



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TONI MÄKITALO
VOIMALAITOSPROSESSIPOLTTIMIEN AUTOMAATION TUOT-
TEISTAMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: Professori, Vilkkö Matti,
Tarkastaja ja aihe hyväksytty teknil-
listen tieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 6.4.2016

TIIVISTELMÄ

Tampereen teknillinen yliopisto

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Toni Mäkitalo: Voimalaitosprosessipolttimien automaation tuotteistaminen

Diplomityö, 76 sivua, 4 liitesivua

Toukokuu 2016

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Prosessien hallinta

Tarkastaja: Professori Matti Vilkkö

Avainsanat: tuotteistaminen, automaatio, toimitusprojekti, CSL, V-malli, DTC, modulaarisuus.

Diplomityö käsittelee automaation tuotteistamista toimitusprojektiorganisaatiossa. Diplomityön tilaaja on Valmet Technologies Inc., jonka liiketoiminta koostuu sellu, paperi- ja energiateollisuuden teknologia-, automaatio- ja palvelutoimitamisesta ja kehittämisestä. Työ suoritettiin Pulp and Energy -liiketoimintalinjan E&IC-osaston erillisen tuotekehitysorganisaation parissa osana tuotteistamisprojektia. Vaatimuksena oli tuottaa toimitusprojektien käyttöön kustannustehokas tuotemalli ja esittää miten tuotteistaminen tapahtuu.

Diplomityössä pureudutaan tuotteistamisen prosesseihin ja tuotteeseen liittyvän tuotetiedon määrittelyyn sekä rakentamiseen ideasta testausvaiheeseen. Yrityksessä on tunnistettu tarve kehittää automaatiotuotteen hintakilpailukykyisempi ratkaisu. Työ esittää kuinka tuotteistaa automaatiotuote, joka täyttää sidosryhmien antamat vaatimukset. Yhtenä työn tavoitteena on esittää uudelleen käytettävä tuotteistamisprosessimalli.

Tuotemallin rakentamisessa hyödynnettiin tuotetietojärjestelmiä. Tuotesuunnittelu on työssä kaksitasoinen prosessi, jossa tuotesuunnittelun ylemmän tason vaatimukset asetettiin yrityksen tuotestrategisen kartta-asetelman eli CSL-viitekehysmallin avulla. Alemman tason vaatimukset muodostuivat työssä esitettävistä eri prosesseista. Työn empiirinen osuus rakentui pilottihankkeelle. Tuotemalli sekä yksittäinen automaatiotuote validoitiin pilottihankkeena. Samalla luotiin automaatiotuotteen kustannustekninen esitystapa, joka perustui taloudellisen hyödyn seurannan luomiseen tuloksen arvomenetelmällä.

Diplomityö määrittää yhden lähestymistavan uuden automaatiotuotemallin tuotteistamiselle ja siihen liittyville toimenpideprosesseille. Tuotteistamisen tuloksena luodaan tuotemalli. Työssä esitetään, että tuotteistaminen on asynkronista, mutta systemaattista toimintaa, joka koostuu useista eri prosesseista sekä menetelmistä. Työn lopussa esitetään, miltä osin tuotemalli on yrityksen tarpeet täyttävä ja pohditaan oliko lähestymistapa paras mahdollinen. Yhteenvedossa esitetään, mitkä ovat modulaarisen tuotemallin hyödyt ja mitä kilpailua ja kilpailevia vaihtoehtoja sillä on.

ABSTRACT

Tampere University of Technology
Automation science and engineering

Toni Mäkitalo: New process burner automation product development for power plants

Master of Science Thesis, 76 pages, 4 Appendix pages
June 2016

Master's Degree Programme in automation technology

Major: Process automation

Examiner: Matti Vilkkö

Keywords: delivery project, automation, new product development, automation, CSL, V-model, DTC, modularity

Thesis work processes new automation product development in delivery organization. Orderer of this thesis work is Valmet Technologies incorporation, whose business consist of supplying and development of technologies, automation and service for pulp, paper and energy industries. Thesis was carried out among with specific product development team in Pulp and Energy business line as part of a new product development project. The demand for the thesis was to produce a cost efficient product model for delivery projects and represent how new product development is done.

Thesis seizes new product development processes and the information needed to create a new product model concerning specification, building and testing from idea to testing phase. The firm has recognized a demand to develop automation product which has better price competitiveness. Thesis represents how to develop a new automation product, which fulfills requirements entered from stakeholders. One goal for the thesis is to depict re-usable new product development process model.

Designing of the product model used the company's product data information systems. Product design is a two-level process, in which the upper level requirements for the product were set by company strategic landscape or CSL-framework model. Lower level requirements formed from different processes represented in the thesis. The empirical part of the thesis was built on pilot project. Pilot project validated the product model and single automation product. Simultaneously was used design to cost method or DTC-method, which enabled the product model cost monitoring for upcoming projects.

Thesis determines an approach for new product development and tactic processes involved in it. Development creates a product model. Thesis states that the new product development process is asynchronous, but it involves systematic action, which consist of various different processes and methods. At the end of the thesis conclusion is proposed whether the product model is what was needed and if the approach is good. The end of thesis also clarifies benefits and the competition or the alternatives for the product model.

ALKUSANAT

Alla on mietelauseita tuotteistamisen parissa toimiville ja miksei muillekin.

”Tätä on yritetty jo yli 10 vuotta.”

- Tuntematon

”Jos edessä on ongelma, on mahdollisuus.”

- Tuntematon

”Paras tapa ennustaa tulevaisuus on luoda se.”

- Peter Drucker

”Tärkein asia on olla lopettamatta kyselemistä.”

- Albert Einstein

”Emme juokse nopeammin vaikka onnistumme pienentämään kokonaismatkaa.”

- Taiichi Ohno, Lean-ajattelun taustamies

”Kehitys loppuu tyytyväisyyteen.”

- Tuntematon

”Accepting any variation in any process is, to some degree, admitting to ignorance of how that process works.”

- Slack, et al.

”The structure of a product is the way in which its’ elements are interrelated in a system model, based on the actual viewpoint.”

- Adreasen, et al.

Työ suoritettiin ja työssä mukana olivat Valmet Technologies Oy sekä yhteistyökumppanina Insta Automation Oy.

Kiitokset professori Matti Vilkkolle sekä Taneli Mutikaiselle työn tarkastamisesta ja ohjaamisesta.

Kiitän myös tuotteistamisprojektitiimin jäseniä palautteesta ja keskusteluista. Kiitokset kuuluvat myös Tampereen Lentokentänkadun EI&C-osaston henkilöstölle kannustuksesta ja suunnan ylläpitämisestä. Eteenpäin.

Tampereella, 24.5.2016

Toni Mäkitalo

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn taustoitus	1
1.2	Työn pääongelma	3
1.3	Työn tavoitteet ja rajaukset	4
1.4	Työn rakenne.....	4
2.	POLTINAUTOMAATIO	6
2.1	Raskasöljypoltinprosessi	8
2.2	Toiminnallinen rakenne.....	10
2.3	Poltinautomaation kenttälaitteet.....	17
2.4	Sovellusalustat.....	23
2.5	Poltinautomaation toimitusprojekti	24
3.	TUOTTEISTAMINEN JA MENETELMÄT	27
3.1	Tuotteistamisprosessit	27
3.2	Menetelmät.....	41
4.	TUOTEMALLIN IMPLEMENTAATIO	51
4.1	Tuotesuunnittelun laajuus	52
4.2	Tuotemallin suunnittelu.....	54
4.3	Pilottituotteen valmistusprojekti (kesken).....	64
5.	YHTEENVETO	68
5.1	Ongelman määrittäminen ja ideointi – NEED.....	68
5.2	Kehitysvaihe - APPROACH	68
5.3	Pohdinta menetelmistä - BENEFITS	69
5.4	Asemoituminen yrityksen käyttöön - COMPETITION	71
5.5	Tulokset ja loppukommentit.....	71
6.	LÄHTEET.....	73
	LIITE A: TUOTTEISTAMISPROSESSIMALLI [1].....	76
	LIITE B: COMPANY STRATEGIC LANDSCAPE	77
	LIITE C: KUSTANNUSLASKENTAPOHJA TUOTEMALLILLE	78
	LIITE D: PILOTTITUOTTEEN LAY-OUT KUVA	79

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BMS	engl. Burner Management System, poltinhjausjärjestelmä
BOM	engl. Bill of material, osaluettelo
BWSC	engl. Budgeted Cost Work Scheduled, Budjetoidut kustannukset
DCS	engl. Distributed Control System, hajautettu automaatio järjestelmä
FAT	engl. Factory Automation Testing, Tehdastestaus
HMI	engl. Human Machine Interface, käyttöliittymä
KBE	engl. Knowledge-based engineering, tietopohjainen suunnittelu
PLC	engl. Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
PLM	engl. Product lifecycle management, tuotteen elinkaaren hallinta
SAT	engl. Site Acceptance Testing, Työmaakoestus
SIL	engl. Safety Integrity Level, turvallisuuden eheyden taso
SSOV	engl. Safety ShutOff Valve, turvasulkuventtiili
TAJ	Turva-automaatiojärjestelmä
TLJ	Turvallisuuteen liittyvä järjestelmä
HAZOP	engl. Hazard and operability study, on rakenteellinen ja systemaattinen tutkimus suunnitellun järjestelmän riskien ja ongelmien tunnistamiseen ja estämiseen.
ATEX	Räjähdyksivaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskeva standardisointi ja lainsäädännöllinen luokitus.
CSL	engl. Company Strategic Landscape, moduulirakenteen syiden karjoittamiseen käytettävä menetelmä.
DTC	engl. Design To Cost, kustannusten systemaattinen hallintamenetelmä, jonka avulla kustannusten suuruudet implementoidaan suoraan tuotteeseen jo suunnitteluvaiheessa.
FEED	engl. Front End Engineering Design, toimitusketjun vaihe, jossa määritellään toimitettavan tuotteen rakenne ja laajuus.
EI&C-osasto	engl. Electrification Instrumentation and Control, Prosessien sähköistykseen, instrumentointiin ja automaatioon erikoistunut hankinta- ja suunnitteluosasto.
V-malli	engl. V model, systemaattinen suunnittelumalli. Käytetään esimerkiksi ohjelmiston kehityshankkeissa.

KÄSITTEET

Automaatio	Työssä automaatio tarkoittaa ohjaus- ja säätötekniikan käyttämistä poltinprosessin tapahtumien tai toimintojen hallintaan.
Arvoketju	engl. value chain, prosessitekkinen organisaationäkemyks, jonka mukaan joukko tehtäviä, joita yritys tekee tietyllä toimialalla toimittakseen arvokkaan tuotteen tai palvelun markkinoille.
Fasilitaattori	engl. Facilitator, Ryhmäprosessin suunnittelija ja toteuttaja.
Kustannus	engl. Cost, kustannus on yritystoiminnassa tuotantotekijän rahassa mitattu käyttö tai kulutus.
Modulaarisuus	engl. modularity, modulaarisuus tarkoittaa vakiorakenneosia, joilla on tietty toiminnallisuus ja tietyt ominaisuudet, ja joka on korvattavissa samanlaisella tai vastaavalla osalla.
Modulointi	engl. Modularization, Yrityksen strategian mukainen tuotteen purkaminen rakennuspalikkoihin. Rakennuspalikoita kutsutaan moduuleiksi (katso moduuli).
Moduuli	engl. Module, itsenäinen toiminnollinen tai rakenteellinen kokonaisuus, joka sisältää funktioita ja muuttujia, ja johon virtaa sisään ja, josta virtaa ulos informaatiota.
Pilottihanke	Tuotteistamisprosessin ja automaatiototeutuksen validointia varten suoritettu erillishanke osana tuotteistamisprojektia.
Prosessi	engl. Process, tarkoittaa yleisesti edistymistä. Prosessi on sarja suoritettavia toimenpiteitä, jotka tuottavat määritellyn lopputuloksen. Prosessissa tapahtumat ja suoritteet toistuvat samankaltaisina jostain määrittelystä näkökulmasta tarkasteluna.
Projekti	On ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama, ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus.
Raskas polttoöljy	engl. heavy fuel oil, Raskas polttoöljy koostuu pääasiassa hiilivedyistä, joiden molekyyileissä on ainakin 20 hiiliatomia.
Tuotearkkitehtuuri	Rakentuu kolmesta rakenteellisesta tasosta, joita ovat komponentti-, tuote- ja tuotemallitaso. Määrittellään tuotteen toiminnallisena ja rakenteellisena kuvauksena.
Tuotemalli	engl. product model, standardituotetta kuvaavat tiedot tuotetietomallin mukaisesti rakennettuna osaksi yrityksen tietojärjestelmiä. Esimerkiksi rakennusalalla on ruvettu tuotemalli-käsitteen synonyyminä käyttämään termiä rakennuksen tietomalli (engl. BIM = Building Information Model). kts. Tuotetietomalli.

Tuotesuunnittelu	engl. product design, Tuotteen konstruointiprosessi tuotemallin ja -tiedon avulla, missä tuotesuunnittelu on työtä, jota tehdään, että uusien tuotteiden aikaansaamiseksi sekä niiden saattamiseksi tuotantoon.
Tuotetieto	engl. Product data, tuotetta koskevien tietojen esitysmuoto, joka soveltuu ihmisten ja tietokonesovellusten toimesta tapahtuvaan kommunikointiin, tulkintaan ja prosessointiin. Tuotetta ja siihen liittyviä asioita kuvaava tieto, joka on digitaalisessa tietokonesovelluksilla tulkittavassa eli eksplisiittisessä muodossa.
Tuotetietomalli	engl. product information model, tuotetietoja määrittelevä käsite-malli, joka työssä pohjautuu automaatiotuotteen modulaarisuuteen. Tuotetietojen formaali määrittely, joka määrittelee tuotetietojen tietosisällön.
Tuoterakenne	engl. product structure, tuotteen rakenteellisuuteen tai toiminnollisuuksiin perustuva näkemys tuotemallista kts. tuotemalli.
Tuoteplatformi	Yhteisten moduulien tai tuotemallien sijoituspaikka. Yhteiset moduulit ovat keskenään vaihdannaisia.
Tuotteistaminen	engl. new product development, prosessi, joka tuottaa/pois-sulkee kannattamattoman/kannattavan tuotteen. Tai muokkaa olemassa olevaa tuotetta kannattavammaksi tuotteeksi.

1. JOHDANTO

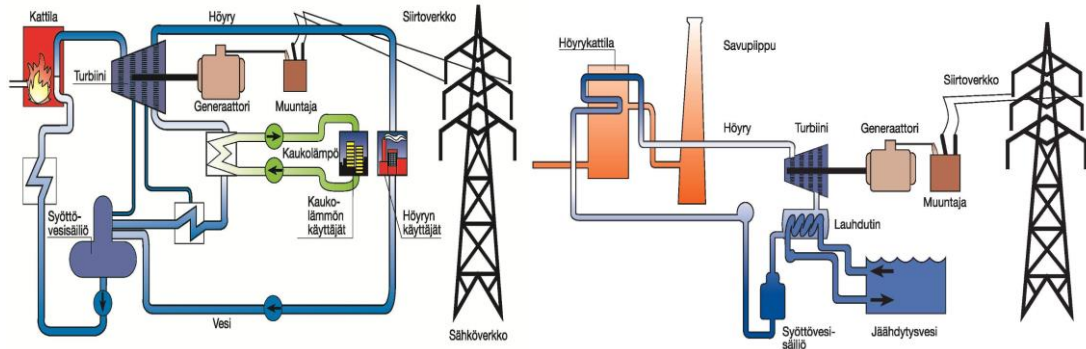
Työssä pureudutaan voimalaitospolttimen ohjausjärjestelmään, ohjausjärjestelmän toimittamiseen sekä ohjausjärjestelmän modulaarisen tuoteratkaisun tuottamiseen. Työssä esimerkkipolttimena käytetään raskasöljyllä toimivaa voimalaitoksen kuormapolttinta.

Työn tärkeinä aineistoina voidaan pitää erilaisia tuotteistamiseen liittyviä kirjallisuuslähteitä. Tuotteistamiseen otettiin etenemismalli Robert G. Cooperin kirjasta [1]. Vaikka kohdeyrityksessä on vankka projektiliiketoimintaan tietotaitopohja, käytiin projektiliiketoimintaan liittyviä lähteitä, kuten WSOY:n julkaisema projektiliiketoiminta [2] sekä Suomen automaatioseuran julkaisemaa automaation verkostoituneen suunnittelun prosessimalliin liittyvää kirjaa [3]. Tärkeä lähde oli Timo Lehtosen väitöstyö, joka esitti kaksitasoisen tuotesuunnittelumallin [4], mikä huomioi yrityksen tuotestrategian ja arvoketjut tuotteen strukturoinnissa. Muita työtä tukevia lähteitä olivat systemaattisesta tuotemodu-loinnista kertova Jussi Österholm kirja [5] sekä modulaarisen tuoteplatformin hallintaan liittyvä Anna Ericssonin ja Gunnar Erixonin kirja [6].

1.1 Työn taustoitus

Voimalaitoksien prosessipolttimet luokitellaan osana voimalaitosprosessia yhdeksi sen tärkeimmistä kulmakivistä. Polttimien avulla koko voimalaitosjärjestelmä ajetaan ylös. Polttimet suorittavat voimalaitoskattilan esilämmittämisen sekä lämmöntuotannon tuottamalla lämpöä voimalaitoksen kattilaan. Prosessipolttimien palamisen laatu ja käytettävyys vaikuttavat koko voimalaitoksen hyötysuhteeseen. Prosessipolttimiin liittyvä teknologia on vanhaa, mutta edelleen avainasemassa voimalaitosten toiminnassa. Vanha energiantuotantoteknologia voi myös hyödyntää uusiutuvia luonnonvaroja, kuten mäntyöljyä sekä haketta.

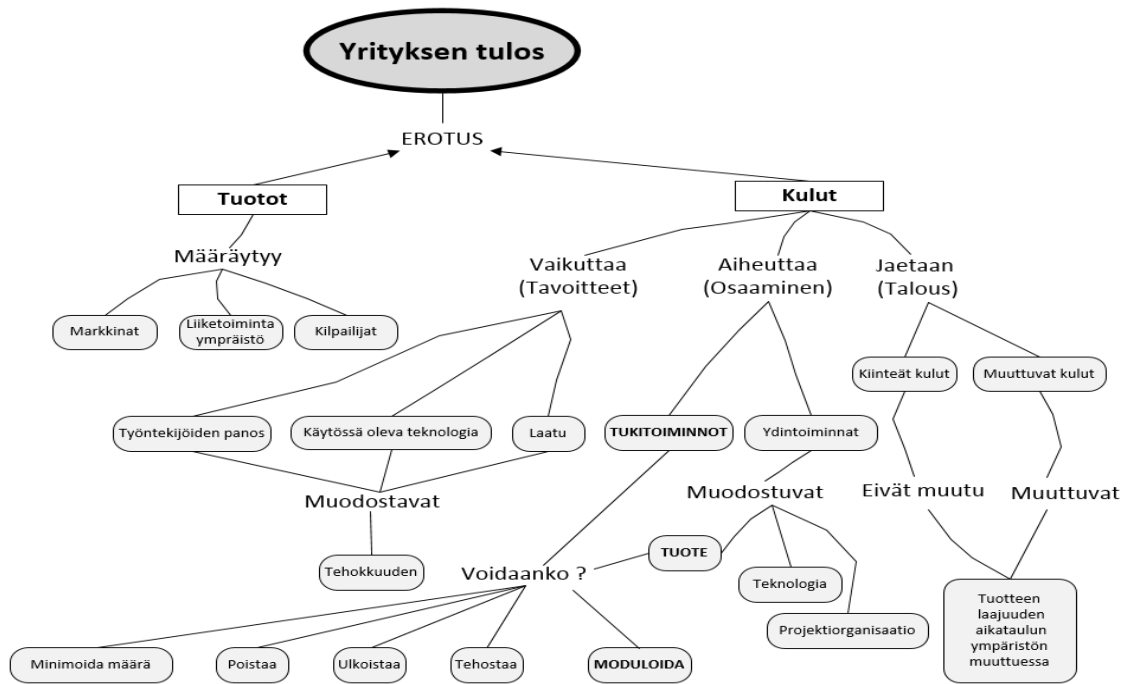
Voimalaitokset ovat merkittävässä roolissa yhteiskunnassa sekä sähkön- että lämmöntuotannon näkökulmasta, koska voimalaitoksien avulla energiantuotanto saadaan keskitettyä. Voimalaitoksien ”reservi”-rooli sekä ”säätövoima”-rooli tulee säilymään vielä pitkään sähkön- ja varsinkin lämmöntuotantoyksikköinä [7]. Esimerkiksi voimalaitosten roolia Suomessa kuvaa, että Suomi on maailmanlaajuisesti lämmön ja sähkön yhteistuotannon johtava maa. Suomessa 80 prosenttia kaukolämmön tuotannosta perustuu lämmön ja sähkön yhteistuotantoon [8]. Kuvassa 1 esitelty voimalaitoksen höyryn tuotanto. Polttolaitteet sijaitsevat siinä esitetyissä höyrykattiloissa (esimerkiksi raskasöljypoltin).



Kuva 1. Vasemmalla yhteistuotantovoimalaitos (engl. *Combined Heat and Power, CHP*), oikealla lauhdutusvoimalaitos. [9]

Kuvassa 1 esiintyvien höyrykattiloiden toiminta perustuu palamisprosessissa syntyvän lämpöenergian talteenottoon lämmönsiirtimien avulla. Polttolaitteet tuottavat lämpöä sekoittamalla palamisilmaa ja polttoainetta – toisin sanoen kemiallista energiaa muunnetaan lämmöksi. Polttolaitteistoista työssä syvennyttään poltinpolttoon [10]. Poltintyyppejä on useita, ja niillä poltetaan nestemäisiä, kaasumaisia ja kiinteää jauhetta polttoainetta tai yhdistetysti useita polttoaineita erikseen tai samanaikaisesti. Polttimissa käytössä olevat polttoaineet vaihtelevat tarjolla olevien polttoaineiden kannattavuuden mukaan. Esimerkiksi öljyä käytetään voimalaitoksissa lähinnä tuki- ja varapolttoaineena. Öljyn osuus sähköntuotannosta pysyy alhaisena tulevina vuosinakin [11]. Voimalaitoksissa öljyä on korvattu kotimaisilla polttoaineilla sekä kivihieillä ja maakaasulla.

Polttinpolttoon liittyvä automaatiokokonaisuus on työssä tarkasteltava tuote. Automaatiotuote on osa toimitusprojektiliiketoimintaa. Toimitusprojektilläähtöisen liiketoiminnan kannattavuus voidaan esittää karkeasti ajatuskartan avulla. Ajatuskartta pyrkii esittämään projektiliiketoiminnan lähtökohdat sekä perusideat, joista yrityksen kannattavuus muodostuu. Projektiliiketoiminta on suunniteltua päämäärään tähtäävää toimintaa. Projektiliiketoiminnan päämääränä ei ole vain rahavirtojen tunnistaminen tai niiden ohjaaminen - vaan asiakkaalle lisäarvoa tuottava tuote. Tuotteen on täytettävä asiakasvaatimukset sekä tuotettava yritykselle tulosta. Projektiliiketoiminnan ydintoiminnot muodostuvat tuotteesta, teknologiasta ja projektioorganisaatiosta. Tuotelähtöisyys yhdistettynä tehokkaaseen teknologiaan ja projektioorganisaatioon luovat vahvan edellytyksen projektiliiketoiminnan kannattavuudelle. Myös tuotteistamisen kohteena oleva poltinautomaatiotuote esitetään ajatuskartassa. Polttinpolton automaatiotuote on pieni osa kohdeyrityksen ydintoimintoja. Ajatuskartta esittää, että ydintoimintoja sekä tukitoimintoja voidaan muokata. Työ tarkastelee ydintoimintoja vain hyvin kapealla alueella.



Kuva 2. Kannattavuuden muodostuminen yritykselle (mukaillen [12])

Projektit ovat ennalta määritettyjä ja ainutkertaisia [2]. Suurin osa kohdeyrityksen tuotannosta ja toimituksista toteutetaan projekteina. Esimerkiksi tutkimus-, tuotekehitys- tai prosessien kehittämishankkeet ovat pääosin projekteja. Nykyaikana menestyminen projektiliiketoiminnassa tarkoittaa, että ydintoiminnot ovat nopeasti työntekijöiden käytettävissä ja sisäistettävissä. Kuvassa esitetyistä ydintoiminnoista työssä pureudutaan tuotteeseen. Tuote muodostaa yhdessä projektiorganisaation ja käytössä olevan teknologian avulla ydintoiminnot. Projektiorganisaatioiden väliaikaisuus korostaa, että ydintoiminnot sisäistetään nopeasti ja että ydintoimintojen hyödyntäminen on selkeää ja tehokasta. Tuotteiden modulointi pyrkii tehostamaan ydintoimintoja. Tuotteiden modulointia hyödyntävä tuotteistaminen on projektiliikemaaailmassa yleinen trendi. Modulointia hyödynnetään esimerkiksi tuotteen toimitusprojektin läpimenoajan lyhentämiseksi tai tuotteen laadun valvomiseen. Modulointi on johdettu sanasta modulaatio, joka tulee latinan kielen sanasta modulari, joka tarkoittaa 'mitata, järjestää'. Tuotteen modulointi on itsenäisten toiminnallisten kokonaisuuksien määrittämistä joko rakenteellisella tai funktionaalisella tasolla [4].

1.2 Työn pääongelma

E&IC-osastolla, jossa työ tehdään, on vahva projektikohtainen tuotteen suunnittelukulttuuri. Toisin sanoen tuote räätälöidään aina uudestaan asiakkaalle sopivaksi, jolloin jokainen poltinautomaatiotuote on aina erilainen tai kopio toisesta projektista. Osasto on tunnistanut tarpeen prosessipolttimen vakioidulle ja esisuunnitellulle automaatiotratkaisulle. Tuotteistettu automaatiotratkaisu pyrkii ratkaisemaan kustannusteknisen ongelman.

1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tavoitteet sovittiin tuotteistamisprojektin yhteydessä. Primäärinen tavoite on automaatiotuotteen ja siihen liittyvän tuotemallin rakentaminen. Työssä konstruoidaan malli tuotteistamisen prosessille sekä automaatiotuotemallin yhdelle moduulille. Diplomityön soveltavan osuuden tavoite on tuottaa tuotteistamisprosessimallin mukainen tulos. Tuloksen on määrä palvella projektiliiketoimintaa. Tavoitteissa tärkeimpänä onnistumisen mittarina pidettiin tavoitellun kustannustason alle pääsemistä. Työltä edellytettiin, että työ esittää mallin tuotteistamisprojektin läpiviennille sekä modulaarisuuteen perustuvan tuotteen luomiselle. Tuoterakenne määritetään yhden sovelluskohteen perusteella. Tavoitteena tuotesuunnittelussa on hyödyntää sovelluskohteena polttinprosessia, joka on jo moduloitu mekaanisesti. Tavoitteena työn empiriaosuudessa on tuotemallin ja erään tuotteen toimintojen ja rakenteen validoiminen pilottituotehankkeena.

Työ alue rajattiin, niin että voimalaitoksen ja siihen liittyvien standardien oletetaan sijaitsevan Euroopan alueella. Standardit, jotka työssä selvitetään ja noudatetaan, ovat ”EN”-alkuisia. Maakohtaisiin standardeihin ei työssä puututa. Standardit esitellään, mutta niihin ei puututa tekstissä yksityiskohtaisella tasolla. Timo Lehtonen esitti väitöstyössään [4], että tuotemuunteluun liittyvä modulaarisuus ja tuotteen elinkaareen perustuva modulaarisuus ovat eri asioita. Työssä tuotemuuntelu esitetään osittain, mutta itse tuotteen ja tuotemallin muunneltavuus jätetään yrityksen sisäiseen tietoon. Työn taloudellinen tutkimus rajoitetaan yhden tuotemallin kustannusten tunnistamiseen ja budjetointiin. Kustannukset budjetoidaan tuloksen arvomenetelmän ohjaamana. Todelliset kustannusarvot salataan. Työssä automaatiotuotteella tarkoitetaan erillistä polttimen ohjausjärjestelmää, sillä poikkeuksella, että paikallisohtaus ja -mittauslaitteisto jätetään työn ulkopuolelle¹.

1.4 Työn rakenne

Työ koostuu kolmesta eri pääkokonaisuudesta, jotka ovat teoria, empiria sekä tulokset. Kolme ensimmäistä lukua muodostavat työn perustan ja teorian. Teoria koostuu teknologia ja menetelmien määrittämisestä. Menetelmät etsittiin kirjallisuuslähteistä ja selvitystyönä. Empiria muodostuu luvusta neljä, jossa hyödynnetään teoria osuudessa esitettyjä menetelmiä. Viidennessä luvussa tutkitaan saatuja tuloksia. Kuva 3 esittää työn rakenteen.

¹ Paikalliset mittaukset ja ohjaukset koostuvat esimerkiksi paineenalentimista, käsiventtiileistä, rotametreistä sekä paine- ja lämpötilamittauksista. Laitteita käytetään paikallisen tason valvontaan sekä käyttöön.



Kuva 3. *Työn rakenne*

Ensimmäisessä luvussa pohjustettiin työn pääkonteksti sekä pääongelma ja mitä varsinaisesta työalueesta jätetään ulkopuolelle. Toisin sanoen määritettiin työn laajuus.

Toisessa luvussa perehdytään yksittäisen polttimen prosessin rakenteeseen, toimintaan sekä sen ohjausjärjestelmään ja ohjausjärjestelmää ohjaaviin standardeihin. Luvussa esitetään tuotteistamisen kohteena oleva prosessi sekä automaation modulaarisuus. Luvussa esitetään automaatioon liittyvä projektiliiketoiminnan idea.

Kolmas luku esittää polttinautomaation tuotteistamisprojektin toimintasuunnitelman etenemisprosessina. Luvussa esitetään myös muut tuotteistamiseen liittyvät prosessit sekä menetelmät, joiden avulla tuotteistetaan automaatiotuote.

Neljännessä luvussa sovelletaan toisen luvun teknistaloudellista pohjaa ja kolmannessa luvussa esitettyjä menetelmiä. Luvussa suunnitellaan tuotemalli sekä validoidaan empiirisesti tuotemallin toimivuus.

Viimeisessä luvussa pohditaan miten yrityksen prosessipolttimien automaatioon liittyvä ongelma ratkaistiin. Luvun lopussa arvioidaan tuotteistamisen onnistumista yhden tuotemallin osalta.

2. POLTINAUTOMAATIO

Luvussa esitetään automaatiotuotteen tekninen sisältö. Toisin sanoen määritellään prosessi, johon automaatiojärjestelmä on kytketty. Teollisuuden sovelluksilla on erityispiirteitä, kuten pitkäikäisyys- ja käytettävyyksivaatimukset. Teollisuusautomaatiotuotteen tärkeimmät ominaisuudet määrittyvät käytettävyyden ohjaamana. Polttimien toiminnan ja rakenteen erittelyn avulla määritellään automaatiotuotteelle tulevat tekniset vaatimukset ja laatukriteerit. Ymmärtääkseen automaatiojärjestelmän on ymmärrettävä prosessi, jota järjestelmä ohjaa. Eräs tapa esittää teollisuuden prosessit on tehdasmallin avulla. Poltinprosessin tapauksessa käytössä oleva periaatteellinen jäsenysmalli on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tehdasmalli poltinautomaatiotuotteelle (mukaillen [3])

Tehdasmalli: Voimalaitos	Osajärjestelmä: Raskasöljypoltin
Vaatimukset poltinautomaatiolle	Turvallisuus, Hinta, Käytettävyys
Toiminnot poltinautomaatiolle	Käynnistys, Pysäytys, Palamisen ohjaus, Vikadiagnostiikka
Toteutustapa poltinautomaatiolle	Sulautettu, keskitetty

Tehdasmallista nähdään, että poltinautomaatiotuote muodostuu vaatimuksista, toiminnoista sekä toteutustavasta. Poltinautomaatio toimii hyvin, kun palaminen on puhdasta ja prosessilla on korkea käytettävyyssaste. Puhdas palaminen tarkoittaa päästöjen minimiä, joka vaihtelee muun muassa polttoaineesta riippuen. Korkea käytettävyyssaste tarkoittaa, että yksikin vika, joka aiheuttaa tuotantokatkon, on liikaa voimalaitosympäristössä.

Jokaista tehdasta tai voimalaitosta Euroopassa koskettavat direktiivit ja niiden pohjalta luodut standardit. Yhdessä ne määrittävät ja ohjeistavat tehdasmalliin eli tässä tapauksessa myös poltinautomaatioon kohdistuvat vaatimukset, niin turvallisuuden, toimivuuden kuin ympäristövaatimusten osalta. Direktiiveistä on luotu teollisuusautomaatiota koskevia yhdenmukaistettuja direktiivejä, joita ovat esimerkiksi: pienjännitedirektiivi, EMC-direktiivi², ATEX-direktiivi³ sekä konedirektiivi.

Eurooppalaisten yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti valmistettujen tuotteiden oletetaan täyttävän niissä viitattujen direktiivien lakisääteiset vaatimukset (nk. vaatimustenmukaisuusolettama). Standardeilla ja lainsäädännöllä pyritään turvalliseen ja ympäristövaatimukset täyttävään prosessiteollisuuteen. Tästä syystä standardien noudattaminen

² Euroopan parlamentin ja neuvoston laatima direktiivi sähkölaitteiden valmistajille.

³ Räjähdyksivaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskeva standardisointi ja lainsäädännöllinen luokitus.

on ehdotonta ja niiden noudattamisessa on hyvin vähän ”pelivaraa”, mikä tarkoittaa, että polttimien automaation toiminnot ovat osittain hyvin tarkasti määriteltyjä.

Poltinautomaation ja poltinprosessin vaatimuksien tulee täyttää EN- ja IEC-standardien mukaiset vaatimukset toimittaessa EN-alueella. Standardien tarkoituksena on toimia määritelmänä siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Ne mahdollistavat muun muassa yhteistoiminnan järjestelmien ja organisaatioiden välillä. Yhteistoiminnaksi voidaan katsoa alihankkijoiden ja asiakkaiden kanssa tehtävät sopimukset. Lisäksi standardien avulla voidaan määrittää yhteistyökumppanin toimintaa esimerkiksi toiminnan laadun takaamiseksi. Käytännön hyötyjä, mitä tulee standardeja noudattavasta toiminnasta, ovat valmistuksen yksikkökustannusten⁴ pienentyminen sekä mahdollinen markkinoiden laajentuminen ja toimitusvarmuuden saavuttaminen. Valmistus- ja kohdemaa, johon poltinautomaatio valmistetaan, on huomioitava myös EN-alueella, koska standardien käyttö vaihtelee maittain. Esimerkiksi Suomessa on käytössä oma ”SFS”-etuliitteen mukainen standardikokoelma, jota ylläpitää Suomen standardisointiliitto SFS ry. Alla on voimallaisautomaatiojärjestelmään liittyviä standardeja, jotka toimivat ehtoina automaation tuotesuunnittelussa.

