollisuusvesien käsittelyn ratkaisut
- Palvelut
- Käyttö ja kunnossapito

(Liiketoiminta n.d.)

2 Keskeiset käsitteet ja lyhenteet

2.1 Käsitteet

Opinnäytetyön keskeisten käsitteiden määritelmät:

Elinkaariajattelu

Palvelun tai tuotteen ympäristönäkökohtien huomioiminen ns. kehdestä hautaan (cradle to grave) koko sen elinkaaren ajalta, eli raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistamiseen, kierrättämiseen ja lopulta jätteiden loppusijoittamiseen. (Antikainen & Seppälä 2012, 10.)

Elinkaariarviointi

Potentiaalisten ympäristövaikutusten arviointia tuotteen elinkaaren läpi raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön ja käytöstä poistoon sekä hävittämiseen. Pääasialliset tarkastelua vaativat ympäristövaikutukselliset kategoriat ovat raaka-aineiden käyttö, ihmisten hyvinvointi sekä ekologiset vaikutukset. (Klöppfer & Grahl 2014, 1.)

Modulointi

Tuotteen itsenäisiin ja rajapinnoiltaan tarkasti määritelyihin ja vakioituihin yksiköihin (moduuleihin) jakaminen. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Moduuli

Tuotteen itsenäinen yksikkö, jolla on tarkasti määritellyt ja vakioidut rajapinnat, mikä mahdollistaa sen yhdistämisen ja vaihtamisen toisiin moduuleihin. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu

Elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnin yhdistäminen yleiseen tuotesuunnitteluun prosessin ensivaiheista lähtien ja pyrkimys vähentää koko ketjun ympäristövaikutuksia elinkaariajattelun mukaisesti, sekä välttää negatiivisten vaikutusten siirtymisen elinkaarivaiheesta tai ympäristövaikutusluokasta toiseen. (Antikainen & Seppälä 2012, 34.)

2.2 Lyhenteet

Opinnäytetyössä käytetyt lyhenteet:

EIT	Electrical Impedance Tomography, sähköinen impedanssitomografia (Kourunen 2014, 1.)
ERT	Electrical Resistance Tomography, sähköinen resistanssitomografia (Kourunen 2014, 1-2.)
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi (Antikainen & Seppälä 2012, 7.)
LCT	Life Cycle Thinking, elinkaariajattelu (Antikainen & Seppälä 2012, 12.)

3 Outotec LevelSense™

3.1 Outotec LevelSense™ -rajapintamittari

Outotec LevelSense™ -tuote (ks. kuvio 1) mahdollistaa prosessisäiliöiden ja -putkistojen sisältämän aineen analysoinnin ja mittaamisen. Tuotteen toiminnassa hyödynnetään teknologiaa nimeltään sähköinen resistanssitomografia (ERT), joka on sähköisen impedanssitomografian (EIT) alakategoria, jossa mittaaminen perustuu mitattavan aineen sähkönjohtavuuden jakautumiseen ja kehittyneeseen matemaattiseen mallinnukseen. (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013.)



Kuvio 1. Outotec LevelSense™ (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013)

Outotec LevelSensen avulla saadaan mitattua liete-vahto ja vahto-ilma rajapinnat vaahdotuskennossa, mikä mahdollistaa kennossa olevan vaahtopedin paksuuden mittaamisen (ks. kuvio 2). Mittaustietoa pystytään hyödyntämään kennon metallurgisen suorituskyvyn hallitsemisessa. Tuotteella voidaan tarkkailla myös vaahdotason romahtamista ja ylitsevuotamista. Saatavien mittaustietojen avulla saavutettava stabiili vaahdotusprosessi johtaa korkeampaan taloudelliseen suorituskykyyn. (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013.)



Kuvio 2. Outotec LevelSense™ asennettuna vaahdotuskennossa (Outotec LevelSense™ Upgrade 2013)

Opinnäytetyön aihe on rajattu käsittelemään Outotec LevelSense™ -tuotteen mittapään uudelleensuunnittelua (ks. kuvio 3).



Kuvio 3. Outotec LevelSense™ -tuotteen mittapää (Outotec, sisäinen lähde)

3.2 Sähköinen resistanssitomografia

Prosessiteollisuudessa pyritään saavuttamaan mahdollisimman tehokkaita prosesseja hyödyntämällä jatkuvaa prosessien tarkkailua ja kontrollointia. Erilaiset sekoitusvaiheet ovat tyyppillisiä teollisuuden prosesseja, joiden tehokkuudella on suuri merkitys

prosessin lopputuotteiden laatuun. Teollisten sekoitusprosessien analysointiin ja tarkkailuun on olemassa useita erilaisia menetelmiä mutta tyypillisesti näillä saadaan sekoitusprosessista ainoastaan paikallista tietoa. Sähköiseen resistanssitomografiaan perustuvalla mittauksella pystytään saamaan kolmiulotteista ja tilavuudellista tietoa sekoitusprosessista. (Kourunen 2014, 1.)

Sähköinen resistanssitomografia (ERT) on kuvantamismenetelmä, jossa mitattavan kohteen johtavuusjakauma arvioidaan käyttäen hyväksi vaihtelevia sähkövirtoja ja kohteen rajoilta mitattavia jännitteitä. Useissa sekoitusprosesseissa prosessin ainesosat ovat sähkönjohtavuudeltaan erilaisia. Kuvantaminen sähköisellä resistanssitomografialla perustuu tähän oletukseen. Mikäli näin ei ole, tarvittaessa voidaan käyttää erilaisia merkkiaineita, joiden sähkönjohtavuus eroaa ympäröivästä aineesta ERT-kuvantamisen mahdollistamiseksi. (Kourunen 2014, 1-2.)

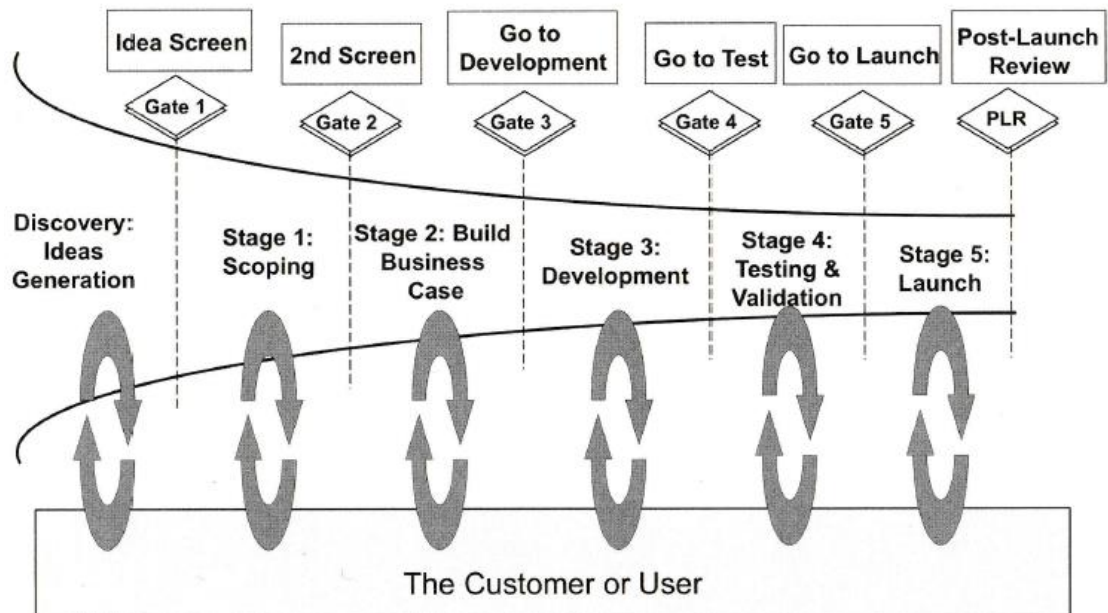
ERT-mittaussysteemissä kontrolliyksikkö kommunikoi tietokoneen kanssa eli kontrolloi sähkövirtalähteitä ja jännitteenmittausyksikköä. Tyypillisesti kontrolliyksikkö laskee mitattavien jännitteiden amplitudin ja vaiheen eli jännitesignaalin demodulaation. Jatkuva sähkövirta kohteeseen tuotetaan sähkövirran injektio -yksiköllä. Jännitteenmittausyksiköllä mitataan sähkövirran injektioista aiheutuvat jännitteet sekä kohteen resistiivisyys eli sähkönjohtavuus. Lopulta mittaustietojen perusteella kohde kuvannetaan tietokoneella. (Kourunen 2014, 15-16.)

4 Tuotekehitysmallit

4.1 Stage-Gate-menetelmä

Tuotekehityksessä hyödynnettävistä menetelmistä laajimmin käytetyksi on muodostunut Stage-Gate, joka on toimintaa ohjaava menetelmä uusien tuotteiden toteuttamiseen aina ideasta lanseerauksen jälkeiseen toimintaan saakka. Stage-Gate on toimintasuunnitelma tuoteinnovaatioiden hallintaan tuloksellisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi. Menetelmä koostuu sarjasta tiedonkeruuvaiheita, joista jokaista seuraa portti (ks. kuvio 4). Jokaisella portilla on omat määrätyt läpäisykriteerinsä, joiden toteutumisen perusteella portinvalvoja, yleensä ylimmän johdon henkilö, suorittaa

”Go” tai ”Kill” päätöksen seuraavaan vaiheeseen siirtymisestä. Porttien avulla pystytään arvioimaan projektin kannattavuutta ja tarvittaessa tekemään lopettamispäätös mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (Cooper 2011, 83-99.)



Kuvio 4. Stage-Gate-menetelmä (Cooper 2011)

Ideointi

Cooper painottaa ideoiden ja niiden suuren määrän tärkeyttä tuotekehitysprosessissa. Hyvien ja innovatiivisten ideoiden tarve yhdessä niiden korkean karsiutumistas-teen kanssa tekee ideoinnista ratkaisevan vaiheen tuotekehityksessä. Ideointivaihe voi koostua useista erilaisista toiminnoista, kuten uusien teknologisten mahdollisuuksien etsimisestä, kilpailijoiden tuotteiden analysoinnista, markkinoiden tarkastelusta mahdollisten puutteiden löytämiseksi ja niiden täyttämiseksi sekä perustavanlaatuisesta teknisestä tutkimuksesta. Lisäksi voidaan ottaa käyttöön ideointimalleja, joilla kannustetaan työntekijöitä avoimeen innovointiin riippumatta heidän toimenkuvas-taan yrityksessä. (Cooper 2011, 103-104.)

Portti 1: Idean arviointi

Ensimmäisen portin kohdalla tehdään päätös aloittaa projekti ja määrätään ensimmäisiä resursseja sen toteuttamiseen. Mikäli projekti päätetään aloittaa, se siirtyy ensimmäiseen vaiheeseen eli määrittelyyn. Ensimmäisen portin kohdalla sitoudutaan siis alustavasti mutta määrätietoisesti projektin toteuttamiseen. Projektille määritellään pieni määrä tärkeimpiä kriteereitä, joiden tulee toteutua. Nämä kriteerit koskevat projektin kannattavuutta, strategista sijoittumista, tuotteen kilpailukykyä ja mahdollisuuksia markkinoilla, yrityksen resurssien hyödyntämisen mahdollisuutta sekä yhdenmukaisuutta yrityksen käytäntöjen kanssa. Vähäisen tiedon ja alhaisen resurssien sitouttamisen vuoksi taloudelliset kriteerit eivät tyypillisesti sisälly tähän vaiheeseen. Arvioinnin tukena voidaan hyödyntää tarkistuslistaa vaatimusten, joiden tulee täytyä, toteutumisen tarkastelussa sekä pisteytyskorttia vaatimusten, joiden tulee mahdollisuuksien mukaan täytyä, tarkastelussa. (Cooper 2011, 104.)

Vaihe 1: Määrittely

Ensimmäinen vaihe on luonteeltaan nopeasti toteutettava määrittely, joka sisältää perustavanlaatuista tutkimus- ja selvitystyötä. Vaiheen tavoitteena on määritellä alustavasti ja nopeasti projektin kaupalliset sekä tekniset mahdollisuudet, mikä toteutetaan suorittamalla alustava markkinaselvitys ja alustava tekninen selvitys. Markkinaselvitys koostuu suhteellisen edullisista toiminnoista, kuten kirjasto- ja internet-hausta, yhteyksistä keskeisten käyttäjien ja kohdejoukkojen kanssa sekä tarvittaessa nopeasta konseptitestauksesta potentiaalisten asiakkaiden avulla. Selvityksen tavoitteena on määritellä ja saada käsitys markkinapotentiaalista ja markkinoiden koosta sekä aloittaa tuotteen konseptin kehittäminen. (Cooper 2011, 105.)