Taulukko 2. Standardit poltinautomaation ympärillä

Standardi	Sovellusalue
EN 12952-8	<i>Kaasun ja öljyn poltto, vesiputkikattilat, polttolaitteet</i>
EN 12953-7	<i>Kaasu ja öljy, tuliputki- ja tulitorvikattilat, polttolaitteet</i>
EN 746-1	<i>Teollisuuden lämpöprosessilaitteisto vaatimuksia</i>
EN 746-2	<i>Vaatimuksia poltto- ja polttoainejärjestelmille</i>
EN 50156-1	<i>Polttolaitosten sähkölaitteisto, asennus ja suunnittelu</i>
EN 298	<i>Poltinautomaatiikat (sis. puhallin)</i>
EN 1643	<i>Tiiveystestausautomaatiikat</i>
EN 230	<i>Liekinvalvontalaitteet (öljy)</i>
EN 267	<i>Puhallin polttimet (öljy)</i>
EN 264	<i>Turvasulkulaitteet (neste)</i>
IEC 61508	<i>Turvajärjestelmät</i>
IEC 61511	<i>Turvajärjestelmät, prosessiteollisuus</i>

Taulukossa on esitetty työhön liittyvät standardit, jotka ohjaavat poltinautomaatiota ja sen toimintoja. Kun tarkastellaan yksittäisen raskasöljypolttimen prosessikokonaisuutta, on käytävä läpi siihen liittyvät laitteet ja järjestelmät standardien näkökulmasta. Standardit ovat koostettu omille tasoilleen aina toimintaympäristöstä (voimalaitos) laitetason toteutukseen. Standardit ovat hierarkkisia. Prosessilaitteita ja niiden toimintaa määrittävät standardit ovat päällimmäisellä tasolla. Päällimmäisellä tasolla olevia IEC-standardeja kutsutaan myös ”katto”-standardeiksi. Työssä toimitaan pääasiassa ”katto”-standardien parissa, koska ne ohjaavat suoraan automaation toimintojen vaatimuksia. Näistä vaatimuksista IEC ja EN vaatimuksia noudatetaan sen mukaan miten ohjausjärjestelmä toteutetaan eli joko keskitetysti (IEC) tai paikallisesti (EN ja/tai IEC). Keskitettyyn ratkaisuun joudutaan soveltamaan IEC turvajärjestelmä standardia, koska silloin poltinautomaatio on integroituna voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmään.

⁴ Yksikkökustannus on yhden yksikön tuottamisen hinta työvoimakustannuksissa mitattuna

Ohjausjärjestelmän riittävän turvallisuustason takaaminen toteutetaan noudattamalla standardeja ja lisäksi ymmärtämällä, mitä järjestelmän toiminnassa sekä ympäristössä esiintyviä turvallisuusriskejä on olemassa. Turvallisuusriskien määrittelyyn käytetään erilaisia riskianalyyskejä. Automaation turvallisuuden eheyden taso on taattava. Esimerkiksi IEC standardissa annetaan vaatimukset ja ohjeet eheystason täyttämiseen. Käytännössä eheystason määrittämisessä huomioidaan toimintaympäristö, muut järjestelmät sekä laitteet ja asiakkaan lisävaatimukset.

Jokaisesta poltinprosessista on tehtävä tapauskohtaisesti vaara-analyysi ja riskien arviointi. Ne ovat oleellinen osa turva-automaatiota ja sen määrittämistä. Standardien ja tapauskohtaisten tekijöiden perusteella voidaan määrittää automaatioon liittyvät turvallisuusehdot. Automaation turvallisuutta koskevilla standardeilla on kaksi lähtökohtaa, jotka on työssä huomioitava poltinautomaatiotuotteen luomisessa:

- On olemassa ohjattava laitteisto sekä järjestelmä, joka ohjaa laitteistoa. Syntyy riski, että energiaa ohjataan väärään suuntaan.
- Ohjattavan järjestelmään on lisättävä turvatoimintoja, jotka vähentävät riskiä. Turvatoiminnot voidaan toteuttaa useammassa järjestelmässä tai keskitetysti yhdessä järjestelmässä.

Standardeihin perehtyminen, niiden sisäistäminen sekä niiden pohjalta tulevien määritelmien tulkinta ja implementoiminen osaksi automaatiotuotetoteutusta on tärkeää. Jos näin ei tehdä, voi komplikaatiota syntyä esimerkiksi projektin läpiviennissä tai pahimmassa tapauksessa työturvallisuudessa. Standardien rooli pitää tuoda selkeästi esille heti tuoteistamisen alusta alkaen. Esimerkiksi poltinautomaation yksi merkittävin turvallisuusriski on räjähdysriski, joka voi syntyä esimerkiksi väärästä polttoilman ja polttoaineen suhteesta. Standardien lisäksi muita automaation turvallisuuteen, hallintaan sekä niihin liittyvien vaatimuksien täyttymisen osoittavia dokumentteja ovat: laitesertifikaatit, ATEX-dokumentaatio, HAZOP⁵-määrittely, SIL-laskennat⁶ ja sen määrittelyt tai laskentapohjat. Tärkeää on poltinautomaatiota koskevien turvallisuustoimintojen selkeä erittely asiakas- ja valmistajarajapinnassa, koska poltinautomaatio rakentuu aina osaksi voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmää. Toiminnot poltinautomaation ja voimalaitoksen automaatiojärjestelmän välillä voivat olla myös turvallisuuskriittisiä.

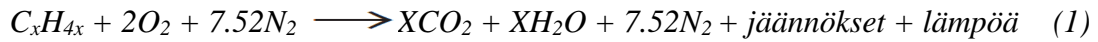
2.1 Tyypillinen raskasöljypoltinprosessi

Poltinprosessi tuottaa lämpöenergiaa voimalaitoksen tulipesään. Kemiallisen energian muuntuminen lämpöenergiaksi voidaan kuvata reaktioyhtälönä. Reaktioyhtälössä (1) on

⁵ engl. Hazard And operability study, on rakenteellinen ja systemaattinen tutkimus suunnitellun järjestelmän riskien ja ongelmien tunnistamiseen ja estämiseen.

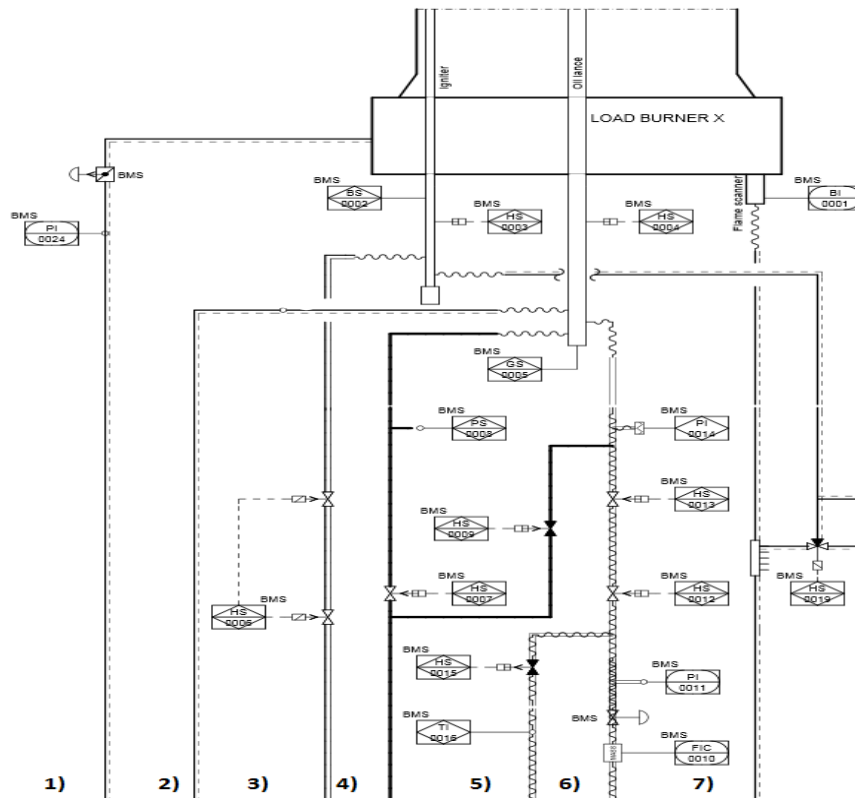
⁶ turvallisuuteen liittyville ohjaustoiminnoille turvallisuuden eheyden vaatimusten määrittelemiseksi luotu laskentatapa.

esitetty palamisen ilmiöpohjainen stökiometrinen malli. Polttoaineena on raskas polttoöljy ja reagoivana hapettimena ilma (O_2 -pitoisuus-% n. 21%), jota käytetään voimalaitoksissa:



Stökiometrisestä mallista nähdään, että palamisilmassa on oltava riittävä määrä happea, että palaminen on täydellistä. Palamisilmiön jäännöksiin sisältyvät päästöaineet, joita pyritään kontrolloimaan. Niitä ovat rikinoksidit (SO_x) ja typpioksidit (NO_x), joiden pitää säilyä alle määritellyn tason.

Prosessin ja automaation tärkeimmät sidospisteet näkyvät prosessikaaviossa. Kaavio esittää prosessia koskevan instrumentoinnin, toimilaitteet sekä energivirtaukset. Alla on yksinkertaistettu raskasöljypolttimen PI-kaavio eli putkitus- ja instrumentointikaavio. (engl. P&ID, Piping and Instrumentation Diagram).



Kuva 4. Raskasöljypoltin prosessikaavio

Prosessikaaviossa on numeroituna 1-7 massa- ja energivirtaukset, joita poltinautomaatio ohjaa ja säätelee. Kuvassa esiintyvä termi BMS on lyhenne sanoista Burner Management System, suomeksi poltinohjausjärjestelmä. Termi esittää, mitkä komponentit ovat poltinohjausjärjestelmän alaisuudessa. **1)** Palamisilma syötetään voimalaitoksen ilmajärjestelmästä. Savukaasua voidaan myös kierrättää palamisilmakanavaan. Tätä hyödynnetään päästöjen hallintaan. Savukaasun määrä palamisilmassa vähentää suhteellista happiosuutta ilmassa, jolloin palaminen hidastuu ja termisiä NO_x -päästöjä muodostuu vä-

hemmän. Ilman virtausta ohjataan säätöpellin avulla. Ilman virtauksen on pysyttävä riittävänä, että palaminen on täydellistä. Täydellinen palaminen hoidetaan loppuun kattilan polttoilman syötöillä. **2)** Jäähdytysilmaa syötetään nimensä mukaisesti mekaanisten osien jäähdyttämistä varten. Jäähdytysilman avulla polttimen öljylanssin ja muiden osien termit vauriot vältetään. **3)** Sytytyskaasua, yleensä erilaisia nestekaasuja, käytetään polttimen käynnistämiseen. Sytytyskaasua syötetään sytytyslanssille, jossa on sytytyslaitteisto. **4)** Raskasöljypolttimessa on myös virtaavana aineena hajotusväliaine (standardeissa sumutusväliaine), jonka avulla öljy pisaroidaan ja saadaan palamaan. Nestemäisiä polttoaineita käytettäessä on nesteiden pisaroiminen tärkeää, jotta ilma ja polttoaine sekoittuvat. Sekoittuminen mahdollistaa tehokkaan palamisen. **5)** ja **6)** ovat polttoaineen syöttö ja takaisinkierto. **5)** Raskasöljyä kierrätetään, jotta polttoaine saadaan pidettyä juoksevana. Tämä tapahtuu voimalaitoksessa sijaitsevien esilämmittimien ja polttoainepumpun avulla. **6)** Polttoainetta syötetään öljylanssille (engl. oil lance). **7)** Instrumentti-ilmaa syötetään pneumaattisten toimilaitteiden ohjaamiseen. Instrumentti-ilma otetaan voimalaitoksen instrumentti-ilmajärjestelmästä.

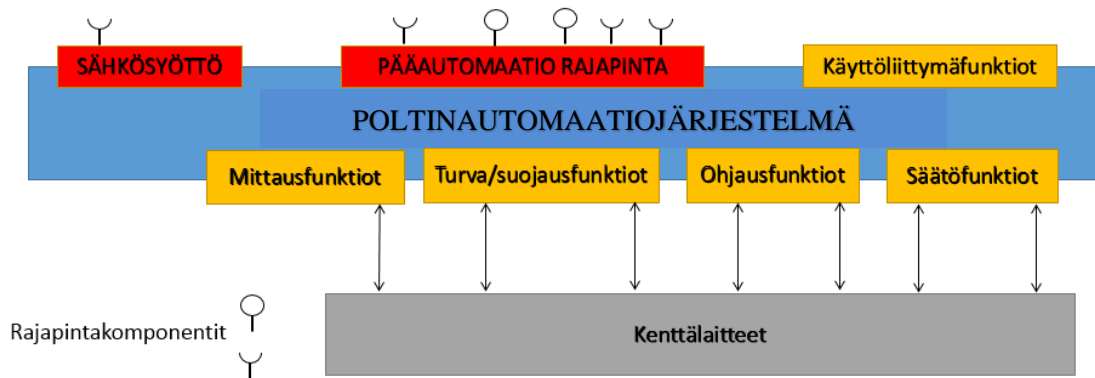
Polttinprosessin rakenne muuttuu kattilan koon, tyypin, rakenteen sekä voimalaitoksen tehon tarpeen mukaan. Myös polttimen sijainti ja asento vaihtelevat. Sijainteja ovat esimerkiksi tulipesän seinä, nurkka, joskus jopa tulipesän katto tai pohja. Katossa ja pohjassa sijaitsevat polttimet mahdollistavat tulipesän kompaktin rakenteen – toisin sanoen kyseessä olevia polttimia käytetään pienissä kattiloissa. Polttinprosessin mitoitukset muuttuvat voimalaitoksen tehontarpeen mukaan. Kuormavaade muodostetaan voimalaitoksen ajotilanteen mukaan, ja se annetaan polttimille joko poltinkohtaisesti tai polttinryhmäkohtaisesti. Yleensä polttinautomaatiojärjestelmät jaetaan poltinkohtaisesti, jolloin jokaiselle polttinprosessille on oma polttinautomaatiojärjestelmä [13]. Polttinprosessi esitetään usein yksikköprosessina. Yksikköprosessin käsite tarkoittaa, että polttinprosessi on isomman voimalaitosjärjestelmäkokonaisuuden ”rakennuspalikka”.

Automaation avulla optimoidaan palamista. Puhuttaessa palamisen optimoinnista on tärkeää huomata ero voimalaitoksen ja polttimen palamisen optimoinnissa. Voimalaitoksen palamisen optimointi tarkoittaa hyötysuhteen parantamista minimoimalla päästöjä ja savukaasuhäviöitä. Vastaavasti polttimen palamisen päästöjen hallinta luokitellaan voimalaitostasolla primaarisiksi menetelmäksi, jolla päästöjä voidaan hallita. Palamisessa jo muodostuneiden päästöjen poistoa savukaasuista kutsutaan sekundäärisiksi menetelmiksi. NO_x – päästöjä vähennetään primaarisesti vaiheistamalla palamisilmansyöttöä tai säätämällä liekin lämpötilaa. [13]

2.2 Toiminnallinen rakenne

Yksittäisellä polttinautomaatiotuotteella on olemassa tuoterakenne, joka voidaan esittää toiminnallisena rakenteena. Todellisuudessa tuoterakenteesta on tunnistettavissa monia elementtejä, kuten tuotteen modulaarisuus, mikä tarkoittaa vakiorakenneosia, joilla on tietty toiminnallisuus ja tietyt ominaisuudet, ja joka on korvattavissa samanlaisella tai vastaavalla osalla. Seuraavassa käsitellään polttinautomaation tuoterakennetta.

Poltinautomaatio toimii väylänä voimalaitoksen pääautomaation ja poltinkohtaisten laitteiden välillä. Voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmä tulkitaan usein hierarkkisen järjestelmänä. Hierarkkisessa voimalaitoksen prosessihallintajärjestelmässä poltinautomaatio toimii alimmalla tasolla. Alemman tason automaatio säättää aina yhtä osajärjestelmää, joka esimerkiksi on raskasöljypoltin. Aikatasolla poltinautomaation ohjaustoiminnot toimivat aikajänteellä millisekunnista sekunteihin. Poltinautomaatiolla on yleensä myös kentällä sijaitseva käyttöliittymä (engl. Human Machine Interface, HMI). Poltinohjausjärjestelmä on aina yhteydessä voimalaitoksen hajautettuun automaatiojärjestelmään (engl. Distributed Control System) tai se on täysin integroitu siihen. Integroidusta tapauksesta käytetään alalla termiä keskitetty ratkaisu, mikä viittaa fyysisesti siihen, että automaatiojärjestelmän eri ohjausyksiköt sijoitetaan voimalaitoksen sähkötiloihin. Näin säädetään esimerkiksi väyläkustannuksissa. Kuvassa 5 on esitetty poltinautomaatiojärjestelmän periaatekuva.



Kuva 5. *Poltinautomaation toiminnallinen rakenne [10]*

Tarkasteltaessa poltinautomaatiota modulaarisena rakenteena, on automaatiosta tunnistettavissa ohjelmiston funktiot, jotka rakentuvat osaksi moduulejaan tai lohkoja. Voimalaitokset ja muut prosessi-intensiiviset tuotteet jaetaan yleensä omiin moduuleihinsa [4, p. 206]. Poltinautomaation funktiomoduulit on esitetty kuvassa keltaisella. Poltinautomaation rajapintalohkot, voimalaitoksen sähköjärjestelmään sekä pääautomaatiojärjestelmään on esitetty kuvassa punaisella. Prosessiautomaation ohjelmistollisessa suunnittelussa ja ohjelmoinnissa käytetäänkin lähes poikkeuksetta lohko-ohjelmointiin perustuvia ohjelmistoja. Lohko-ohjelmoinnin suurimmat hyödyt ovat visuaalinen ohjelmointikieli sekä lohkojen uudelleenkäytettävyys ja monistettavuus. Alla on esitetty esimerkkifunktioita tyypeittäin.

- Suojausfunktiot (engl. Safety functions)
- Ohjausfunktiot (engl. System controlled functions)
- Säätöfunktiot (engl. Control functions)
- Käyttöliittymäfunktiot (engl. System controlled functions)
- Mittausfunktiot (engl. Measurement functions)

Automaation ohjelmistoa tarkasteltaessa automaation modulaarisuus on sovellusalustasta riippuvaista ja erilaisia kaupallisia ohjelmistoja on paljon tarjolla. Tosiasiassa ohjelmistollinen modulaarisuus ei ole yhteneväinen fyysisten elementtien kanssa. Lehtonen esittääkin väitöstyössään, että modulaarisuutta ei voida jakaa pelkästään esimerkiksi ohjelmiston funktionaalisuuden perusteella. Automaation funktionaalisuuteen perustuva jaottelu onkin vain yksi tapa nähdä automaatiotuotteen modulaarisuus. Automaation modulaarisuus koostuu myös komponenteista, joilla on fyysikaalisia ominaisuuksia eli attribuutteja. Komponentit muodostavat automaatiotuotteen rakenteellisen modulaarisuuden. Rakenteellinen modulaarisuus muodostuu esimerkiksi seuraavista komponenteista:

- Kotelo (engl. Control panel)
- Sovellusalusta (engl. Platform)
- Mediamuuntimet (engl. Modems)
- Sähkökomponentit (engl. Electrification components)
- Kenttälaitteet (engl. Field Equipment)

Jokaisella rakenteellisella komponentilla on ominaisuuksia, joita kutsutaan attribuuteiksi. Esimerkiksi kotelon rakenteellisia attribuutteja ovat esimerkiksi sen mitat, suojausluokitus ja materiaali. Sovellusalustassa attribuuttina on esimerkiksi sisäänrakennettuna ohjausjärjestelmän ohjelmointikieli ja työkalut, joilla poltinohjausjärjestelmän ohjelmistoa muokataan.

2.2.1 Käyttöliittymä⁷

Käyttöliittymän avulla ohjausjärjestelmää operoidaan tai seurataan. Oleellista on käyttöliittymän sijainti, selkeys ja siihen liittyvän koulutusmateriaali, joka mahdollistaa tietopohjaisen käyttöliittymän käytön [14, p. 64]. Käyttöliittymä voidaan toteuttaa monella tapaa mutta voimalaitoksen poltinohjauksesta puhuttaessa on pääsääntöisesti kolme päälinjaa: Perinteinen painike-merkkivalo-ohjauspaneeli, näyttö (kosketusominaisuudella tai ilman) sekä näiden yhdistelmä. Tarjolla on eri valmistajien suoraan tarjoamia käyttöliittymävaihtoehtoja, joissa on ohjelmoitavissa tai konfiguroitavissa oleva näyttö. Käyttöliittymässä voi olla myös erilaisia indikaattoreita, kuten liekin intensiteetin mittaustieto.

2.2.2 Säädot

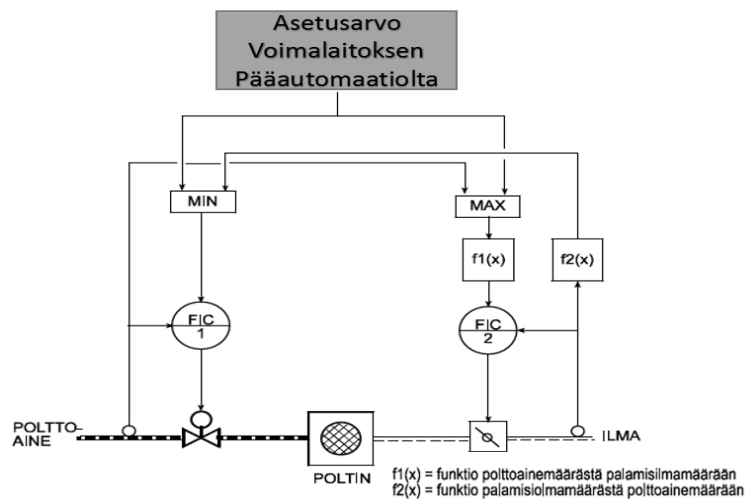
Palamisen säätö on yksi voimalaitoksen toiminnan kulmakivistä, koska säädön avulla voimalaitos voi reagoida kuorman muutoksiin. Poltin osallistuu myös voimalaitoksen palamisen säätöön. Polttimen säätöpiirit ovat osa voimalaitoksen palamisen säätöä. Jos poltinautomaation säädön tavoitteet tulkitaan erillissäädettyinä, säätöjen tavoitteet voidaan esittää esimerkiksi taulukon 3 mukaisesti.

⁷ Käyttöliittymien suunnittelusta prosessiteollisuusympäristössä voi lukea enemmän lähteestä Valvomo: Suunnittelun periaatteet ja käytännöt [14].

Taulukko 3. Öljypolton säätötavoitteet ja esimerkkitoimilaitteet

Säädettävä energiatase	Säätöpiiri	Toimilaite
Polttoaine	Polttoaineen määrän säätö, FIC	Säätöventtiili
Polttoaine	Polttoaineen riittävyyden säätö, PIC	Öljypumppu
Polttoilma	Polttoilman määrän säätö, FIC	Ilmansäätöpelti
Polttoilma	Polttoilman riittävyyden säätö, PIC	Puhallinkäyttö

Polttimen erillissäätöjä pidetään alasäätöinä, jotka noudattavat ylemmiltä säädöiltä tulevia asetusarvoja. Poltinkohtaiset ilmasäädöt vaikuttavat koko kattilan palamisilmataseeseen ja sen säätämiseen. Kattilan palamisprosessin säätötavat voidaan ryhmitellä polttoaineen ja palamisilman säädön sarjaan- tai rinnankytkennäksi. Sarjaan kytketyssä säädössä kattilan tehontarpeen vaihtelut aiheuttava ensin muutoksia joko palamisilman tai polttoaineen virtauksen määrään, mikä puolestaan muuttaa vaihtoehtoisesti joko polttoainevirtausta tai palamisilman määrää. Tätä säätötapaa käytetään yleensä pienissä kattiloissa, kun oletetaan polttoaineen lämpöarvon olevan lähes vakio. Rinnankytketyssä säädössä sekä palamisilman määrää, että syötettävän polttoaineen määrää muutetaan samanaikaisesti. Tämä säätötapa on tyypillisin kattilatyypistä riippumatta. [13]

**Kuva 6.** Poltinpolton liittyvät säädöt voimalaitosympäristössä (mukaihen [10])

Poltinkohtaisen asetusarvon määrittää kattilan tehontarve. Useamman polttimen tapauksessa allokoidaan kullekin poltinautomaatiojärjestelmälle erikseen oma tehon asetusarvo. Alasäädön toteutustapoja on useita mutta yleisin on polttoaine-ilmasuhteeseen perustuva suhdeasettelu. Suhdeasettelu on määritetty stökiometrisesti, ja siinä huomioidaan öljyn stökiometrinen ilmantarve sekä tarjolla oleva ilmamäärä. Käytännössä ilmamäärä ylittää aina stökiometrisen palamiseen tarvittavan ilmamäärän.

Turvallisuuden vuoksi palamisilman riittävyys on varmistettava kaikissa olosuhteissa ja ajotilanteissa. Kuorman muutostilanteissa riittävä ilmamäärä varmistetaan kytkemällä polttoaine- ja ilmamääräsäädöt ristiin. Ristiin kytkentä on esitetty Kuva 6. Ristiin kytketyllä säädöllä tehoa nostettaessa asetusarvon muutos menee ensin ilmanmääräsäätöön ja

polttoainesäätö seuraa mitattua ilmamäärää. Tehoa pudottaessa asetusarvon muutos menee ensin polttoainesäätäjälle, ja ilmanmääräsäätö seuraa mitattua polttoainemäärää. Riskiyhteyttä huolehtii myös siitä, että jos palamisilman tuotossa tai polttoaineen syötössä tapahtuu häiriöitä, niin häiriöttömästi toimiva suure mukautuu häiriötilanteeseen varmistuen riittävän palamisilmamäärän kattilaan menevää polttoainemäärää kohden. [13]

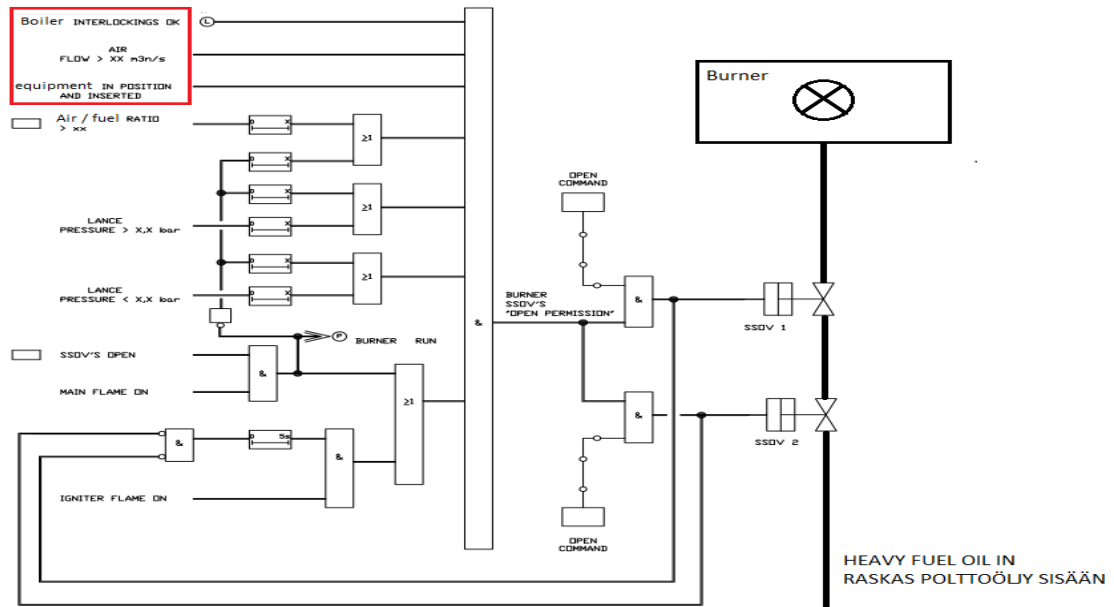
On myös olemassa muita säätöpiirejä, joilla voidaan vaikuttaa öljypolton polttoaineen ja polttoilman määrän säätöön. Näistä tärkein on O_2 -pitoisuuden hienosäätö, jossa on usein pitkät viiveet. Muut säädöt ja niihin liittyvät säätöpiirit perustuvat joko vaiheistettuun ilman ja polttoaineen syöttöön tai palamisprosessin hidastamiseen. Palamisprosessia hidastetaan esimerkiksi savukaasun kierrätyksen avulla, jolloin polttoilman happipitoisuus laskee. Poltinkohtainen säätö on järkevää rakentaa, niin että on säätöjä ohjaavat korjauskeruimet ovat implementoitavissa. Korjauskeruimien avulla optimoidaan polttimen toimintaa. Poltinautomaation ohjaama palamisprosessin optimoiminen rakennetaan voimalaitoskohtaisesti, koska palamisen optimointi on laajempi voimalaitoksen toimintaan liittyvä säätötekniinen optimointiongelma.

2.2.3 Lukitukset ja pakko-ohjaukset

Poltinautomaatio on yhteydessä myös turvallisuuteen liittyvään järjestelmään (TLJ) tai turva-automaatiojärjestelmään (TAJ). Käytännössä TLJ lyhenteen käyttö on rajoittunut ainoastaan sähköisiin turvajärjestelmiin, kun taas TAJ järjestelmään kuuluu myös muut turvalaitteet, kuten varoventtiilit. Lukitus on toiminta, joka määrittää kahden mekanismin tai funktion välisen tilan toisistaan riippuviksi ja estää kohteen vaarallisen käytön. Pakko-ohjaus on toiminta, jolla saatetaan ohjattava kohde turvalliseen tilaan olosuhteiden niin vaatiessa. Sanat tulkitaan usein myös toistensa synonyymeiksi. Lukitusten avulla estetään äärellisen järjestelmän (engl. Finite state model) ne tilat, jotka ovat ei-toivottuja. Lukitukset voivat toimia sähköisesti tai elektroniikan ja mekaniikan välisten yhdistelmien avulla. Lukitukset estävät koneen tai tässä tapauksessa myös prosessin ajautumista tilaan, jossa prosessi aiheuttaisi vaurioita ympäristölle, ihmisille tai tuotannolle. Standardit ja turvallisuusmäärittelyt määrittävät lukitustoimintoja. Havainnollistetaan eräs lukitustoiminta liittyen poltinautomaation toteuttamiseen: Polttimen lanssi on vedetty tulipesästä pois, jolloin asentokytkimen tieto ”lanssi sisällä puuttuu”, jolloin automaatio estää tai ”lukitsee” polttimen käynnistämisen ja pysäyttää käynnissä olevan polttimen. Suojaus eli lukitus voi tapahtua esimerkiksi, jos palamisilma paine laskee äkillisesti alle raja-arvon, jolloin poltin lukitaan kiinni eli sammutetaan.

Lukitustoimintojen toteuttaminen jaetaan kahteen kokonaisuuteen: turvallisuuskriittiset toiminnot (TLJ) sekä muut esto- ja ohjaustoiminnot. Turvallisuuskriittiset toiminnot toteutetaan käyttöautomaatiosta riippumattomina. Polttimessa olevat turvallisuuskriittiset lukitukset ovat standardien avulla tarkoin määriteltyjä, kun taas ei-turvallisuuskriittiset toiminnot määrittyvät hankekohtaisesti. Jos standardeissa esitetyt turvatoiminnot eivät riitä kattamaan järjestelmän turvallisuutta, on turvallisuustoimintoja lisättävä hankekohtaisesti. Turvatoiminnot ovat melko vakiintuneita. Vakiintuneisuuden vuoksi raskasöljypoltinsovelluksen lukitustoiminnot ovat melko helposti määriteltävissä ja niissä on

yleensä vain osittain ajanvalvonnan suhteen muuttuvia tekijöitä. Lukitustoimintoja ohjaavat raja arvot vaihtelevat voimalaitoskohtaisesti. Lukitustoiminnot esitetään toiminnallisen perussuunnitteludokumentaation avulla tai erillisinä listoina sekä automaation järjestelmän kuvauksissa. Kuvassa 7 on esitetty polttimen pikasulkuventtiilien, voimalaitoksen sekä erinäisten mittaustietojen välinen periaatteellinen lukituskaavio.



Kuva 7. Esimerkki lukituskaaviosta, joka kuvaa pikasulkuventtiilien lukitusta.

Kuvasta 7 nähdään, että lukitukset ovat prosessiteknisesti kytköksissä muihin voimalaitoksen prosesseihin. Esimerkiksi punaisen neliön sisällä olevat lukitusehdot tulevat muista prosesseista. Lukitusehdot ovat näin estämässä toisista prosesseista heijastuvia viikoja tai energiavirtoja, kuten raskasöljyn virtaamista tulipesään. Lukitukset muodostavat oman toiminnallisen kokonaisuuden. Ne käsittelevät binääritietoja sekä estävät prosessien ajautumista vaaralliseen tilaan. Voimalaitoksen turva-automaatiojärjestelmä voi esimerkiksi ilmoittaa, poltinautomaatiolle ”kattilasuoja”-tiedon tai polttoilman puhaltimen käyntitiedon. Muita lukitusjärjestelmän vaatimuksia ovat esimerkiksi ”häätä-seis”-painikkeet. Osa lukituksista määräytyy konedirektiivistä, kuten suutinpainet. Toiminnallisia lukituksia ovat esimerkiksi palamisilman saatavuus, polttoaine-ilmasuhde, lanssi paikallaan ja sisällä. Poltinautomaatioon liittyvät lukitustoiminnot ovat toiminnallisia vaatimuksia, joka poltinautomaatiokokonaisuuden tulee täyttää.