Markkinaselvityksen kanssa rinnakkain toteutettava tekninen selvitys koostuu kehitettävän tuotteen alustavasta yrityksen sisäisestä arvioinnista. Arvioinnin tavoitteena on määritellä ja arvioida projektin tuotekehityksellinen ja toiminnallinen suunta sekä teknisten ja toiminnallisten osuuksien kannattavuus. Lisäksi arvioidaan projektin toteutusaikataulua ja -kustannuksia sekä mahdollisia säädösten ja lakien synnyttämiä

riskejä ja esteitä. Ensimmäisessä vaiheessa toteutettavien arviointien tuloksena syntyy alustava liiketoimintamalli, joka perustuu kuitenkin tässä vaiheessa vielä melko epäluotettaviin ja epätarkkoihin tietoihin. (Cooper 2011, 105.)

Portti 2: Toinen arviointi

Toisen portin kohdalla suoritetaan ensimmäistä porttia tarkempi ja tiukempi arviointi, jossa projekti uudelleenarvioidaan hyödyntäen ensimmäisessä vaiheessa kerättyjä tietoja. Projektin arvioinnissa käytetään kysymyslistaa, jolla tarkastellaan projektin valmiuksia. Lisäksi käytetään ensimmäisen portin tavoin listaa vaatimuksista, jotka projektin tulee täyttää, sekä vaatimuksista, jotka projektin tulisi mahdollisuuksien mukaan täyttää. Portin kohdalla projektiin voidaan ensimmäisessä vaiheessa hankitun tiedon avulla lisätä vaatimuksia, joiden tulisi toteutua. Nämä vaatimukset käsittelevät asiakkaiden reagointia tuotteeseen sekä potentiaalisia säädöksistä, lainsäädännöstä ja teknisistä näkökulmista syntyviä projektille haitallisia muuttujia. Portin kohdalla arvioidaan myös lyhyesti ja yksinkertaisesti projektin taloudellista kannattavuutta. Mikäli projektia päätetään jatkaa, se siirtyy kustannuksellisesti suurempaan vaiheeseen. (Cooper 2011, 106.)

Vaihe 2: Liiketoimintamallin rakentaminen

Toinen vaihe koostuu yksityiskohtaisesta tutkimus- ja selvitystyöstä, minkä avulla määritellään kehitettävä tuote selkeästi ja arvioidaan projektin vetoavuus ennen kustannuksiltaan suurempiin vaiheisiin siirtymistä. Vaihe vaatii toteuttamiseltaan huomattavasti ensimmäistä vaihetta enemmän aikaa ja vaivannäköä, ja se toimii myös kriittisenä taustatutkimuksen toteutusvaiheena. Asiakkaiden halut, tarpeet ja mieltymykset määritellään toteuttamalla markkinatutkimuksia, joista saatavalla tiedolla mahdollistetaan parhaan mahdollisen tuotteen määrittely. Vaiheeseen sisältyy myös markkinoilla olevien kilpailevien tuotteiden analysointi. Toinen markkinoita koskeva tutkimustoiminta on tuotteen konseptin testaaminen potentiaalisilla asiakkailla, heidän reaktioiden tarkastelu ja analysointi sekä lopulta hankitun tiedon perusteella tuotteen saaman vastaanoton määrittely. (Cooper 2011, 107-108.)

Toisessa vaiheessa suoritettavassa yksityiskohtaisessa teknisessä arvioinnissa keskitytään projektin toteutettavuuteen muuntamalla asiakkaiden toivomukset ja tarpeet taloudellisesti ja teknisesti toteuttamiskelpoiseksi konseptiksi. Tämän saavuttamiseksi voi olla tarpeen toteuttaa alustavaa suunnittelutyötä. Liiketoimintamallin rakentamiseen sisältyy usein myös tuotannon arviointi, missä tutkitaan tuotannon kustannuksia, tuotannollisia ongelmia sekä vaadittavia investointeja. Lisäksi tarpeen mukaan suoritetaan yksityiskohtaista riskienkartoittamista ja vaadittavien toimenpiteiden selvittämistä koskien säädöksiä, lainsäädäntöä ja patenteja. Liiketoimintamallin perusteiden laatimiseksi toteutetaan lopulta yksityiskohtainen liiketoiminnallinen ja taloudellinen analyysi. Vaiheen lopputuloksena syntyy projektin liiketoimintamalli, jossa on määriteltyä kehitettävä tuote sekä projektin perusteet ja toimintasuunnitelma perinpohjaisesti. (Cooper 2011, 108.)

Portti 3: Tuotekehitykseen siirtyminen

Kolmas portti toimii viimeisenä mahdollisuutena hylätä projekti ennen kustannuksiltaan suurempiin vaiheisiin siirtymistä ja huomattavia taloudellisia sitoumuksia. Projektien hylkäämispäätökset suoritetaan tyypillisesti kolmen ensimmäisen portin kohdalla ja vain harvoja projekteja hylätään enää kolmannen portin jälkeisissä vaiheissa. Portin tuloksena syntyy projektin määritelmä ja hyväksymispäätös tuotteen toteuttamiselle. (Cooper 2011, 109.)

Portilla suoritettava arviointi koostuu edeltävään vaiheeseen sisältyvien toimintojen arvioinnista, eli tarkastuksesta että ne on toteutettu, sekä niiden toteutuksen laadun arvioinnista. Lisäksi projektin sisältöä verrataan jälleen vaatimuksiin, jotka projektin tulee täyttää, sekä vaatimuksiin, jotka projektin tulisi mahdollisuuksien mukaan täyttää. Portin toimiessa kriittisenä päätösvaiheena kustannuksellisesti suurempiin vaiheisiin siirtymisessä on tärkeänä viimeisenä vaiheena taloudellisen analyysin tulosten tarkastelu ja arviointi. Päätettäessä siirtyä projektissa seuraavaan vaiheeseen sitoudutaan tuotteen määritelmään ja projektin suunnitelmaan, joiden mukaisesti projektia viedään eteenpäin. Alustava toiminta- ja markkinointisuunnitelma sekä kehityssuunnitelma arvioidaan ja hyväksytään. Lopulta sitoutetaan virallisesti

projektin resurssit, määritetään projektille johtaja ja kootaan projektiryhmä. (Cooper 2011, 109.)

Vaihe 3: Tuotekehitys

Kolmannessa vaiheessa aloitetaan tuotekehityssuunnitelman mukainen fyysisen tuotteen kehittäminen ja suunnittelu. Mikäli kehitetään tuotteen sijasta palvelua, määritetään sen yksityiskohdat ja vaadittavat tietotekniset työt. Tuotteen vaatimustenmukaisuus varmistetaan hallituissa olosuhteissa suoritettavilla yrityksen sisäisillä testeillä ja laboratorio- tai alpha-testeillä. Tuotekehitysprosessin ollessa toteutukseltaan ajallisesti pitkä määritetään tuotekehityssuunnitelmaan useita ns. merkkipaaluja ja säännöllisesti suoritettavia arviointeja. Näiden kohdalla ei tehdä päätöksiä projektin jatkamisesta tai hylkäämisestä, mutta niiden avulla mahdollistetaan projektin tehokkaampi hallinta. Mikäli projekti ei saavuta sille määrättyä merkkipaalua, on tarpeen suorittaa välitön porttiarviointi, jossa projekti ohjataan takaisin oikeaan suuntaan. Kolmannen vaiheen tuloksena syntyy osittain testattu prototyyppi kehitettävästä tuotteesta. (Cooper 2011, 109.)

Teknisen suunnittelu- ja kehitystyön rinnalla suoritetaan markkinointi- ja operaatio-toimintoja, markkinoiden analysointia ja asiakaspalautteen hankintaa. Suunnittelussa pyritään jatkuvasti hyödyntämään asiakkaiden mielipiteitä, jotka ohjaavat tuotteen kehitystä. Jatkuvalle suunnittelu-testaus-palautte -kierrolla saavutetaan iteratiivinen tuotekehitysprosessi, jossa jokaisen version kohdalla tuote viedään asiakkaalle arvioitavaksi. Vaiheeseen sisältyy markkinoille lanseeraus -suunnitelman, yksityiskohtaisen testaussuunnitelman sekä tuotantosuunnitelman toteuttaminen. Lisäksi valmisteluaan päivitetty taloudellinen analyysi ja ratkaistaan lainmukaisuus-, säädös- ja patenttiongelmien. (Cooper 2011, 109-110.)

Portti 4: Testaukseen siirtyminen

Neljännellä portilla tarkastellaan projektin etenemistä sekä tuotteen vetoavuutta. Kehitetyn tuotteen johdonmukaisuutta verrataan kolmannella portilla laadittuun

tuotemääritelmään ja tuotteen laadukkuus varmistetaan arvioimalla suoritettua kehitystyötä. Projektin taloudellisia näkökohtia tarkastellaan hyödyntäen uutta ja tarkempaa tietoa sisältävää päivitettyä taloudellista analyysiä. Lopuksi arvioidaan yksityiskohtaiset markkinointi ja toimintasuunnitelmat sekä hyväksytään testaus- ja validointisuunnitelmat seuraavan vaiheen välitöntä käynnistämistä varten. (Cooper 2011, 110.)

Vaihe 4: Testaus ja validointi

Neljännessä vaiheessa suoritetaan testaus ja validointi itse kehitettävälle tuotteelle, tuotanto- ja toimintaprosesseille, projektin taloudellisille tekijöille sekä tuotteen asiakkailta saamalle vastaanotolle. Tuotteen testaamisessa toteutetaan laajoja laboratoriotestejä, joissa tarkastellaan kontrolloiduissa olosuhteissa tuotteen suorituskykyä ja laatua. Tuotteen toiminnan todentamiseksi käytännön olosuhteissa ja asiakkaiden reaktioiden arvioimiseksi suoritetaan kenttä- ja käyttäjätestejä. Rajattujen tuotannon koetestiä avulla todennetaan tuotantoprosessin toiminta ja saadaan määriteltä tarkemmin tuotantokustannukset ja tuotannon laatu. Odotettavissa olevan markkinaosuuden ja tuoton arvioinnissa sekä lanseeraussuunnitelman tehokkuuden määrittämisessä hyödynnetään simuloituja testimarkkinoita ja koemyyntejä. Lisäksi entistä tarkemman ja uudemman tuotto- ja kustannustiedon perusteella toteutetaan uudistetut talous- ja markkina-analyysit. Mikäli neljännen vaiheen aikana saatavat tulokset osoittautuvat negatiivisiksi, joudutaan palaamaan takaisin vaiheeseen kolme. (Cooper 2011, 110.)

Portti 5: Lanseeraukseen siirtyminen

Viides ja samalla viimeinen portti toimii viimeisenä mahdollisuutena hylätä projekti ja sen läpäiseminen johtaa tuotteen lanseeraukseen sekä täyteen tuotantoon siirtymiseen. Portilla keskitytään edeltävässä vaiheessa suoritettujen toimintojen laadun ja niistä saatujen tulosten arviointiin. Portin läpäisyyn vaikuttavia tekijöitä ovat odotettu taloudellinen voitto, lanseeraus- ja operatiosuunnitelmien pätevyys sekä projektin kaupallinen valmius. Mikäli siis testaus- ja validointivaiheessa saadut tulokset

ovat positiivisia, voidaan aloittaa tuotteen lanseeraus. Lisäksi viidennen vaiheen toteuttamista varten arvioidaan ja hyväksytään operaatio- ja markkinoille lanseeraus-suunnitelma sekä yrityksestä riippuen tuotteen elinkaarisuunnitelma. (Cooper 2011, 111.)

Vaihe 5: Lanseeraus

Viimeisessä vaiheessa toteutetaan sekä markkinoille lanseeraus -suunnitelma että operaatiosuunnitelma. Vaihe sisältää tuotantoon vaadittavan välineistön hankkimisen, asennuksen ja käyttöönoton, mikäli kyseisiä toimintoja ei toteutettu vielä neljännessä vaiheessa suoritetuissa tuotannon koetesteissä. Lisäksi määritetään logistiikan toiminta ja lopulta aloitetaan itse tuotteen myynti. (Cooper 2011, 111.)

Lanseerauksen jälkeinen arviointi

Tyypillisesti kuudesta kahdeksaantoista kuukautta markkinoille lanseerauksen jälkeen tuotekehitysprojekti päätetään ja sen toteuttanut projektiryhmä hajautetaan. Tässä vaiheessa suoritetaan projektin ja tuotteen suoriutumisen arviointi, jolloin tuote siirtyy tavalliseksi tuotteeksi yrityksen tuoteportfolioon. Suorituskyvyn arvioinnissa tuotteen ennusteisiin verrataan uusimpia tietoja tuotoista, kuluista ja ajoituksista. Lisäksi toteutetaan projektin loppuauditointi, jossa arvioidaan kriittisesti projektin aikana opittuja ja jatkossa hyödynnettäviä asioita sekä projektin vahvuuksia ja heikkouksia. Lanseerauksen jälkeisen arvioinnin suorittamisen jälkeen projekti päätetään. (Cooper 2011, 111.)

Useat yritykset toteuttavat kaksi lanseerauksen jälkeistä arviointia. Ensimmäinen toteutetaan lähes heti lanseerauksen jälkeen, jotta mahdollistetaan välitön puuttuminen tuotteen suuntautumiseen markkinoilla. Lisäksi projektin analysointi on helpompi toteuttaa sen vaiheiden ollessa yhä selkeänä muistissa. Toinen arviointi sen sijaan suoritetaan noin puolitoista vuotta lanseerauksen jälkeen, jolloin vertaillaan todellisia saavutettuja tuloksia ennustettuihin tuloksiin. (Cooper 2011, 112.)

4.2 Tuotekehitysmalli Outotec

Opinnäytetyön toteutuksessa hyödynnettiin soveltuvilta osin Outotecin tuotekehitysmallia (ks. liite 1). Tässä kappaleessa esitellään mallin päävaiheet lukuun ottamatta työn toteutukselle epäolennaisia ja soveltumattomia vaiheita.

Tuotekehitysprojektin aloitus

Tuotekehitysprojekti käynnistetään projektin aloituspalaverissa, missä määritellään projektiin osallistuva henkilöstö ja esitetään projektisuunnitelma, johon sisältyy projektin taustoitus ja tavoitteet, tehtävät ja aikataulu, resurssit ja projektin organisointi, budjetti ja rahoitus, yhteydenpito ja käytännön järjestelyt sekä projektin riskianalyysi. Lisäksi määritellään vaatimukset ja toiminnat sekä suoritetaan alihankittavan suunnittelun yleiskatsaus. (Engineering kick-off meeting 2015, 4.)

Toiminnallisen mallin suunnittelu

Toiminnallisen mallin suunnittelun tavoitteena on määritellä tai päivittää tuoterakenne siten, että tuotteen tekniset vaatimukset ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Toiminnallisessa suunnittelussa tulee varmistaa, että kaikki tuotekehitysprojektin toteuttamiseen vaadittava tieto on hankittu ja kriittistä tietoa ei ole jätetty huomioimatta edeltävissä vaiheissa, kuten konseptisuunnittelussa. Lisäksi tulee varmistaa, että olemassa oleva tuoterakenne ja sen moduulit ovat saatavilla hyödynnettäväksi uuden rakenteen kehityksessä. Toiminnallisen suunnittelun tavoitellut lopputulokset ovat:

- Tuoterakenne määritelty tai päivitetty
- Ylemmän tason tuoterakenne määritelty tai päivitetty
- Tuotteen yleinen layout määritelty tai päivitetty
- Tuotteen tekniset ominaisuudet varmennettu siinä määrin, että tiedetään vaatimusten toteutuvan

(Create functional design 2015, 2.)

Mikäli tuotteen rajapintojen tulee sopia muihin tuotteisiin tai rakenteisiin, tulee tässä vaiheessa aloittaa keskustelu kyseisistä tuotteista vastaavien osapuolten kanssa,

jotta vaikutukset pystytään huomioimaan. Suunnittelun aikana tulee etsiä tuotetiedonhallintajärjestelmistä jo olemassa olevia ratkaisuja haluttujen ominaisuuksien toteuttamiseen ja hyödyntää mahdollisuuksien mukaan olemassa olevia moduuleita, rakenteita ja osia. Kehitettäessä uutta tuotetta tuoterakenteen suunnittelun täytyy pohjautua vähintään tuotteen toiminnallisuuden ja käytön, turvallisuuden, huollettavuuden, valmistuksen ja kuljettamisen, myynnin jälkeisten palveluiden sekä tuotekehityksen näkökulmiin. Kaikkien Outotecin tuotteiden ja välineiden tulee noudattaa turvallisuuteen liittyviä lakeja, säädöksiä ja ohjeistuksia. (Create functional design 2015, 2-3.)

Toiminnallisen mallin arviointi ja hyväksyminen

Suunnittelun mallin arviointi suoritetaan toiminnallisen mallin, yksityiskohtaisen mallin ja lopullisen mallin suunnitteluvaiheiden jälkeen. Eri vaiheiden arviointeja voidaan myös yhdistää tarpeen ja käytännöllisyyden mukaan. Toiminnallisen mallin arvioinnin tuloksena syntyy todentamista vaille valmis malli ja vaadittava dokumentaatio yksityiskohtaisen mallin suunnittelun aloittamiseksi. Arvioinnin tukena hyödynnetään tuotteelle asetettuja vaatimuksia ja toiminnallisia määritelmiä, vaatimusten määritelmälistaa, alihankitun tuotesuunnittelun (OPD, Outsourced Product Development) dokumentaatiota sekä tuotteiden määräystenmukaisuusvaatimuksia (PCM, Product Compliance Management). (Engineering review practice 2015, 2.)

Vaikka tuotteelle ei olisi määritelty erikoisvaatimuksia, tulee arvioinnissa tarkistaa tuotteen rajapinnat sekä niiden liittyminen muihin tuotteisiin tai rakenteisiin ja tuotteen toiminnan sekä turvallisuuden kannalta kriittiset yksityiskohdat. Lisäksi tulee varmistaa, että suunnittelussa on otettu huomioon riskianalyysoitujen tulokset, odotettavissa olevat käyttöympäristöt, suunnitelmassa määritetyt standardit sekä tuotteen käytettävyys ja huollettavuus. (Engineering review practice 2015, 2.)

Yksityiskohtaisen mallin suunnittelu

Toiminnallisen mallin hyväksynnän jälkeen suoritetaan tuotteen yksityiskohtaisen mallin suunnittelu huomioiden moduulien toiminta ja rakenteen toimivuus. Suunnittelussa hyödynnetään tarpeen mukaisesti saatavaa kustannus- ja toimitustietoa. (Design and document Equipment or equivalent n.d.)

Yksityiskohtaisen mallin arviointi ja hyväksyminen

Yksityiskohtaisen mallin arvioinnissa noudatetaan samoja toimintatapoja kuin toiminnallisen mallin arvioinnissa. Tuloksena syntyy todennusta vaille valmis malli ja vaadittava dokumentaatio tuotteen mallin varmentamisen aloittamiseksi. (Engineering review practise 2015, 2.)

Lopullisen mallin suunnittelu ja dokumentaation luonti

Viimeisenä tuotteen suunnittelun vaiheena suunnitellaan ja tarkastetaan tuotteen lopullinen malli sekä luodaan tuotteelle vaadittava dokumentaatio. (Engineering review practise 2015, 2.) Samanaikaisesti luodaan ja viimeistellään tuotteen koulutusmateriaali tarpeiden mukaisesti. (Design and document Equipment or equivalent n.d.)

Lopullisen mallin ja dokumentaation arviointi ja hyväksyminen

Lopullisen mallin arvioinnissa noudatetaan pääosin samoja toimintatapoja kuin toiminnallisen ja yksityiskohtaisen mallin arvioinnissa. Loppuarvioinnin jälkeen malli ja vaadittava dokumentaatio ovat valmiita ja lopullisia. (Engineering review practise 2015, 2.)

Lopullinen suunniteltu ja dokumentoitu tuote

Tuotekehitysprojektin lopputuloksena syntyy suunniteltu ja dokumentoitu tuote vaadituilla rakenteilla ja osilla. (Design and document Equipment or equivalent n.d.)

5 Modulaarinen tuoterakenne

Ulrich ja Eppinger (2003, 164) määrittelevät tuoterakenteen olevan tuotteen toiminnallisten ominaisuuksien määrittämistä tuotteen fyysisiin rakennusosiin. Ulrich (1993, 420) määrittelee tuoterakenteen vielä tarkemmin toiminnallisten ominaisuuksien järjestelyksi, toiminnallisista ominaisuuksista fyysisiksi komponenteiksi määrittelyksi ja keskenään toimivien fyysisten komponenttien välisten rajapintojen määrittelyksi. Ulrichin ja Eppingerin (2003, 165) mukaan tuotteen rakenteen ehkä tärkein ominaisuus on sen modulaarisuus.

5.1 Modulointi ja moduuli

Modulointia on käsitelty kirjallisuudessa laajasti ja sille on annettu vaihtelevia nimityksiä eri tutkimuksissa. Moduloinnin määritelmä säilyy kirjallisuudessa kuitenkin yhdenmukaisena. Österholmin ja Tuokon mukaan modulointi on tuotteen itsenäisiin yksiköihin jakamista. Näistä yksiköistä käytetään nimitystä moduuli. Moduuleilla on tarkasti määritellyt ja vakioidut rajapinnat, joiden kautta niitä on mahdollista yhdistää ja vaihtaa. Moduloinnilla saavutetaan mahdollisimman suuri standardikomponenttien lukumäärä. (Österholm & Tuokko 2001, 8.) Sanchez ja Mahoney (1996, 65) määrittelevät modulaarisuuden tuotesuunnittelun erityismuodoksi, jossa vakioimalla komponenttien väliset rajapinnat saavutetaan vahvasti itsenäisiä komponentteja. Eggen toteaa, että on olemassa useita erilaisia tapoja moduloida tuote. Riippuen tuotestrategiasta, samanlaista tuotetta valmistavat kaksi eri yhtiötä voivat päätyä erilaisiin moduloituihin tuoterakenteisiin. (Eggen n.d., 2.)

5.2 Moduloinnin edut ja haitat

Sanchez luettelee moduloinnista saataviksi hyödyiksi tuotekehityksen vaatimien kulojen alenemisen, yrityksen tarjoamien tuotteiden laajemman variaation, uusien tuotteiden markkinoille tuomisen nopeutumisen ja siihen vaadittavien resurssien vähenemisen ja kehittyneempien tuoteversioiden käyttöönoton nopeutumisen. Hyödyntämällä modulointia yrityksen tuotantostrategiassa mahdollistetaan tuotekehityksen ja markkinointiprosessien ulottuminen aiempien rajoitteiden yli. (Sanchez 1999, 94.)

Österholmin ja Tuokon mukaan moduloinnilla saavutetaan yrityksen toiminnan kannalta useita positiivisia vaikutuksia. Modulointi mahdollistaa tuotteeseen tehtävien muutosten rajaamisen vain osaan tuotteesta ja siten helpottaa tuotevariaatioiden hallintaa. Sen avulla mahdollistetaan tuotteen rinnakkainen suunnittelu mikä puolestaan lyhentää merkittävästi tuotteiden tuotekehitysaikaa. Kokonaisen tuoteperheen moduloinnilla voidaan mahdollistaa kokoonpanon rinnakkaisuus, mikä lyhentää tuotantoon kuluva-aikaa. Moduulien toiminta on myös testattavissa erillisesti ennen lopullista kokoonpanoa, mikä parantaa tuotannon laatua. (Österholm & Tuokko 2001, 8.)

Moduloinnista voi myös koitua liian pitkälle vietyä haittaa yhtiölle. Eggen käyttää esimerkkinä Volkswagenin autotuotantoa, joka hyödyntää yhdenlaista alustaa usean eri automallin kokoonpanossa. Tämän seurauksena asiakkaat ovat alkaneet miettiä miksi heidän tulisi ostaa huomattavasti kalliimpi Audi A6 epäilyttävän saman näköisen ja halvemmän Volkswagen Passatin sijasta. Tämä osoittaa, että moduloinnilla voi olla odottamattomia vaikutuksia, mikäli asiakkaan käsitys tuotteen toiminnallisuudesta on väärinymmärretty. (Eggen n.d., 5.)

5.3 Modulaarinen ja integraalinen tuoterakenne

Modulaarisen tuoterakenteen vastakohta on integraalinen rakenne. Integraalisessa tuoterakenteessa tuotteen osien väliset yhteydet ja rajat voivat olla hankalasti määriteltäviä tai täysin olemattomia. Yksittäinen tuotteen lohko saattaa toteuttaa useampia toiminnallisia ominaisuuksia. Integraalisen rakenteen omaava tuote suunnitellaan tyypillisesti toiminnaltaan parhaaksi mahdolliseksi ja useita toiminnallisia ominaisuuksia saatetaan toteuttaa vain muutamilla fyysisillä komponenteilla. Tämän seurauksena tuotteeseen tehtävät muutokset tai lisättävät ominaisuudet voivat vaatia tuotteen laajaa uudelleensuunnittelua. (Ulrich & Eppinger 2003, 166.) Sanchez toteaa, että integraalisen rakenteen omaavan tuotteen komponentin muuttaminen johtaa tyypillisesti ketjureaktioon, jossa päädytään tekemään muutoksia muihin komponentteihin. Tämä taas johtaa edelleen muihin komponentteihin vaadittaviin muutoksiin. Edellä mainitun syyn johdosta optimoidusti suunniteltu ja integraalisen tuoterakenteen omaavan tuotteen muuttaminen on usein aikaa vievää, kallista ja hankalaa. (Sanchez 1999, 95.)