2.2.4 Sekvenssit

Sekvenssillä tarkoitetaan automaation yhteydessä suppeassa merkityksessä ohjelmakennetta, joka on tarkoitettu peräkkäin tapahtuvien toimintojen askelmaiseen ohjaukseen. Laajemmassa merkityksessä sekvenssi tarkoittaa esim. poltinlaitteiden peräkkäisessä järjestyksessä tapahtuvaa ohjausta. Sekvenssit ovat automaation toiminnallinen osuus, joilla tapahtumaketjut tehdään itseohjautuviksi. Sekvenssit käynnistyvät automaattisesti tai

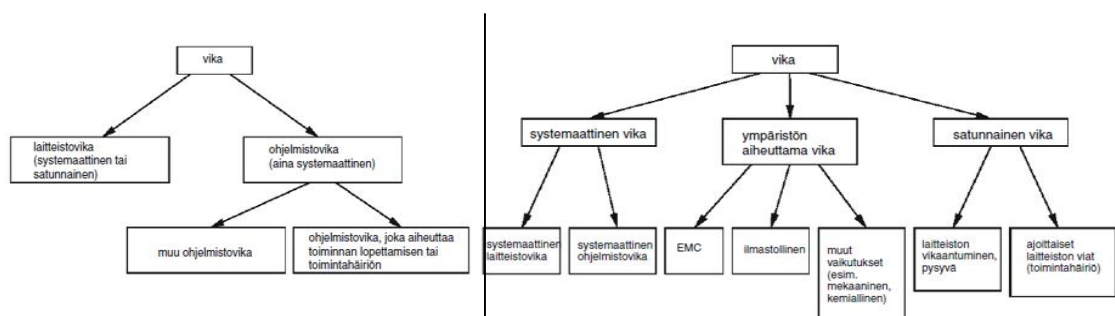
operaattori käynnistää ne manuaalisesti. Sekvenssien esitystavat vaihtelevat. Voimalaitoksen öljypolttimilla sekvenssejä hyödynnetään kolmessa tapauksessa:

- Polttimien käynnistäminen
- Polttimien sammuttaminen
- Polttimien puhaltaminen

Öljypolttimien sekvenssit on määritelty turvallisuusehtojen puitteissa muun muassa poltinautomaattikkaa ohjaavissa standardeissa. Sekvenssit toteutetaan joko ylemmän tason järjestelmässä (DCS) tai erillisessä poltinohjausjärjestelmässä (BMS). Sekvenssit ovat aikavalvottuja, mikä tarkoittaa, että sekvenssin askeleiden ajallista kestoa valvotaan. Aikarajojen ylittyessä suoritetaan esimerkiksi polttimen alasajo tai annetaan virheilmoitus.

2.2.5 Vikadiagnostiikka ja aikavalvonta

Vikadiagnostiikan tarkoitus on paikallistaa järjestelmässä ilmeneviä vikoja. Koska viat prosesseissa heijastuvat muihin prosessin toimintoihin, on tärkeää kyetä erottamaan, mistä alkuperäinen vika syntyi. Vian määrittäminen perustuu esimerkiksi logiikkaan, joka kaappaa vian ensimmäisen syyn. Vian määrittäminen onnistuu myös esimerkiksi sekvenssin aikaleimojen tai askelkohtaisen vian valvonnan avulla riippuen siitä, miten sekvenssi on toteutettu. Onnistunut vikadiagnostiikan toteuttaminen vaikuttaa suoraan käyttöönoton ja testaamisen helppouteen tai tuotantovaiheessa ilmenevän vian nopeaan paikallistamiseen ja korjaamiseen, jolloin järjestelmän käyttöönottaja tai voimalaitoksen operaattori saa helposti paikallistettua vian, ja siihen pystytään reagoimaan nopeasti. Vikadiagnostiikkaa on usein esillä poltinautomaation käyttöliittymässä. Käyttöliittymän sijainti on sekä kentällä paikallisohjauskotelolla että pääautomaatiojärjestelmän käyttöliittymässä, jolloin poltinautomaation käyttäjä voi saada ilmoituksen vian syystä ilman ylimääräistä juoksentelua voimalaitoksen valvomon ja polttimen välillä.



Taulukko 4. Vikalajit ja syyt vikoihin, SFS-EN-50156-1

Yllä kuvassa 8 on esitetty vikalajit (oikealla) sekä vikojen syyt (vasemmalla). Suurin osapoltinautomaatioon liittyvistä toiminnoista on sisältää aikavalvonnan. Poltinautomaatio ajetaan turvalliseen tilaan aikarajan tai -rajojen ylittyessä. Standardeissa aikavaateita ovat

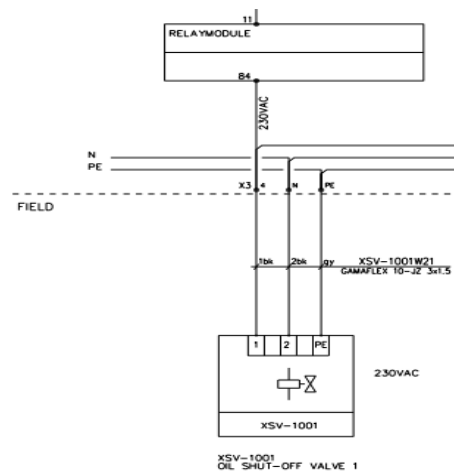
liekinvalvonnan varmuusajat. Aikavalvonnan aikaparametrit ovat aseteltavissa prosessi-kohtaisesti. Prosessikohtaisen asettelun suorittaa käyttöönotto-organisaatio.

2.3 Poltinautomaation kenttälaitteet

Poltinautomaatio koostuu useista kenttälaitteista, jotka muodostuvat liityntöjen kautta poltinohjausjärjestelmään. Poltinohjausjärjestelmän kenttälaitteet on suunniteltava voimalaitosympäristön vaatimuksien mukaisesti. Poltinohjausjärjestelmän laitteet ovat jaoteltu *Industrial Burners Handbook luvun 8* mukaisesti analogia ja binääritoimilaitteisiin [15]. Esitellään sitä ennen poltinautomaation liityntöjen muodostuminen lyhyesti.

2.3.1 Poltinautomaation liitynnät

Poltinautomaation liitynnät muodostuvat sähköisistä johdotusliitynnöistä. Sähköjohdinliityntöjen lisäksi poltinohjausjärjestelmällä on yleensä väyläliityntä voimalaitoksen pääautomaatioon. Väyläliitännän tyyppi valikoituu voimalaitoksen automaatiojärjestelmän ja poltinohjausjärjestelmän tukemista väylävaihtoehdoista. Kuvassa 9 on esitetty sähköistä liitännää poltinohjausjärjestelmän ja kenttälaitteen välillä kuvaava johdotuskaavio.



Kuva 8. Kenttäliityntä, jossa pikasulkuventtiilin ja releen (kuvassa "relay module") välillä on sähköinen 24 voltin tasavirtaliitännä.

Yllä kuvassa on esitetty kuinka erään relemoduulin liityntä muodostuu kentällä sijaitsevalle öljyn pikasulkuventtiiliä ohjaavalle solenoidiventtiilille. Tarkempaa poltinohjausjärjestelmän sisäistä johdotusta kuvassa ei ole esitetty. Kuvassa on myös esitetty millä kaapelilla relemoduuli ja pikasulkuventtiili yhdistetään.

2.3.2 Binääritoimilaitteet

Diskreetit laitteet ja niiltä saatavat binääriset tilatiedot ovat osa poltinautomaation toimintukokonaisuutta. Diskreetit laitteet tuottavat automaatiojärjestelmään binääriseen tiedon 0 tai 1. Tiedolla indikoidaan esimerkiksi polttimen pikasulkuventtiilien kiinni tai auki-tilaa. Binääriseen tiedon muodostuminen voi tapahtua jännitteen tai virran avulla.

Diskreettien laitteisiin liittyvät sähköisten kytkintietojen on vastattava ohjausjärjestelmän tilaa. Toisin sanoen liittynöissä on huomioitava tiedon sähkötekni- sen kytkennän rakenne. Esimerkiksi NO (engl. Normally Open) merkintä kytkintiedon yhteydessä tarkoittaa, että kytkentä on sähkötekni- sesti ei-johtavassa tilassa, kun kytkin on lepotilassa. Esimerkiksi ovikello on NO-kytkin. Diskreettejä laitteita on olemassa useita, jotka liittyvät poltinau- tomaatioon. Nyt käsitellään poltinautomaation binääritoimilaitteet ja toimilaitteilta tule- via binääritietoja.

Merkinantolaitteet, lamput, äänet ja ohjauspainikkeet

Laitteita, joita käytetään indikoimaan vikaa, toimintoa tai järjestelmän tilaa, kutsutaan merkinantolaitteiksi. Merkinantolaitteita ovat käytännössä lamput ja HMI-käyttöliitty- mässä näkyvät ilmoitukset. Näiden laitteiden toimintojen tulee olla selkeitä sekä helposti sisäistettävissä esimerkiksi koulutusmateriaalin avulla. Merkinantolaitteet ovat tärkeä osa ohjausjärjestelmän käytettävyyttä.

Kytkimet

Poltinautomaatioon liittyvät kytkimet mittaavat joko suuretta tai kappaleen asentoa. Ylei- simmät poltinautomaatiossa käytettävät kytkintyypit ovat:

- Painekytkimet
- Rajakytkimet (engl. Limit or position switches)
- Lämpötilakytkimet
- Virtauskytkimet

Painekytkimet ovat mittalaitteita, jotka ovat kiinnitettynä prosessiin, ja ne mittaavat joko absoluuttista, suhteellista painetta tai paine-eroa. Yleensä kytkimissä on paine-element- tinä kalvo tai putki, jonka sisältö tai koko vaihtelee paineen mukaan. Elementti on kiin- nitettynä kosketinkärkiin, jotka aukeavat tai sulkeutuvat asetusarvon mukaan. Raskasöl- jypolttimella paine-kytkimiä voidaan käyttää valvomaan muun muassa öljyn painetta.

Rajakytkimet ovat antureita, jotka mittaavat jonkun järjestelmän tai laitteen yhtä asentoa tai tilaa. Nämä anturit ovat yleensä kiinnitettynä laitteeseen tai ne rakennetaan osaksi lai- tetta. Laitteet, joiden asennosta ollaan erityisen kiinnostuneita poltinprosessissa, ovat venttiilit ja sytyttimet. Asentokytkimet voivat ilmoittaa, onko esimerkiksi venttiili kiinni vai auki tai jossain näiden kahden tilan välisessä tilassa. Asentokytkimiä käytetään lä- hinnä puhalluksen, ylös- ja alasajon yhteydessä. Kytkimien asennot halutaan esittää ken- tällä näkyvästi, koska ne indikoivat järjestelmän tilaa. Tämä tapahtuu esimerkiksi värien sekä muiden visuaalisten merkkien tai laitteiden avulla.

Lämpötilakytkimet ovat yleensä käytössä apulaitteiston yhteydessä, kuten polttoaineen- tulokanavassa. Yleensä lämpötilaa valvotaan öljypoltolla vain polttoaineen riittävän vis- kositeetin varmistamiseksi. Lämpötilakytkimet eivät pysty mittaamaan lämpötilaa vaan lämpötilan mittaamiseen tarvitaan eri mittalaitteita. Kytkimissä käytetään yleensä kaksois-

metalliseoksia, jolloin kytkimen tila muuttuu metallien eri lämpölaajenemisominaisuuksien mukaan. Lämpölaajeneminen aiheuttaa liikkeen, jolloin metalliliuskan taipuminen muuttaa kytkintietoa.

Virtauskytkimet ovat kytkimiä, jotka asennetaan virtaavan aineen yhteyteen, kuten putkeen tai ilmanakanaan. Käytännössä virtauskytkimien antama virtaavan aineen määrän mittaustieto kärsii usein luotettavuusongelmasta kytkimen mittausrajatarkkuuden takia. Virtaustiedot mitataankin pääasiassa analogia mittauksien avulla, jotka toimivat koko virtausnopeusalueella. Kytkimien vikatila ei ole luotettava, koska virtapiirin katkosta ei pysty erottamaan oikean toiminnan informaatiosta. Asennuksessa käytetäänkin usein avoimen kytkimen tietoa hälytystiedon tai vikatililan ilmoittamiseen.

Käyntitiedot

Käyntitiedot luodaan eri tavoin riippuen laitteesta. Polttimissa tärkeimmät käyntitiedot ovat polttoainetta ja palamisilmaa syöttävien pumppujen ja puhaltimien käyntitiedot. Sähkömoottorikäyttöiltä tulevat käyntitiedot eivät riitä, vaan ohjausjärjestelmän on myös varmistettava, että laitteiden aiheuttama virtaus tai muu prosessisuure on olemassa ja toimilaitte toimii muutenkin oikein. Sähkömoottorien akselin pyörimisliikkeen tunnistamiseen käytetään yleensä magnetismiin tai induktioon perustuvia pyörintävahteja. Näin varmistetaan, että pumppu tai puhallin todella pyörii.

Liekkivahdit

Liekkivahteja käytetään nimensä mukaisesti valvomaan, että polttimessa on todella liekki. Liekkivahdit ovat erittäin turvallisuuskriittisessä asemassa. Esimerkiksi jos liekki ei jostain syystä ole päällä, ja polttoainetta virtaa palamistilaan syntyy räjähdysvaara, josta seurauksena voi olla polttolaitteiston vaurioituminen tai vaaraa henkilöstölle. Liekkivahdit toimivat joko ultraviolettia tai infrapunasäteilyyn tai niiden yhdistelmään perustuvan mittaustekniikan avulla. Mittaustekniikka perustuu sähkömagneettisen säteilyn määritelyyn taajuusalueeseen. Toimintaperiaatteita liekkitiedon mittaamiseen on käytännössä kolme: lämpösäteily, näkyvä valo sekä ultraviolettia. Tarkempaan mittaustekniikkaan⁸, sekä älykkäiden liekkivahtien ominaisuuksiin tai mittausten konfigurointiin ei syvennyttä.

Solenoidiventtiilit

Solenoidiventtiilit tai magneettiventtiilit ovat toimilaitteita, jolla on kaksi tilaa: auki ja kiinni. Auki ja kiinni-tila vaihtuu venttiilille syötettävän jännitteen mukaan. Kun jännitettä ei ole (engl. de-energized), venttiili menee turvatilaan (engl. Fail-safe position) jousen avulla. Venttiilejä on kahta tyyppiä kaksi- ja kolmetieventtiilejä. Kaksitieventtiilit joko päästävät virtaavan aineen läpi tai eivät. Kolmetieventtiileillä on kolme suuntaa

⁸ Liekkivahdeissa on myös usein mukana analogiamittaus, joka indikoi liekin intensiteettiä. Intensiteetin trendistä voi ilmetä palamisen laadusta kertovina ilmiöitä, kuten liekin katkonaisuutta tai intensiteetin tehon laskemista.

mutta silti vain kaksi tilaa. Jos portit ovat nimettyinä A, B ja C, voi venttiili ohjata virtaavaa ainetta esimerkiksi $A \rightarrow B$ tai $A \rightarrow C$ välillä. Kolmitieventtiilit ovat turvallisuuskriittisiä, jos niitä käytetään turvasulkuventtiilien (engl. SSOV) ohjaamiseen instrumentti-ilman avulla. Kolmitieventtiilit sijaitsevat yleensä omalla ilmanjakotukilla. Kun kolmitieventtiileissä on jännite (engl. Energized), instrumentti-ilma pääsee virtaamaan ohjaus- ja turvaventtiileille, jolloin säätöventtiilien ohjaaminen on mahdollista ja turvasulkuventtiilit ovat auki. Ja päinvastoin, jos kolmitieventtiilien jännite häviää, ajautuvat sulku- ja säätöventtiilit turvalliseen tilaan venttiileissä olevien mekaanisten jousielementtien avulla. Säätö-, sulku- ja solenoidiventtiilien turvatilat on koordinoitava oikein, jotta järjestelmä ajautuu aina turvalliseen tilaan, laitteiston apuenergian hävitessä.

Sytytyslaitteisto

Sytytyslaitteisto koostuu erillisen sytytyspolttimen elektrodeista, muuntajasta sekä sytytysliekkikoneistosta, kun käytetään kaasusähköistä sytytyspolttinta. Pääpolttimen sytytys voi tapahtua myös suoraan sähkösytyttimellä. Sytytyspolttimeen kuuluu esimerkiksi sytytyslanssi, sytytin sekä lanssin ohjaukseen käytettävät solenoidiventtiilit sekä rajakytkimet. Muuntaja syöttää sytyttimen elektrodien kärkien väliin jännitteen, joka tarpeeksi korkeaksi noustessaan synnyttää kipinän. Poltinautomaatiojärjestelmä ohjaa muuntajalle syötettävää virtaa esimerkiksi sytytysreleen avulla. Sytytysrelettä ohjataan jänniteviestillä (esimerkiksi 120 VAC tai 230 VAC). Muuntajan sähköinen teho mitoitetaan sytytyksessä vaadittavan energian tarpeen mukaan. Kaasupolttimen sytytysaineena käytetään esimerkiksi nestekaasua. Kaasupolttimen koko vaihtelee polttimen koon mukaan.

2.3.3 Analogialaitteet

Analogialaitteet tarkoittavat laitteita, jotka käyttävät yleensä automaatiojärjestelmässä milliampeeriviestejä alueella $4mA \dots 20mA$. Nykyään analogiatiedot voivat myös kulkea väylän avulla digitaalisena tietona suoraan laitteelta järjestelmään. Jokaiselle analogialaitteelle tarvitaan jännitteen syöttö ja ne ovat näin myös osa sähkösuunnittelua. Analogiaviestit ovat ohjausjärjestelmän perinteinen ohjausmetodi, jolla toimilaitteita ohjataan. Laitteita ohjataan myös väyläohjatusti, mikä tarkoittaa, että laitteet ovat digitaalisesti ohjattuja ja ohjaussignaalina toimii protokolla eikä fyysikaalinen suure. Protokolla, jolla laitetta ohjataan, vaihtelee sen mukaan, millä väylästandardilla ohjaus toteutetaan. Väylästandardeja on useita ja ne vaihtelevat valmistajakohtaisesti. Analogiatietoja kuvataan merkinnöillä ”AI” tai ”AO”.

Säätöventtiilit

Säätöventtiilit kontrolloivat ainevirtauksia, kuten polttoaineen virtausta (neste tai kaasu). Säätöventtiilit ovat venttiilejä, joilla on säätöalue. Säätöalue kuvastaa venttiilin läpi virtaavaa aineen kuristusta. Säätöventtiilit koostuvat useista komponentista, kuten säätöelementistä, joka voi olla pallo-, läppä-, istukkatyyppinen. Toinen tärkeä komponentti säätöventtiileissä on toimilaite, joka ohjaa säätöelementtiä. Yleensä säätöventtiilit luokitellaan toimilaitteen tyyppin mukaan pneumaattisiksi tai sähkömoottorilla ohjattaviksi säätö-

venttiileiksi. Toimilaitteet sisältävät yleensä jousitoimilaitteen, joka ajaa venttiilin turvaliseen tilaan. Toimilaitetta ohjataan asennoittimella. Asennoitin on mekaaninen takaisinkytkentälaitte, joka kertoo venttiilin todellisen asennon ja mahdollistaa näin venttiilin asennon hallinnan. Asennoittimen tehtävänä on ohjata toimilaitetta takaisinkytketyn asentomittauksen perusteella, siten että toimilaitte paikoittuu tarkalleen haluttuun asentoon. Säätoventtiilien suunnittelussa ja mitoittamisessa on huomioitava edellä mainittujen elementtien (säätoelementti, toimilaitte, asennoitin) lisäksi prosessin mitoitukset. Yleensä poltinprosessiin liittyy kaksi tai kolme säätoventtiiliä, joita käytetään oikean polttoainevirtaukseen määrän ja paineen hallintaan.

Palamisilman säätopeellit

Palamisilman säätopeellit kontrolloivat ilmvirran määrää, joka polttimelle virtaa. Yleensä säätopeeltejä ohjataan servolla, joka on joko sähköinen tai hydraulinen. Servo on asemointiin tarkoitettu laite, joka sisältää takaisinkytkennän säätopeelin asemaa mittaavaan anturiin. Servojen ohjaaminen voi perustua, hydrauliseen, sähköiseen tai pneumaattiseen toteutukseen tai yhdistelmiin. Säätopeeltien materiaalia ja rakenne vaihtelevat paljon, ja ne mitoitetaan jokaiseen voimalaitokseen erikseen. Automaation toteutuksessa on tärkeä huomioida servon sisältämä ”älykkyys”. Servon ohjauspiirissä on usein sisäänrakennettuja ominaisuuksia. Servon sisältämä ominaisuudet voivat huonossa tapauksessa haitata poltinautomaationjärjestelmän ohjausfunktioita.

Puhaltimet

Puhaltimet ovat tyypiltään joko radiaali- tai aksiaalipuhaltimia. Puhallinkäytöt ovat regulaattoreita, joille on annettu vain tietty asetusarvo (yleensä ilmakehän paine, jota korjataan virtausmittauksilla), jota ne noudattavat. Puhaltimien asetusarvo seuraa pääautomaatiojärjestelmältä tulevaa polttoilmavaatimusta tai polttimelta tulevaa palamisilmanvaatimusta. Polttoilmajärjestelmä on toteutettu joko poltinkohtaisella puhaltimella tai samanaikaisesti koko voimalaitoksen ilmantuotantoa ohjaavilla puhaltimilla. Jos poltin ottaa palamisilmansa yhteisestä palamisilmajärjestelmästä, on hyvin todennäköistä, että puhaltimen ohjaaminen on alistettu suoraan voimalaitoksen automaatiojärjestelmälle eikä poltinkohtaiselle automaatiojärjestelmälle.

Polttoainepumput

Pumppukäytöt ylläpitävät polttoainemäärää ja painetta polttolaitteistoilla sekä polttoaineputkisto. Pumppukäyttöjen on reagoitava tarvittavan polttoaineen määrän muutoksiin ja ylläpidettävä riittävää painetta. Pumppuja säädetään polttoaineen paineen sekä virtauksen perusteella. Pumput toimivat yhdessä säätoventtiilien kanssa. Raskasöljypolttimen tapauksessa polttoainepumput kierrättävät raskasöljyä, jotta se ei jämähtäisi polttoainekanavaan.

2.3.3.1 Mittaukset

Mittauslaitteistot ovat usein älykkäitä kenttälaitteita, jolloin laitteistossa on mikroprosessori. Mikroprosessoriin on ohjelmoitavissa esimerkiksi, mitä mittaussignaalille tapahtuu, jos mittaus vikaantuu. Mittalaitteen älykkyys mahdollistaa mittalaitteen itsekaliibroinnin

tai esimerkiksi huolto seurannan, jolloin mittalaite ilmoittaa suoraan voimalaitoksen huoltojärjestelmään laitteiston huoltotarpeen, jos huollon tarve ilmenee. Automaatiossa mittalaitteet luokitellaan usein osaksi mittaus-, ohjaus- tai säätöfunktioita. Mittaus-, ohjausfunktio ja säätöfunktio muodostavat oman piirinsä, jonka yksi elementti on mittalaite. Piiriin voi kuulua yksi mittaus tai useampi mittaus. Prosessisuureet, joita mitataan poltinautomaatiossa, ovat yleisesti prosessiteollisuudessakin mitattuja: lämpötila-, virtaus- ja painemittauksia. Mittasignaalina poltinautomaatiolle käytetään yleensä standardiviestiä $4mA...20mA$.

Lämpötila

Lämpötilalähettimek tarvitsevat yleensä 24 voltin syöttöjännitteen. Ne perustuvat usein termoelementin kaksoismetallimittaukseen eli termopariin (engl. thermocouple) tai metallivastusanturiin. Mittaus voi perustua mitattavan aineen lämmön konvektioon tai johtumiseen. Lämpötilaelementin sijainti, koko ja suojaamistarve esimerkiksi korroosiolta suunnitellaan prosessin mukaan. Käyttäessä termoelementtiä on sen suunnittelussa huomioitava liitinalusta, lähetin sekä suojatasku. Liitinalusta kiinnittää elementin, lähetin siirtää mittaussignaalin automaatiojärjestelmään ja suojatasku estää elementin likaantumisen.

Virtaus

Virtauksen mittaamiseen on useita eri menetelmiä, kuten: pyörre-, magneetti-, kuristuselimeen perustuvat, coriolis-, ultraääni-, rotametri-mittaukset. Nestemäistä polttoainetta, kuten raskasöljyä, mitataan yleensä coriolis-mittauksella, koska se ilmoittaa suoraan nesteen massavirran, mikä mahdollistaa tarkan määrän säädön stökiometrisesti. Palamisilmaa mitataan usein ilmakehään asetettavan paine-eroon perustuvaan mittauksen avulla. Mittauksessa kanavaan asetetaan häiriöelementti, joka voi olla esimerkiksi mittauslaippa tai mittasuutin. Mittauslaippa aiheuttaa paine-eron muutoksen virtauksen suuruuden mukaan. Suureet, joita virtauksessa tyypillisesti mitataan, ovat [13]: paikallinen virtausnopeus [m/s], keskimääräinen virtausnopeus poikkileikkauksessa [m/s], tilavuusvirta [m³/s], massavirta [kg/s] sekä virranneen aineen määrä, [m³, kg].

Virtauksen mittaaminen on laaja mittaustekninen kokonaisuus, joissa mittalaite on rakennettava sovelluskohteen sekä virtaavaan väliaineen perusteella. Polttimen automaatiojärjestelmään kerätään mittaustietoina palamisilman massavirta⁹ sekä polttoaineen massavirta.

Paine

Painelähettimek tarvitsevat pääsääntöisesti 24 voltin syöttöjännitteen. Painelähettimeillä mitataan nesteen kaasun tai kiinteän aineen aiheuttamaa painetta. Ne toimivat liikkuvan kalvon avulla, jonka muoto muuttuu paineen vaikutuksesta. Kalvon pinnalla olevat venymäliuskat tai kalvon asemaa mittaavat elementit muuttavat resistanssiaan kalvon muodon

⁹ Ilman tilavuusvirta ilmoitetaan yleensä normikuutioina. Normikuutiota laskettaessa otetaan lähtökohdaksi vakio-olosuhteet, jolloin saadaan eri mittaustuloksista verrannollisia keskenään.

mukaan ja näin elektroniikkapiirin, johon venymäliuskat on kytketty, resistanssin muutos aiheuttaa myös mittaus signaalin muutoksen. Paine-erolähetin mittaa taas nimensä mukaisesti kahden eri pisteen välistä paine-eroa. Pisteet on kytketty mittauskalvon eri puolille impulssiputkien avulla, jolloin mittaussignaali muodostuu samalla periaatteella kuin yllä on kuvattu.

2.4 Sovellusalustat

Sovellusalustojen perusteella poltinautomaatio jaetaan sulautettuun tai keskitettyyn ratkaisuun. Keskitetty ratkaisu toteutetaan pääautomaatiojärjestelmässä. Sulautettu ratkaisu tarkoittaa, että polttimen ohjaaminen toteutetaan paikallisohjauskotelon sulautetun sovellusalustan avulla. Paikallisohjauskotelo sijaitsee yleensä polttimen välittömässä läheisyydessä. Sovellusalustan valinta on melko suoraviivaisesti rinnastettavissa teknologian valintaan. Jokaisella teknologialla on omat rajoitteensa, niin teknisestä kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Sovellusalustojen on kyettävä saavuttamaan tekniset, taloudelliset sekä turvallisuusvaatimukset. Sovellusalustat, joilla ohjausjärjestelmä on, määrittävät projektiliiketoiminnan kannalta paljon: tuotteen valmistuksen, käyttöönoton ja testauksen tarpeen. Markkinoilla on paljon eri sovellusalustoja ja sovellusalustojen ominaisuudet vaihtelevatkin, toteutustekniikaltaan, komponenteittain, ohjelmistoittain sekä hinnallisesti. Käydään läpi työn kannalta oleelliset sovellusalustat.

2.4.1 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitavissa oleva digitaalinen tietokonetta kutsutaan ”PLC”:ksi, joka tulee englanninkielen sanoista Programmable Logic Controller. Kyseessä on ohjelmoitava tietokoneyksikkö, jonka ominaisuudet vaihtelevat komponenteittain ja valmistajakohtaisesti. Logiikan ohjelmoiminen sisältää ohjaimesta riippuvan ohjelmiston sekä tarvittavan suunnitteluaineiston. Automaation ohjelmiston toiminnot (sekvenssit, lukitukset, säädöt) voivat sijaita joko osittain tai täydellisesti ohjelmoitavassa logiikassa. Ohjelmoitavan logiikan sijainti ja kytkökset muuhun automaation määritellään laitearkkitehtuurin perusteella sekä voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmän mukaan. Koska PLC valmistajia on useita, on niissä käytettävien ohjelmointityökalujenkin määrä laaja. PLC-logiikat luokitellaan myös vaadittavan turvallisuustason avulla. Turvaluokitellut logiikat pitävät huolen ettei toimintojen vasteaika ole liian suuri ja että logiikan sisäinen turvallisuuden eheystaso on riittävä. Sisäisen turvallisuuden eheystaso esitetään komponentin vikaantumistodennäköisyydellä, joka turvalogiikoilla on korkeampi kuin tavallisella ohjelmoitavalla logiikalla. Hajautetussa automaationtoteutustavassa PLC-yksikkö vastaa osittain tai kokonaan polttimen ohjaamisesta ja sijaitsee kenttäohjauskotelossa.

2.4.2 Valmiit poltinautomaatiikkatuotteet

Useat eri yritykset toimittavat valmiiksi pakattuja, eri tavalla langoitettuja ja eri tavalla konfiguroitavissa olevia poltinohjausjärjestelmiä. Valmiiksi pakatut ohjausjärjestelmät vaihtelevat poltintyyppin mukaan ja ovat standardoituja. Työn pilottihankkeessa käytetään

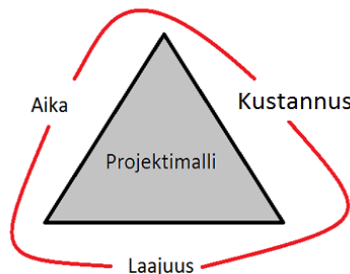
ohjelmoitavaa elektronista polttimen ohjausjärjestelmää. Kyseinen ohjausjärjestelmä on tyyppihyväksytty, joten se on seuraavien standardien mukainen:

1. Harmonisoitu: EN 298, EN 230, EN 1643, EN 12067-2
2. Sovelluskohtaiset: EN 676, EN 267, EN 12952-8-11, EN 12953-7-9 ja EN 50156-1
3. Muut: EN 61508 osa 2 ja 3

2.5 Poltinautomaation toimitusprojekti

Automaatiotoimitusprojektin laajuus käsittää instrumentoinnin, toimilaitteet, ohjausjärjestelmän hankinnan, prosessin sähköistuksen ja ohjausjärjestelmän konfiguroinnin ja kelpoistuksen. Toimitusprojektille määritetään aina väliaikainen projektin elinkaaren mittainen projektioorganisaatio, jossa toimivilla henkilöillä on omat roolinsa ja selvä vastuunjako. Automaation toteutustekniikka muistuttaa osittain ohjelmistotuotantoa ja toisaalta siinä on perinteisen prosessiteollisuuden elementtejä, kuten vakiintuneet suunnitteludokumentaatiot. Toimitusprojekteja hallitaan tietojärjestelmillä. Toisin sanoen projekteja toteutetaan usein aiempien projektien tietojärjestelmiin tallennettuja tietoja hyödyntäen.

Jokaisella projektilla on päämäärä. Päämäärä voi olla asiakkaalle toimitettava poltinautomaatiotuote, josta asiakas maksaa kannattavaa tuottoa tuotteen toimittajalle. Yrityksellä voi olla myös omia päämääriä, jotka voivat esimerkiksi liittyä pitkäaikaisen uuden asiakassuhteen luomiseen tai asiakassuhteen ylläpitoon ja vahvistamiseen. Kaksi tärkeintä päämäärää ovatkin asiakastyytyväisyys sekä kannattava tuotto. Jatkuvan tuotannon valvominen on tuotantotyyppin prosessimaisuuden takia helpompaa, koska tuotteelle voidaan määritellä selkeämpiä mittauspisteitä, joista tuotteen laatua valvotaan. Tarvittava tuotteen määrä ja hinta suhteessa markkinoihin on myös helpommin hallittavissa ja ennustettavissa. Näin ei kuitenkaan ole projektikäynnin liiketoiminnassa, vaan projektikäynnin liiketoiminnan tuottaman tuotteen arvo muodostuu läpiviennistä (aika), kustannuksista (raha) sekä toimituksen laajuudesta (tuotekokonaisuus). Nämä kolme muodostavat yleisesti tunnetun käsitteen projektin pyhä kolminaisuus.



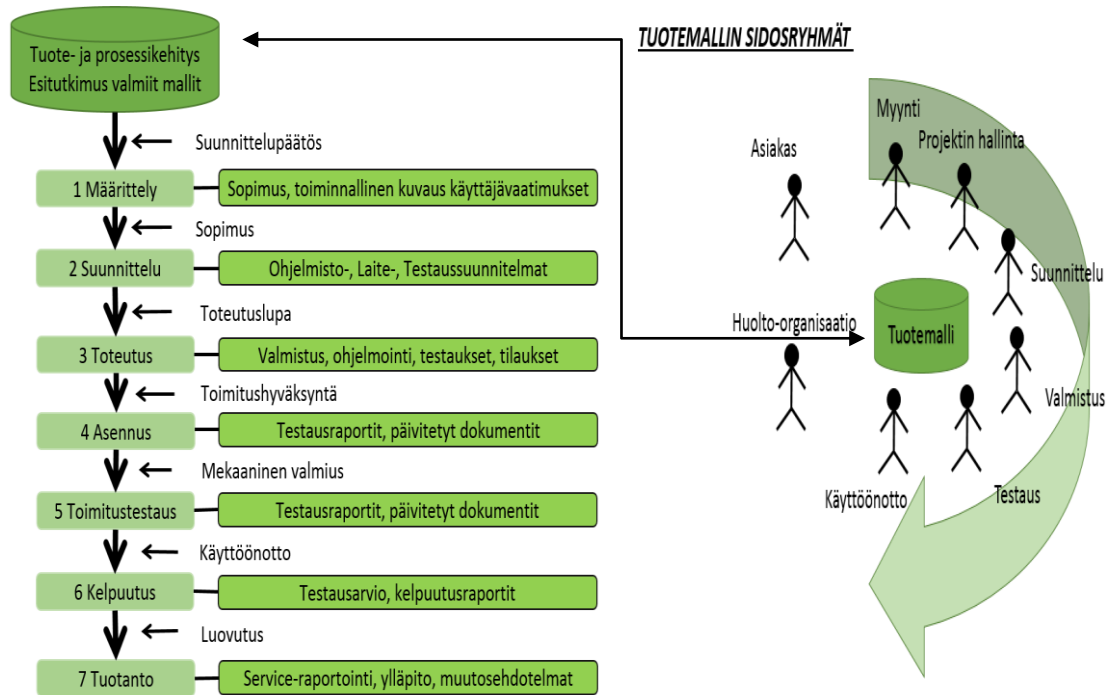
Kuva 9. Projektin päämäärä muodostuu kolmen tavoitteen pohjalta.