Eggen toteaa, että integraalinen tuoterakenne voi joissain tapauksissa olla parempi vaihtoehto. Esimerkiksi autojen suunnittelussa pyritään saavuttamaan tietyntyyppiset ääni- ja värinätasot, minkä mahdollistaminen vaatii suunnittelijoilta syvällistä tietoa eri komponenttien välisistä vuorovaikutuksista. Ilman integraalista tuoterakennetta komponenttien erillinen suunnittelu ja kokoonpano eri valmistajien toimesta voisi lopulta kokoonpantaessa johtaa toimimattomaan tuotteeseen. (Eggen n.d, 5.)

Ulrichin ja Eppingerin mukaan modulaarisuus on kuitenkin tuoterakenteen suhteellinen ominaisuus ja tuotteet ovat harvoin ainoastaan joko modulaarisia tai integraalisia. Sen sijaan tuotteen omaaman modulaarisuuden astetta voidaan määrittellä vertaamalla sitä toisen vertailukelpoisen tuotteen modulaarisuuden tasoon. (Ulrich & Eppinger 2003, 166.)

5.4 Tuoterakenteen modulaarisuuden tyypit

Ulrich ja Eppinger määrittelevät modulaarisen tuoterakenteen omaavan kaksi ominaisuutta:

- Tuotteen moduulit toteuttavat yhden tai enintään muutaman toiminnallisen ominaisuuden
- Tuotteen moduulien väliset vuorovaikutukset ovat selkeästi määriteltyjä sekä välttämättömiä tuotteen perustoimintojen kannalta

(Ulrich & Eppinger 2003, 165.)

Ideaalisessa tuoterakenteessa jokainen tuotteen toiminnallinen ominaisuus on toteutettu yhdessä fyysisessä moduulissa ja moduuleiden mahdollisimman vähäiset vuorovaikutukset ovat selkeästi määriteltyjä. Kyseisen tuoterakenteen omaavat moduulit on mahdollista suunnitella lähes itsenäisesti ja tuotteeseen tehtävä muutos ei vaadi muiden moduulien uudelleensuunnittelua tuotteen toiminnan säilyttämiseksi. (Ulrich & Eppinger 2003, 165; Österholm & Tuokko 2001, 9.) Tuotteen rakenteen moduloinnissa tulee pyrkiä tyydyttämään valitut asiakastarpeet mahdollisimman vähäisellä moduulien määrällä. Tämä mahdollistetaan sijoittamalla omaan moduuliinsa kaikki tuoterakenteen variointia vaativat itsenäiset asiakastarpeet tai asiakastarveyhdistelmät. (Österholm & Tuokko 2001, 9-10.)

Tuotteiden modulaarisuutta määritellään kirjallisuudessa usein eri tavoin. Österholmin ja Tuokon (2001, 10) mukaan modulaariset tuoterakenteet jaetaan tyypillisesti

kolmeen tyyppiin, jotka ovat paikka-, väylä- ja lohkomodulaarisuus (ks. kuvio 5). Ulrich ja Eppinger (2003, 165) toteavat, että tuoterakennetyyppien eroavaisuudet ilmenevät moduulien välisten vuorovaikutusten toteutuksissa.

Paikkamodulaarisessa tuoterakenteessa jokaiset moduulien väliset rajapinnat ovat tyypiltään erilaisia kuin muut, minkä vuoksi tuotteeseen sisältyvät moduulit eivät ole keskenään vaihtokelpoisia. Esimerkkinä kyseisestä tuoterakenteesta on auton radio, joka toteuttaa tarkalleen yhden toiminnon mutta on rajapinnaltaan erilainen kuin mikään muu auton komponenteista. (Ulrich & Eppinger 2003, 166.) Österholmin ja Tuokon (2001, 10) mukaan tuotteen jokainen moduulityyppi liitetään standardirajapinnan avulla tiettyyn asentoon.

Väylämodulaarisessa tuoterakenteessa tuotteen sisältämät moduulit kiinnittyvät yhteiseen väylään saman tyyppisten rajapintojen avulla. Tyypillinen esimerkki väylämodulaarisesta tuoterakenteesta on laajennuskortti tietokoneeseen. (Ulrich & Eppinger 2003, 166.)

Lohkomodulaarisessa tuoterakenteessa tuotteen moduulien kaikki rajapinnat ovat saman tyyppisiä. Rakenne ei sisällä yhteistä kiinnittymiselementtiä, sen sijaan moduulit kiinnittyvät toisiinsa identtisten rajapintojen kautta. Esimerkkinä rakenteesta on putkistojärjestelmät. (Ulrich & Eppinger 2003, 167.) Österholm ja Tuokko (2001, 10) toteavat, että lohkojärjestelmässä moduuleita voidaan yhdistellä standardoitujen rajapintojen avulla usealla tavalla ja tuotevariantit muodostetaan vapaasti moduuleista.

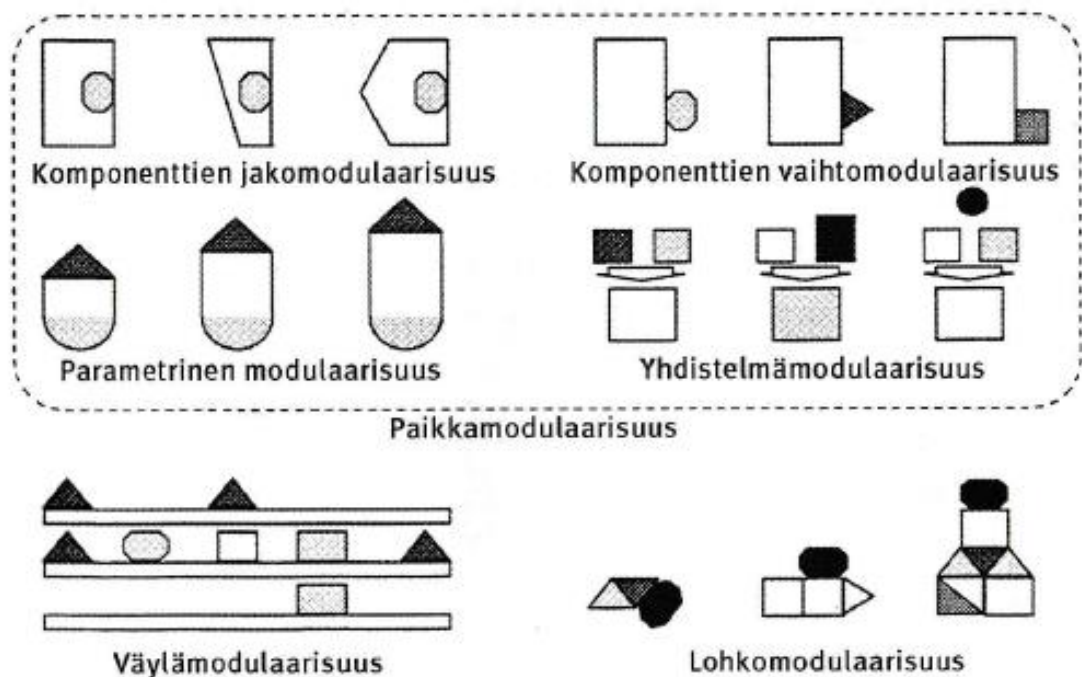
Ulrichin ja Eppingerin mukaan yleisimpiä modulaarisia tuoterakenteita ovat paikkamodulaariset rakenteet, koska useimmissa tuotteissa moduulin ja muun tuotteen väliset ainutlaatuiset vuorovaikutukset vaativat jokaiselle moduulille erilaisen rajapinnan. Väylä- ja lohkomodulaariset tuoterakenteet ovat erityisen hyödyllisiä tilanteissa, joissa tuotteen moduulit voivat olla standardoitujen rajapintojen kautta vuorovaikutuksessa muun tuotteen kanssa, mutta tuotteen kokonaisuuden konfiguraation täytyy vaihdella laajasti. Tällainen tilanne voi ilmetä esimerkiksi kaikkien moduulien voimassa käyttäen saman tyyppistä rakenteellista kiinnikettä. (Ulrich & Eppinger 2003, 167.)

Österholm ja Tuokko jakavat paikkamodulaarisen tuoterakenteen vielä kolmeen osaan (ks. kuvio 5):

- Komponenttien vaihtomodulaarisuus, samaan perustuotteeseen on mahdollista yhdistää vähintään kaksi eri komponenttia
- Komponenttien jakomodulaarisuus, saman komponentin käyttö on mahdollista useissa eri tuotteissa
- Parametrinen modulaarisuus, parametrisesti muunneltavan komponentin kanssa käytetään yhtä tai useampaa standardikomponenttia

(Österholm & Tuokko 2001, 10.)

Österholmin ja Tuokon (2001, 11) mukaan paikkamodulaarisen tuoterakenteen neljäntenä tyyppinä voidaan pitää kolmen edellä mainitun yhdistelmää yhdistelmämodulaarisuutta. Lehtonen (2007, 48) kuitenkin toteaa, että yhdistelmämodulaarisuus voidaan hylätä modulaarisena tuoterakenteena johtuen epäpysyvissä tilassa olevien osien määrittelyn mahdottomuudesta tai epäkäytännöllisyydestä.



Kuvio 5. Modulaarisuuden eri tyyppiä (Österholm & Tuokko 2001, 11)

Lehtosen (2007, 48) mukaan edellä mainittujen viiden modulaarisen tuoterakenteen lisäksi voidaan esittää kaksi erikoisrakennetta (ks. kuvio 6). Nämä ovat nimeltään pi-

nomodulaarisuus ja valintamodulaarisuus. Pinomodulaarisuus on parametrisen modulaarisuuden alatyyppejä, missä parametrinen muuntelu esimerkiksi tuotteen pituuden kohdalla toteutetaan lisäämällä moduulien lukumäärää. Valintamodulaarisuus on komponenttien vaihtomodulaarisuuden erikoisrakenne, missä moduuli voidaan joko valita tai jättää sitä varten varattu paikka tyhjäksi. (Lehtonen 2007, 48; Suolahti 2010, 29.)



Kuvio 6. Modulaarisen tuoterakenteen erikoistyyppit pino- ja valintamodulaarisuus (Suolahti 2010, 29)

6 Elinkaariajattelu tuotesuunnittelussa

Yhtenä opinnäytetyön tavoitteena oli hyödyntää tuotekehityksessä elinkaariajattelun periaatteita ja ympäristömyötäistä suunnittelua. Näin mahdollistettiin kehitettävän tuotteen elinkaaren aikana aiheutuvien ympäristövaikutusten minimointi ja noudatettiin toimeksiantajan kestävään luonnonvarojen hyödyntämiseen perustuvaa toimintastrategiaa. Opinnäytetyön aiheen rajaukseen ei sisällynyt varsinaisen elinkaariviarvioinnin toteuttaminen sen toteutuksen laajuuden vuoksi.

6.1 Ympäristötietoisuus yrityksen toiminnassa

Curranin mukaan yritysten tuotteiden tuotannon ja valmistuksen monipuolisuuden kasvaessa niin tekniikan kuin maantieteellisten sijaintien osalta on ympäristötietoisuus noussut määräväkiseksi osaksi liiketoimintaa. Niin yhtiöt kuin maiden hallitukset

ovat alkaneet tarkastella tuotteiden ympäristövaikutuksia niiden koko elinkaaren ajalta. (Curran 2015, 26.) Antikainen ja Seppälä (2012, 12) toteavat, että ympäristöasiat ovat nousseet yhä tärkeämpään rooliin yritysten kilpailutekijänä ympäristötietoisemman toimintaympäristön seurauksena, mikä on toisaalta avannut uudenlaisia mahdollisuuksia myös yritysten toiminnan suuntaamiselle.

Vähimmäisvaatimuksena yrityksen strategian ja ympäristöpolitiikan tueksi on tuotteen elinkaarivaikutusten tunnistaminen yleisellä tasolla. Jotta elinkaarimenetelmien avulla tuotettu tieto edesauttaisi yrityksen ympäristöstrategian määrittämistä, tieto pitää pystyä analysoimaan, tulkitsemaan ja esittämään siten, että tuotteen ympäristönäkökohtien kehittämisen suuret linjat selviävät. Vaikka elinkaarimenetelmät mahdollistavat ympäristövaikutusten tärkeysjärjestykseen asettamisen, joutuu yritys lopulta huomioimaan strategisten ympäristövalintojen teossa muun muassa kustannukselliset ja imagolliset näkökohdat sekä asiakkaiden toiveet. (Antikainen & Seppälä 2012, 8.)