Kuvan 10 kolmio symboloi projektiliiketoiminnan tuloksellisuuden muodostumista. Jokainen kolmion sivu on nivoutunut yhteen kolmion kulmista, ja ovat näin riippuvaisia toisistaan. Niiden keskelle jää projektimalli. Toimitettavan tuotteen tunnistaminen ja

suunnitelmallinen rakenne esitetään projektin laajuuden perusteella. Tuote muodostuu immateriaalisista ja materiaalisista osuksista, joiden välinen suhde vaihtelee projekteittain. Esimerkiksi kehitysprojektin päämäärä voi olla uuden toimintatavan implementointi osaksi organisaation toimintaa, jolloin kyseessä on täysin immateriaalinen projekti. Automaatiotuotteen toimituksessa immateriaalisia osuuksia voisivat olla huoltoyhteistyösopimus (engl. service), käyttöönottopalvelut sekä ohjelmistot. Projektin laajuuden tarkastelua voisi tarkentaa seuraavalla huomautuksella:” Projektin tuloksena toteutettava tuote eroaa yrityksen tuotteesta, jota yritys tuottaa ja myy markkinoille”. Tuotteen laajuus elääkin esimerkiksi isommissa projekteissa [2, p. 2.4].

Aikatavoite sisältää aikarajoitteet projektin päämäärän ja projektin osituksen pohjalta määritettyjen välietappien pohjalta. Aika on rajoite ja sen pohjalta luodaan aikataulu. Aikatavoite muodostuu toimintojen ajoittamisesta sekä tarvittavien resurssien mitoittamisesta. Aikakriteerien nivoutuminen yhteen projektin osapuolien kanssa on tärkeässä roolissa, jolloin organisaation toiminta on jouhevaa eikä töksähtelevää. Poltinautomaation toimituksessa aikaetapit nivoutuvat mekaanisen prosessin valmistuksen mukaan. Jos taas uusitaan pelkästään prosessin automaatiota, on aikatavoite määritettävä voimalaitoksen tuotantokatkojen minimoinnin perusteella. Aikatavoite muodostuu kaikkeen projektiin liittyvästä toiminnasta läpi tuotteen elinkaaren. Kustannustavoite määräytyy projektin budjetoinnin mukaan. Budjetti on ennalta määritetty ja budjetti yleensä johdetaan suoraan työn osittamisesta sekä projektin resurssien kohdistamisen avulla. Kustannustavoite pitääkin pystyä suunnittelemaan tarkasti kilpailluilla markkinoilla, vaikka kustannustavoite todellakin voi olla vain tavoite eikä rajaus. Materiaaliset kustannukset tunnistetaan ja määritellään osuvammin sekä tarkemmin verrattuna immateriaalisiin kustannuksiin. Tuotetiedolla voidaan vähentää immateriaalisia kustannuksia hyödyntämällä valmiiksi määriteltäviä prosessikohtaisia ohjelmistoja tai tuotemallia. Tuotemalli on tiettyä standardituotetta kuvaava malli. Kustannukset ovat projektin toiminnan kannalta välttämättömiä ja niiden liikkuvuuden tunnistaminen tai riittävyys ovat liiketoiminnan elinehtoja. [2]

Tuotemallin rakenne perustuu projektivaiheiden mukaisiin sidosryhmiin. Tuotemalli sijaitsee tuotetietojärjestelmissä, mikä tarkoittaa, että tuotemallit ovat virtuaalisia. Tuotemallit rakennetaan sidosryhmien vaatimuksien pohjalta. Projektiliiketoiminnan näkökulmasta sidosryhmäläiset ovat osa vaiheistettua toimitusprosessia. Vaiheet, joilla poltinprosessin automaation toimitus etenee, on esitettävissä prosessikaaviolla. On huomioitava, että projektin esittäminen prosessina on helppo tapa hahmottaa prosessin päämäärään tähtäävä etenemistoiminnot, mutta ei toimintojen välisiä riippuvuus suhteita. Alla kuvassa 11 esitetään toimitusprojektin yksinkertaistettu vaiheistettu rakenne sekä tältä pohjalta poltinautomaation tuotemalliin liittyvät sidosryhmät.

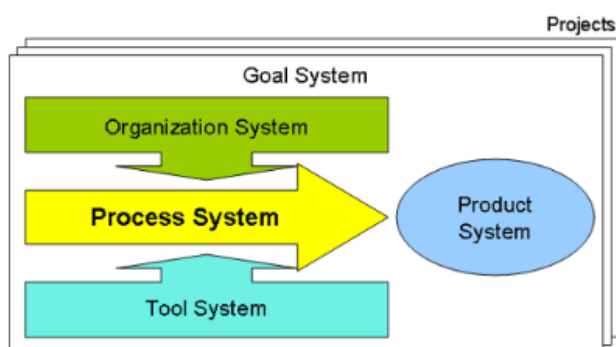


Kuva 10. *Automaation toimitusketjumalli ja toimitusprojektin pääsidosryhmät, jotka hyödyntävät tuotemallia.*

Jokaista toimitusketjua edeltää myynti- sekä määrittelyvaihe, joita seuraa suunnittelu-, toteutus-, asennus-, toimitustestaus-, kelpuus- ja tuotantovaihe. Toimitusketjun toimijat ovat tuotemallin sidosryhmiä. Toimitusketjujen avulla eri sidosryhmien avulla nähdään projektien materiaali-, informaatio- sekä rahavirtojen muodostuminen. Toimitusketjun sidosryhmien ymmärtäminen on tuotteistamisessa avainasemassa. Poltinautomaation toimitus tapahtuu joko erillistoimituksena tai yhdessä laajemman automaatiokokonaisuuden kanssa. Poltinautomaatiotoimitus voi olla osa kokonaista voimalaitosrakennushanketta tai pienempää prosessitoimitusta, kuten poltinlaitteiston uusimista.

3. TUOTTEISTAMINEN JA MENETELMÄT

Edellä luvussa kaksi käytiin läpi, mitä poltinautomaatio sisältää ja mikä on poltinautomaation toimitusprojekti. Tuotteistamisen pääongelmana on kustannusteknisen ongelman ratkaisu uuden tuotemallin avulla. Poltinautomaation kohdalla tämä tarkoittaa tuotemallia, jota kaikki voivat käyttää läpi organisaation tiimien, niin myynnistä käyttöönottoon kuin jatkuvaan tuotekehitykseen. Tuotteistaminen onkin monen alan yhteistoimintaa, jolla ei ole omaa tarkkaan määriteltyä toimialasidonnaista rakennetta [16]. Tuotteistaminen muodostuu viidestä eri systeemiä. Systemit on esitetty kuvassa 12 alla.



Kuva 11. Viisi systeemiä projektissa [17]

Tuotteistaminen muodostuu yllä esitetyn kuvan 11 pohjalta:

- Prosessisysteemistä, joka muodostuu useista tuotteistamisprosesseista
- Työkalusysteemistä, joka muodostuu työkaluista ja menetelmistä
- Organisaatiosysteemistä, joka muodostuu tuotteen sidosryhmistä
- Tuotesysteemistä, joka muodostuu tuotteesta ja tuotetietojärjestelmistä
- Tavoitesysteemistä, joka muodostuu kustannus-, aikataulu- ja laajuustavoitteista.

Edellä luvuissa yksi ja kaksi esiteltiin tuotesysteemi, joka työssä on poltinautomaatio. Vastaavasti organisaatiosysteemi on toimitusprojektien eri osapuolet. Työn pääongelma toimii etukäteen määriteltynä tavoitesysteeminä. Tässä luvussa käsitellään tuotteistamiseen liittyvä prosessi- sekä työkalusysteemi.

3.1 Tuotteistamisprosessit

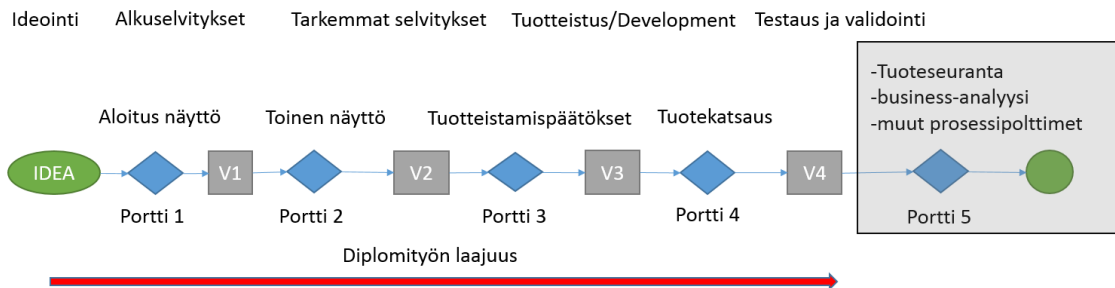
Tuotteistamisessa on käynnissä samanaikaisesti monta prosessia. Näiden prosessien tai systeemien mallintaminen vaatii jo itsessään paljon työtä, sillä systeemeistä on tunnistettava taustalla pyörivät taustavoimat, ajavat voimat, inputit, formaalit määrittelytavat sekä prosessien outputit. Tuotteistamisprosessien mallintamisesta voi lukea artikkelista ”Key Concepts in Modeling product development processes” [17]. Artikkelissa esitellään muun

muassa erilaisia tuotteistamissysteemien taksonomioita ja rakenteita. Artikkelista poimin tuotteistamisen prosessien mallintamista yleiset tavoitteet tuotteistamisprosesseille [17, p. 117]. *Elementit* ovat tuotteistamisprosessin tehtävä attribuutteja, joita tarvitaan tukemaan tuotteistamisprosessin tarkoituksellista. Kappaleessa 3.1.1 esitettävä vaihe-portti-viitekehitys sisältää elementtejä, joita ovat vaiheet ja portit. *Yhteydet* kuvaavat eri tehtävien välistä yhteyttä. Tuotteistamismallia pitää olla helppoa ylläpitää. Mallia voidaan muuttaa ja päivittää, kun sille on tarve. *Virtuaalisuus*, mallin on oltava tietokonepohjainen säilytystä ja analysointi varten. Mallin näkymän tai näkymien pitää olla ymmärrettävissä eri käyttäjien ja sidosryhmien mukaisesti. Malli takaa *johdonmukaisuuden*, joka esitettävissä kaiken oleellisen formaalin tiedon mukaisesti. *Suunnittelua* tukeva malli huomioi esimerkiksi budjetoinnin, aikataulutuksen ja käytössä olevat resurssit. *Voimaannuttaminen* tapahtuu visualisoinnin, tiedonvaihdon sekä tiedotetun päätöksen teon avulla, joten prosessimallin on huomioitava myös nämä. Prosessin tavoitteena on olla *mukautuva* ja *ketteryä*. Mukautuvuus ja ketteryys voidaan myös ilmaista *integraationa* eri prosessimallien välillä. Mallin integraatio on tärkeää myös eri organisaatioiden välillä sekä kustannuslaskelmien, aikataulutuksen ja riskienarvioinnin saralla. *Yksinkertaisuus* ja *laajennettavuus* ovat prosessille tavoittelun arvoisia, ja helpoin tapa toteuttaa tämä on hyödyntää objektorientoitunutta mallia ja samalla kokonaisuuden hallintaan tähtäävää mallia. *Kehityksen mahdollistaminen* tapahtuu myös mallin avulla, jolloin mallin tavoitteena on takaisinkytkentä. Takaisinkytkentä mahdollistaa silmukkamaisen kehityksen. *Vikadiagnostiikka* mallin pitäisi automaattisesti kyetä havaitsemaan puutteet esimerkiksi integrointiongelmiin tai puuttuvan tuotetiedon suhteen tai vähintään tuettava ongelmien ratkaisua. Työn tuotteistamisprosessit ovat: etenemis-, vaatimuksien-, modulaarisuuden määrittely-, tuotetiedonkeruu- sekä tuotesuunnitteluprosessi.

3.1.1 Etenemisprosessi

Tuotteistaminen rakentuu toimintasuunnitelman ohjaamana. Toimintasuunnitelmaa pidetään etenemisprosessina. Etenemisprosessi hahmotetaan sekä esitetään kaaviona. Tuotteistamisen etenemisstrategia on yksinkertainen vaihe-portti-viitekehityksen avulla toteutettu eteneminen [1]. Päämääränä on rakentaa automaatiotuotemalli sekä lopuksi testata ja validoida yksi automaatiotuote ja -malli. Prosessi toimii vaiheistettuna laatu-prosessina. Tuotteistuksen laatu taataan tarkastelupisteissä eli etenemisprosessin porteissa [1]. Portit toimivat päätöksentekopisteinä, kun taas porttien välisessä vaiheessa on käynnissä useita eri tuotteistamisprosesseja. Ideaalisessa tuotekehitysympäristössä aktivoidaan ja ylläpidetään samanaikaisesti useita eri prosesseja. Englanninkielinen termi Concurrent Engineering (CE) tarkoittaa suomeksi rinnakkaista insinööriä. Vahvin keino saavuttaa rinnakkaisuus tai samanaikaisuus on koordinoitu tiimityöskentely [18]. Alla esitetyssä kuvassa 12 on esitetty, miltä toimintasuunnitelma näyttää.

Toimintasuunnitelma - ”big picture”



Kuva 12. *Automaattituotteen tuotteistamisen toimintasuunnitelma (mukaihen [1])*

Vaiheissa, joita merkitään kuvassa termillä ”V”, on rinnakkaisia prosesseja käynnissä, kuten sähkö- sekä prosessisuunnittelu. Todellisuudessa tuotteistamisen aikajänne ja laajuus ylittää diplomityön aikajänneen. Tämä tarkoittaa, että yllä esitetty toimintasuunnitelma rakentuu vain yhden tuotemallin implementoinnin (pilottihanke) ja siihen liittyvän tuotesuunnittelun mukaan. Tuotteistamistoimintasuunnitelmassa on asioita, jotka eivät ilmene suoraan toimintasuunnitelman kuvasta, mutta ovat käytännössä tärkeitä ymmärtää, ja jotka on myös esitetty kirjassa [1]:

- Päätöksenteko hajautetaan tarpeen vaatiessa usealle portille.
- Prosesseja on käynnissä hyvässä tilassa useita esimerkiksi sähkösuunnittelu ja ohjelmistosuunnittelu.
- Erillisiä nopeita pulssimaisia palaveriteita, joissa ratkaistaan tietty asia.
- Portteja voidaan lisätä tarpeen vaatiessa
- Vastuunjakomalli luodaan heti projektin alussa.
- Portit toimivat päätöksentekopisteinä, joissa ”tapetaan” tai ”jatketaan” tietyn asian kanssa parissa seuraavassa vaiheessa. (engl. Kill, Go)
- Portteissa määritellään seuraavan vaiheen tavoitteet.
- Toimintasuunnitelmaan implementoidaan visuaalinen fasilitointi¹⁰ tuotteistamisprojektin osalta. Visuaalinen fasilitointi tarkoittaa tuotteistamisprosessin esittämistä mallien avulla.¹¹

Alkuperäinen työssäni hyödynnetty tuotteistamisprosessimalli on esitetty A liitteessä. Alkuperäinen malli on kirjasta *Winning at new products: Accelerating the Process from Idea to launch*. [1]

¹⁰ Fasilitointi tarkoittaa ryhmäprosessien suunnittelua ja toteuttamista.

¹¹ Visuaalinen fasilitointi hoidettiin projektipalaverien powerpoint-esitysten avulla.

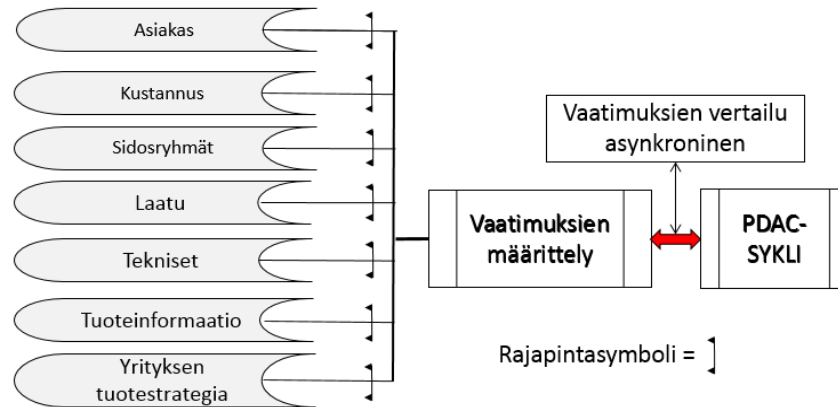
3.1.2 Vaatimuksienmäärittelyprosessi

Tuotteistaminen on teknisen tuotteen ominaisuuksien tunnistamista ja määrittelemistä. Tältä pohjalta tuotteistaminen voidaan nähdä vaatimuksienmäärittelyprosessina. Vaikka insinöörien mielestä vaatimuksien määrittelemine on pelkästään teknistä ”specsaaamista”, tulkitaan vaatimuksien määrittely prosessina, joka summaa tuotteessa olevat vaatimukset eri rajapintojen (asiakas, myynti, valmistus, projektiorganisaatio) kautta. Tästä syystä tuotteistamisessa on kaksi läpi projektin kulkevaa aliprosessia, jotka ovat vaatimuksien määrittäminen ja vaatimuksien spesifikaatio eli tarkentaminen. Lopulta vaatimuksien määrittäminen muodostuu tarpeellisten vaatimuksien tunnistamisesta toisin sanoen tuotteistettavan automaatiotuotteen vaatimuksienmäärittelyprosessi alkaa vaatimustekijöiden tunnistamisesta ja määrittämisestä:

- Asiakasvaatimukset
- Kustannusvaatimukset
- Tekniset vaatimukset
- Laatuvaatimukset
- Tuoteinformaatiovaatimukset
- Sidosryhmien vaatimukset
- Yrityksen tuotestrategian vaatimukset

Tärkeää on tunnistaa eri vaatimuksien välillä olevat ristikkäisvaikutukset. Ristikkäisvaikutukset tarkoittavat eri vaatimuksien välisiä linkityksiä, tehtäviä ja vaihtelua. Ristikkäisvaikutuksien huomioimiseksi helpointa on määritellä projektiorganisaation asianosaiset vastuuhenkilöt sekä heidän tehtäväroolinsa. Yleensä prosesseissa, joissa on suuri vaihtelevuus, on ristikkäisvaikutuksien määrä pidettävänä pienenä [19, p. 223]. Tuotteistamisessa vaatimuksien vaihtelevuus on alussa idea vaiheessa suuri tarkoituksenmukaisesti, jotta tuotteistamisen kohde saadaan kartoitettua. Vastaavasti alun etenemisvaiheissa vaatimuksien määrä vaihtelee vaatimuksien tarkentumisen vuoksi. Loppua kohden vaatimukset lukittuvat tarkasti aloilleen. Vaatimuksien määrää ohjaa etenemisprosessissa tehdyt päätökset.

Tuotteistamiseen vaikuttavat vaatimustekijät on eriteltävä. Vaatimuksien asetteluun liittyvät rajapinnat, joista saadaan vaatimuksia. Vaatimuksienmäärittelyprosessiin rajapintojen läpi eksplisiittisesti tulevat vaatimukset ovat esitetty Kuva 13. Rajapinnat on tarpeen määrittää, sillä kaikkia vaatimuksia ei ole tarpeen saati edes mahdollista tai järkevää hallinnoida itse. Erilliset rajapinnat on myös hyödyllistä määrittää, jos haluaa eritellä vaatimuksien tyypit sekä hallinnointi. Tosiasiassa vaatimuksilla on myös ristikkäisvaikutuksia, kuten edellä kuvassa 13 on esitetty. Esimerkiksi kuvassa esitetyiltä sidosryhmiltä tulevat vaatimukset voivat olla liian kalliita kustannusteknisesti tai tuoteinformaatio on liian monimutkaista tai laajaa, jolloin käytettävyys laskee eri sidosryhmien kohdalla.



Kuva 13. Kuvassa on esitetty vaatimuksien muodostuminen. Vaatimukset tulevat eri rajapinnoilta. Rajapintojen tehtävä on tarjota vaatimuksien erottelu ja hallinta. (mukaillen [20].)

Kuva 13 esitettyssä oikeanpuoleisessa prosessissa pyörii aliprosessina: aikaan saaminen, erittely, analysointi sekä uudelleen-arviointi, mikä on sama kuin PDAC-sykli (engl. Plan-Do-Act-Check-Cycle). PDAC-sykli tarkoittaa ja poistaa vaatimuksia. Vaatumuksienmäärittely ja PDAC-sykli yhdessä määrittävät yksittäisen vaatimuksen, joka saattaa etenemisprosessin edetessä muuttua täysin asynkronisesti (ei-reaaliaikaisesti). Vaatimukset ohjaavat tuotemallia ja tuotetta. Vaatumuksien määrittely on osa asiakas tyytyväisyyden ja laadun takaamista. Vaatimukset asetetaan toteen työn menetelmien avulla. Tärkeää on ymmärtää, että vaatimuksien määrittely on myös jatkuvaa ja iteratiivista toimintaa. Se lähtee liikkeelle tosi-asioista eikä keskity tuotteistamisen mukavuuden takaamiseen – vaan puhtaasti realiteetteihin, jotka ohjaavat tuotetta. Toisaalta on ymmärrettävä, että tuotteistaminen voidaan mallintaa pelkästään vaatimuksienmäärittelyprosessina, mutta pelkästään vaatimukseen keskittyminen tappaa innovatiivisuuden. [20] Diplomityössä vaatimukset kuitataan seuraavaksi esitettyjen menetelmien avulla.

Asiakasvaatimukset

Asiakasvaatimukset muodostuvat voimalaitoksen tehdasmallin mukaisista vaatimuksista. Asiakasvaatimukset ovat työssä samat kuin voimalaitoksen tai voimalaitosympäristön vaatimukset. Tarkemmin vaatimuksia kuvaava tehdasmalli on esitetty Taulukko 1 luvun 2 alussa.

Kustannusvaatimukset

Kustannusvaatumuksien rajapinta hyödyntää *tuloksen arvomenetelmää*. Menetelmän avulla kustannukset budjetoidaan tai suunnitellaan tuotemallille. Tuotemallille luodaan seuranta.

Laatuvaatimukset

Kuten edellä esitetystä etenemisprosessista kävi ilmi, vaihe-portti-viitekehystä hyödyntävä prosessi on myös laatu prosessi. Laatu prosessi ohjaa laatutekijöitä ja kriteerejä, joita

prosessista ulostulevan tuotteen tulee saavuttaa. Laatuksiteerit koskevat esimerkiksi seuraavia tuotteen ja tuotemallin materiaalisia, että immateriaalisia ominaisuuksia. Immateriaalisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi myynti-, suunnittelu-, valmistus-, testaus-, käyttö- ja ylläpitodokumentaatio. Materiaalisia laatutekijöitä ovat esimerkiksi ohjauskotelon koko tai käyttöliittymäkomponenttien määrä.

Tekniset vaatimukset

Tekniset vaatimukset osoitetaan tuotteen testauksen avulla. Tuotteen testaukselle on laadittu erillinen poltinautomaation *testaussuunnitelma*.

Sidosryhmiltä tulevat vaatimukset

Toimitusprojektin mukaiset vaatimukset tulevat tuotemallille toimitusprojektin sidosryhmiltä. Sidosryhmät on esitelty Kuva 10 luvussa 2. Sidosryhmien vaatimukset helpointa käsitellä yksitellen sidosryhmäkohtaisesti, jolloin helpoimmillaan menetelmänä riittää yksinkertainen haastattelu. Toisaalta esimerkiksi valmistajan kanssa tehtävään yhteistyöhön voidaan käyttää tuotemallin modulaarisista *strukturoidintia*, jossa esitellään tuotemallisiin sidonnaiset komponentit.

Tuoteinformaatiovaatimukset

Tuoteinformaatio vaatimuksien määrittäminen on tuotemallin monistettavuudelle sekä käytettävyydelle tärkeää. Tuoteinformaation käytettävyys muodostuu tuotetietojärjestelmien sekä sidosryhmien mukaan. Tuoteinformaatio kerätään *tuotetietomalliin* vaatimuksien mukaisesti.

Yrityksen tuotestrategian mukaiset vaatimukset

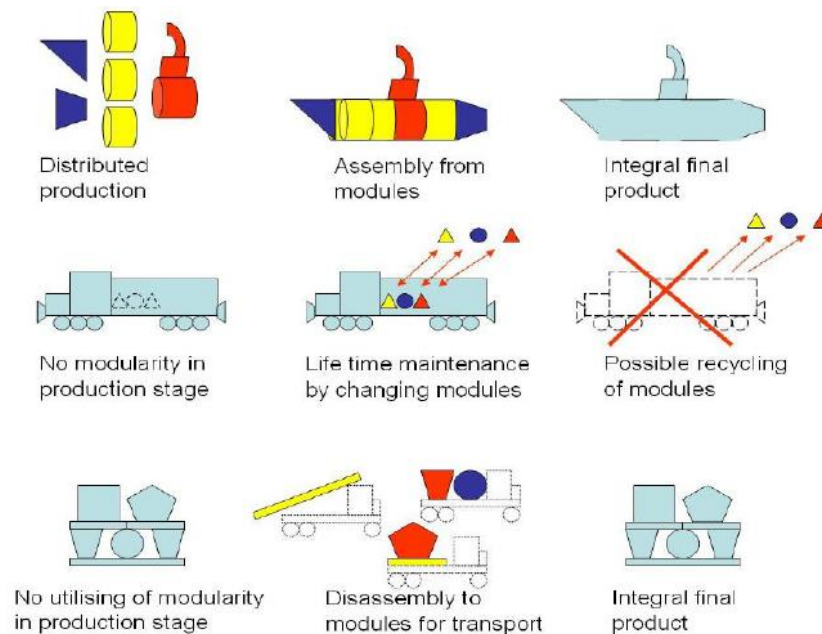
Tuotteistamista ohjaa vahvasti tuotestrategian mukaiset vaatimukset, jotka määritellään ideointivaiheessa sekä uudelleen arvioidaan jokaisen tuotemallin kohdalla. Vaatimukset esitetään *CSL-viitekehysmallin*¹² mukaisesti. CSL-malli on tuotestrateginen kartta, joka luo samalla pohjaa tuoterakenteelle ja sitä kautta tuotemallille [4]. Tuotestrateginen kartta on suppea asetelma vaatimuksien esittämiseksi.

3.1.3 Modulaarisuuden määrittelyprosessi

Modulaarisuus on enemmän kuin pelkkä suunnittelutekniikka. Se vaikuttaa koko tuotteen elinkaareen, vaikkakin sen soveltaminen painottuu tuotesuunnittelun alkuvaiheisiin. Modulaarisuus on linkitysmekanismi tuotteen toiminnallisten ja rakenteellisten ominaisuuksien välillä läpi tuotteen elinkaaren [21, pp. 84-85]. Itse voin todeta vain, että modulaarisuuden määrittämiseen on olemassa useita eri viitekehysmalleja. Tuotemallin rakenteessa on tunnistettavissa modulaarisuus, jota Timo Lehtonen tutki väitöstyönsä luvussa seitsemän. Modulaarisuus voidaan Lehtosen väitöstyön mukaan nähdä teollisten tuotteiden evoluutioon liittyvänä ilmiönä, joka on muuttunut historian saatossa. Suunnittelutieteille

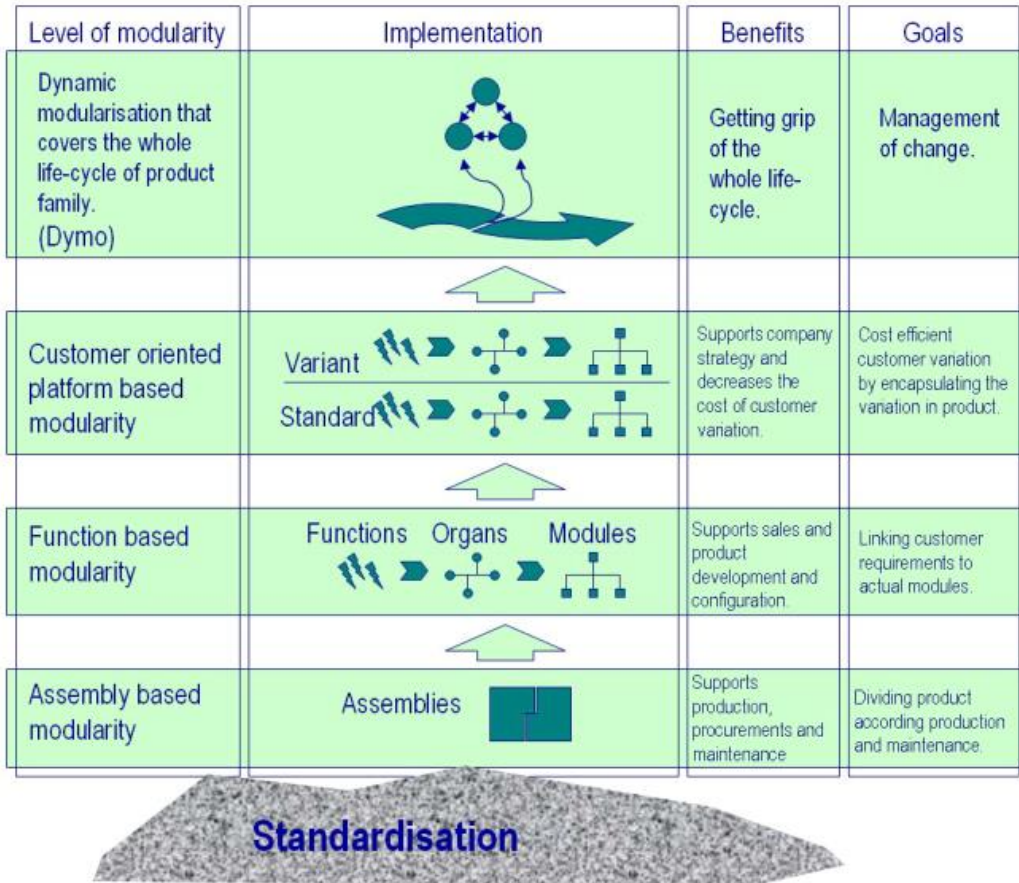
¹² Alkuperäinen lähde: Juuti, T., Lehtonen T., Riitahuhta A., ”Managing re-use for agile new product development”, Proceedings of ICED07 (electronic publication on CD disk), Design Society, Paris, 2007

modulaarisuus on väitöstyön perusteella näytellyt tärkeää roolia yhdessä teollisen standardoimisen kanssa pidemmän aikaa. Väitöstyössä tämä esitettiin teoriana modulaaristen tuoterakenteiden evoluutiosta. Tärkein ammennettava tietous oli modulaaristen tuoterakenteiden rakentuminen, joka on jaoteltu väitöstyössä kahteen kategoriaan: varioitavuuteen eli tuotemuunteluun liittyvään modulaarisuuteen tai tuotteen elinkaareen liittyvään modulaarisuuteen. Toisin sanoen modulaarisuuden määrittelyprosessikin voidaan jakaa kahteen osaan, jotka ovat konfiguroitavuuden määrittely sekä tuotteen elinkaaren mukainen modulaarisuus. Väitöstyössä esitetään, että tuotteen muunteluun perustuva modulaarisuus pohjautuu systeemiin, joka mahdollistaa tuotemuuntelun. Vastaavasti tuotteen elinkaareen perustuva modulaarisuus, ei mahdollista tuotemuuntelua. Alla kuvassa 14 on esitetty elinkaaripohjaisen modulaarisuuden perusidea.



Kuva 14. Elinkaarimodulaarisuus [4, p. 90]

Tuotteen elinkaareen perustuva modulaarisuus voidaan jaotella *valmistussyihin*, *ylläpitösyihin* sekä *logistiikkasyihin* perustuvaan modulaarisuuteen. Valmistussyihin perustuvat modulaarisuus on esitetty kuvan yläosassa. Tuote jaetaan valmistuksessa kokoonpanomoduuleihin tuotannon hajauttamiseksi. Kokoonpanon jälkeen ei hyödynnettä tuotteen modulaarisuutta. Logistiikkasyihin perustuvat modulaarisuus on esitetty kuvan alaosassa. Tuote kasataan kokonaisuudeksi tuotantohallissa, ja sen jälkeen purkaa moduuleiksi kuljetusta varten, missä se taas kootaan nopeasti ja mahdollisimman vähällä työvoimalla. Ylläpitösytyt ohjaavat modulaarisuutta tuotteen jaettua ylläpitoa sekä kierrätystä vaativien osien moduulien perusteella (kuvan keskimäinen rivi). Tällöin moduulit tuotteessa on helppo vaihtaa uusiin tai käyttää uudestaan, kun muu tuote poistuu käytöstä. Modulaarisessa tuotejärjestelmässä on tunnistettavissa eri tasoja. [4] Kuvassa 16 on esitetty modulaarisen tuotekehityksen tasot. Valmistus komponentit luovat standardoinnin perustan, joka on myös esitetty kuvan 15 alalaidassa.