6.2 Elinkaariajattelu

Elinkaariajattelulla tarkoitetaan Antikaisen ja Seppälän (2012, 10) mukaan palvelun tai tuotteen ympäristönäkökohtien huomioimista ns. kehdestä hautaan (cradle to grave) koko sen elinkaaren ajalta, eli raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttämiseen, käytöstä poistamiseen, kierrättämiseen ja lopulta jätteiden loppusijoittamiseen. Elinkaariajattelulla voidaan tavoitella palveluiden ja tuotteiden pienempiä ympäristövaikutuksia ja pienempää energian ja resurssien käyttöä niiden elinkaarien kaikissa vaiheissa. Tavoitteena on välttyä tilanteelta, jossa haitallisten ympäristövaikutusten tai energian ja materiaalien kulutuksen vähentäminen osassa tuoteketjua aiheuttaisi niiden lisääntymistä toisaalla. Elinkaarivaikutusten vähentämisessä tuotteen arvoketjua tulee tarkastella sekä ylä- että alavirtaan, eli raaka-aineiden ja energian hankintaa sekä myös tuotteiden jalostus- ja/tai käyttövaiheita. (Antikainen & Seppälä 2012, 12.)

Elinkaarimenetelmiä voidaan hyödyntää strategian määrittämisessä sekä operatiivisen toiminnan tukemisessa, toisin sanoen apuvälineenä suunniteltaessa pitkän aika-

välin toimintaa. Elinkaarimenetelmät tulisi nähdä yhä useammassa yrityksessä strategisen päätöksenteon ja tuotesuunnittelun tukivälineenä, jotta palveluiden ja tuotteiden elinkaarihallinta otettaisiin huomioon koko yhteiskunnassa. Elinkaariajattelulla ja -menetelmillä mahdollistetaan teollisen ekologian ajattelumalli, jossa analysoimalla systemaattisesti laajoja järjestelmiä ja niiden vuorovaikutuksia haetaan ratkaisuja ja tuotteita. Näin saadaan vähennettyä ympäristövaikutuksia ja tehostettua materiaali- ja energiatehokkuutta. Elinkaariajattelun avulla voidaan ympäristövaikutusten vähentämisen lisäksi saavuttaa myös merkittäviä taloudellisia hyötyjä. (Antikainen & Seppälä 2012, 8-12.)

6.3 Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu

Antikaisen ja Seppälän mukaan suurin osa tuotteen ympäristövaikutuksista määräytyy tuotesuunnitteluvaiheessa. Tästä syystä tuotteen ympäristövaikutusten vähentämismahdollisuuksien kriittisimmät vaiheet ovat ennen tuotteen markkinoille lanseeraamista. Tuotesuunnitteluvaiheessa valitaan tuotteessa käytettävät materiaalit ja suoritetaan elinkaaren aikaiseen energiankulutukseen vaikuttava suunnittelu. (Antikainen & Seppälä 2012, 34.)

Curranin mukaan tuotteiden ideoinnissa ja suunnittelussa ympäristömyötäisen kestävyden soveltaminen noudattaa tyypillisesti yhtenäistä kaavaa, jonka ensimmäisenä vaiheena tarkasteltavan tuotteen ympäristövaikutuksista hankitaan perustavanlaatuisen käsitys. Tämän jälkeen pystytään haluttujen ympäristövaikutusten vähentämisen mukaisesti suunnittelemaan ja simuloimaan tuotteesta vaihtoehtoisia toteutuksia. Kehitystyön tuloksia voidaan lopulta hyödyntää myyntivaltteina myynnissä ja markkinoinnissa esimerkiksi ympäristönmukaisuusjulkaisujen muodossa. (Curran 2012, 329.)

Antikainen ja Seppälä määrittelevät ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun olevan elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnin yhdistämistä yleiseen tuotesuunnitteluun prosessin ensivaiheista lähtien ja pyrkimystä vähentää koko ketjun ympäristövaikutuksia elinkaariajattelun mukaisesti sekä välttää negatiivisten vaikutusten siirtyminen elinkaarivaiheesta tai ympäristövaikutusluokasta toiseen. Ympäristömyötäi-

nen tuotesuunnittelu ei saa kuitenkaan aiheuttaa tuotteen käyttökelpoisuuden, laadun tai ulkonäön heikentymistä, minkä vuoksi se vaatii suunnitteluprosessin parissa työskenteleviltä ammattilaisilta tiivistä ja aktiivista yhteistyötä. (Antikainen & Seppälä 2012, 34-35.)

Ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun aikana vertaillaan energia- ja materiaalivaihtoehtoja sekä teknisten ratkaisujen toimivuutta. Kehittämisen kohteita suunnittelussa voivat olla muun muassa materiaalikulutuksen vähentäminen esimerkiksi tuotteen rakennetta keventämällä tai kierrätysvirtoja hyödyntämällä ja tuotteen tuotannosta ja käyttövaiheista aiheutuvien päästöjen vähentäminen korvaamalla haitalliset aineet vähemmän haitallisilla ja fossiiliset raaka-aineet sekä energia uusiutuvilla. Ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun mukaisia toimia ovat myös tuotteen monitoimisuuden kasvattaminen, mikä mahdollistaa sen käytön muiden yksittäisten tuotteiden korvaamisessa, ja tuotteen käyttöiän pidentäminen sekä kestävyuden parantaminen esimerkiksi vaihtelevien käyttötarpeiden mukaisella muunnettavuudella ja korjattavuuden kehittämisellä. Tuotteen elinkaaren ympäristövaikutuksia vähentävät lisäksi monimutkaisten materiaaliseoksien käytön vähentäminen ja tuotteen purkamismahdollisuuksien lisääminen korjausmahdollisuuksien ja kierrätettävyyden edistämiseksi. (Antikainen & Seppälä 2012, 34-35.)

6.4 Elinkaariarviointi

Antikainen ja Seppälä toteavat, että on olemassa monia ympäristönäkökulmia arvioivia menetelmiä jotka perustuvat elinkaariajatteluun. Elinkaarimenetelmistä kaikkein kattavimman erilaisten ympäristövaikutusten huomioonottamisen mahdollistaa elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment). Kyseinen menetelmä on elinkaarimenetelmistä tieteellisin ja usein myös toteutukseltaan työläin. Elinkaariarvioinnista on laadittu runsaasti kansainvälistä ohjeistusta tukemaan sen toteuttamista, mutta usein selvitettävien kohteiden monimutkaisuuden vuoksi joudutaan tekemään valintoja esimerkiksi arvioinnin aikajänteen valinnassa sekä systeemin rajauksessa. Tämän johdosta elinkaariarvioinnin kautta saatavat tulokset eivät aina ole yksiselitteisiä. LCA:n ja muiden elinkaarimenetelmien avoimen ja luotettavan tulkinnan yhtenä perustana onkin analysoida lähtöoletusten, rajausten ja aineiston vaikutusta tulosten

tulkintaan, herkkyyteen ja epävarmuuteen sekä esittää ne avoimesti. (Antikainen & Seppälä 2012, 10.)

Antikaisen ja Seppälän mukaan elinkaariarvioinnin ympärillä tapahtuu jatkuvaa kansainvälistä kehitystyötä, mikä osoittaa, että tiedon tuottaminen elinkaariajattelua hyödyntämällä on koettu välttämättömäksi tavoiteltaessa yhä kestävämpää tuotantoa ja kulutusta. Kehitystyön tarvetta ajaa myös täysin puhtasoppisen elinkaariarvioinnin toteuttamisen korkeat kustannukset ja sen vaatima aika. Lisäksi elinkaariarviointia ei ole useinkaan tarvetta toteuttaa täydellisenä. Elinkaariarviointien toteutuksessa on usein ongelmia saada käyttöön kaikki tarvittavat lähtötiedot ja sen vaikutusarviointiin liittyy useita puutteita, mikä on johtanut vaikeuksiin saada aikaan kattavia tuloksia tarkastelun kohteesta. Epäselvyyttä on tuonut myös systeemin rajauksen laajuus ja sopivan vertailukohtan valitseminen kulloinkin kyseessä olevalle kohteelle. Elinkaariarvioinnin tulosten tulkintaan ja sovellettavuuteen luo siis aina rajoitteita lähestymistavan valinta. (Antikainen & Seppälä 2012, 13.)

Yritysten ympäristönäkökohtia koskeva päätöksenteko vaatii tapauskohtaisesti yksityiskohtaisuudeltaan ja aikaperspektiiviltään vaihtelevia tietoja. Tämän johdosta yritykset ovat joutuneet ottamaan käyttöön yksinkertaisia elinkaarimenetelmiä, joiden avulla hankitun tiedon toivotaan olevan luotettavuudeltaan riittävää tukemaan päätöksentekoa. Tällaisiin menetelmiin sisältyvät muun muassa yksinkertaistettu elinkaariarviointi (LCA), vesijalanjälki, hiilijalanjälki, ekologinen jalanjälki, ainevirta-analyysi, materiaalivirta-analyysi sekä termodynaamiset menetelmät emerggia ja exergia. Näiden lisäksi on luotu yhdennettyjä menetelmiä, esimerkkinä ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli. Elinkaarimenetelmien soveltuvuus vaihtelee eri käyttötarkoituksissa. Yksittäisiä menetelmiä voidaan hyödyntää vaihtelevilla tarkkuustasoilla ja eri laajuuksissa niin alustavien selvitysten kuin hyvin laaja-alaisten ja kattavien tutkimustenkin toteuttamiseen. (Antikainen & Seppälä 2012, 13-14.)

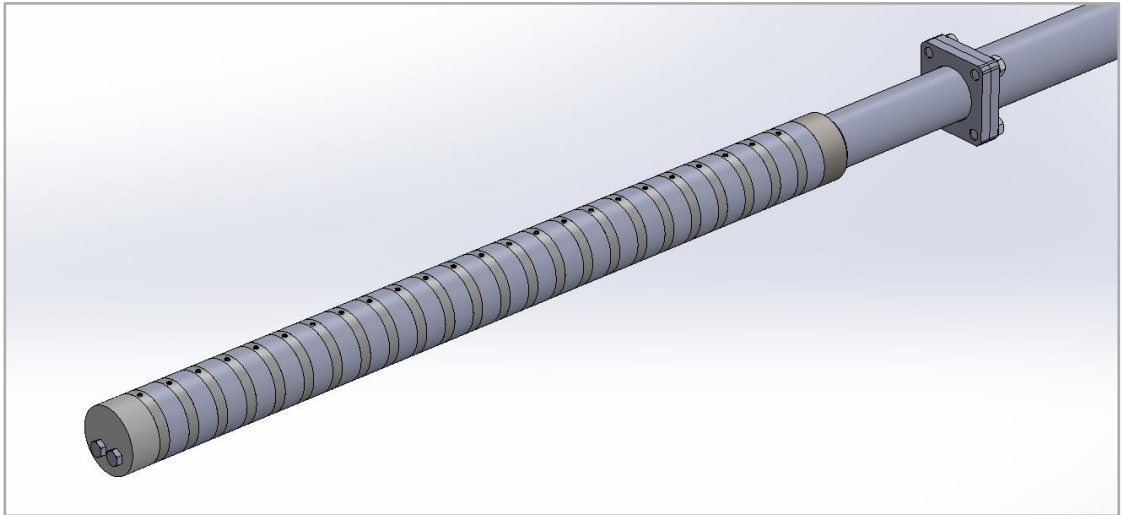
7 Suunnittelun toteutus

7.1 Lähtökohdat

Outotec LevelSense™ -rajapintamittari on ollut osa Outotecin tuoteportfoliota suhteellisen lyhyen ajan. Opinnäytetyön aloitukseen asti tuotteen mittapään kehityksessä tärkeimpänä kriteerinä on ollut mittauksen toimivuuden ja luotettavuuden varmistaminen. Toimeksiantajan saatua tuotteen pääfunktion eli vaahdotuskennon rajapintojen mittauksen toiminnan vaaditulle tasolle oli tullut ajankohtaiseksi tuotteen rakenteen optimointi ja siten tuotantokustannusten alentaminen. Outotec keskittyy toimintastrategiansa mukaisesti jatkuvaan ympäristövaikutusten vähentämiseen, minkä vuoksi osana opinnäytetyön suunnittelutyötä oli ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun hyödyntäminen ja siten ympäristövaikutuksiltaan alhaisemman tuotteen kehitys. Opinnäytetyön tuotekehityksen tavoitteena oli luoda modernisoidun Outotec LevelSense™ -tuotteen standardipituisten mittapäiden 3D-mallit, jotka esittelevät kehitetyn mittapään toteuttamiskelpoisuutta ja mahdollistavat prototyypin valmistamisen.

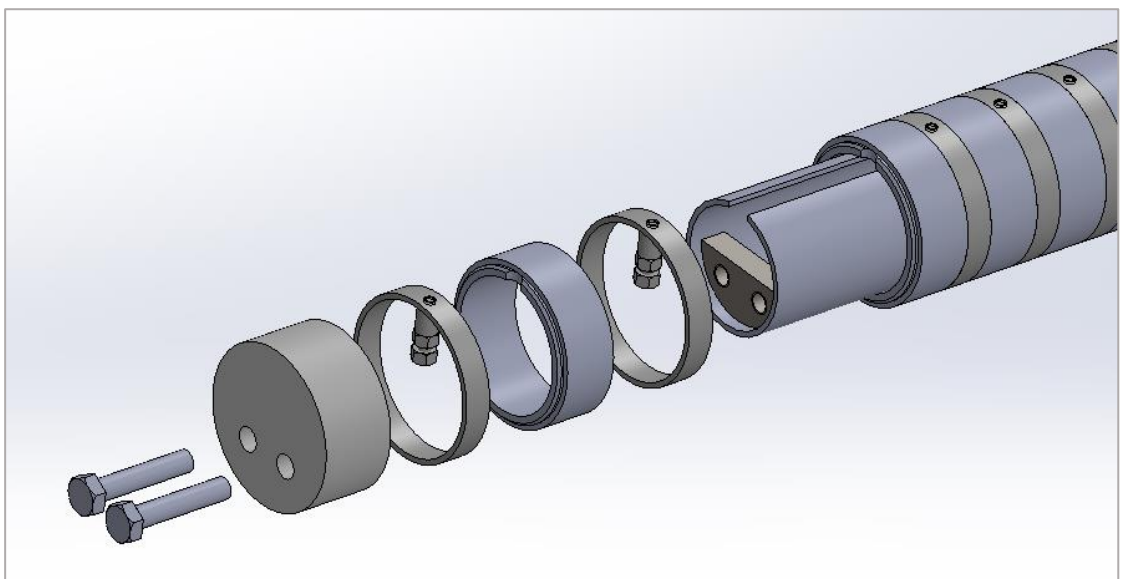
7.2 Alkuperäinen tuoterakenne

Alkuperäinen mittasauva on suunniteltu rakenteeltaan pyörähdyssymmetriseksi sauvalla suoritettavan mittauksen toiminnan takaamiseksi ja pinta-aloiltaan mahdollisimman suurten elektrodien käytön mahdollistamiseksi (ks. kuvio 7). Tuotteen edeltävän version kehityksessä oli pyritty hyödyntämään modulaarista suunnittelua, minkä ansiosta eri mittaisten mittasauvojen kokoonpanossa on pystytty käyttämään yhdenmukaisia komponentteja. Modulaarisuuden aste on kyseisessä rakenteessa kuitenkin melko alhainen, minkä vuoksi jokaisen eri mittaisen mittasauvan tuotanto on vaatinut pääosin kyseiselle pituudelle soveltuvien osien valmistamista.



Kuvio 7. Outotec LevelSense™ -tuotteen alkuperäinen mitta-alueeltaan 690 mm pitkä mittasauva

Outotec valmistaa mittasauvasta kolmea standardipituutta, joissa jokaisessa on 24 rengasmuotoista eristerenkaalla toisistaan erotettua elektrodia. Mittausalueen pituus eri pituisissa sauvoissa toteutetaan leveydeltään erikokoisilla elektrodeilla ja eristerenkailla (ks. kuvio 8). Edeltävässä rakenteessa käytettävät osat vaativat valmistukseltaan tarkkaa koneistusta, minkä vuoksi mittasauvan tuotantokustannukset nousevat korkeiksi. Mitoitukseltaan tarkat osat aiheuttavat lisäksi vaikeuksia tuotteen kokoonpanovaiheessa tehden siitä työlästä ja aikaa vievää.



Kuvio 8. Elektrodien ja eristerenkaiden kokoonpano alkuperäisessä mittasauvassa

Käyttöolosuhteiden vuoksi kokoonpanon jälkeen mittasauva täytetään massalla, joka kuivuessaan tiivistää sauvan ja estää kosteuden pääsyn rakenteen sisään ja yhä elektrodihin. Kuivuessaan massa kovettuu kiinteäksi, minkä ansiosta mittaussauvan jäykkyys kasvaa, mikä puolestaan estää sauvan taipumisen käyttöolosuhteissa siihen kohdistuvien voimien vaikutuksesta.

7.3 Toiminnallisen rakenteen suunnittelu

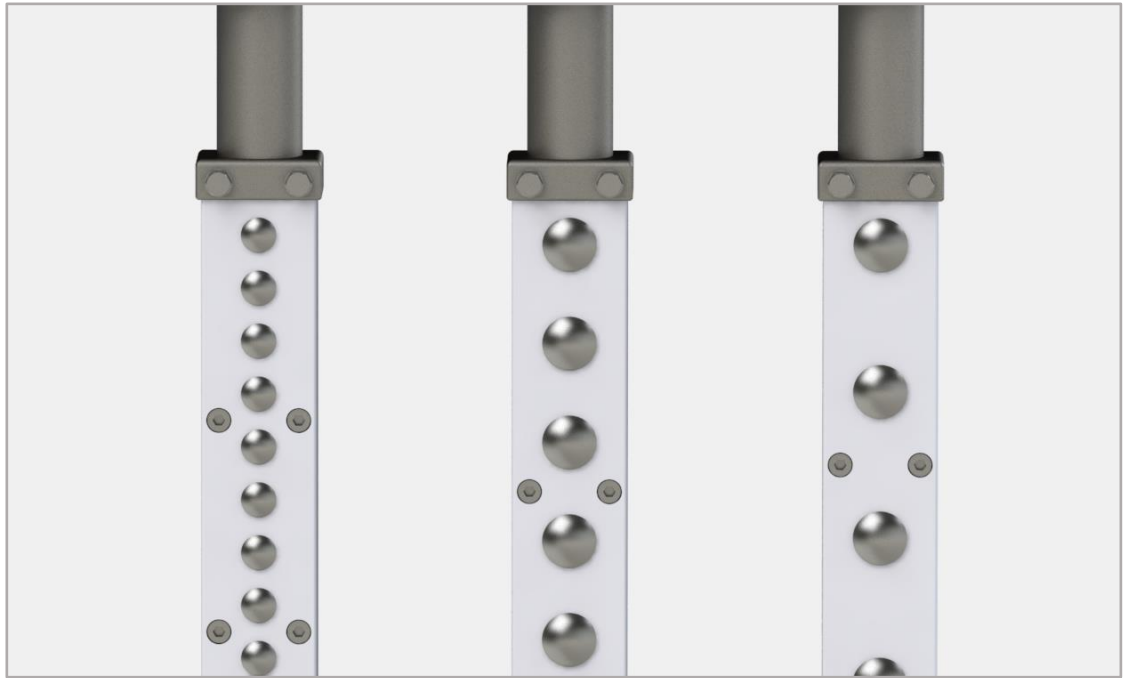
Opinnäytetyön tuotekehityksen toteutus aloitettiin perehtymällä tuotteen nykyiseen rakenteeseen. Tuoterakenteen analysoinnissa ja tutkimisessa keskityttiin tunnistamaan kehityskelpoisia rakenteen osia. Toimeksiantajan ohjeistuksen mukaan suunnittelussa hyödynnettiin toisen eri käyttötarkoitukseen kehitetyn Outotecin tuoteportfolioon kuuluvan tuotteen nelikulmaista rakennetta, joka oli todettu pyörähdysymmetristä rakennetta optimoidummaksi valmistukseltaan ja kustannuksiltaan.

Pyörähdysymmetrisen rakenteen säilyttämisen mahdollisuutta tarkasteltiin suunnittelun alkuvaiheessa nelikulmaisen rakenteen ohella. Pyörähdysymmetrisyyden säilyttämiselle ei tuotteella suoritettavan mittauksen toiminnan kannalta ollut enää tarvetta, minkä vuoksi kustannustehokkaamman rakenteen suunnittelulle asetetut vaatimukset olivat helpommin toteutettavissa. Kehitettävän tuotteen potentiaalinen rakenne analysoitiin tuotteen parissa työskentelevien työntekijöiden kanssa pidetyssä palaverissa, missä päätettiin keskittyä rakenteen suunnittelussa nelikulmaisen rakenteen kehitykseen. Lisäksi luotiin ja todennettiin tuotteen toteutuskelpoinen konsepti.

Ennen uudelleensuunnittelun rakenteen mallinnuksen aloittamista konseptin varmistamiseksi ja edelleen tarkentamiseksi pidettiin suunnittelupalaveri aiemmin tuotteen kehityksessä hyödynnetyn suunnitteluyhtiön suunnittelijan kanssa. Käydyssä palaverissa todennettiin suunnittelun konseptin potentiaaliset tuotannolliset ja kustannukselliset hyödyt sekä pyrittiin varmistamaan tuotteen vaatimusten ja ominaisuuksien säilyminen ja toteutuminen suunniteltavassa tuoteversiossa.

Outotec LevelSense™-tuotteen mittasauvan aiemmassa versiossa on käytetty mitausalueeltaan eri pituisissa mittasauvoissa leveydeltään eri kokoisia elektrodereita. Kyseisen rakenteen rengasmuotoiset elektrodit kattavat mittasauvan koko ympärysti-

tan, minkä vuoksi ne olivat osoittautuneet sauvalla suoritettavan mittauksen kannalta tarpeettoman suuriksi. Elektrodit ovat kuuluneet valmistuskustannuksiltaan mittasauvan kalliimpiin osiin niiden vaatiman tarkan koneistuksen vuoksi. Tämän johdosta sauvan elektrodien valmistuksesta syntyviä kustannuksia oli mahdollista saada suunniteltavassa tuoteversiossa huomattavasti alhaisemmiksi. Elektrodien suunnittelussa pyrittiin löytämään ja valitsemaan elektrodeiksi soveltuvia komponentteja, joita valmistetaan sarjatuotannolla ja joita pystytään hankkimaan ilman mittatilausta. Kehitetyissä mittasauvoissa valittiin elektrodeiksi käytettäväksi kupukantaisia lukkoruuveja (ks. kuvio 9). Hyödyntämällä suunnittelussa standardiosia mittatilausosien sijaan pystyttiin saavuttamaan tuotannollisia säästöjä.



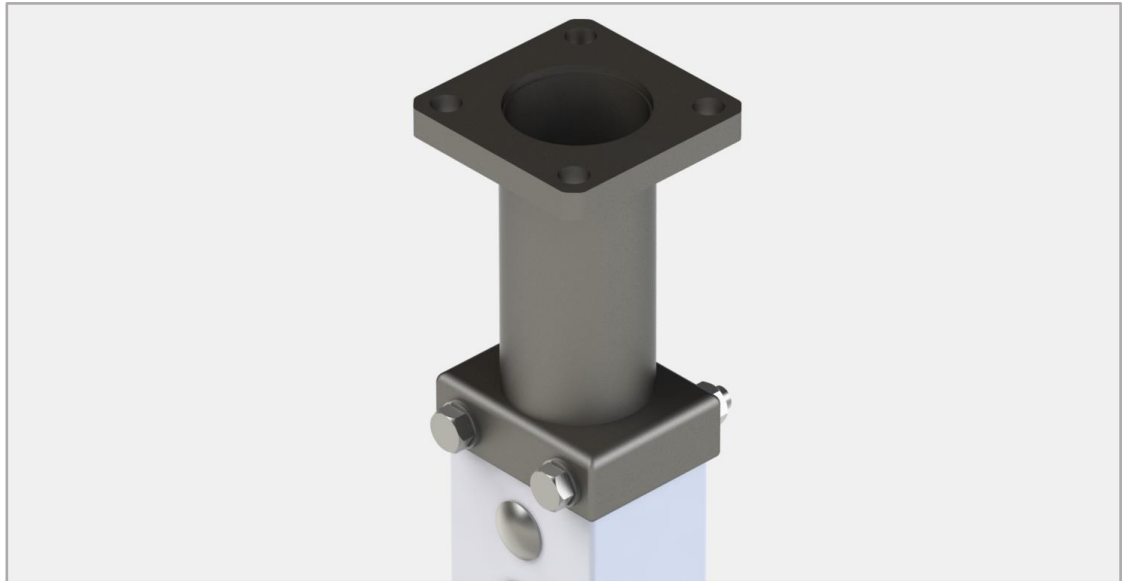
Kuvio 9. Elektrodien sijoittuminen mittasauvoissa

Elektrodien uudelleensuunnittelusta ja koon pienentämisestä saavutettavasta potentiaalisesta valmistuskustannusten alenemisesta huolimatta suunnittelun keskeisenä vaatimuksena oli elektrodien pinta-alan säilyminen riittävän suurena. Jotta kehitettävä sauva noudattaisi kyseistä vaatimusta, päädyttiin kahdessa pidemmässä mitaussauvassa käyttämään suurempia elektrodeina toimivia kupukantaruuveja kuin ly-

himmässä mittasauvassa. Tällä pyrittiin välttämään elektrodien liian nopea käyttöolosuhteista aiheutuva likaantuminen ja varmistamaan riittävän suuri kontakti-impedanssi mitattavaan aineeseen.