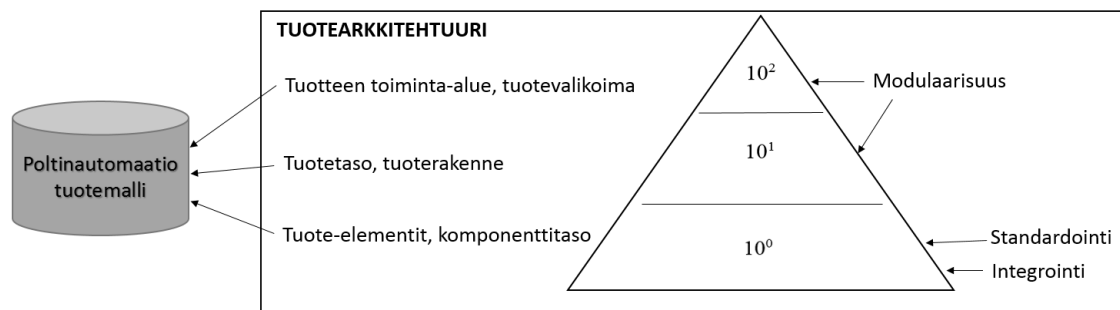


Kuva 15. Teoria modulaarisen tuotemallin kehittämisestä. [4, p. 92]

Modulaarisen tuotemallin kehitys alkaa standardi valmistuskomponenteista (engl. Assembly based modularity), mikä tukee hankintaa, valmistusta sekä huoltoa. Tavoitteena vaiheessa on jakaa tuotteen komponentit valmistuksen mukaisesti. Seuraavassa tasossa modulaarisuus muuttuu tuote-elementtien määrittämiseksi, joka tukee tuotemuunteluun, myyntiin ja toiminnalliseen tuotekehitykseen perustuvaa modulaarisuutta (engl. Function based modularity). Tuote-elementit ovat myös moduuleita, mutta rakenteellisen ominaisuuksien lisäksi moduuleilla on myös funktionaalisia ominaisuuksia, joita voidaan määrittää esimerkiksi suunnitteluparametrien avulla. Vaiheessa linkitetään asiakasvaatimukset oikeisiin tuotemallin elementteihin. Esimerkiksi poltinautomaation käyttöliittymä funktiot ovat toiminnallista modulaarisuutta, sillä asiakas voi haluta tietyt ominaisuudet sisältävän käyttöliittymän poltinautomaatiolle. Seuraavalla tasolla modulaarisuus rakennetaan asiakaskohtaisen platformin avulla (engl. Customer oriented platform based modularity). Platform tarkoittaa useampaa tuotemallia tai yhteistä moduulia jota asiakkaalle voidaan tarjota. Tuotemalleilla voi olla eri muunneltavuuskyky. Platform taso rakentuu tukemaan yrityksen tuotestrategiaa, ja vähentää asiakkaan vaatimuksien mukaista tuotemuuntelua, koska tuotemallien määrä tarjoaa asiakkaalle enemmän vaihtoehtoja. Ylimmällä tasolla modulaarisuus muuttuu koko tuoteperheen hallinnaksi. Tuoteperheessä voi olla esimerkiksi tuotteen elinkaaren perustuvia ratkaisuja, joita hyödynnetään esimerkiksi logistiikassa tai myynnissä. Väitöstyössä esitettiin myös toinen tärkeä havainto kos-

kien modulaarista tuotesuunnittelua. Tuotesuunnittelu, joka perustuu tuotteen toimintorakenteeseen, ei ole mahdollista ilman iterointia. Toisin sanoen on jo alusta asti selvää, että työssä rakennettava tuotemalli tulee olemaan ensimmäisen evoluutiokierroksen malli, joka päivittyy tulevaisuudessa. [4]

Poltinautomaatiotuote koostuu sähköistyksen, kenttälaitteiden ja ohjausjärjestelmäkokoaisuudesta, kuten luvussa 2 on esitetty. Poltinautomaatiotuote on yhdistelmä sekä rakenteellista että toiminnallista modulaarisuutta. Esimerkiksi paikallisohjauskotelo on rakenteellinen komponentti, kun taas siinä oleva polttimen käynnistyspainike on toiminnallinen komponentti. Poltinautomaation rakenteellisuuteen ja toiminnallisuuteen perustuvaa modulaarisuutta kuvaa, miten Anna Ericsson esittää tuotearkkitehtuurin muodostumisen. Ericssonin mukaan modulaarisuus määrittellään tuotteen osien hajottamisena kolmelle eri tasolle [6, p. 18]. Tasot on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Poltinautomaation tuotemallin muodostuminen Ericssonin mallia mukailleen [6]

Ericssonin esittämä tuotearkkitehtuuri koostuu komponenttitasosta, tuoterakenteesta sekä tuotteen toiminta-alueesta. Ylin taso on poltinautomaatiotuotteen toiminta-alue. Toiminta-alue muodostuu automaatiotuotteen soveltuvuudesta voimalaitokseen verrattuna tuotevalikoimassa oleviin kilpaileviin tuoteratkaisuihin. Tuotearkkitehtuurin pohja muodostuu komponenteista. Tuotteen komponentit usein standardoidaan sekä integroidaan. Standardointi tarkoittaa, että samaa komponenttia, esimerkiksi ohjauskoteloä käytetään toimitusprojektista toiseen. Integrointi tarkoittaa esimerkiksi, että paikallisohjauskotelo voidaan ”integroida” mekaanisesti kiinni venttiilikoneikkoa, jolloin toimitus tapahtuu yhtenä pakettina (logistinen syy). Tuote-elementit ovat komponenteista muodostettuja synteettisesti integroituja kokonaisuuksia. Tuote-elementit rakentavat tuoterakenteen yhdessä komponenttien kanssa. Modulaarisuuden määrittely esitetään työssä tuotearkkitehtuurin rakentamisella tuote-elementeittäin.

Modulaarisuuden tuotearkkitehtuuriin perustuva määrittely ei kuitenkaan riitä, sillä poltinautomaation modulaarisuuden esittäminen toimitusprojektioorganisaatiossa on huomioitava. Tuotteen modulaarisuuden ohjaustekijät rakentuvatkin sidosryhmien sekä tuotearkkitehtuurin ohjaamana. Projektiliiketoiminnan sidosryhmät, ovat avainasemassa, modulaarisuuden määrittelyssä. Taulukossa 4 on esitetty syy tähän.

Taulukko 5. Tuotteen modulaarisuutta ohjaavat tekijät (mukaillen [5])

Yrityksen toiminto	Modulaarisuutta ohjaava tekijä		
Myynti	Asiakaskohtaisiin vaatimuksiin osuminen		
Suunnittelu ja tuotekehitys	Tuoteominaisuuksien siirto seuraavaan		
	Tekninen kehitys		
	Tuotteeseen suunnitellut:	Kustannukset	Muutokset
Varioituvuus	Tekninen variointi		
	Ulkonäöllinen variointi		
Valmistus	Yhteinen yksikkö - Sarjatuotanto		
	Tuotantoprosessi/organisaatio		
Laatu ja hallinta	Erillinen testaus / pilotointi / validointi		
Alihankinta	Soveltuva toimittaja saatavilla		
Palveluliiketoiminta	Huolto/kunnossapito		
	Parannus/päivitys		
	Kierrätys/uudelleen käyttö		
Strategia	Tuotemallin elinkaaren hallinta		

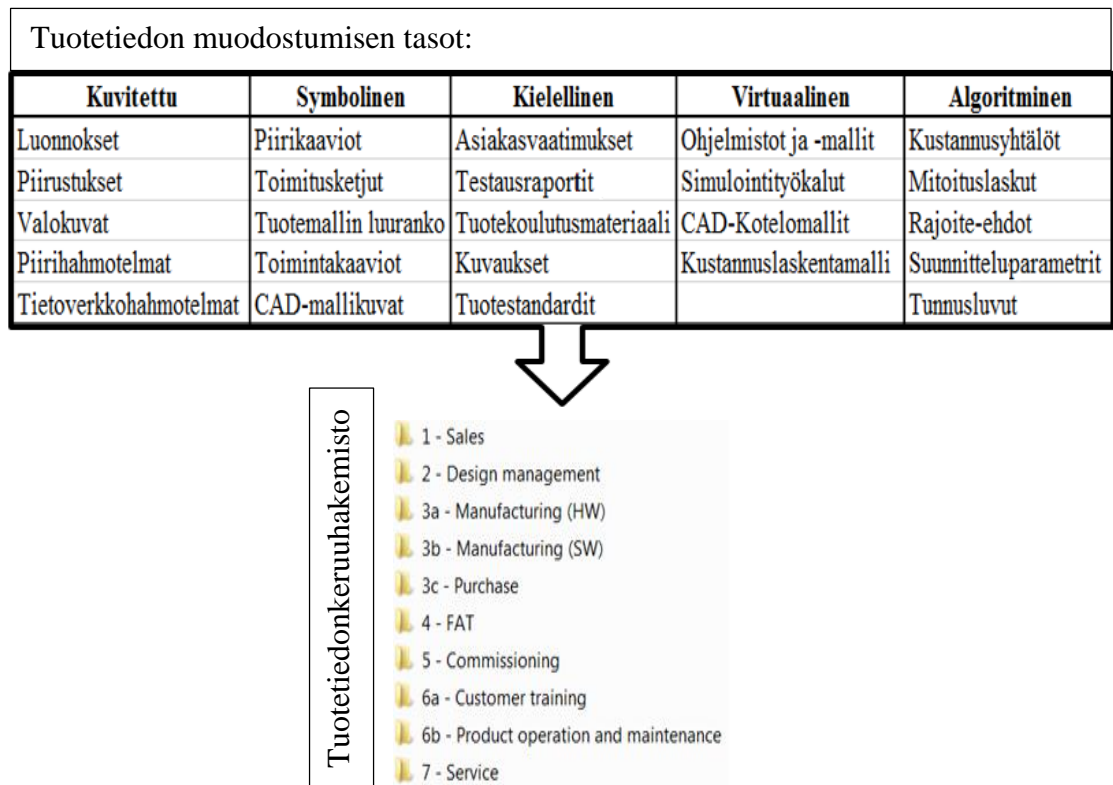
Tuotteen modulaarisuudella on monta ohjaavaa tekijää [5]. Tekijät ohjaavat tuotteen modulaarisuuden määrittämistä esimerkiksi tuotteen elinkaaren sidosryhmien välityksellä. Tekijät valjastetaan sidosryhmiltä tulevien vaatimusten avulla modulaarisen suunnittelun käyttöön. Poltinautomaatiotuotteen modulaarisuuden määrittely nojaa tuotearkkitehtuurin pohjaan sekä sidosryhmiin. Tuotearkkitehtuuria ohjaavan prosessikokonaisuuden oletetaan olevan työn sovellusosuudessa luvussa 4 rakenteellisesti standardoitu. Oletus helpottaa modulaarisuuden määrittelyä.

3.1.4 Tiedonkeruuprosessi

Haastattelut ohjaavat työtä, tuotesuunnittelua sekä varsinaista tuotemallin implementointia. Tuotetietoa kerätään haastatteluilla ja kyselyillä. Tuotetietoa tarvitaan, niin prosessitekniikkaa sekä automaatiota koskevissa kysymyksissä kuin itse tuotemallin määrittämisessä. Suurin osa tiedosta, joka tuotteeseen liittyy, on kerättävissä työntekijöiden tietäidosta sekä tietämyksestä. Tiedonkeruun ja erityisesti luotavan tuotemallin kannalta on tärkeä ymmärtää, että tietoa voidaan jaotella tuotteisiin liittyväksi *implisiittiseksi tai hiljaiseksi tiedoksi* ja *eksplisiittiseksi tietämykseksi* [22, p. 18]. Implisiittinen tietämys on sellaista, joka on henkilökohtaista, kokemukseen perustuvaa tai jotain, joka liittyy johonkin eli sillä on aina jokin konteksti. Hankalaa implisiittisellä tiedolla on sen laatiminen pätevään ja kaikille uudelleen käytettävään muotoon. Vastaavasti eksplisiittinen tieto on sellaista, jota voidaan edelleen koontaa yhteen numeerisesti, tekstein tai graafisesti. Toisin sanoen eksplisiittinen tieto soveltuu kommunikointiin ja tiedonvaihtoon osapuolien välillä.

Kuva 17 on esitetty esimerkki, miten tietoa analysoidaan, jos tietoa jaotellaan eri tasoille. Pohjana taulukolle pidetään ”KBE”-ajattelua (engl. Knowledge Based Engineering).

KBE ajattelusta käytetään suomenkielessä termiä tietopohjainen suunnittelu. KBE ajattelun tavoitteena on jäsentää tuotetieto ja tiedosta muodostettava tuotemalli hallittavaan muotoon. Hallittavuuden (engl. controllability) jälkeen voidaan esimerkiksi automatisoida tuotemalleja lisäämällä älyä tuotemallien konfigurointiin [23]. Puhuttaessa tuotemallin konfiguroinnista kyseessä on algoritminen tietotaso, jonka muodostuminen on esitetty kuvassa 17 oikeassa yläkulmassa. Todellisuudessa tuotteistaminen lähtee usein kuvitetun tiedon hyödyntämisestä, jolloin laaditaan asian ja kontekstin hahmottamiseen käytettyjä piirustuksia tai luonnoksia. Luonnokset on esitetty kuvassa 17 vasemmassa yläkulmassa. Tuotesuunnittelun tiedot voidaan jaotella sekä kerätä kuten kuvassa 17.

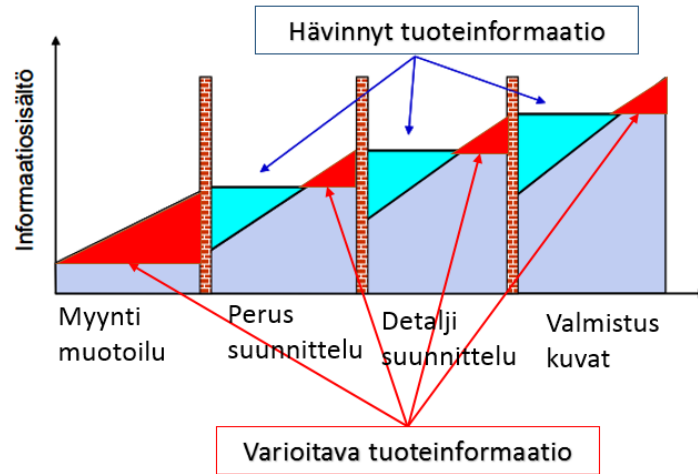


Kuva 17. Kuvassa on suunnittelutiedon muodostumisen tasot mukailleen (yllä) [24]. Kuvassa tuotetiedon sidosryhmäkohtainen ja hakemistopohjainen tiedonkeruumalli Kuva 10 mukaisesti (alla).

Yllä esitetty suunnittelutiedon jaottelu on eräs tapa hahmottaa tuotesuunnittelua sekä kerätä tuotetietoa. Hyvin suunniteltu tuotetiedonkeruurakenne mahdollistaa tiedonkulun tukemisen eri sidosryhmien välillä ja rakenne erityisesti hahmottaa sidosryhmien roolia tuotteistamisessa. Käyttämäni ja kuvassa 17 esitetty tiedonkeruuhakemistorakenne rakentuu sidosryhmittäin ja pilottituotteen tiedot sijoitetaan hakemistorakenteeseen.

Tuotetietojärjestelmiin tallennettua tuotetietoa käytetään uudelleen toimitusprojekteissa. Tuotetiedonkeruun sekä tuotetiedon hallinnan tietojärjestelmätekniinen ongelma on, että tuoteinformaatiota häviää tai informaatio muuttuu muotoaan toimitusprojekteissa. Tuotetiedonkeruuseen pitääkin suhtautua kriittisesti, ja pyrkiä säilyttämään vain kaikkein

oleellisimmat tiedot, joilla muodostetaan toimitusprojekteja tukeva rakenne. Alla on esitetty informaation häviäminen toimitusprojektin tietojärjestelmiä. Samassa kuvassa on tuotteen ja tuotetiedon muunteluun perustuva varioitavan tuoteinformaation rakentuminen.



Kuva 18. *Tietojärjestelmien välisen tiedonsiirron perusongelma tuotemallin näkökulmasta projektiorganisaatiossa (mukaillen [25, p. 12])*

Tietopohjainen tiedonkeruu luo pohjaa tuotetietojärjestelmiin suunniteltavalle tuotemallille. Tuotemallissa on huomioitu tarpeellinen informaatioisisältö sekä varioitavat informaatioisisältö. Tietopohjainen tuotemallin suunnittelu estää informaatioisisällön köyhtymisen, sillä tuotetiedon siirtoketjun mukainen tuotetieto rakennetaan tuotemalliin. Tuotetiedonkeruun tuloksena saatavan tuotetiedon tarjoamat palvelut ovat monipuolisia. Käytännötasolla hyvin rakennettu tuotetiedonkeruurakenne luo uusia ideoita, tuotekehitys ja -suunnittelupohjaa ja mahdollistaa tehokkaan tuotteistamisen.

3.1.5 Tuotesuunnitteluprosessi

Tuotesuunnitteluprosessin tavoitteena on suunnitella poltinautomaatiotuote. Esimerkkinä käytettävä raskasöljypoltin ja sitä ohjaava poltinautomaatio ovat osa monimutkaisempaa voimalaitosjärjestelmäkokonaisuutta. Poltinautomaation on kyettävä vastaamaan voimalaitosjärjestelmältä tuleviin vaatimuksiin tehdasmallin mukaisesti (Taulukko 1). Voimalaitosjärjestelmän vaatimukset ohjaavat tuotesuunnitteluprosessia ja vaatimukset perustuvat muun muassa prosessikytköksiin. Kytkökset ovat tulkittavissa suhteina, jotka kuvaavat prosessien välisiä vuorovaikutussuhteita. Jos poltinautomaatiojärjestelmää pidetään suljettuna osajärjestelmänä, voidaan poltinautomaatiolle hahmottaa kytköksen perusteella rajapinnat muihin voimalaitoksen osajärjestelmiin. Osajärjestelmät vaikuttavat poltinautomaation toteutukseen ja niiden määrittäminen on osa tuotesuunnitteluprosessia. Poltinautomaation toteutukseen vaikuttavia prosessikytköksiä on esitetty alla taulukossa 6.

Taulukko 6. *Poltinautomaation rakentumiseen vaikuttavat osajärjestelmät*

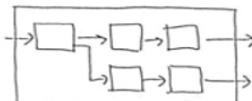
Osajärjestelmät:	Kytköstyyppi:
Voimalaitos	Voimalaitoksen tyyppi ja tehon tarve
Kattila (osajärjestelmä)	Kattilan rakenne, muu polttolaitteisto ja niiden sijainti
Polttoilmakanava(t) (osajärjestelmä)	Poltinkohtainen, Poltinryhmäkohtainen, Sekundääri-ilma happi-korjaus
Polttoaineen syöttökanava(t) (osajärjestelmä)	Poltinkohtainen, Poltinryhmäkohtainen
Savukaasukanava (osajärjestelmä)	CO _x -korjaus, O ₂ -korjaus

Osajärjestelmät on esitetty taulukossa 6 täysin synteettisessä muodossa. Tätä synteettistä osajärjestelmä ajattelua tukee myös Lehtosen väitöstyössään esittämä¹³ Theory of Domains. Theory of Domains esittää, että teknisen prosessin tai järjestelmän suunnittelu-tehtävät voidaan esittää suunnitteluvaiheiden perusteella. Suunnitteluvaiheet ovat domaineja, joissa tuote esiintyy erilaisissa synteettisissä muodoissa. Theory of domains selittää, että yhdessä tuotteessa on monta päällekkäistä rakennetta tai näkökulmaa. Esimerkiksi tuotteen valmistuksen vallitseva näkemys voi olla numeroidut johdotuskuvat mutta myyntiä tai asiakasta tämä näkemys ei välttämättä palvele ollenkaan. Käytännön tuotteen suunnittelutehtävät nähdään domain teorian mukaan neljän eri osa-alueen perusteella, jotka vaihtuvat varsinaisen näkökulman perusteella. Ne ovat prosessi-, vaikutus-, orgaani sekä osasysteemi. [4]

Domain teoria esittää synteetin rakentumisen

The domain theory explains the structuring of the synthesis

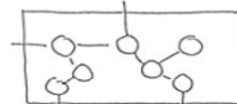
Prosessi systeemi
Process system



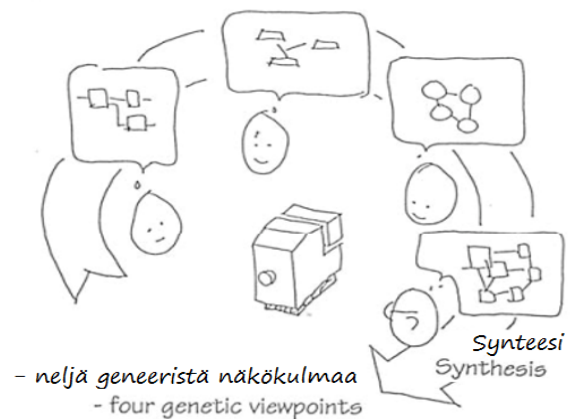
Vaikutussysteemi
Effect system



Orgaanisysteemi
Organ system



Osasysteemi
Part system



Synteesi = poltinautomaatiotuote

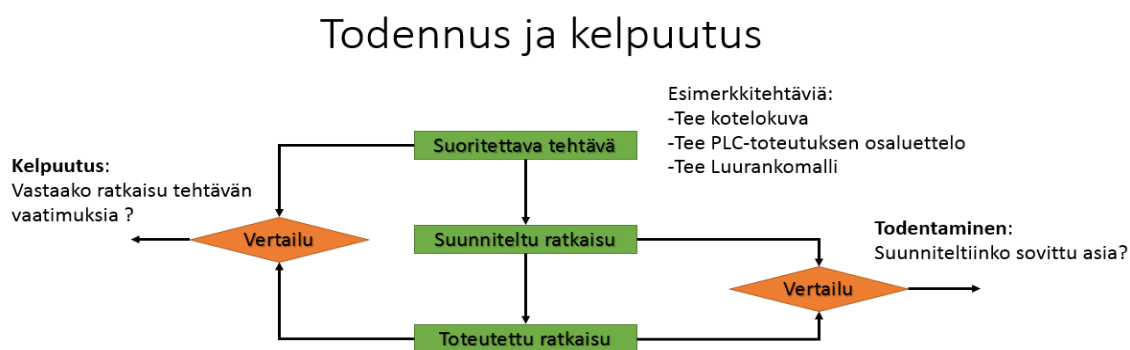
Kuva 19. *Domain teoria (mukaien [4, p. 22])*

Käytännön suunnittelutehtävien näkökulmasta *Kuva 4* esitetty prosessikaavio esittää domain teorian mukaista synteettistä prosessisysteemiä (engl. Process system). Vastaavasti *Taulukko 6* esittää synteettisiä toiminnallisia riippuvuussuhteita tai toimintosysteemiä

¹³ Alkuperäisen esityksen lähde on Adreasen: luentomoniste 1997

(engl. Effect system). *Kuva 19* on esitetty domain teorian mukaisesti tapahtuva poltinautomaatiotuotteen muodostuminen. *Kuva 19* esitettyinä on myös kaksi viimeisintä synteettistä suunnittelumallia, jotka ovat orgaanisysteemi (engl. Organ system) sekä osasysteemi (engl. Part system). Tuotesuunnittelu eroaa projektikohtaisesta automaatiosuunnittelusta, sillä tuotesuunnittelija ei suunnittele suoraan tuotetta asiakkaalle, vaan esimerkiksi muiden tuotetta koskevien sidosryhmien käyttöön, kuten domain teoria esittää.

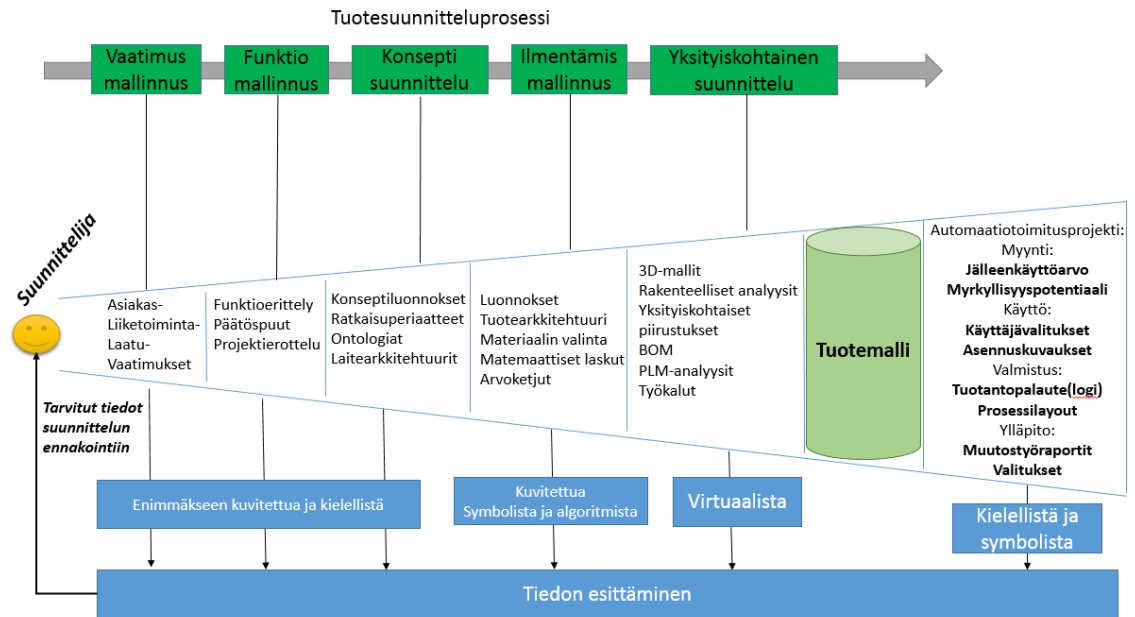
Tuotesuunnittelu on tuotetiedon rakentamista, niin että tuotetieto rakennetaan muotoon, josta tiedosta jalostetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti tuote asiakkaalle. Tuotesuunnittelu, kuten suunnittelu yleensäkin, koostuu itse suunnittelusta mutta myös suunnittelun todentamisesta sekä suunnittelun kelpuuttamisesta. Todentamiset sekä kelpuutukset voidaan esimerkiksi asettaa etenemisprosessin mukaisesti sen portteihin. Suunnittelu on helpoin esittää kuvassa 20 esitettyllä prosessikaaviolla.



Kuva 20. *Tuotesuunnittelu (mukaillen [14])*

Diplomityön osalta kuvassa esitettyjen suunnittelutehtävien määrä valotetaan tarkemmin tuotesuunnittelu luvussa 4.1, jossa määritetään tuotesuunnittelun laajuus. Todellisuudessa tuotesuunnitteluprosessi alkaa heti ideointivaiheessa. Ja jatkuu läpi etenemisprosessin eri vaiheissa ja yhdessä muiden tuotteistamisprosessien kanssa. Tuottamisprojektin prosesseista ”valunut” tietous jalostetaan suunniteltuun tuotemalliin. On huomioitava, että tuotesuunnittelu ei etene aina järjestelmällisesti ja onkin enemmän luonteeltaan iteratiivista, rekursiivista sekä asynkronista [24].

Tuotesuunnittelu ja -tiedon varastointi on pitkäjänteistä toimintaa, jonka tuloksia mitataan vasta tuotteen toteutusvaiheessa. Tuotesuunnittelussa luotu sisältö nivotaan yhteen osaksi tuotemallia. Tietopohjaisen suunnittelun syvyyksistä ja pienemmistä paloista muodostuu automaatiota koskettava tuotemalli. Mallin muodostumista tiedon esittämisen kautta on kuvattu kuvassa 22.



Kuva 21. Tiedon esittäminen ja tuotesuunnitteluprosessi (mukaillen [24, p. 18]).

Tuotesuunnittelu on työtä, jota tehdään pääasiassa uusia tuotteita koskevan suunnittelu-tiedon aikaansaamiseksi ja erityisesti uusien tuotteiden tuotantoon saattamiseksi. Tuote-tieto rakentuu toimitusprojektia palvelevaksi tuotemalliksi, kuten kuvassa 21 esitetty. Tuotetiedon esittäminen vaihtelee läpi tuotesuunnitteluprosessin aina tuotemallin käyttö-vaiheeseen saakka.

Kuvassa 21 ylhäällä esitetty tuotesuunnitteluprosessi muodostuu *vaatimuksien määrittelystä, funktiomallinnuksesta, konseptisuunnittelusta, ilmentämissmallinnuksesta* sekä *yksityiskohtien suunnittelusta*. Vaatimuksienmäärittely esitettiin edellä kappaleessa 3.1.2. Funktioiden mallintaminen tai erittely suoritetaan esimerkiksi listoina tai kaavioina, jol-loin ne muodostavat kuvitettua tai kielellistä tietoa. Kuvan konseptisuunnittelu tarkoittaa erilaisia ratkaisuideoita poltinautomaatiolle ja sen rakenteelle. Rakenteeseen voidaan suunnitella esimerkiksi erillinen kosketuskäyttöliittymä. Ilmentämissmallinnuksessa arvi-oidaan luotujen konseptien toteutettavuutta. Ilmentämissmallinnuksessa voidaan esimer-kiksi laskea komponenttien todellisia hintoja. Yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa luodaan virtuaalista tuotetietoa, kuten johdotuskaavioita tai kaapelointikuvia. Kaikki tie-dot tallennetaan tuotemalliin.

3.2 Menetelmät

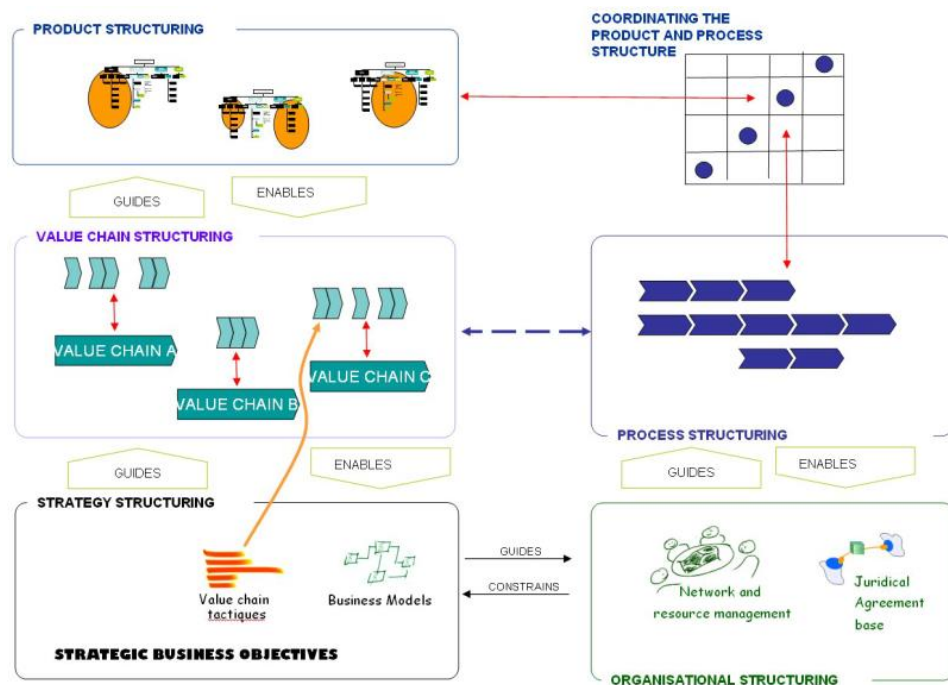
Menetelmät valikoituivat tuotteistamisprojekin ohjaamana. Alla on esitetty menetelmät, joita työssä hyödynnettiin:

- *CSL-viitekehysmalli, Yrityksen tuotestrateginen kartta-asetelma*
- *Tuotetietomallinnus, Modulaarisen tuotemallin tietoarkkitehtuuri*
- *Tuote-elementtien kategorisointi, tuoterakenteen strukturointi varten*
- *Tuloksen arvomenetelmä, kustannuslaskentapohja*

- *V-malli, yleinen kehitysprojektien suunnittelussa ja toteutuksessa hyödynnettävä malli*

3.2.1 CSL-viitekehysmalli

Timo Lehtonen esitti väitöstyössään modulaarisen tuotesuunnittelun välineeksi kaksitasoista suunnittelumenetelmää, jonka avulla luodaan modulaarinen tuotemalli. Ylempi taso suunnittelumenetelmässä hyödyntää CSL-mallia ja alempi taso tuotesuunnitteluun V-mallia, joka saa vaatimuksensa ensin tuotestrategian mukaisesti. CSL-mallin ideana on istuttaa tuotemalli liiketoimintaympäristöön. Toisin sanoen Lehtosen idea on, että liiketoimintaympäristön vaatimuksien pohjalta luodaan modulaarinen tuotemalli. CSL-mallin tavoitteena on kuvata tuotteen rakentumisen avainasiat yrityksen toimintojen ohjaamana. Yrityksen toiminnot ohjaavat tuoterakennetta, niin rakenteellisesti kuin funktionaalisesti. Tuoterakenne on esitetty kuvassa 22 vasemmassa yläkulmassa. [4]



Kuva 22. Viitekehysmalli yrityksen tuotestrateginen kartta-asetelma [4, p. 97]

Yrityksen tuotestrategian hahmottelu muodostuu organisaation tarpeiden ja rajoitteiden tunnistamisesta (engl. Organisational structuring). Näiden pohjalta luodaan arvoketjut (engl. value chain), jotka esittävät yrityksen strategisia tavoitteita tuotemallin osalta. Arvoketjut ovat prosessitekkinen organisaationäkemyks. Arvoketju on joukko tehtäviä, joita yritys tekee tietyllä toimialalla toimittaakseen arvokkaan tuotteen tai palvelun markkinoille. Kun arvoketjut on määritelty, aloitetaan tuoterakenteen suunnittelu (engl. Product Structuring). Organisaatiosysteemi, tuotestrategia sekä arvoketjut ohjaavat tuoterakennetta. Arvoketjut ja organisaatiosysteemi muodostavat sekä ohjaavat toimitusprosessia. Toimitusprosessin ja tuoterakenteen keskinäinen koordinaatio on hiottava erikseen ja yleisesti se vaatii pitkäaikaisempaa organisaation toimitapojen muutostyötä. [4]

3.2.2 Tuotetietomallinnus

Tuotemalli sisältää kaiken oleellisen *toimitusketjuinformaation* tehokkaamman tiedonkulun mahdollistamiseksi. ”Tiedosta käsitteellisellä tasolla puhuttaessa on järkevää muodostaa ensin tietynlainen tiedon typologia, eli tiedon luokittelujärjestelmä, jonka avulla se voidaan luokitella siihen sisältyvien erilaisten ominaisuuksien mukaan.” [26] Yksi tuotesuunnittelu tehtävä on suunnitella *tuotetietomalli*, joka määrittelee formaalisti tuotetietojen tietosisällön. Tuotesuunnittelun tulokset eli tuotetietous ja -sisältö järjestetään, niin että niiden sijainti on määriteltävissä tuotetietomallin perusteella varsinaiseen tuotemalliin. Tuotetietomallin määrittely rakentaa ennakoitua tietosisällön rakenteen tuotemallille ja sitä kautta moduulille. Tuotetietomallintaminen on käytännössä tuotetiedon rakenteen määrittelyä. Tuotetietomalli ohjaa muun muassa, mihin tuotemallin tiedot tallennetaan. IEC standardin mukaiset tuotetietotyypit eli dokumenttityypit on esitetty IEC 61355 standardissa [27]. Taulukossa 6 esitetään yksinkertaistettua tuotetietomallin rakennetta, joka kuvastaa tuotemallin dokumentaatiota.

Taulukko 7. Taulukossa on dokumentaatiota koskeva tuotetietomallinnusesimerkki

<i>Nimike</i>	<i>Tuotetietotaso</i>	<i>Sijainti</i>	<i>Tietotyyppi</i>
<i>Johdotuskuvat</i>	Moduulikohtainen	Tietokanta x	.dwg
<i>HMI-määrittely</i>	Moduulikohtainen	Tietokanta x	functions
<i>Osaluettelot</i>	Moduulikohtainen	Tietokanta x	.pdf
<i>Myyntierittely</i>	Tuotemallikohtainen	Tietokanta y	.xls .pdf

Tuotetietomalli määrittää esimerkiksi tuotemallin dokumenttien, nimen, sijainnin ja laadun. Toimituskohtaisesti muunneltavat dokumentit sisällytetään myös tuotetietomalliin. Tarkempi tuotemallin sisäinen tuotetietomallinnus tehdään jakamalla moduulin tietotyypit *tuotetietokomponentteihin*, jotka voivat olla muutakin kuin dokumentteja esimerkiksi ohjelmistoja tai tiedostoja.

Uuden tuotemallin luominen osaksi tuotetietojärjestelmiä toteutetaan seuraavaksi esitettävillä menetelmillä. Menetelmät valikoituvat työhön etenemisprosessin päätöskien ohjaamana. Tuotetietomalli perustuu yhdessä *luurankomallinnuksen* ja *DFX:n* (engl. design for X) kanssa tietojärjestelmien tarjoamiin työkaluihin sekä tietojärjestelmien rakentamiseen.

Luurankomallinnus

Yksinkertaisin tapa esittää tuotemalli ja sitä kuvaava tuotetietomalli on hierarkkinen puurakenne [28, p. 19]. Puumaista rakennetta¹⁴ käytetään tuotteen tai erityisesti tuotteen rakenteen hahmottamiseksi ja sitä kutsutaan *luurankomalliksi*. *Luurankomallinnus* on tuotemallin visuaalinen esitystapa, jonka avulla voidaan esimerkiksi hahmottaa, mistä tietokomponenteista tuotemalli koostuu. *Luurankomallinnus* esittää myös hierarkiasuhteet,

¹⁴ Luurankomallinnuksesta käytetään myös kalanruotorakenne termiä, engl. fish bone structure

jotka ohjaavat tuotemallin valintaa. Työssä *luurankomallinnuksen* pääfunktio on tuotemallien ja arkkitehtuurin hahmottelu. Tuotesuunnittelussa sitä voidaan esimerkiksi hyödyntää tuotevaihtoehtojen erittelyyn. *Luurankomallinnus* menetelmiä on useita. Ne keskittyvät tuotteen arkkitehtuuriin eri näkökulmista. Katja Hölttä-Otto esittää väitöstyössään kuusi eri tapaa esittää arkkitehtuurit ja toteaa samalla, että ei ole yleisesti tiedossa, mikä menetelmistä on paras tuotetapauskohtaisesti [28, p. 22].

Design For X, DFX

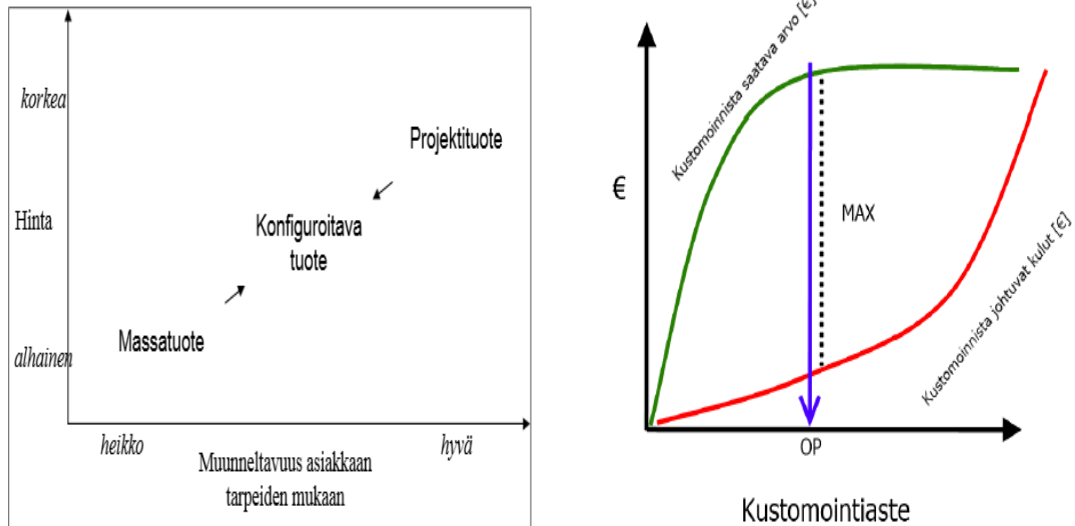
DFX on yksi tehokkaimpia tapoja implementoida rinnakkaista ja samanaikaista suunnittelua [18, p. 1]. Tuotetieto tulee rakentaa käyttäjäkohtaisesti. Design for X tarkoittaakin suomeksi suunnittelua *X:lle*. X voi olla mikä tahansa muuttuja, jota varten jotakin suunnitellaan. Työssä haastattelut ja keskustelut ovat valittu metodeiksi suunnitella tuotemalliin tuleva tuotetieto. Jotta tuotemalli tukee elinkaari modulaarisuutta, on haastatteluissa huomioitava tuotteen elinkaaren sidosryhmäkohtaiset kysymykset. Esimerkiksi myynti vaatii tuotemallilta kustannuslaskelman, jota hyödynnetään läpi toimitusprojektin. Eräs tärkeä asia, joka on huomioitava DFX menetelmää hyödynnettäessä, on luoda sopiva ympäristö tai konsensus. Konsensus tarkoittaa, että asioista luodaan yhteisymmärrys eri osapuolien välillä. Ympäristön luominen tapahtuu inkrementiaalisesti (pienin askelein) ja dynaamisesti, koko ajan vuorovaikuttaen eri sidosryhmien välillä [18, p. 2].

3.2.3 Tuote-elementtien kategorisointi

Tuote-elementit ovat moduuleja, jotka esittävät esimerkiksi tuotteen etukäteen suunniteltuja komponentteja. Konfiguroitavassa tuotteessa käytetään etukäteen suunniteltuja komponentteja. Nämä voidaan jakaa neljään lajiin: *vakiokomponentit*, *muunneltavat vakio-komponentit*, *parametriset komponentit* sekä *muunneltavat parametriset komponentit* [29]. Tulen käyttämään työssä ”komponentti”-termin asemasta ”elementti”-termiä, jotta luodaan erottelu varsinaisten fyysisten komponenttien sekä tuotemallin elementtien välillä selkeämmäksi. Tuote-elementit muodostavat automaatiotuoterakenteen. Tuoterakenne muodostuu automaation toimitusprojektin mukaan.

Parametrisuus I. systemaattinen tuotemuunneltavuus

Konfiguroitavien tuotteiden tuotekehitys- sekä tilaus-toimitusprosessit poikkeavat massa- tai projektituotteen prosesseista. Konfiguroitavan tuotteen tuotekehityksessä määritellään tuotteelle konfiguraatiomalli, jonka avulla yksittäisen tuotteen spesifikaatio luodaan tilauksessa. Konfiguraatiomalli rakennetaan työssä osaksi tuotemallia. Tällöin kyseessä on konfiguroitavissa oleva tuotemalli. Konfiguroitavuutta suunnitellessa on huomioitava kaksi eri paradigmaa. Toinen esittää projekti-, massa- ja konfiguroituvan tuotteen erot asiakkaan tarpeiden ja hinnan suhteen. Toinen paradigma esittää kuinka pitkälle tuotteen konfiguroitavuudesta eli kustomointiasteesta kannattaa mennä ennen kuin merkittävä etu kustomoinnista saatavalle arvolle kärsii siitä syntyvistä kuluista.



Kuva 23. Tuotteen konfiguroitavuuden yleiset paradigmat([26, p. 29]oikea, [24]vasen)

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että projektituotteista konfiguroitaviin tuotteisiin siirrytään lähinnä taloudellisen tehokkuuden parantamiseksi. Tehokkuutta ei kannata parantaa kuin tiettyyn optimipisteeseen saakka. Kustomointiastetta kuvaavassa käyrässä (oikean puoleinen) on esitetty kulujen kasvu suhteessa kustomoinnista saatavaan arvoon. Projektituotteesta kohti konfiguroituvaa tuotetta siirryessä on havaittu monia etuja. Eduista muodostuu samalla modulaarisen tuotesuunnitteluprosessia tukevia elementtejä. Timo Lehtosen esittää väitöstyössään havaintoja konfiguroituvaan tuotteeseen liittyen. Havainnot löytyvät kappaleesta 6.1.2 Konfiguroinnin tavoitteet siirryttäessä projektituotteista [4, pp. 73-76]:

- Tuotepolitiikan selkeyttäminen
- Toimitusprojektin läpimenoajan lyhentäminen
- Laadun parantuminen ja virheiden vähentyminen
- Asiakaskohtaisen suunnittelun eliminointi
- Suunnittelutiedon uudelleen käyttö
- Tuoteyksilön määrittelyn hajauttaminen
- Asiakkaan tilauspisteen siirtyminen myöhemmäksi tilaus-toimitusprojektissa
- Tuotannon ohjattavuuden parantuminen
- Standardointi
- Tiedon kulun ja hallinnan parantaminen
- Myynnin helpottuminen
- Modulaarisuuden parantuminen
- Tilaus-toimitusprosessin uudelleen suunnittelu
- Markkinaosuuden kasvu

Systemaattinen tuotemuuntelu tai konfigurointi tuo moduulin suunnitteluun uuden ulottuvuuden. Konfigurointia tukee modulaarinen tuoterakenne. Yhden moduulin sijainti tuoterakenteessa sekä moduulin sisältämä data, informaatio ja funktiot, ovat ehtoina konfiguroitavuuden implementoinnille moduulikohtaisesti. [26] Modulaariseen tuoterakennetta esitetään *tuote-elementtien kategorisoinnilla*. Tuote-elementtien kategorisoinnilla erotellaan tuotteen muunneltavat ja vakioitoimituselementit. Työssä ei käsitellä elementeissä esiintyviä sääntöjä tai parametreja.

Vakioelementit

Vakioelementit ovat vakiokomponenteista muodostuneita kokonaisuuksia. Kun ne on identifioitu, ominaisuudet tiedetään yksikäsitteisesti. Vakioelementtien käsittely on helppoa, koska ominaisuudet ovat kiinteitä, eivätkä ne sisällä konfiguraatiokohtaisesti muuttuvia parametrisarvoja. Vakioelementeille tarvita niin ikään myöskään sallittuja arvoja tai vakioelementtejä kuvaavia sääntöjä. [29]

Parametriset elementit

Parametristen komponenttien valmistusspesifikaatio muodostuu elementin tuotekoodista tai tuotenimikkeestä. Elementti sisältää yhden tai useamman parametrin tai muuttujan, jonka arvo voi muuttaa tarpeen mukaan etukäteen suunnitelluissa rajoissa. Parametristen elementtien ja niiden mahdolliset arvot suunnitellaan etukäteen. Parametristen elementtien esittäminen on vaikeampaa kuin vakioelementtien, sillä on pystyttävä kuvaamaan, mitä arvoja parametrit voivat saada. [29]

Muunneltavat vakioelementit

Samoin kuin vakioelementeillä, muunneltavien vakioelementtien valmistusspesifikaatioksi riittää tuotekoodi tai tuotenimike. Erona vakiokomponentteihin on, että muunneltavien vakioelementtien ominaisuuksia voidaan muunnella valmistuksen jälkeen. Tämä tarkoittaa, että elementtejä voidaan muuntaa käyttötarkoitukseen sopivaksi vielä valmistuksen jälkeen. Esimerkkinä muunneltavasta ominaisuudesta on mittaus-anturien DIP-kytkin. Kytkin määrittää mittauksen vikaantumissignaalin arvo mitta-asteikon skaalan mukaan (MIN / MAX / 0). [29]

Muunneltavat parametriset elementit

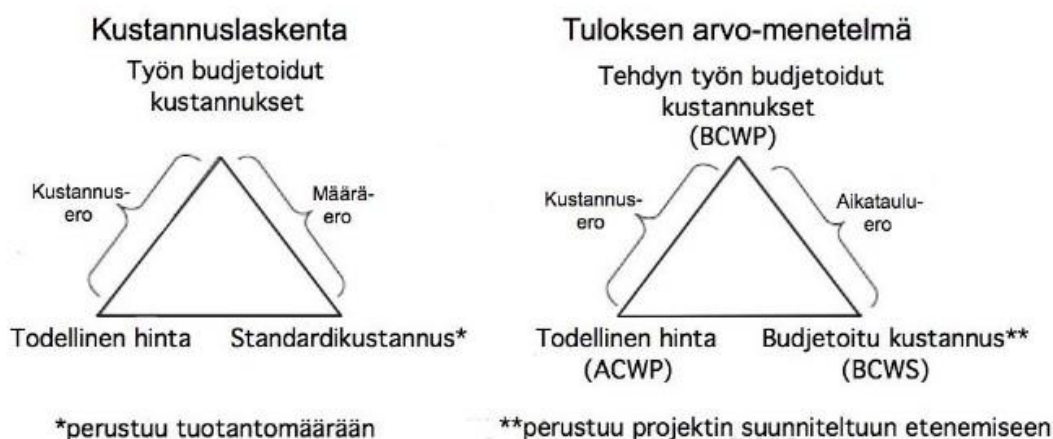
Nämä elementit ovat yhdistelmä parametrisista ja muunneltavista vakioelementeistä. Niiden tilaustietoon kuuluu vähintään yksi parametri. Lisäksi niissä on vähintään yksi valmistuksen jälkeen muunneltavat ominaisuus. [29]

Toimituskohtaiset eli räätälöitävät elementit

Asiakaskohtaisesti räätälöidyt vaihtoehdot ovat aina projektikohtaisia. Toimituskohtaiset elementit tulkitaan työssä mahdottomiksi tai kannattamattomiksi suunnitella etukäteen.

3.2.4 Tuloksen arvomenetelmä (kesken)

Toimitusprojektiluonteiset työt voitetaan tarjouskilpailujen kautta, joissa hinta on merkittävimpiä kilpailutekijöitä. Projekteissa käytettäviä taloudellisia päätöksentekomuuttujia ovat kustannustekijät. Kustannustekijät muodostuvat muun muassa teknologiasta ja tuotteen tuottamiseen vaadittavista työtunneista. Kustannustekijät kohdistetaan projektin kustannuspaikkamuuttujille. Automaation toimitusketjun mukaiset kustannuspaikkamuuttujat ja niiden rakenne määrittävät projektin laajuuden taloudellisesta perspektiivistä. Oletuksena on, että tuotemallin avulla pyritään vähentämään kustannuksia, mutta tämä on kuitenkin osoitettava. Tuotemallin kustannustekninentoimivuus osoitetaan tuloksen arvomenetelmällä, joka perustuu kustannusten suunnitteluun ja toteutumisen seurantaan. Menetelmä on alun perin Yhdysvaltojen armeijan kehittämä järjestelmä, jossa luodaan projektille budjetoidut, aikataulutetut ja toteutuneet kustannukset [12]. Tuotemalli tarjoaa valmiit kustannuspaikkakohtaiset suunnitellut kustannukset. Alla kuvassa 24 on esitetty tyyppiesimerkki, miten toimitusprojektin budjettia ja toteutuneita kustannuksia tuloksen syntyhetken perustuen seurataan.



Kuva 24. Perinteinen kustannuslaskenta ja tuloksen arvomenetelmä [12]

Kuvassa 23 on esitetty perinteisen projektiliiketoiminnan laskenta vasemmalla puolella. Tuloksen arvomenetelmän tavoitteena on yhdistää tuotemallin aika- ja kustannusseuranta, kuten oikean puoleisessa kolmiossa yllä on esitetty. Kustannuslaskentajärjestelmän tavoitteena on esittää toimitusprojektin mukaisesti budjetoidut kustannukset (BCWS, engl. Budgeted Cost Work Scheduled) sekä tuloksen arvon osoittaminen tuloksen arvolla (BCWP, engl. Budgeted Cost Work Performed) ja toimitusprojekteissa toteutuneen työn toteutuneet kustannukset. Mitä paremmin kunkin kustannuspaikan laskentaperiaate noudattaa aiheuttamisperiaatetta, sitä tarkempaa tietoa saadaan todellisista toteutuneista kustannuksista. [12, p. 28]

Kustannusseurannalle yleensä ja tuotemallin kustannusten suunnittelulle on neljä merkittävää tarkoitusta [12, p. 37].

1. Taloudellinen raportointi
2. Kustannusten mittaaminen
3. Tehokkuuden johtaminen
4. Päätöksenteon tukeminen

Poltinautomaatiotuote on suoraan sidoksissa kustannuslaskelmanmuuttujiin. Työnosituskaaviolla (WBS, engl. Work Breakdown Structure) projektisuunnittelussa projekti hajotetaan itsenäiseksi kategorisesti jaoteltuihin osakokonaisuuksiin eli eräänlaisiin työpaketteihin, jolloin projektin hallittavuus paranee. Tuotemalliin suunniteltavat moduulikohtaiset kustannukset voidaan osittaa projektista riippumatta, koska kustannuksia määritellään poltinautomaation tuotemallille. Tuotteistamisen näkökulmasta tuotteeseen liittyvät projektiliiketoiminnan kustannusongelmat ovat lähinnä kustannusten minimointia. Minimointitehtävästä on muodostettava kustannusfunktio minimointitehtävien hahmottamiseksi. Reunaehdot, joita projektikohtaiselle kustannusfunktiolle asetetaan, ovat kustannuspaikkakohtaisia. Kustannuspaikat muodostuvat projektin ositusten mukaan. Yleisessä muodossa kustannusfunktio saa muodon:

$$f(x) = kx + ey \quad (1)$$

Missä x ja y ovat automaation toimituksen kustannuspaikkavektorit, k on kohdistusvektori kiinteät suunnitellut kustannustekijät sekä e , joka sisältää arvion muuttuvista kustannustekijöistä - toisin sanoen e on toteutuneiden kustannusten varianssi. y Kustannuspaikkavektori voidaan jakaa vielä kustannuspaikoittain kustannustekijöihin¹⁵. Alla on esimerkiksi vuoksi esitetty kustannuspaikan jako kustannustekijöihin.

$$k_{\text{perussuunnittelu}} = k_{\text{komponentit}} + k_{\text{automaatiosuunnittelu}} + k_{\text{kaapelointi}} \quad (2)$$

Esimerkiksi $k_{\text{automaatiosuunnittelu}}$ kerroin voi olla suunnittelijan tuntipalkka, $k_{\text{komponentit}}$ voivat olla komponenttien hinnat ja $k_{\text{kaapelointi}}$ prosessin sähköistyksen kaapelointikustannukset. Automaatiotoimitusprojektin suunnitellut kustannukset voidaan esittää kustannustekijöiden nojalla. Todellisuudessa myös kustannustekijät muodostuvat taas pienemmistä tekijöistä esimerkiksi yksittäisistä suunnittelutehtävistä, kuten solenoidiventtiilien jännitetason määrittelystä.

Toimitusprojektin kustannustekijät huomioidaan tuotemallin suunnitelluissa kustannuksissa. Yritys määrittä sekä viite- että tavoitearvot tuotettavalle tuotemallille. Tällöin projektien taloudelliset reunaehdot ovat etukäteen määriteltyjä ja rakenteellisia, niin että toimitusprojektille asetetaan kokonaiskustannustavoite tuotemallin osalta. Tämä kustannus jaetaan iteratiivisesti kullekin työn osituksen tasolle aina tuotemallin varioitaviin osiin asti. Tuotemallille luodaan yksinkertainen tunnusluku seuranta. Kustannusseuranta on päivitettävissä toimitusprojektin edetessä. Alla on esitetty kustannusten varianssin e muodostumista kuvaavat tunnusluvut.

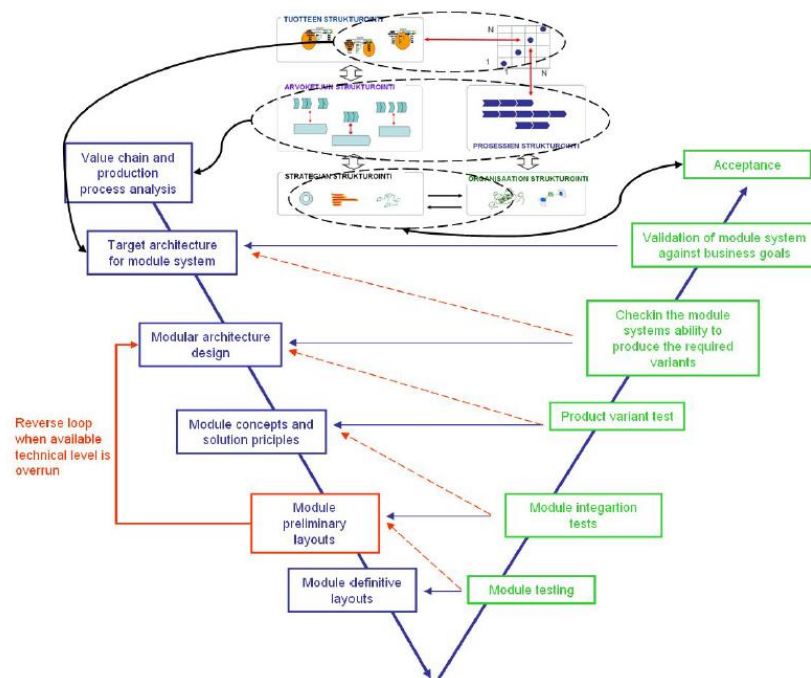
¹⁵ Automaation toimitusprojektin kustannustekijöiden määrä vaihtelee projektin koon sekä ositusten mukaan.

$CV = ACWP - BCWP$, missä CV on kustannusvarianssi tunnusluku (engl. cost variance) ja $ACWP$ on toteutuneet kustannukset (engl. Actual Cost Work Processed). Yksinkertainen laskutoimitus, joka kertoo vastaavatko toteutuneet kustannukset suunniteltuja kustannuksia.

$CS = BCWP - BCWS$, missä CS on aikataulueron mukainen kustannusero, (engl. cost scheduled). Yksinkertainen laskutoimitus, joka kertoo vastaavatko aikatauleroon perustuvat työtuntikustannukset budjetoituja eli suunniteltuja työtuntikustannuksia.

3.2.5 V-Malli ja tuotesuunnittelu

Kustannusteknisen ongelman ratkaisu muodostuu automaatiotuotteen modulaarinen tuoterakenteen rakentamisesta. Modulaarisen tuoterakenteen esitetään, mistä automaatiotuotteen materiaaliset ja immateriaaliset kustannukset muodostuvat. Tuoterakenteella voidaan osoittaa että asiakasvaatimukset sekä muut vaatimukset täyttyvät. Tuoterakenteen suunnitteluun käytetään ohjelmistokehityksessäkin hyödynnettyä systemaattista suunnittelumallia nimeltä V-malli. V-mallin ideana on, että suunnitteluprosessi uudelle modulaariselle tuotteelle alkaa yrityksen tuotestrategian mukaiselta pelikentältä ja päättyy samaan paikkaan kelpuutusta varten. Kuvassa 26 on väitöstyössä esitetty V-malli [4].



Kuva 25. Väitöstyössä esitetty V-malli, jota hyödynnetään työssä [4, p. 172]

Esitetty V-malli ottaa huomioon ensin tuotestrategian ympäristön CSL-viitekehityksen mukaisesti. Vaatimuksien mukaisen moduulijärjestelmän strukturoinnin jälkeen tehdään ensimmäiset moduulien tarjoamat ratkaisut ja luonnokset. Jonka jälkeen hyödynnetään tietojärjestelmien tarjoamia layouteja, johon moduulit sijoitetaan. Moduulien sijoittelun jälkeen moduulien sisäisen rakenteen määritetään. Sisäisen rakenteen määrittely pitää sisällään kaiken poltinautomaatiotuotetta koskevan tiedon sidosryhmittäin sekä teknisestä

että taloudellisesta näkökulmasta. Moduulin sisäisen rakenteen suunnittelu on lähempänä varsinaista automaatio suunnittelua sekä varsinaista tuotetta muotoilevaa suunnittelua projektiliiketoiminnan ehdoilla. Lehtosen väitöstyössä todettiin, että esitetty kaksitasoinen malli ei ole systemaattinen suunnittelumenetelmä eikä siinä ole valmiita työkaluja.

”Unfortunately, the V model proposed in Systems Engineering does not have as mature and ready tools and methodology as systematical design.” [4]

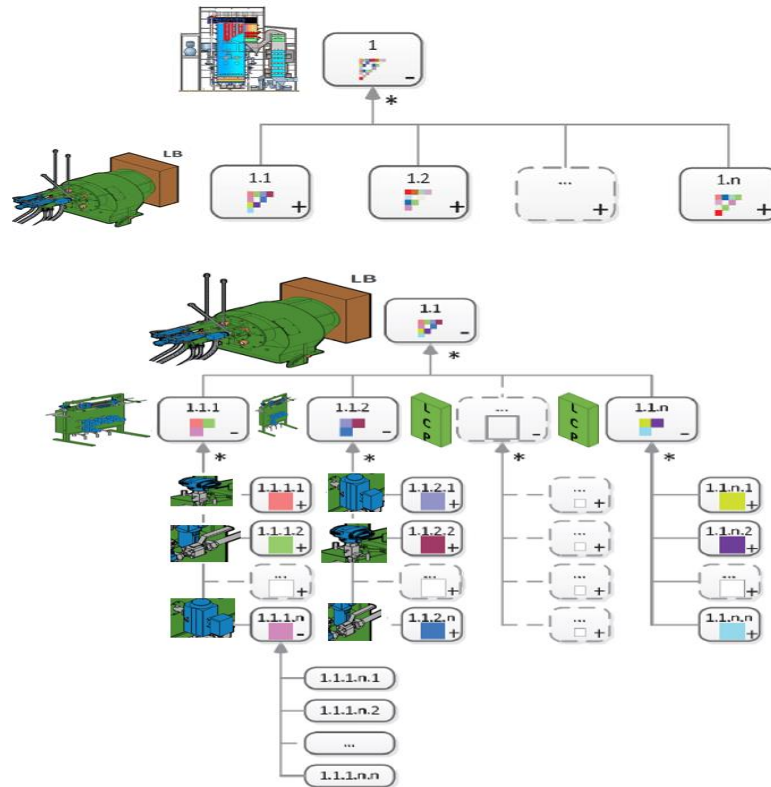
Tuotesuunnittelun osalta väitöskirjan malli jättää valinnanvaraa suunnittelutyökalujen valinnalle. Tuotemallin konstruointiin hyödynnetäänkin monia eri analyttisiä työkaluja. Väitöstyössä todetaan, ettei mikään estä hyödyntämästä analyttisempiä menetelmiä V-mallin sisäosissa. Analyttiset työkalut halutaankin työssä nähdä erillisinä V-mallista, sillä niitä on kyettävä hyödyntämään asynkronisesti ja iteratiivisesti. V-mallissa on kaksi vaihetta spesifikaatio sekä testausvaihe. Spesifikaatiovaihe koostuu tuotteistamisprosessista ja työssä testausvaihe koostuu pilottituotteen testaamisesta ja validoinnista. Väitöstyössä esitettiin V-mallin vaiheet 1 ... 11 (oma tulkinta [4, p. 171]):

1. Yrityksen vaatimukset modulaariselle rakenteelle
2. Arkkitehtuurin suunnittelu modulaariselle järjestelmälle
3. Konseptien esittäminen - ylätasoin suunnittelun päätyminen
4. Moduulien teknisen suunnittelun aloittaminen
5. Moduulien luominen
6. Moduulien toiminnallinen yksikkötestaaminen vaatimuksia vasten
7. Moduulien toiminnallinen testaaminen keskenään vaatimuksia vasten
8. Moduulien testaus osana tuoteperhettä
9. Järjestelmätestausvaihe, jossa testaan modulaarisen järjestelmän kyvykkyyttä
10. Yhteneväisyys yritys ympäristön kanssa
11. Hyväksyttävissä vaihe, jossa päätetään esimerkiksi tuotevalikoiman laajuudesta.

4. TUOTEMALLIN IMPLEMENTAATIO

Tuotteistaminen tapahtui edellä esitettyjä menetelmiä ja prosesseja hyödyntäen. Menetelmät on esitetty kappaleessa 3.2 ja prosessit kappaleessa 3.1. Tuotemallin suunnittelu ja implementaatio on määritelmältään aina uuden informaation tuottamista muilta saadun ja hallussa olevan lähtötiedon perusteella. Perinteisestä dokumenttipohjaisesta suunnittelusta ollaan siirtymässä kohti verkottunutta tietosisältöpohjaista toimintamallia, jossa informaatio on tallennettuna standardoituuihin paketteihin osaksi tietojärjestelmiä. Tieto ja siihen liittyvä osaaminen on nykyaikainen kaupankäynnin kohde, joten osapuolilla tai toimijoilla on tarve suojata osaamista ja saada siitä riittävä korvaus. Tuotesuunnitteluprosessista suurin osa on tiedon hankintaa, vanhojen hyväksi todettujen ratkaisujen kopiointia ja vuorovaikutusta muiden suunnittelijoiden kanssa ja tuotteistamisprojektin sidosryhmäläisten kanssa. Luovien innovatiivisten ratkaisujen tuottaminen ei ole tavoitteena, vaan pikemminkin harvinaisuus [3, p. 24]. Toisaalta tuotesuunnittelulle on mielestäni oleellista, että tuote, jota suunnitellaan, on hyödynnettävissä sekä perinteisen dokumenttipohjaisen ajattelun ja modernimman tuotetietomalli ajattelun pohjalta.

Kerätty tuotetietous paketoitiin käytössä oleviin tietojärjestelmiin. Eräs tapa esittää tuotemalliin liittyvä modulaarisuus on modulaarinen tuotejärjestelmä. Puhuttaessa poltintuotepuheesta, on pohjana lähes poikkeuksetta moduulilähtöinen-ajattelu. Jokainen prosessipolttiin nähdään itsenäisinä tuotemalleina, joihin voidaan liittää eri tavalla rakennettuja automaatiomoduuileita. Automaatiotuotemallit voidaan nähdä alamoduuleina. Modulaarinen tuotejärjestelmä rakentuminen esitetään usein fyysisten komponenttien avulla. Fyysisten moduulien mukainen mielivaltainen tuotejärjestelmä on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Tuote koostuu n :stä moduulista. Moduulit sisältävät edelleen alikomponentteja, (mukaillein [26])

Paikallishjauskotelo (kuvassa engl. LCP, Local Control Panel), jota työn pilottihankkeessa suunnitellaan sisältää poltinautomaation. Kuvassa 27 esitetään miten paikallishjauskotelo voidaan rakentaa tuotemallina osaksi muuta raskasöljypoltinlaitteistoa. Tuoterakenne muodostuu tuotteen digitaalista prototyyppiä rakennettaessa puumaiseksi kansiorakenteeksi. Kuvan mukaisella mielivaltaisella esitystavalla poltinautomaation tuotemalli rakentuu moduuliksi, jolla on oma osoite tai nimike. Esimerkiksi kuvassa 26 paikallishjauskotelon nimike olisi 1.1.n. Kun uusi poltinautomaation tuotemalli rakennetaan, lisätään poltintyyppiin alapuolelle uusi moduuli ja moduuliin liittyvät komponentit. Esitetty rakenne on yleisesti käytössä tässä muodossa eri PLM-järjestelmissä. PLM-järjestelmä tarkoittaa tuoteteknologioiden elinkaaren hallintajärjestelmää (PLM, engl. Product Lifecycle Management) [26].

4.1 Tuotesuunnittelun laajuus

Tuotesuunnittelua edelsi itse suunnittelua jäsentävä vaihe. Vaihetta voisi kutsua abstraktisuunnitteluksi, sillä vaihe perustui puhtaasti tiedonhahmotteluun sekä käsitteiden rakentamiseen. Suurin osa tiedosta kerättiin kyselemällä ja muistiinpanoja tehden. Informaation keräys koostui aiemmista poltinautomaation toimitusprojekteista, standardeista, markkina-analyyseistä sekä muiden oleellisten projektiorganisaation jäsenien haastattelusta. Abstraktisuunnittelun tärkeimpiä asioita olivat poltinprosessin ymmärtäminen sekä automaatiotuotetta käyttävien sidosryhmien ymmärtäminen. Käsitteet ja menetelmät, joita tuotesuunnittelu hyödynsi, valittiin vaiheen tuloksena. Abstraktisuunnittelun

kontribuutiota olivat luonnokset, joiden avulla voitiin hahmottaa ja esittää tuotteeseen liittyviä asioita. Tuotesuunnittelun laajuuden määrittely tapahtui tutkimalla yhtä voimalaitos poltinlaitteistoa ja siihen liittyviä automaation ratkaisuvaihtoehtoja luomalla luonnoksia eri vaihtoehdoista.

Kokonaisuudessaan tuotesuunnittelun laajuus määrittyi yhdessä tuotteistamisprojektin yhteydessä tehtyjen päätöksiensä kanssa. Koska työssä tehtävä tuotesuunnittelu oli vahvasti toimitusprojektikäynnästä, tuotesuunnittelu tapahtui monilta osin yhteistyössä valmistuksen kanssa. Tuotesuunnittelu koostui menetelmistä, joita hyödynnettiin tuotteistamisprojektin yhteydessä. Tuotesuunnitteluun valitut työkalut on esitetty taulukossa 7. Työkalut on jäsennellyt väitöstyössä esitetyn V-mallin vaiheiden perusteella [4].