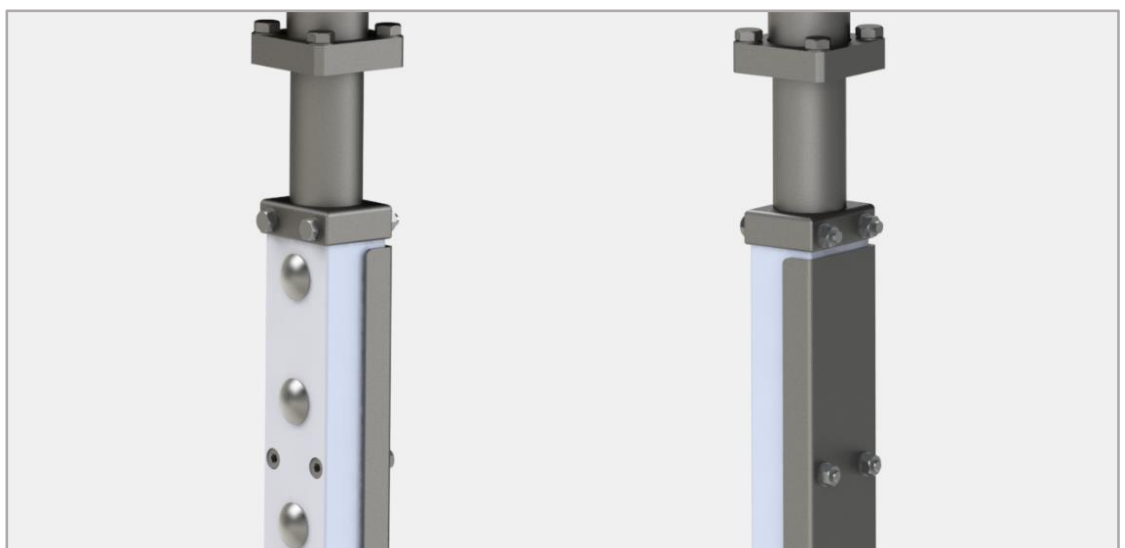
Kehitettävän tuoteversion vaatimuksena oli kokoonpanoltaan mahdollisimman nopea ja yksinkertainen rakenne. Edeltävän mittausauvan version rakenteen ongelmana oli ollut etenkin elektrodien ja niihin yhdistettävien johdinten kiinnitys, mikä oli hankalaa ja työlästä. Opinnäytetyössä kehitetty tuoterakenne suunniteltiin siten, että sauvan etukanteen pystytään helposti kiinnittämään elektrodit ja elektrodeihin kiinnittämään ohjausyksikköön menevät johtimet. Elektrodien etukanteen kiinnityksen ja johtimien elektrodeihin kiinnityksen jälkeen takakansi kiinnitetään etukanteen kiinnitysruuveilla huomioiden johdinten asettuminen oikein rakenteen sisään. Edeltävän mittasauvan rakenteen vuoksi sauvan kokoonpano oli vaatinut sen pitämistä pystyasennossa koko kokoonpanon ajan. Uudelleensuunniteltu versio on mahdollista kokoonpanna täysin vaaka-asennossa lukuun ottamatta kokoonpanon lopussa tehtävää täyttömällä täyttämistä.

Uudelleensuunnitellun mittasauvan rakenteen toteuttamiskelpoisuutta tarkasteltiin tuotteen kokoonpanosta ja komponenttien valmistuksesta vastaavan yrityksen toimitusjohtajan kanssa käydyssä palaverissa. Jotta mitta-alueeltaan pisimmän sauvan rakenteen etu- ja takakansi saadaan valmistettua yhtenäisinä osina, päädyttiin mitta-alue lyhentämään 1909 mm pituiseksi. Tällöin kaikki sauvaversioiden vaatimat osat saadaan valmistettua 2000 mm pitkästä materiaalista. Sauvan yläosan muovirakenteeseen kiinnittävä kotelo päätettiin toteuttaa levystä taivutettuna koneistuksen sijaan, jolloin valmistettavuus helpottuu ja kustannukset alenevat (ks. kuvio 10). Yläosan rakenteeseen toteutettiin tarkastelun pohjalta lisäksi muita valmistusta ja kokoonpanoa optimoivia muutoksia. Mittasauvan yläosa kiinnittyy pituudeltaan käyttökohteen mukaan vaihtelevaan varteen, minkä ansiosta tuote saadaan pidettyä lyhyenä kuljetuksen ajan ja koottua täysimittaiseksi käyttökohteessa.



Kuvio 10. Mittasauvan yläosan rakenne

Mittasauvoista pisimmän, mittausväliltään 1909 mm, pituuden vuoksi kyseisen version muovista valmistettavan rakenteen jäykkyys voi olla riittämätön tuotteen käyttöolosuhteisiin nähden. Kyseinen huomio selviää kehitetyn tuotteen prototyypin testausvaiheessa. Mikäli jäykkyys todetaan liian alhaiseksi, pystytään sitä kasvattamaan lisäämällä kyseessä olevaan sauvaan vahvikelevy. Vahvikelevy kiinnitetään mittapään etu- ja takakannen yhteen liittäville ruuveille takakannen takaosaan (ks. kuvio 11).



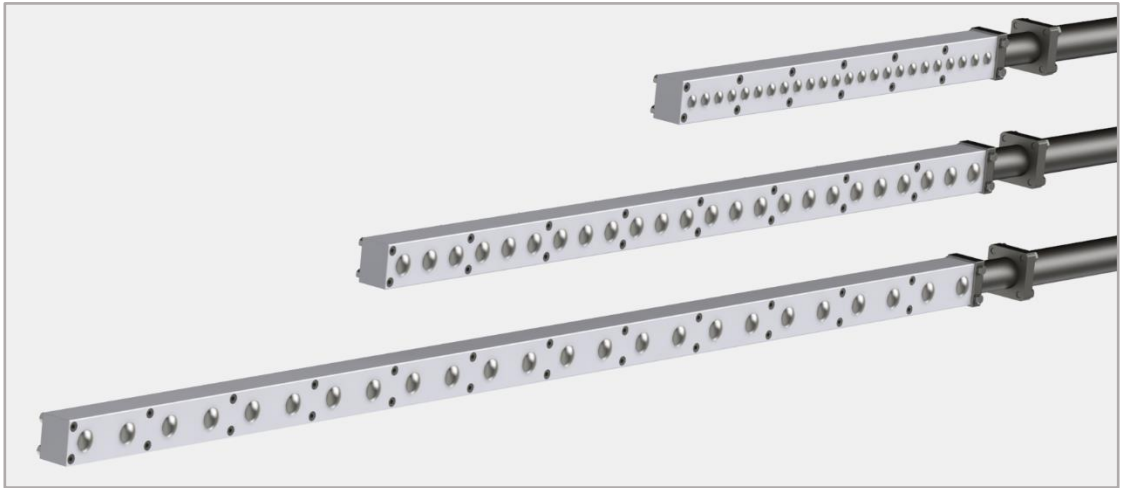
Kuvio 11. Mitta-alueeltaan 1909 mm pitkän mittasauvan vahvike

Outotec LevelSense™ -tuotteen käyttöolosuhteet aiheuttavat mittasauvan ja sen myötä elektrodien likaantumista. Elektrodien pintaan kertyvä lika aiheuttaa sauvalla saatavaan mittaustietoon epätarkkuutta ja siten heikentää tuotteen toimintaa. Liikaantumista on pyritty edeltävässä tuoteversiossa estämään mittasauvaan kiinnitettävällä pesurilla, joka puhdistaa säännöllisesti mittasauvan lietteen yläpuolella olevan yläosan koko sen ympärysmitalta, jotta ilma-vaahtorajapinnan mittaus säilyy luotettavana. Uudelleensuunnitellun rakenteen myötä sauvan puhdistukseen käytetty pesuri ei ole enää toiminnaltaan ja rakenteeltaan soveltuva käytettäväksi mittasauvan uusissa versioissa. Modernisoidun mittasauvan puhdistukseen vaadittava pesuri pystytään toteuttamaan edeltävää versiota yksinkertaisemmin elektrodien pintojen ollessa ainoastaan sauvan yhdellä seinustalla. Tämän ansiosta myös sauvan puhdistukseen vaadittavan veden määrä vähenee. Opinnäytetyössä kehitettyyn tuoteversioon soveltuvan pesurin kehitys ei sisällynyt aiheen rajaukseen.

8 Tuotekehityksen tulokset

8.1 Mittasauvan rakenne

Tuotekehitystyön tuloksena mallinnettiin modernisoitu versio Outotec LevelSense™ -tuotteen kolmesta standardipituisesta mittapästä (ks. kuvio 12). Alkuperäisen version pyörähdyssymmetrisestä rakenteesta siirryttiin nelikulmaiseen rakenteeseen (ks. kuvio 13), jonka tuotanto on yksinkertaisempaa ja jonka valmistuskustannukset ovat aiempaa versiota alhaisemmat. Uudelleensuunniteltu rakenne eliminoi useita työläitä ja kustannuksiltaan kalliita työvaiheita mittasauvan osien valmistuksessa.



Kuvio 12. Modernisoidut standardipituiset mittasauvat



Kuvio 13. Modernisoitu versio Outotec LevelSense™ -rajapintamittarin mitta-alueeltaan 690 mm pitkstä mittasauvasta

8.2 Modulaarisuus

Opinnäytetyössä kehitetyn mittausauvan rakenteen suunnittelussa pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman modulaarinen tuoterakenne, joka mahdollistaisi yhdenmukaisten osien käyttämisen eri mittaisten mittasauvojen kokoonpanossa. Kehitettyjen sauvaversioiden modulaarisuuden aste saatiin edeltävää tuoteversiota korkeammalle tasolle hyödyntäen komponenttien jakomodulaarisuutta eri mittaisten mittasauvojen kesken. Mittasauvan yläosa sekä siihen kiinnittyvä jatkovarsi on rakenteeltaan yhdenmukainen kaikissa kolmessa eri pituudessa. Mitta-alueeltaan 690 mm pitkässä mittasauvassa käytetään kooltaan pienempiä elektrodeja ja elektrodeihin sauvan rakenteen sisäpuolella kiinnitettäviä komponentteja (ks. liite 2), kuin kahdessa pidemmässä sauvaversiossa. Mitta-alueeltaan 1288 mm ja 1909 mm pitkien sauvojen elektrodit ja niiden toimintaan vaadittavat komponentit ovat sauvojen kesken yhdenmukaisia. Jokainen sauvaversio vaatii kyseiselle mitta-alueelle valmistettavan pituudeltaan ja elektrodien sekä kiinnitysruuviin sijoitukseltaan soveltuvan etu- ja takalevyn.

Mittasauvan suunnittelussa tarkasteltiin etu- ja takalevyn modulaarisen rakenteen mahdollisuutta, jolloin kaikki kolme mitta-alueeltaan eri pituista mittasauvaa pystyttäisiin kokoamaan yhdenmukaisista etu- ja takalevyn muodostavista osista. Kyseinen ratkaisu todettiin kuitenkin kannattamattomaksi ja siitä saatavan valmistusteknisen hyödyn olevan riittämätön kyseisen rakenteen kokoonpanosta aiheutuvien ongelmien sekä osien yhdistämiseen ja kiinnittämiseen vaadittavien lisäkomponenttien vuoksi.

8.3 Elinkaaren ympäristövaikutukset

Opinnäytetyön tuotekehityksessä pyrittiin ottamaan huomioon kehitettävän tuotteen valmistuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Tuotteen mittapään edeltävässä versiossa useiden komponenttien valmistus vaati tarkkaa koneistusta. Modernisoidun mittapään osat vaativat huomattavasti vähemmän koneistusta ja ovat yksinkertaisempia valmistaa, minkä ansiosta tuotteen valmistukseen vaadittava energiankulutus vähenee. Uudelleensuunnitellun rakenteen johdosta tuotetta käytettäessä

jatkuvaa puhdistusta vaativat elektrodit ovat pinta-alaltaan edeltävän version elektrodreja huomattavasti pienempiä ja sijaitsevat ainoastaan sauvan etulevyssä, minkä ansiosta niiden puhdistamiseen tarvittava vesimäärä on aiempaa tuoteversiota alhaisempi.