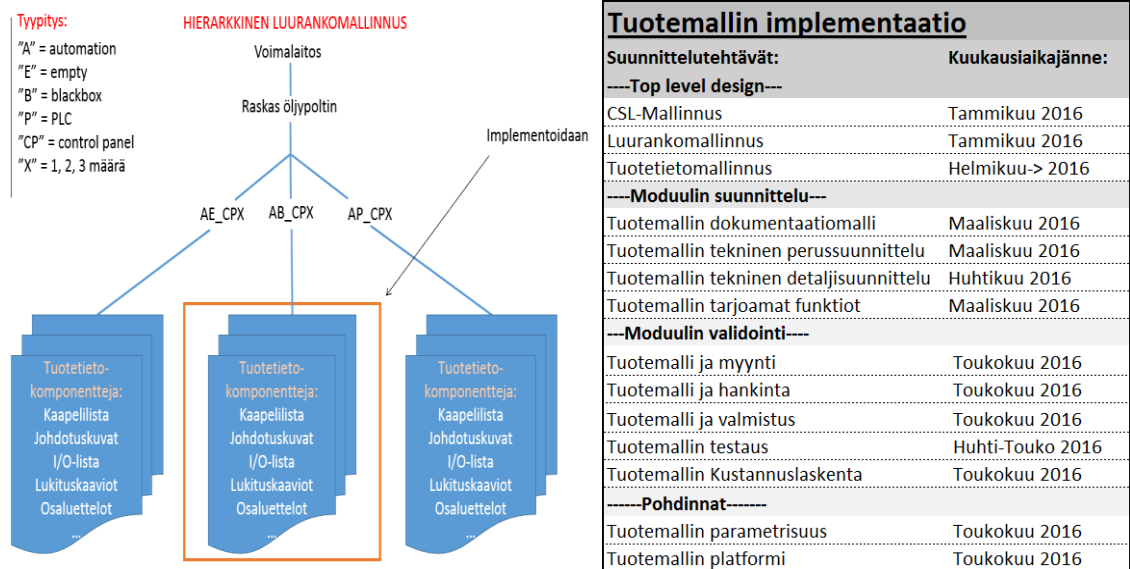
Taulukko 8. Väitöstyössä esitetyn V-mallin tuotesuunnitteluvaiheet ja vaihekohtaiset menetelmät (mukaihen [4, p. 171])

V-mallin suunnitteluvaihe	TOOL:	SCOPE:
1 Modulaarisen rakenteen vaatimukset	CSL-viitekehys	Diplomityö
2 Suunniteltu modulaarinen rakenne	Luurankomallinnus	Diplomityö
3 Yksittäisten moduulien konseptit	Tuotetietomallinnus	Diplomityö
4 Perussuunnittelu / Detaljisuunnittelu	Tuotemallin käyttäjät	Diplomityö
	Dokumentit	Diplomityö
	Tekninen suunnittelu	Diplomityö
5 Moduulin luominen	Tuote-elementtien kategorisointi	Diplomityö
6 Moduulin testaaminen	Pilottihanke	Diplomityö
7 Moduulien testaaminen toisiinsa nähden	Diplomityön spekulatiot	Diplomityön spekulatiot
8 Moduulien testaaminen osana tuoteperhettä	...	Tuotteistamisprojekti
9 Modulaarisen rakennejärjestelmän testaaminen	...	Tuotteistamisprojekti
10 Yhteneväisyys yritysmpäristön kanssa	...	Tuotteistamisprojekti
11 Hyväksyttäminen	...	Tuotteistamisprojekti

Käydään läpi V-mallin mukaiset suunnitteluvaiheiden työkalut. V-mallin vaiheet 1-11 ovat esitetty taulukon 8 vasemmanpuolisessa sarakkeessa. Vaiheita pääasiassa vastaavat työkalut on esitetty ”TOOL”-sarakkeessa. Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on esitetty ”SCOPE” eli diplomityöhön liittyvän osuuden laajuus. Ensimmäinen työkalu on *CSL-viitekehys* malli, joka käsiteltiin 3.2.1 kappaleessa. Seuraavat vaiheet kaksi ja kolme on tuotemallin yleistä suunnittelua kuvastava *luurankomallinnus* sekä *tuotetietomallinnus*, jotka esitettiin kappaleessa 3.2.2. Neljännessä ja viidennessä vaiheessa tuotetaan tuotemalli *tuote-elementtien kategorisoinnin* (kappale 3.2.3) sekä *automaatiosuunnittelun* sekä *tuloksen arvomenetelmän* (kappale 3.2.4) avulla. Viides, kuudes ja seitsemäs vaihe vastaavat pilottihanketta ja automaatiosuunnittelun tuloksena saatua tuotemallin *teknistä validointia*. Kahdeksannelle vaiheelle (tuotemallin testaaminen osana tuoteperhettä) esitetään työn loppupuolella hieman spekulatioita. Loput vaiheet liittyvät pitkäkestoisempaan tuotteistamisprojektiin. Vaiheet 9-11 jäivät siis työn ulkopuolelle.

Tuotesuunnittelun laajuus jakautui tuotteistamisprojektissa kolmeen eri tuotemalliin, joista luvussa esitellään tarkemmin vain yksi. Tuotemallien jaottelu perustui kolmeen eri poltinautomaation toteutustapaan. Tuotemallien esimerkkityypitys alistettiin suoraan siihen liittyvälle prosessikokonaisuudelle, jolloin tyypitys meni yksinkertaisesti poltintyy-

pin ja lisäoptiokirjaimilla. Päätyypit ovat AE (keskitetty), AB ja AP (sulautettu paikallinen ohjausjärjestelmä), joista AP oli kustomoitava PLC-toteutus ja B oli kustomoitava Blackbox-toteutus. Tyypityksellä pyrittiin tarjoamaan esimerkiksi myynnille selkeä tuotemallien vaihtoehtoisuus. Tyypityksen jälkeen lähdettiin erittelemään, tarkempaa tuotemallikohtaista tuoterakennetta. Tuoterakenteen määrittely vastasi todellisen toimitusprojektin FEED-vaihetta ilman asiakkaan läsnäoloa (engl. Front End Engineering Design). FEED on toimitusketjun vaihe, jossa määritellään toimitettavan tuotteen rakenne ja laajuus.



Kuva 27. Kuvassa vasemmalla on luurankomallinnus tuotemalleille ja oikealla puolella on virtuaalisen tuotemallin implementointi ja validointi aikataulu.

Tuotesuunnittelu diplomityössä tyhjässä (AE-tyyppi) sekä PLC (AP-tyyppi) tuotemalleissa jätettiin konseptitaso suunnitteluasteelle. Kun taas Blackbox (AB-tyyppi) tuotteella tuotesuunnittelu ylsi perussuunnittelun ja detajitason suunnittelun aina johdotuskuviin ja piirikaavioihin asti. Työssä esitetty tuotesuunnittelun laajuus koskee pilottihankkeen yhteydessä tehtyä tuotesuunnittelua ja siihen liittyvää dokumentaatioita, kuten Kuva 27 on esitetty. Yllä olevassa kuvassa oikealla puolella on esitetty tuotemallin implementaation ja testaamisen aikataulu. Tuotemalli rakennettiin tuotetietojärjestelmiin aikataulun mukaisesti.

4.2 Tuotemallin suunnittelu

Ylemmän tason suunnittelussa huomioidaan yrityksen tuotestrateginen kartta-asetelma sekä tuotetiedon hallinta sekä rakenteen luominen tuotetietomallinnuksen avulla. CSL-viitekehys on esitetty pilottihankkeen tuotemallin osalta B liitteessä. Projektikohtaisesti ajateltuna tuotemallien (AE, AB, AP) välinen valinta joudutaan käytännössä tekemään aikaisessa vaiheessa (myynti). Tämä koskettaa yleisiä linjauksia, kuten valintaa kenttäväylän tai erilliskaapeloinnin välillä tai käytössä olevien kaupallisten tuotteiden valintaa. Tuotemallin suunnittelu keskittyy vain yhteen tuotemalliin AB.

4.2.1 Yrityksen tuotestrateginen kartta

Yritys toimii monella eri alalla, ydinosaaminen on laaja-alaista ja tuoteteknologioita yrityksellä on paljon. Työssä yrityksen tuotestrategista kenttää tarkastellaan vain yhden vakioidun tuoteteknologian kannalta. Tuotestrateginen kartta on esitetty liitteessä B.

Työn puitteissa tuotestrategisen kartan asetelmassa esitetty ydinosaaminen muodostui prosessipolttimista. Yrityksellä on mekaanisesti vakioituja prosessipolttimia, joilla on määritelty tuoteteknologia. Prosessipolttimia toimitetaan joko osana uutta voimalaitosta tai osaksi vanhaa voimalaitosta. Automaation toteutustapa ratkaisee arvoketjun rakenteen. Linjattiin, että luotava automaatiotuotemalli on tyyppihyväksytty. Tyyppihyväksytty Blackbox toteutus on esitetty kappaleessa **Error! Reference source not found.** Tyyppihyväksytty ohjausjärjestelmä mahdollistaa, että ohjausjärjestelmän konfigurointi tehdään jo myynnissä. Näin tuotteen arvoketjusta karsitaan ohjelmiston koodaus sekä testaus. Tuotemallin arvoketjun arvot muodostuivat seuraaviksi.

1. Myynti
2. Suunnittelu
3. Hankinnat
4. Valmistus
5. Logistiikka
6. Asennus
7. Käyttöönotto
8. Kelpoistus

Kritiikkinä valmiiksi tyyppihyväksytystä poltinautomaatiojärjestelmästä todettiin jo alkuvaiheessa, että jos myyntivaiheessa poltinautomaation mahdolliset konfiguraatiot eivät istu tuoteteknologiaan muuttuu arvoketju perinteiseksi räätälöintiratkaisuksi. Toinen tuoteteknologiaa koskeva linjaus oli paikallisohjauksotelon valmistuksen ulkoistaminen. Tuotteistamisprojektiorganisaatio linjasi, että automaatiotuotemalli on oltava sovelluskohtainen, jolloin vältetään riskiltä, että yksi suunnittelija jää vastamaan automaatiotuotteen rakenteesta.

Tuoteteknologialla on myös olemassa eri toimituskanavia yrityksessä: Service ja Environmental Solutions. Toimituskanavien erittelemisen ei ole tuotemallin luomisen kannalta oleellista, koska tuotemalli on tarkoitus rakentaa yllä esitetyn arvoketjuajattelun pohjalta.

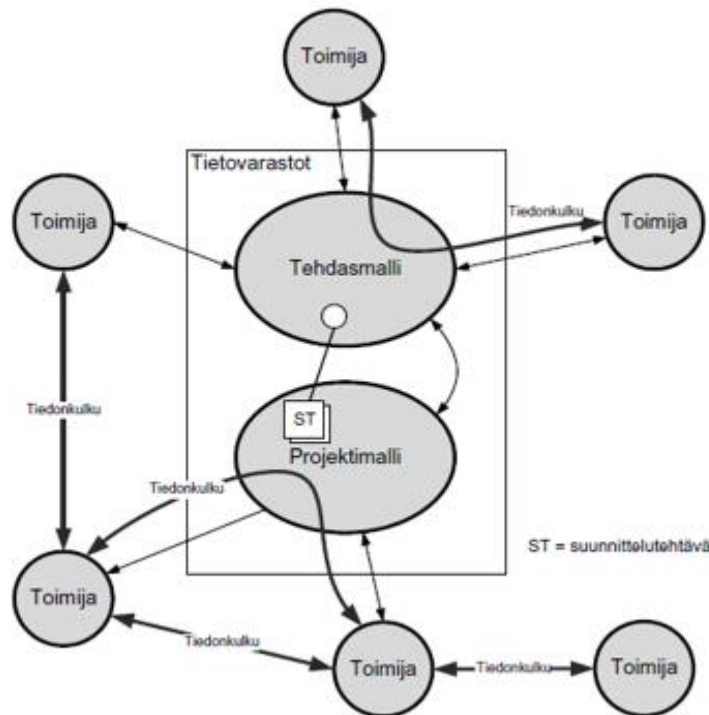
4.2.2 Tuotemallin dokumentaation suunnittelu

Dokumentaation suunnittelu tapahtui samanaikaisesti tuotetietomallinnuksen kanssa. Tuotetietomallin suunnittelussa olivat avainasemassa tuotepäälliköt. Tuotetietomallinnuksen pohjalta luotu virtuaalinen tuotemalli on esitetty osana CSL-viitekehysmallia tuoterakenteen strukturointia tukevana työkaluna. Tuotetietomallinnuksen tuloksena saatu tuoteinformaatio on kompromissi perinteisen dokumenttien vaihtomallin ja tietojärjestelmien tarjoamien mahdollisuuksien välillä. Tästä syystä dokumenttien suunnittelun paras lähtökohta oli, että tuotemallin tuotetieto nähdään käyttäjäspesifisti osana käytössä olevia

tuotetietojärjestelmiä. Dokumentit suunniteltiin design for X menetelmällä. Jossa X:n paikalla olivat arvoketjun mukaiset osapuolet.

Asiakkaan vaatimuksien pohjalta tuotemallista laadittiin projektikohtaiset tuotedokumentaatiovariantit. Tuotedokumentaatiovariantit olivat tuotemallista rakennettuja projekti-kohtaisia dokumenttikokonaisuuksia. Dokumenttien varioitavuuden tai muunneltavuuden hallinta eli dokumentteihin rakennetut funktiot, attribuutit, parametrit ja käyttötiedot jätettiin työn ulkopuolelle. Esimerkkinä dokumentin muunneltavuudesta tai ominaisuuksista on dokumentin kielen valinta. Todellisessa virtuaalisessa tuotemallissa on paljon ominaisuuksia, sillä niistä suurin osa on sisäänrakennettuina tuotetietojärjestelmiin.

Toimitusprojektien tiedonvaihtopisteet muodostuvat asiakkaan, yrityksen sisäisten ryhmien, valmistajan ja asennusfirman välille. Jokaisella pisteellä on tietty tiedonvaihtotarve. Automaatiojärjestelmän toteuttaminen osana voimalaitoksen poltinprosessia vaati oikeat tiedot eri toimijoita varten. Alla kuvassa 28 on esitetty periaate tasolla tiedonkulkua toimitusprojektin aikana.



Kuva 28. Automaatiosuunnitteluun liittyviä tietovirtoja [3]

Kuvassa 28 esitettynä olevat tehdasmalli sekä projektimalli toimivat yhteisenä käsitteellisenä pohjana. Tuotteistamisessa tehdasmallin ja projektimallin tarkoitus on tukea käsityksen saamista tuotteistamisesta. Tehdasmalli esitettiin taulukossa 1 ja projektimallia käsiteltiin kappaleessa 2.5. Tietovarastot tarkoittavat kaikkea toimitusprojektin aikaista tietoa. Yksi tietovarasto on tuotemalli, johon sijoitettiin tarvittavat dokumentit eri toimijoille. Dokumentit ovat tuotemallin eräitä tuotetietokomponentteja, jotka sisältävät eksplisiittistä informaatioita tuotteesta. Kappaleessa 3.1.4 esitettyjen tiedon määritelmien pe-

rusteella eksplisiittinen tietämys, kuvaa tietoa eteenpäin sidosryhmien välillä usein erityyppisen dokumentaation avulla. Esitellään työn aikana kerätyt dokumentit sidosryhmittäin. Jos dokumenttituotetietokomponentit löytyvät IEC 61355 standardista esitetään niiden identiteettinumero ja englanninkielinen vastike suluissa tuotetietokomponentin jälkeen.

Myynti

Myynnin kannalta poltinautomaatiotuotemallin tarjoamat funktiot tulevat suoraan myynnin käyttöön. Tarvittavat tuotteen istuvuutta asiakastarpeita koskevat asiat halutaan eritellä, jotta voidaan todentaa, että tuotemalli istuu voimalaitoksen prosessiautomaatiokonaisuuteen. Tarvittavat dokumentit myynnin kannalta ovat alla esitetty.

- Tuotemalliesitteet (DE, D00188, engl. Product leaflets)
- Myyntierittely ”tarjontavaihe” (CC, D00169, engl. Terms of delivery), joka muodostuu seuraavista osakomponenteista:
 - o Toimitusrajamäärittely (CD, D00172, engl. delivery note)
 - o Erillinen kuvallinen toimitusrajamäärittely
 - o Tarjousesimerkki, (CA, D00161 engl. Offer)
 - o Kustannuslaskentatyökalu, (CA, D00160, engl. Calculation sheet, commercial)
- Myyntierittely FEED-vaihe:
 - o Signaalien vaihtolista (FP, D00118, engl. signal property list)
 - o Dokumentti aikataulus (BD, D00024, engl. Document interchange list)
 - o Dokumentaation rakennekuvaus (AC, D00133, engl. Documentation structure diagram)
 - o Paikka- ja vastuuorganisaatio spesifikaatio (BG, D00030, engl. Site specification for personnel)

Suunnittelu

Tyypillinen suunnittelijoilta selvitetty tekninen tietosisältö poltinohjausjärjestelmän tiedoille, on esitetty taulukossa alla. Taulukossa 8 on esimerkkietosisältö, mikä tarkoittaa, että kaikkea sisältöä ei välttämättä käytetä jokaisessa toimitusprojektissa.

Taulukko 9. *Yksinkertaistettu dokumentaation rakenne kuvaus (AC, D00133, engl. Documentation structure diagram).*

Laitearkkitehtuuri	Signaalien vaihtolistat
Ohjelmistojen kuvaukset	Kaapelointikuvat
Laitetestauskuvaukset	SIL-laskennat
HAZOP pohja	Instrumentti-indeksi
Koulutusdokumentit	Ohjauskaapinkuvat
Johdotuskuvat	Funktio-listat
Ohjelmistoarkkitehtuuri	Vaatimustenmukaisuusvakuutus pohja
Testaussuunnitelma	Sertifikaatit
Sijoittelukuvaukset	Osaluettelot

Yllä esitetyillä tuotetiedon dokumenttikomponenteilla rakennetaan poltinautomaatio, jotka luovutetaan asiakkaalle toimitusprojektien lopussa. Asiakkaalle luovutettavia dokumentteja ovat muun muassa ”as built”-dokumentaatio sekä viranomaismääräysten edellyttämä dokumentaatio, kuten laitteiden sertifikaatit.

Hankinta

Hankintaorganisaatio halusi valmiit kyselydokumentit vakiokomponenteille. Vakiosien tuotemallikohtaiset komponentit käsittävät kaapeloinnin sekä poltinohjauspaneelin komponenttikyselyt. Komponenttilistat jaettiin hankinnan ja valmistuksen hankintalistoihin. Hankinta hyödyntää valmiiden kyselydokumenttien lisäksi esimerkiksi instrumentti-indeksiä (EC, D00196 engl. Component list of instrumentation and control equipment). Instrumentti-indeksi on dokumentti, jossa on kuvattu instrumentointiin ja ohjaukseen kuuluvat prosessikomponentit.

Valmistus

Valmistuksen kanssa sovittiin komponenttien jakautuminen, joka esitettiin osaluettelon avulla (engl. Bill Of Material). Valmistusdokumentaatio koostuu:

- Kokoonpanokuva (LU, D00101 engl. assembly drawing)
- KytKentälistat (MB, D00055, engl. connection diagrams)
- Piirikaaviot ja johdotuskuvat (FS, D00053 engl. wiring diagram)
- Komponenttilista (valmistuskohtainen) (EC, D00196 engl. Component list of instrumentation and control equipment)
- Kaapelilista (MB, D00076 engl. cable list)
- Liityntälista (MA, D00070 engl. terminal connection list)
- Valmistuksen testausraportti (EC, D00085 engl. test report)

Testaus

Tuotemallin testausdokumentaatio määritettiin testaushenkilöstöä varten. Käytännössä testaussuunnitelma (EC, D00036 engl. test specification) oli ainoa testausta varten tarvittavat dokumentti. Se sisälsi kaiken tarvittavan tiedon koskien tuotteen testaamista.

Asennus

Tuotemallia koskevat asennustekniset dokumentit ovat: Asennussuunnitelma (LD, D00098, engl. installation plan), KytKentälistat (MB, D00055, engl. connection diagrams) ja Asennusohjeet (LD, D00122, engl. installation instruction). Niiden määrittely tapahtui haastattelujen avulla.

Käyttöönotto

Tuotemalliin liittyvä koulutus- ja muu dokumentaatio, joiden avulla poltinautomaatiotuote otetaan käyttöön. Käyttöönotolla oli käytössä työmaakoestussuunnitelma (engl. SAT plan, Site Acceptance Testing) automaatiotuotteen toimintoja ja raportointia varten. Suunnitelmassa oli esimerkiksi:

- Käyttöohjeet (-Z, D00014 engl. Manual)
- Käyttöönottoraportti (QB, D00220 Commissioning report)
- Kelpoistusraportti (QC, D00085, Test report)
- Kelpoistusdokumentti (CB, D00165, Acceptance / Authorisation)

Asiakkaan koulutus-, huolto-, ja käyttödokumentaatio (engl. operation and maintenance)

”Procedures to assure functionality of system components and connections for reliability, safety and fire prevention; monitoring of performance indicators, measures to track and maximize anticipated performance, diagnostic measures, troubleshooting, and documentation.” (Bill Shisler, TUV Rheinland, U.S. , Tempe, AZ)

Asiakkaalle toimitettavat dokumentaatio on määritelty etukäteen dokumentaation rakennekuvauksessa. Toimiva koulutusmateriaali, kuten käyttöohjeet, joiden avulla taataan käyttäjän ymmärrys järjestelmästä ja sen tarjoamista toiminnoista. Toinen tärkeä osa on tuotetta koskevan dokumentaation integroiminen osaksi asiakkaan huolto- ja muita käyttöjärjestelmiä. Tämä on kuitenkin projektikohtaista ja koulutus, huolto ja käyttödokumentit määriteltiin tuotteen näkökulmasta. Voimalaitoksen huolto-organisaatiolle toimitetaan esimerkiksi komponentteihin liittyvät laitetiedot ja liityntöjen sähköpiirrustukset.

Tuotemallin hallinta ja siihen liittyvä projektin hallinta

Projektia hallinnoiva työntekijä on usein yksi tuotemallin ensisijaisista käyttäjistä. Toimitusprojektien erilaisuuden ja eri poltinautomaation toteutustavan perusteella voidaan esittää monta toimintamallia tuotemallin hallinnalle. Työn osalta asia hoidettiin käytännössä valmiita tuotetietojärjestelmiä käyttäen. Tietojärjestelmät tarjoavat erilaisia tuotemallin hallintatyökaluja. Tuotemalliin tuli projektin hallinnalta tietyt vaatimukset osana vaatimuksien määrittelyprosessia. Projektihallinnan tärkein vaatimus oli kustannusten suunnittelu. Toiseksi projektin hoitajalle eli projektia hallinnoivalla osapuolella tuotemallin pitää olla selkeä ja helposti omaksuttavissa. Lisäksi tuotemallia on kyettävä päivittämään. Alla on esitetty projektin hallintahenkilöstön esittämiä vaatimuksia.

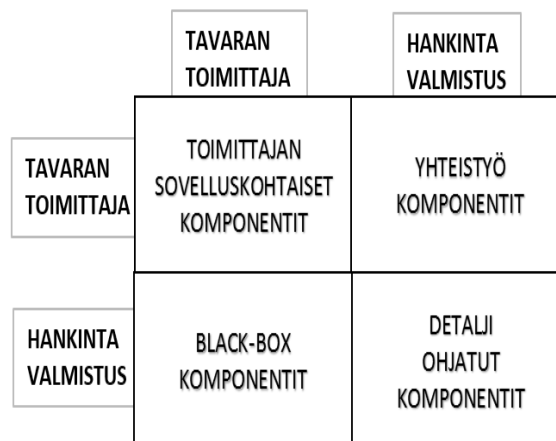
- *Revisiointi ja päivitys*, muodostaa tuotemallin evoluutio edellytykset
- *Näkyvyys tai esitys näkymät* käyttäjäkohtaisesti, lisäävät käytettävyyttä
- *Selkeys, siisteys ja yksinkertaisuus*, lisäävät käytettävyyttä

4.2.3 Tuoterakenteen strukturointi

Sulautettu automaatiojärjestelmä on ratkaisu yksittäisen prosessin ohjaamiseen sekä hallintaan. Sen toteutustavat sekä toteutustasot vaihtelevat yleisestä laite- ja ohjelmistoarkkitehtuurista, ohjelmoinnin, laitekoonpanon ja asennusten yksityiskohtiin. Vaikka esitetty arvoketju malli ohjaa tuoterakennetta, tuotemallin arvoketjun mukainen tuoterakenne muodostui toimitusketjun sidosryhmien vaatimuksien pohjalta. Alla on sidosryhmiltä tulleet vaatimukset.

1. Myynti: Halutaan tuotemallille valmiit konfigurointi parametrit ja/tai myyntierittely, joka ohjaa tuotemallin valintaa ja muuntelua.
2. Suunnittelu: räätälöintisuunnittelu tarpeen vähentäminen sekä konfigurointiin perustuvan suunnittelun mahdollistaminen.
3. Hankinta: Määritetään komponenttien ja hankintakanavien vakioiminen ja yhteistyökumppanit.
4. Valmistus: Karsitaan tuotemallin ylimääräiset osat. Kytkentätapojen yksinkertaistaminen. Märitetään standardi, muunneltavat sekä osittain muunneltavat komponentit.
5. Logistiikka: Tutkitaan tuotteen elinkaari modulaarisuutta, integroimalla ohjauskotelo ja mekaanisesti moduloitu venttiilikoneisto.
6. Asennus: Plug-in ratkaisun kustannusten tutkiminen.
7. Käyttöönotto: Määritetään tuoterakenteeseen liittyvä dokumentaatio käyttöönoton tarpeiden mukaisesti. Erityisesti tuotemuuntelua sisältävät komponentit on tärkeä eritellä.

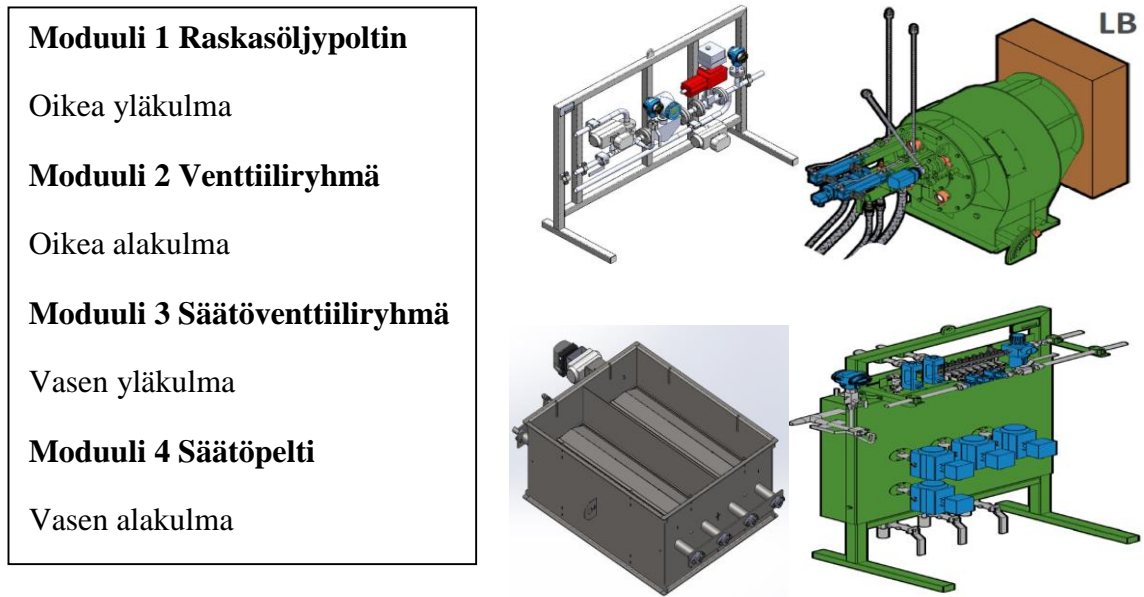
Tarkempi komponenttitason tuoterakenne salattiin. Kuvassa 29 on esitetty periaatetasolla komponenttien jakautuminen hankinnan, valmistuksen ja tavaran toimittajien välillä.



Kuva 29. Komponenttien jakautuminen toimijoiden välillä.

Komponentit koostuivat sovelluskohtaisista toimittajan tarjoamista komponenteista, valmistuksen ja hankinnan sekä tavaran toimittajan yhteistyökomponenteista sekä blackbox komponenteista ja näiden lisäksi detalji ohjatuista komponenteista. Detalji ohjatut komponentit sovittiin valmistuksen ja hankinnan tarpeiden mukaan.

Tuoterakenteen käyttösovelluskohtainen strukturointi malli on kuvassa 30 esitettynä. Tuoterakenteen strukturointi on perusedellytys kustannusteknisen ongelman määrittelyä varten ja erityisesti kustannusten osittamiseksi. Tuoterakenne on yksi osa tuotearkkitehtuuria. Tuotearkkitehtuurin esitettiin periaatekuva 16. Tuoterakenne muodostuu tuotelementeistä. Tuoterakenne voidaan jakaa esimerkiksi käyttösovelluksen, asiakkaiden tai muiden ominaisuuksien perusteella. Poltinautomaation tuoterakenne jaetaan työssä olemassa olevien käyttösovelluskohtaisen moduulien perusteella. Moduulit ovat alla kuvassa esitettynä.



Kuva 30. Käyttösovelluskohtaiset prosessimoduulit

Poltinautomaation tuoterakenteen strukturointi rakentuu yllä esitettyjen moduulien lisäksi paikallisohjaukskotelo moduulista. Moduulit muodostavat mekatronisen tuotteen. Paikallisohjaukskotelon sisään rakennettavat poltinautomaation toiminnalliset ja rakenteelliset komponentit ja elementit esitettiin *luvussa 2.2 ja 2.3*. Poltinohjaukskotelon tuote-elementtien kategorisointi perustuu CSL-mallin mukaiseen yhteeseen arvoketjuun. Automaation arkkitehtuurin esimerkiksi paikallisohjaukskotelon sisällä oleva laitteisto, määriteltiin tarkasti polttimen tyyppin mukaan. Suurin osa tiedoista, jotka paikallisohjaukskoteloon tulee poltinlaitteistolta, ovat moduuleittain vakioituja.

Moduulit 1-4 liitetään poltinautomaatiojärjestelmään. Poltinautomaatiojärjestelmä on esitetty moduulina luvun 2 kappaleessa ”toiminnallinen rakenne”. Tämä modulaarinen esitystapa esittää tuotteen modulaarisuus mutta tuotantoprosessin strukturoiminen vaatii eri näkökulman. Tuotantoprosessin strukturointia tukee mielestäni polttimen paikallisohjauksjärjestelmä elementtien kategorisointi luvun 3.2.3 menetelmän perusteella. Samalla tavalla kuin moduulit 1-4, on paikallisohjaukskotelo esitettävä erillisenä moduulinaan. Moduuli on vaihdannainen muiden poltinautomaatio ratkaisujen kanssa luurankomallinnuksen mukaisesti (Kuva 27).

AB-moduuli

Käyttösovelluksen vakioelementit

- **Jännitteensyöttö:** 230 VAC
- **Jännitteensyöttö:** 24 VDC
- **Moduulin 1 liityntäelementit**
 - Solenoidiventtiilit
 - Sytytyslaitteisto

- **Kytkimet**
- **Moduulin 2 liityntäelementit**
 - **Solenoidiventtiilit**
 - **Mittaukset**
 - **Kytkimet**
- **Moduulin 3 liityntäelementit**
 - **Mittaukset**
 - **Venttiilit**
 - **Toimilaite**
- **Moduulin 4 liityntäelementit**
 - **Toimilaite**

Käyttösovelluksen parametriset vakioelementit

- **Kotelon IP-luokitus:** valittavissa
- **Paikallisohjauskotelo:** valittavissa
- **Väylätyyppi:** valittavissa
- **CO/O₂-korjaus:** valittavissa
- **Kattilan esituuletus:** valittavissa
- **Sytytyskaasun syöttötyyppi:** EN / NFPA
- **HMI-optiot:** valittavissa
- **Toimilaitteiden ohjaus:** valittavissa
- **ATEX-luokitus:** valittavissa
- **Suhdesäädön toteutustapa:** valittavissa
- **Kaapelointityyli:** valittavissa (moninapaliitin, perinteinen)
- **Integrointi moduuliin 2:** valittavissa

Käyttösovelluksen muunneltavat vakioelementit

- **Kaapelointi:** Kaapeloinnin pituus

Käyttösovelluksen parametriset muunneltavat elementit

- **Ohjausyksikkö:** koostuu sovellusalustasta sekä liityntäkomponenteista.
- **Raja-arvoreleet**

Toimituskohtaiset räätälöitävät elementit

Paikallisohjauskoteloon kentältä kerättävät ylimääräiset laitetiedot ja mittaustiedot ovat myös osa ohjausjärjestelmän tuotearkkitehtuuria. Jokaiselle tiedolle on varattavat I/O-paikka kotelossa, vaikka poltinautomaatiomoduuli ei niitä välttämättä hyödynnä.

Esitellyt tuote-elementit ovat tuotteen synteettisiä rakennusosia. Tuote-elementtejä hyödynnetään esimerkiksi kustannusten sekä tuotemalliin liittyvän prosessin konstruoinnissa tai myyntierittelyn luomisessa. Käytännössä tuote-elementtien pohjalta luotu paikallisoh-

jauskotelon rakenne esitetään tuotetietomallin avulla. Vaikka esitin tuoterakenteen luomisen sovelluskohtaisesti, sallii luotu paikallisohjaukset moduuli muutoksen tuotteen tiettyihin toiminnallisiin elementteihin. Esimerkiksi toimilaitteiden tyypit ovat moduuli-kohtaisesti vaihdettavissa pneumaattisesta sähkökäyttöisiin toimilaitteisiin. Tuoterakenteeseen kohdistuvat muutokset ovat asiakasriippuvaisia. Toisaalta voimalaitoksiin kohdistuvat päästötaso-vaatimukset voivat myös aiheuttaa sovelluskohtaisia muutoksia. Tuoterakenteelle luotava muutoksien hallinta jätettiin työn ulkopuolelle.

4.2.4 Tuotemallin toimitusprosessin ja kustannusten konstruointi

Kappaleen 3.2.4 *DTC-menetelmä* esittää kustannuslaskentamallin, joka huomioi toteutuvat tuotemallikohtaiset kustannukset sekä tuotemallin kustannusten seurannan. Tuotemallia koskevat kustannukset muodostuvat toimitusprosessin konstruoinnin perusteella. Kustannuksiin päästiin käsiksi tunnistamalla, mistä kustannukset muodostuvat toimitusprosessissa. Toimitusprojektin tuotemallia koskeva prosessimallin konstruointi esitetään alla ja liitteessä B osana CSL-mallia:

Tarjonta ja FEED: Lopputuotteen ohjausjärjestelmän konfigurointi. Ohjausyksikön konfigurointi tehdään yhdessä suunnittelun kanssa. Näin parannetaan toimituslaajuuden määrittelyä sekä kustannusten ja resurssien estimointia samoin kuin projektin suunnittelua ja aikataulutusta. Lisäksi käydään läpi asiakkaan esittämien erilliset vaatimukset. Samalla budjetoidaan kustannusestimaatit eli BCWS. FEED-vaihe (engl. Front End Engineering Design) keskittyy enemmän toimitettavan tuotteen tekniseen puoleen, kun taas tuloksen arvomenetelmä luo rakentaa taloudellisen mallin avulla toimitusprojektimallin.