LevelSense™-tuotteen toiminta perustuu sähköiseen resistanssitomografiaan eli sauvaa ympäröivän aineen sähkönjohtavuuden mittaamiseen, minkä johdosta elektrodien ja elektrodeihin kiinnittyvien johtimien kanssa kosketuksissa olevat rakenteen osat tuli suunnitella valmistettaviksi muovista tai muusta johtamattomasta materiaalista. Tämän vaatimuksen johdosta mittasauvan uudelleensuunniteltu tuoterakenne on materiaaliltaan pääosin muovia. Edeltävään mittasauvan versioon verrattuna uudelleensuunniteltu rakenne sisältää enemmän muovia mutta vähemmän terästä, minkä ansiosta mittasauvan uuden version paino on edeltävää versiota alhaisempi. Tuotteen alhaisemman painon ansiosta sen ilmateitse kuljettamisesta aiheutuvat päästöt ovat alhaisemmat. Muovi on lisäksi teräkseen verrattuna nopeampaa ja siten edullisempaa työstää, minkä vuoksi tuotteen komponenttien valmistuksesta aiheutuva energiankulutus ja valmistuskustannuksia saadaan alhaisemmiksi. Tuotteen elinkaaren ympäristövaikutusten minimoinnin kannalta muovi on kuitenkin materiaalina epäoptimaalinen sen hankalan kierrätettävyyden vuoksi, mutta tuotteen toiminnan asettamien vaatimusten vuoksi sen käytöltä ei voitu välttyä. Opinnäytetyössä kehitetyn mittasauvan ympäristövaikutusten tarkempi arviointi verrattuna edeltävään tuoteversioon vaatisi laajempien ja aikaväliltään pidempien tutkimusten suorittamista.

9 Pohdinta

9.1 Suunnittelutyön toteutus

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tavoitteiden mukaiset modernisoidut versiot Outotec LevelSense™ -tuotteen standardipituisista, mittausalueiltaan 690 mm, 1288 mm ja 1909 mm pitkistä, mittapäistä. Tuotekehityksen aikana tehtyjen arviointien perusteella uudelleensuunniteltu rakenne alentaa Outotec LevelSense™ -tuotteen mittapään valmistushintaa edeltävään tuoteversioon verrattuna. Kehitetyn mittasauvaversioon kokoonpano on lisäksi helpompaa ja nopeampaa, minkä ansiosta

tuotteen kokoonpanon vaatima työmäärä ja siitä aiheutuvat kustannukset ovat alhaisemmat. Opinnäytetyössä kehitetyn tuoterakenteen valmistuksen kustannusarvio ei ehtinyt saapua opinnäytetyön toteutuksen aikataulun kannalta riittävän ajoissa, minkä vuoksi tarkempi edeltävän ja uudelleensuunnitellun mittasauvan version valmistuskustannusten vertailu ei ollut mahdollista.

Opinnäytetyön tuloksena kehitetty tuoterakenne on valmistukseltaan ympäristövaikutuksiltaan edeltävää tuoteversiota alhaisempi. Kehitettyjen sauvaversioiden valmistukseen ja kokoonpanoon vaadittava komponenttien määrä on edeltävää tuoteversiota pienempi, minkä lisäksi komponenttien valmistus on yksinkertaisempaa ja vähemmän aikaa vievää. Tämän ansiosta osien valmistuksesta aiheutuva energiankulutus on aiempaa alhaisempi. Tarkan tutkimustiedon saanti tuotteen elinkaaren ympäristövaikutuksista vaatisi kuitenkin tarkempien ja aikaväliltään pidempien tutkimusten, kuten elinkaariarvioinnin, toteuttamista, mikä ei sisällynyt opinnäytetyön aiheen rajaukseen.

Suunnittelun tuloksena luotujen mallien pohjalta toimeksiantaja pystyy valmistuttamaan prototyypin tuotteen käytännön testausta varten. Mikäli kehitetty tuoteversio osoittautuu käyttöolosuhteissa vaatimusten mukaiseksi ja rakenteeltaan toimivaksi, tuote pystytään saattamaan tuotantoon. Outotecin tuoteportfolioon sisältyy useita erilaisia kaivosteollisuuden prosessien tarkkailussa hyödynnettäviä mittalaitteita. Opinnäytetyön tuloksia ja kehitettyä rakennetta pystytään hyödyntämään tuotekehityksen kohteena olleen tuotteen lisäksi muiden rakenteeltaan sauvamaisten mittalaitteiden modernisoinnissa, minkä johdosta toimeksiantajan opinnäytetyöstä saama hyöty ulottuu myös kehitetyn tuotteen ulkopuolelle.

9.2 Luotettavuuden arviointi

Opinnäytetyössä suoritetun tuotekehityksen luotettavuutta arvioitiin ja varmennettiin säännöllisesti tuotteen parissa työskentelevien Outotecin työntekijöiden kanssa pidettyjen palaverien avulla, joissa varmistettiin tuotteen toiminnan kannalta oleellisten vaatimusten säilyminen. Suunnittelun tulosten luotettavuuden arvioinnissa hyödynnettiin tuotteen edeltävän version suunnittelusta vastannutta suunnitteluyhtiötä,

jonka avulla pystyttiin varmistamaan rakenteen optimoitu valmistettavuus ja käytännön toimivuus.

Opinnäytetyön teoriaperustan tiedonhaussa pyrittiin tiedon luotettavuuden ja oikeaoppisen tulkinnan takaamiseksi käyttämään useita mahdollisuuksien mukaan alkupe räisiä vieraskielisiä sekä kotimaisia lähteitä. Opinnäytetyössä hyödynnettyjen tutkimusten, väitöskirjojen ja diplomitöiden tieto on varmennettu mahdollisuuksien mukaan kyseiseen tutkimukseen riippumattomien lähteiden avulla.

9.3 Jatkotutkimuksen kohteet

Jatkotutkimuksena opinnäytetyön tulosten pohjalta toimeksiantaja pystyy valmistuttamaan prototyypin uudelleensuunnitellusta mittasauvasta. Tärkeimpänä jatkotutkimuksen kohteena on tuotteella suoritettavan mittauksen toiminnan testaus opinnäytetyössä kehitetyllä mittasauvan versiolla. Toimeksiantajan tulee tutkia onko pinta-aloiltaan edeltävää mittasauvan versiota pienemmät elektrodit riittäviä tuotteen toiminnan kannalta. Lisäksi tulee tarkastella elektrodien likaantumistasetta lopullisen tuotteen käyttöolosuhteita vastaavissa testioloissa. Testauksessa saadaan lisäksi selvitettyä pisimmän mittasauvan version rakenteen jäykkyyden riittävyys sekä mahdollisen vahvikkeen tarve. Prototyypin kokoonpanossa tulee tutkia mittasauvan rakenteen tiiviyttä täyttöaineella täytön aikana ja tarvittaessa varmistaa etenkin rakenteen ylä- ja alaosan välisen liitoksen tiiveys.

Opinnäytetyön toteutuksen aikataulusta myöhästyneen uudelleensuunnitellun mittasauvan tuoterakenteen tuotantokustannusarvion perusteella toimeksiantajan tulee määrittää ja todentaa uudelleensuunnitellusta tuoterakenteesta saatava taloudellinen hyöty. Opinnäytetyössä kehitetyn tuoteversion pohjalta toimeksiantaja pystyy lisäksi tutkimaan rakenteen soveltuvuutta ja hyödyntämiskelpoisuutta Outotecin tuoteportfolioon kuuluvien muiden mittalaitteiden tuoterakenteiden modernisoinnissa. Soveltamalla opinnäytetyössä kehitettyä optimoitua modulaarista tuoterakennetta toimeksiantaja pystyy alentamaan valmistuskustannuksia, optimoimaan tuotantoa ja edistämään ympäristömyötäistä toimintaa myös opinnäytetyön aiheen rajauksen ulkopuolella olevien tuotteiden kohdalla.

Lähteet

Antikainen, R. & Seppälä, J. 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena – FINLCA-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 10/2012. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). Viitattu 15.2.2017. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38711/SY_10_2012.pdf?sequence=3

Cooper, R. G. 2011. Winning at new products. Creating value through innovation. 4th. ed. New York: Basic Books.

Create functional design. 2015. Operating Model Handbook. Outotecin sisäinen dokumentti tuotekehitysmallin suunnitteluvaiheesta. Viitattu 17.2.2017. Outotec Oyj, sisäinen tietoverkko.

Curran, M. A. 2015. Life Cycle Assessment. A Systems Approach to Environmental Management and Sustainability. Chemical Engineering Progress, 111, 10, 26-35. Viitattu 23.3.2017. <https://janet.finna.fi>, ABI/INFORM Collection.

Curran, M. A. 2012. Life Cycle Assessment Handbook, A Guide for Environmentally Sustainable Products. New York: Wiley. Viitattu 13.3.2017. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Design and document Equipment or equivalent. N.d. Outotecin sisäinen dokumentti tuotekehitysmallista. Viitattu 20.2.2017. Outotec Oyj, sisäinen tietoverkko.

Eggen, Ø. N.d. Modular product development. Norwegian University of Science and Technology, Department of Product Design. Viitattu 10.2.2017. <http://alvares-tech.com/temp/PDP2011/CDAndrea/Gerenciamento%20da%20arquitetura%20do%20produto/PROJETO%20MODULAR.pdf>

Engineering kick-off meeting. 2015. Operating Model Handbook. Outotecin sisäinen dokumentti tuotekehitysmallin aloituspalaverin toteutuksesta. Viitattu 16.2.2017. Outotec Oyj, sisäinen tietoverkko.

Engineering review practice. 2015. Operating Model Handbook. Outotecin sisäinen dokumentti tuotekehityksen tulosten arvioinnista. Viitattu 20.2.2017. Outotec Oyj, sisäinen tietoverkko.

History. N.d. Artikkelin Outotecin verkkosivuilla. Viitattu 9.2.2017. <http://new.outotec.com/company/about-outotec/history>

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Klöppfer, W. & Grahl, B. 2014. Life Cycle Assessment (LCA). Wiley. Viitattu 15.2.2017. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Kourunen, J. 2014. Imaging of Mixing in Selected Industrial Processes Using Electrical Resistance Tomography. Väitöskirja. Itä-Suomen Yliopisto, Sovelletun fysiikan laitos. Viitattu 2.2.2017. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1638-9/urn_isbn_978-952-61-1638-9.pdf

Lehtonen, T. 2007. Designing Modular Product Architecture in the New Product Development. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 7.2.2017. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/designing-modular-product-architecture-in-the-new-product-development\(f2c06d6b-b46f-49b5-9507-f3870abf2f7c\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/designing-modular-product-architecture-in-the-new-product-development(f2c06d6b-b46f-49b5-9507-f3870abf2f7c).html)

Liiketoiminta. N.d. Artikkelin Outotecin verkkosivuilla. Viitattu 8.2.2017. <http://www.outotec.fi/yhtio/outotec-yrityksena/liiketoiminta>

Outotec LevelSense™ Upgrade. 2013. Esite Outotec LevelSense™ -tuotteesta Outotecin verkkosivuilla. Outotec. Viitattu 8.2.2017. http://new.outotec.com/globalassets/products/analyzers-and-automation/ote_levelsense_sensor_system_upgrade_eng.pdf

Sanchez, R. & Mahoney, J. 1996. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. Strategic Management Journal (1986-1998), 17, 63-76. Viitattu 7.2.2017. <https://janet.finna.fi>, ABI/INFORM Collection.

Sanchez, R. 1999. Modular architectures in the marketing process. Journal of Marketing, 63, 92-111. Viitattu 8.2.2017. <https://janet.finna.fi>, ABI/INFORM Collection.

Strategy. N.d. Artikkelin Outotecin verkkosivuilla. Viitattu 9.2.2017. <http://new.outotec.com/company/about-outotec/strategy>

Suolahti, S. 2010. Varioituvan tuotteen valmistus linjassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 8.2.2017.

<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6528/suolahti.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2003. Product design and development. New York: McGraw-Hill.

Ulrich, K. 1993. The role of product architecture in the manufacturing firm. Research Policy, 24, 419-440. Viitattu 6.2.2017. <http://opim.wharton.upenn.edu/~ulrich/documents/ulrich-architecture.pdf>

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Modular function deployment. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Liitteet

Liite 1. Tuotekehitysmalli Outotec

Liite 2. Räjätyskuva uudelleensuunnitellusta mitta-alueeltaan 690 mm pitkstä mittasauvasta