Projektointi ja kick-off-palaveri: Vastuuhenkilöiden nimittäminen sekä toimitusdokumentaatioaikataulun sekä dokumenttien määrittelemine.

Hankinta ja Suunnittelu: Komponenttien hankinnassa pidetään huoli, että valmistukseen hankitaan oikea-aikaisesti komponentit. Suunnitteluun jää tuotetietomallin mukaisien dokumenttien muokkaaminen asiakkaalle sopivaksi.

Valmistus, kokoonpano ja FAT: Kuuluu alihankintaan. Valmistetaan tai tilataan, kaapelointi tai moninapaliittimien kaapelit. Tuotteen toiminnallinen testaus toteutetaan alihankkijalla eli testataan, että tuote täyttää, tuotteelle annetut tekniset vaatimukset.

Logistiikka: Alihankinnassa voidaan hyödyntää integroitua toteutusta venttiiliryhmän (moduuli 2) kanssa. Muuten logistiikka ratkaistaan aina sijaintikohtaisesti.

Asennus: Määräytyy mm. toimitusprojektin laajuuden ja asiakasvaatimusten perusteella. Usein hyödynnetään paikallista asennusfirmaa.

Käyttöönotto ja koulutus: Poltinlaitteisto testataan ja kelpuutetaan. Asiakkaan voimailtohenkilöstö koulutetaan. Tarvittavat raportit laaditaan.

Tuotemallia hyödyntävä toimitusprojekti saa tuotemallista suoraan suunnitellut kustannukset. Alla taulukossa 9 on esitetty kustannusfunktio pääkustannuspaikoittain. Oikeanpuoleisimpaan sarakkeeseen on sijoitettu tavoitetilat, jotka kustannuspaikoille nimettiin.

Taulukko 10. *Toimitusprosessin ja tuoterakeenteen pohjalta luodun kustannuslaskentamallin budjetin kustannuspaikat ovat seuraavat:*

BCWS-Kustannus-funktio:	BCWS-Kustannustekijät:	
<i>Kustannuspaikat:</i>	<i>Elementti:</i>	<i>Tavoitetila:</i>
Komponentit:	<i>Vakio</i>	Mahdollisimman paljon
	<i>Parametrinen vakio</i>	Valmiiksi määritelty
	<i>Muunneltava vakio</i>	Valmiiksi määritelty
	<i>Parametrinen muunneltava</i>	Valmiiksi määritelty
	<i>Projektikohtaiset</i>	Mahdollisimman vähän
Työositukset:	<i>Suunnittelu + Hankinta</i>	Etukäteen määriteltävissä
	<i>Valmistus ja testaus</i>	Etukäteen määriteltävissä
	<i>Asennus</i>	Etukäteen määriteltävissä
	<i>Käyttöönotto ja Koulutus</i>	Etukäteen määriteltävissä
Optiot:	<i>Kosketuskäyttöliittymä</i>	Asiakaskohtainen
	<i>Plug-in ratkaisu</i>	Asiakaskohtainen
Kertoimet:	<i>Kaapelointi</i>	Kertoimet

Kustannuslaskentamalli on esitetty liitteessä C täytettynä yhden toimitusprojektimallin mukaisesti. Mitä syvemmälle detaljitason tekniset yksityiskohdat ovat valmiiksi määritetty myyntivaiheessa, sitä tarkempi budjetin määrittely voidaan tehdä. Kustannuslaskentamalliin on yhdistetty suoraan muuttuvat parametriset ominaisuudet, jolloin kustannuslaskenta yhdistetään suoraan myyntiin. Kustannuslaskentamallin rakentamisen perusta on tuloksen arvomenetelmä. Malliin on budjetoitu kustannukset itsenäiseksi paketiksi. Paketille luodaan seuranta. Seurannan avulla validoidaan miten tuotemallin suunnitellut kustannukset täyttyvät projektien edetessä. Alla on esitetty tuotemallin valvonnassa hyödynnettäviä tunnuslukuja [12]. Työssä luotu kustannuslaskentamalli on esitetty C liitteessä. Todelliset kustannusarvot jätettiin salattiin.

4.3 Pilottituotteen valmistusprojekti (kesken)

Tuotesuunnittelu ei riitä projektiorganisaation käyttöön. Tuotesuunnittelun avulla päästään teorian tasolle mutta tuotemalli on kyettävä validoimaan. Validointi tapahtui pilottihankkeena, jossa testattiin teknisen prototyypituotteen toimivuus. Pilottihankkeessa rakennettiin testattava tuote. Validointi suoritettiin testaamisen (FAT) sekä erillisen toteutettavuusanalyysin avulla. Käytettävyys sekä toteutettavuus todennettiin työssä asiantuntijalausnon avulla. Alla on esitetty pilottihankkeen aikataulu, laajuus ja siihen liittyvät tehtävät.

Taulukko 11. Pilottituotteen (AB-moduuli) valmistusprojektisuunnitelma

PILOTTIHANKE	
Suunnittelutehtävät:	Kuukausi:
Layout	Tammikuu
Osaluettelo	Tammikuu
Ohjelmisto/ohjelmointityökalut	Tammikuu
Instrumentti indeksi - I/O-lista	Tammikuu
Prosessi - esi/perus-suunnittelua	Tammikuu
Automaatiojärjestelmä - esi/perus-suunnittelua	Tammikuu
Väylärakenne	Tammikuu
Kaappisuunnittelu	Huhtikuu
Johdotuskuvat	Huhtikuu
Sähköistys - kaapeliluettelo	Huhtikuu
Hankintatehtävät:	Kuukausi:
Tilaukset	Helmikuu
Valmistustehtävät:	Kuukausi:
Valmistusdokumentaatio	Huhtikuu
Valmistus alkaa	Huhtikuu
Testaustehtävät:	Kuukausi:
Testaussuunnitelma	Huhtikuu
Testaus	Toukokuu
Virheiden poisto suunnittelu- ja valmistuskuvista	Toukokuu
Validointitehtävät:	Kuukausi:
Lähtötiedot projekteille	Toukokuu
Valmistusdokumentaatio - Valmistus	Toukokuu
Osaluettelot - Hankinta ja valmistus	Toukokuu
Toteutettavuusanalyysi	Huhtikuu

Suunnittelutehtävät voidaan jakaa kahteen päävaiheeseen. Ensimmäinen on konseptisuunnittelu tai perussuunnittelu, ja toinen on detaljisuunnittelu. Perussuunnittelu sekä vaatimuksien määrittely lähtevät pääsääntöisesti automaatiotuotteen määrittelystä, joka lähtee liikkeelle tehdasmallista (tuotantorakenne) sekä erityisesti prosessikuvauksesta. Yksi automaatiosuunnittelijan vapautta korostava lähestymistapa on analysoida ensin vaatimukset perusteellisesti, ja sen jälkeen määrittellä järjestelmän toiminta toteutusriippumattomasti, jolloin voidaan siirtyä toteutukseen vasta viimeisessä vaiheessa [3]. Tämä oli erityisesti pilottihankkeessa kannattavaa, koska ei ollut tarjolla valmiita ratkaisuja. Perussuunnittelun tuloksena saatava prosessikuvaus sekä PI-kaavio kuvaavat prosessia tai sen osia, joita poltinautomaation on tarkoitus hallita. Valmiina oli oltava muun muassa seuraavat asiat ennen kuin automaatiosuunnittelu voitiin aloittaa: poltinkohtaiset PI-kaaviot, prosessikohtaiset ajotapakuvaukset, toimilaitte ja instrumentointi tiedot, tuotantovaatimukset, normaalit ja hätäpysäytykset sekä turva-automaation toteutustapa.

Automaatiojärjestelmän perussuunnittelun lähtötiedot jalostettiin edelleen detaljisuunnittelutiedoiksi. Detaljisuunnittelutiedot käsittävät muun muassa: I/O-lukumäärät ja niiden laadut, jännitetasot, toimilaitteiden ja putkistojen suunnittelu mitoitus tiedot, käyttöliittymävaatimukset sekä rajapintasignaalit pääautomaatiojärjestelmään. Pilottituotteen detaljisuunnittelu tapahtui Insta Automation Oy:llä. Kotelosuunnittelussa huomioitiin laajenusvarat ohjausjärjestelmän tarjoamien lisätoiminnallisuuksien mukaan. Tuotemallille suunniteltiin kokoonpanokuvat (2D), kotelon sisäiset johdotuskaaviot, kenttäkaapelointikuvat ja listat sekä osaluettelot.

Komponenttien hankinta tehtiin poltinohjausjärjestelmältä vaadittujen ominaisuuksien perusteella. Sovellusalusta ja siihen liittyvä ohjausjärjestelmän laitteisto ovat tyyppihyväksytyjä ja ne parametrisoitiin sovellusalustan valmistajan määritelmien rajoissa. Koska tuote-elementtien olivat käyttösovelluskohtaisesti määriteltyjä, istutettiin määritellyt ominaisuudet paikallisohjauskotelon rakenteeseen.

FAT-Testaus

Testaussuunnitelma laadittiin ammattilaisten ohjeistamana. Tärkein testaussuunnitelman ominaisuus oli jäljitettävyys. Jäljitettävyyden avulla taattiin, että kaikki tarpeelliset testit suoritettiin ja samalla luotiin testaussuunnitelman uudelleenkäytettävyys. Testauksessa tavoitteena oli todistaa, että tuote on sähkö- ja automaatioteknisesti oikein rakennettu. Samalla pyrittiin testaamaan automaatiojärjestelmän funktionaalisuudet¹⁶. Testauksella tarkoitetaan ohjausjärjestelmän rakenteellista ja funktionaalista tai lähes mitä tahansa niihin liittyvää testaamista.

Periaatteessa testit voidaan jaotella testityypin perusteella eri tuotteen laatuominaisuuksien testauksiin. Laatu kuvaavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi käytettävyys ja suorituskyky. Toisaalta ohjausjärjestelmää testattiin ja arvioitiin esimerkiksi visuaalisesti sähköisten liityntöjen turvallisuuden osalta. Visuaalisesti voidaan havaita, vaikka paljaita eristämättömiä johdon päitä.

Tärkeä osa testaamista uudella tuotteella oli poikkeustestaaminen. Poikkeustestaaminen (engl. exception testing) tarkoittaa, ettei ohjausjärjestelmän sisäisiä tiloja tunneta, vaan tunnetaan ainoastaan ohjausjärjestelmän ulkoiset syötteet. Yleisesti luonnontieteessä tai tekniikassa laitetta ja järjestelmää, jota voidaan tarkastella ainoastaan sen syöte (engl. input) tai tulosteiden (engl. output) avulla, kutsutaan mustaksi laatikoksi (engl. black box). Taulukossa 11 on esitetty eräät esimerkki poikkeustestaustapaukset, jotka suoritettiin pilotituotteelle.

Taulukko 12. Esimerkkipoikkeustestaustaulukko

Testi:	Kuvaus:	Odotetut tulokset:	Todelliset tulokset:
<i>x</i>	Sähkön syöttö katkeaa järjestelmältä	CPU säilyttää järjestelmän parametrit eikä järjestelmänmuisti tyhjene ja järjestelmä ei mene rikki.	OK
<i>y</i>	Polttimen suutinpaine mittaustieto häviää.	Ohjausjärjestelmä ajaa hätäpysäytyssekvenssin.	OK
<i>z</i>	Kuorman muutos 0 % → 50 %	Järjestelmä ohjaa järjestelmän toimilaitteet haluttuun tilaan.	Joudutaan lisäämään vaimennusta toimilaitteiden ylituksen mukaisesti.

Diplomityön testaus osuus rajoittui tehdastestaukseen. Automaatiotuotteen tehdastestaus on mahdollista suorittaa myös modulaarisesti tekemällä testaus tuote-elementeittäin. Käytännössä modulaarisesti suoritettu testaaminen tarkoittaa, että järjestelmä jaetaan moduuleihin. Esimerkki moduuli on DO-moduuli, josta testataan yksi digitaalinen ulostulo signaali kerrallaan ja varmistetaan signaalin toimivuus. Tätä testaamista kutsutaan yksikkötestaamiseksi, koska silloin keskitytään yhden tuotteen sisäänrakennetun kokonaisuuden tai elementin testaamiseen. Yksikkötestaaminen tarkoittaa, että jokin järjestelmän

¹⁶ Automaatiojärjestelmän funktionaalisuudet on esitetty pääpiirteittäin kappaleessa 2.2.

funktion toiminta halutaan testata. Yksikkötestaamista helpotetaan tekemällä testin tynkiä tai valmiita testiproseduureja. Alla on esitetty eräs yksinkertainen esimerkki yksikkötestiproseduuri.

Taulukko 13. *Yksikkötestiproseduuri*

Askel	NIMI: Lampputesti	Tapahtuma
1	Paina lampputestaus nappia	Valot syttyvät – Testin lopetus Valot eivät syty – jatka seuraavaan askeleeseen
2	Tarkista onko sähkönsyöt- töä	Valot syttyvät sähkönsyötön lisäämisen jälkeen – Testin lopetus Valot eivät syty – jatka seuraavaan askeleeseen
3	Tarkista sähköpiirin eheys Sulakkeet, kytkennät, joh- dotus...	Valot syttyvät eheyden korjauksen jälkeen – Testin lopetus
...

Testaamisen suoritettiin keskusvalmistuskohteessa. Tämä oli hyödyllistä, koska saatavilla oli työkalut ja erinomaiset testiolosuhteet. Paikallisohjauksotelon tekniset vaatimukset täyttyivät asiantuntijalausuntojen perusteella. Liitteessä D on esitetty pilottituotteesta ”lay-out”-kuva.

5. YHTEENVETO

Työssä luotua tuotetta ei voi kuvata termillä ”vakio”, sillä tuotteeseen sisältyy konfiguroitavia ominaisuuksia. Poltinautomaation pääkomponentti eli ohjausjärjestelmän sovel-lusalusta on konfiguroitava. Konfiguroitavat ominaisuudet määriteltiin, niin että tuote-malli ja sitä kautta itse poltinautomaatiotuote sisältää mahdollisimman paljon ennalta määritettävissä olevia ja kustannusteknisesti tiedossa olevia ominaisuuksia. Toinen tärkeä työn tavoite oli esittää tuotteistamisen prosessimallit ja menetelmät, joita käytetään uu-delleen tuotteistamisprojektin jatkuessa. Seuraavaksi käsittelen työn tulokset NABC-mal-lin avulla, joka tulee englannin kielen sanoista Need, Approach, Benefits and Competi-tion. Suomeksi sanat tarkoittavat tarve, lähestymistapa, hyödyt ja kilpailu (tai vaihtoeht-dot).

5.1 Ongelman määrittäminen ja ideointi – NEED

Puhtaasti markkinasegmenttinä prosessipolttimeihin kohdistuva kilpailu on kiristynyt. Tämä tarkoittaa, että prosessipolttimeiden teknologian säilyessä samankaltaisena läpi toi-mitusprojektien, on polttimien kilpailukyky melko puhtaasti riippuvainen hinta-kilpailu-kyvystä. Tästä muodostui työni pääongelma.

- Tuotteen ostohinnan alentaminen

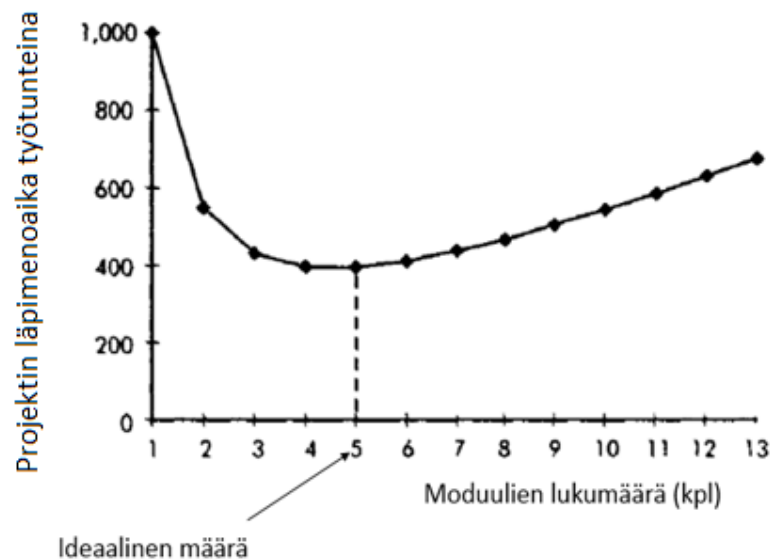
Tuotteistamisprojektissa määritettiin diplomityön laajuus ja ositukset heti projektin alku-puolella. Todellisuudessa ositukset työn tarkentuivat ja osa poistettiin, koska tuotteista-misprojektitiimi katsoi, että työn fokus on muualla. Lopulliset kehitystoimelta halutut vaikutukset yksittäiseen poltinautomaatiotuotteeseen ja tuotteesta valmiina olevaan mal-liin esitetään alla:

- Tuotteistamisprojektimalli
- Turhien osien poistaminen suunnittelun kautta
- Lisäosien ja muun myynnin erittely ja budjetointi
- Suunnitteludokumentoinnin määrittely
- Projektikohtaisen suunnitteluajan lyhentäminen
- Valmistuksen kanssa tehtävä yhteistyö
- Kustannusten paketointi

5.2 Kehitysvaihe - APPROACH

Projektikeskeinen suunnitteluprosessi muutettiin tuotokeskeiseksi suunnitteluprosessiksi. Aikaa-kuluttava tuotteen yksilöllinen suunnittelu, validointi ja revisiointi sisällytettiin tuotemalliin. Tuotemallin mahdollisten virheiden eliminoiminen toteutettiin pilottituot-

teen testaamisen yhteydessä. Kumuloituville kustannuksille luotiin seuranta tuloksen arvomenetelmällä. Kumuloituvia kustannuksia valvotaan. Tuotteistamisprojektin läpivienti rakentui vaiheporttiteorian mukaisena laatuprosessina. Laatuprosessi ohjasi työn ongelman ratkaisua, sillä sain merkittävää tukea tuotteistamisprojektin tiimiltä. Käytin työssä kaksitasoista Lehtosen esittämää modulaarista tuotesuunnittelumallia. Tuotesuunnittelumallin ylemmän tason (CSL) idea oli tuotestrategian hahmottelu ja vaatimuksien asettelu. Alempi taso (V-malli) on systemaattista tuotesuunnittelua. Molemmilla malleilla on suuri uudelleenkäytettävyyssarvo. Prosessipolttimien automaation tuotteistamisen tarkoituksena on tuottaa automaatiotuotemoduuleja poltinprosesseille. Asiakasvaatimukset voidaan parhaassa tapauksessa valjastaa suoraan automaatiomodiuulin konfigurointiin. Työn pilottihankkeessa esitetty tuotemalli korvaa vanhempia arvoketjumalleja. Alla on esitetty poltinprosessien automaation moduulien määrä projektin läpimenoajanfunktiona. Tuotteistamisella haetaan moduulien ideaalista määrää.



Kuva 31. *Läpimenoaika suhteessa moduulien määrään [30, p. 28]*

Moduulien määrä lyhentää tiettyyn rajaan asti projektin läpivientiin kuluvaan aikaan. Tarjolla olevien automaatiomoduulien määrää ei ole kannattavaa kasvattaa yli tietyn määrän, koska moduulien määrällä ei juuri ole vaikutusta projektin työtuntien määrään.

5.3 Pohdinta menetelmistä - BENEFITS

Kehitysvaiheen eli menetelmien valintojen pohjalta siirryttiin soveltamisvaiheeseen, jossa valittuja menetelmiä hyödynnettiin. Molemmissa vaiheissa sekä kehittämisestä soveltamisvaiheessa pääroolia näytteli tuotesuunnittelu. Tuloksena saatiin tuotemalli, joka tiputti tuotteen ostohintaa.

Tuotetietomallia voidaan hyödyntää uudestaan muun muassa tuotteistamishankkeissa tai tuotekehityshankkeissa. Dokumentaation suunnittelun avulla tuotetietoa välitetään nope-

ammin toimijoiden kesken ja varastoidaan etukäteen tarvittava määrä. Tuotetiedon mallintaminen ja varastointi parantaa toimitusprojektien aikatavoitteisiin pääsyä, koska käytössä on valmista jalostettavissa olevaa tuotetietoa. Esisuunniteltu tuotemallin tietous joustavoittaa eri toimituksia, lisää periytyvyyden ja uudelleen käytön mahdollisuuden, tuotekehityspohja, esisuunnitellun dokumentoinnin riittävän tason sekä kustannusten tarkat arvot sekä vertailtavuuden.

Tärkeimmät *tuotetietomallin* tarjoamat palvelut ovat alla listattuna:

1. Ideointi, organisaation oppiminen
2. Tuotekehitys ja -suunnittelu
3. Tuotteistaminen sekä tuotannollistaminen, kustannustekijöiden pieneneminen
4. Markkinointi, Tuote-esitteet
5. Myynti, tuotetarjonta mahdollisuudet
6. Valmistaminen ja hankinnat, tehostuminen
7. Toimittaminen, tehostuminen
8. Palvelutoiminta, kunnossapito ja peruskorjaukset, helpottuminen
9. Uudelleenvalmistus, ylläpito, kierrätys, uudelleen hyödynnettävyys, parannettavuus
10. Automaationsuunnittelun sidosryhmien rajapintojen määrittely ja vahvistaminen
11. Tuotteen modulaarisuus: elinkaareen ja tuotteen muunneltavuuteen liittyen
12. Tuoteperheen kilpailukyvyn kasvattaminen toimintamallin implementaatiolla
13. DTC-menetelmän hyödyntäminen tuotemallin kustannus seurannassa ja myyntivaiheen budjetoinnissa

Moduloinnin vahvuudet ja heikkoudet

Tuotteen moduloinnilla on yritystoiminnan näkökulmasta heikkouksia ja vahvuuksia [5]. Alla on tuotteistamisprosessin aikana havaittuja esimerkkejä negatiivisista että positiivisista vaikutuksista:

Moduloinnissa positiivista on:

- Modulointia hyödyntävän tuotesuunnittelun avulla lyhennetään tuotteiden tuotekehitysaikaa, esimerkiksi rinnakkaistamalla suunnittelua.
- Tuotemalliin tehtäviä muutoksia pystytään nopeuttamaan, koska muutokset tehdään moduulikohtaisesti, jolloin ne koskevat vain tiettyä osaa tuotteesta
- Tuotannollistaminen eli sarjatyön mahdollisuus valmistuksessa.
- Laatu paranee tuotannossa, koska tuotteen ”tuttuus”-aste kasvaa.
- Markkinat jakautuvat polttimen osalta useisiin erilaisiin voimalaitoksiin, jolloin taataan asiakkaalle oikea tuote oikeaan paikkaan.
- Asennus ja käyttöönotto ovat helpompia että nopeampia, koska tuotteet ja niiden rajapinnat ovat tarkemmin suunniteltuja.

Positiivisena asiana voidaan myös todeta, että luotua tuotemallia pystytään tarjoamaan eri sovelluskohteisiin. Tämä tarkoittaa, että tuotemallin toiminta-alue on suunniteltua laajempi.

Moduloinnissa negatiivisia asioita ovat:

- Erikoistoivomukset tai muut räätälöintiä vaativat tekijät ovat mahdollisesti hankalia toteuttaa.
- Modulointi on pitkän tähtäimen ratkaisu, jolloin muutoksia ei kannata tehdä lyhyellä tähtämellä.
- Varioitava moduuli on helpommin kopioitavissa tuotemallista.
- Asiakkaan toiveiden täyttämisen mahdollisuus, jolloin ongelmaksi muodostuu tarvittavien moduulien määrä sekä toiminnot.
- Mikäli moduulit on suunniteltu huonosti, syntyy lisäkustannuksia, jotka pahimmassa tapauksessa ovat kumuloituvia tuotteen elinkaaren vaiheiden mukaisesti.

5.4 Asemoituminen yrityksen käyttöön - COMPETITION

Tyypitettävä sovellusalusta tarkoittaa, että se voidaan periaatteessa suoraan kytkeä kiinni poltinjärjestelmään konfiguroinnin jälkeen. Yrityksen suunnittelu ja myynti ohjaavat konfigurointiprosessia. Heikkoutena tämän tyyppisille valmiille ratkaisupaketeille voidaan katsoa olevan joustamattomuus. Joustamattomuus voi ilmetä esimerkiksi prosessiin sopimattomuutena prosessiin, jos prosessissa tapahtuu liikaa määrittelemättömiä muutoksia. Uusi automaatiotuotemalli on hintakilpailuteknisesti parempi kuin räätälöidysti toteutetut ratkaisut. Mutta tuotemallin heikkoutena on kilpailukyky keskitetyn ratkaisun kanssa sekä istuvuus asiakkaan tarpeisiin. Pääsääntöisesti poltinautomaatio rakennetaan voimalaitoksen automaatiojärjestelmän kokonaisuuteen keskitetysti. Esimerkiksi sovellusalustan istuvuus voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmään on huomiotava myynnissä. Ongelmia saattaa ilmetä asiakkaan vaatimuksien täyttymisessä, mikäli asiakas haluaa pääautomaatiojärjestelmään keskitetyn ratkaisun tai muun ohjelmoitavan logiikan toimittajan tai ei hyväksy tyyppiä hyväksytyä tuotetta. Pahimmassa tapauksessa joudutaan siirtymään täysin räätälöityyn ratkaisuun kesken myyntivaiheen.

Kustannuslaskentamalli, joka tuotemallille luotiin perustuu puhtaasti sovelluskohtaiseen kustannuslaskentaan. Tämä tarkoittaa, että malli ei mallinna tai edes yritä mallintaa kaikkia toimitusketjuja. Ennalta määritelty toimitusketju tehtiin valmistuksen kanssa yhteistyössä. Jos toimitusprojektin arvoketjurakenteessa tapahtuu suuria muutoksia, tuotemallin kustannuslaskentamalli muuttuu tapauskohtaisemmaksi. Tapauskohtaisuus on arvioitava aina erikseen ja se tuottaa lisätyötunteja.

5.5 Tulokset ja loppukommentit

Tuotteen ostohinta laskettiin alle vaaditun tason. Etenemisprosessia käytettiin tuotteistamisprojektissa onnistuneesti. Tuotteesta saatiin eliminoidua turhia ominaisuuksia. Suun-

nitteludokumentaation pohja rakennettiin. Suunnitteluajan lyhentyminen onnistui tuotemallikohtaisesti. Valmistuksen kanssa tehtiin yhteistyötä ja se edesauttoi molempia osapuolia tuotemallin rakenteen ja ominaisuuksien suunnittelussa. Kustannukset paketoitiin osaksi tuotemallia tuloksen arvomenetelmällä. Tuotteesta luotiin kustannuslaskenta, jossa on eriteltyä tuotteen lisäosia. Pilottituotteessa havaittiin muutama tulevaisuuden kehityskohde. Kehityskohteet eivät olleet ristiriidassa suunnittelun moduulin kanssa ja ne ovat tulevaisuudessa implementoitavissa tuotemalliin.

Kustannustehokkaan tuotemallin rakentaminen on mielenkiintoinen ja haastava prosessi. Haastavaa tuotteistamisessa on fokusoinnin kohdistaminen, sillä tuotteistamisessa vaikuttavat systeemit (Kuva 11) näkyvät jokaiselle osapuolelle eri tavalla. Selkeä ja määrätietoinen vaihe-portti-etenemisprosessi soveltui mielestäni onnistuneesti läpivientistrategiana. Se toimi samalla laadun, että suunnantakaajana.

Mielestäni tuotteistamisessa modulaarisuuden pääpaino on suunnittelun esittämisessä ja määrittämisessä. Modulaarisuus tulee rakentaa, niin että se tukee jo vanhaa olemassa olevaa teknologiaa.

Tuotteistamisessa oli paljon pieniä askeleita sisältäviä toimenpiteitä. Tärkeää oli, että tuotteistamisprosessissa oli mukana tuotemallin sidosryhmät tuotteen elinkaaren mukaisesti. Erityisen tärkeää oli hankinnan, myynnin sekä valmistuksen läsnäolo. Jokainen sitoutui erittäin hyvin yhteiseen päämäärään. Kiitänkin kaikkia työn osapuolia. Lopetan työn tuotteistamisprojektina aikana havaittuun tärkeään lauseeseen, joka pohjautuu LEAN-ajatteluun.

Älä tee mitään turhaan, engl. Eliminate Waste

- *Miyamoto Musashi*

6. LÄHTEET

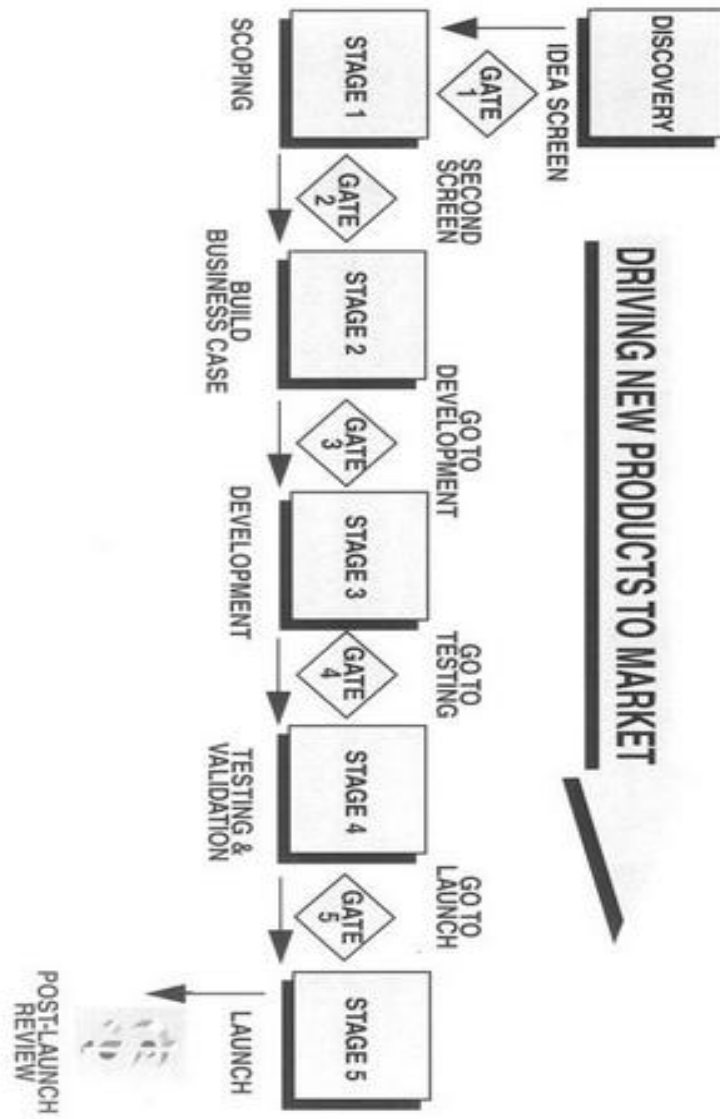
- [1] R. G. Cooper, *Winning at new products: Accelerating the Process from Idea to launch*, United States of America 1993: Perseus Books, 1993, toinen painos.
- [2] WSOY, ”Projektiliiketoiminta,” 2008, 2. painos. [Online]. Available: http://pbgroup.aalto.fi/en/the_book_and_the_glossary/projektiliiketoiminta.pdf. [Haettu 29 10 2015].
- [3] Suomen Automaatioseura ry, ”Automaatiosuunnitelun prosessimalli: yhteiset käsitteet verkottuneen suunnitelun perustana,” 2007. [Online]. Available: <http://www.automaatioseura.fi/ANTI-2.pdf>. [Haettu 1 11 2015].
- [4] Timo Lehtonen, Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 713, ”Designing Modular Product Architecture in the New Product Development,” 7 11 2007. [Online]. Available: <http://tutcris.tut.fi/portal/files/2067026/lehtonen713.pdf>. [Haettu 1 3 2016].
- [5] T. R. Österholm Jussi, *Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin: Modular function deployment*, Suomi, Helsinki: Vantaa: Tummavuori, 2001.
- [6] G. E. Anna Ericsson, *Controlling Design Variants Modular Product Platforms*, Dearborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineers, 1999.
- [7] N. H. P. J. J. M. R. A. S. A. Aalto, ””Mistä lisäjoustoa sähköjärjestelmään”, Loppuraportti,” 8 11 2012. [Online]. Available: http://energia.fi/sites/default/files/mista_lisajoustoa_sahkojarjestelmaan_loppuraportti_28_11_2012.pdf. [Haettu 2 11 2015].
- [8] Energiateollisuus ry, ”Sähkön ja lämmön yhteistuotanto,” Energiateollisuus ry, 2015. [Online]. Available: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/sahkon-ja-lammon-yhteistuotanto>. [Haettu 27 10 2015].
- [9] Energiateollisuus ry, ”Voimalaitostyyppit,” Energiateollisuus, 2015. [Online]. Available: <http://energia.fi/energia-ja-ymp-rist/s-hk-ntuotanto/voimalaitostyyppit>. [Haettu 25 10 2015].
- [10] Y. Majanne, ”Prosessien hallinnan sovellukset, voimalaitosautomaatio, luentokalvot,” *Systeemitekniikan laitos*, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2016.

- [11] Energiateollisuus ry, ”Energianlähteet, Öljy,” Energiateollisuus ry, 2015. [Online]. Available: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/oljy>. [Haettu 25 10 2015].
- [12] T. Hakanen, ”Diplomityö, Projektinhallinnan ja kustannus seurannan kehittäminen teollisuuden alihankkijayrityksessä,” 9 3 2011. [Online]. Available: <http://dSPACE.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/7103/hakanen.pdf?sequence=3>. [Haettu 14 11 2015].
- [13] J. K. Y. M. Tero Joronen, Voimalaitosautomaatio, Helsinki: Suomen automaatioseura ry, 2007, 1 painos.
- [14] P. M. L. N. H. P. P. S. M. S. T. T. Harri H., Valvomo: Suunnittelun periaatteet ja käytännöt, Helsinki: Suomen Automaatioseura ry, 2011, toinen painos.
- [15] C. E. .. Baukal, Industrial Burners Handbook, United States of America: CRC Press, 2004.
- [16] K. Hölttä-Otto, ”Towards discipline-free product development, Installation Lecture,” Aalto Yliopisto, 25 1 2016. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=9po0BHkRyFA&nohtml5=False>. [Haettu 13 4 2016].
- [17] E. F. H. N. Tyson R. Browning, ”Key Concepts in Modeling product development processes,” *Systems Engineering, Vol. 9, Wiley Periodicals*, pp. 104-128, 2006.
- [18] G. Huang, Design for X: Concurrent engineering imperatives, first edition, Dundee, UK: Springer-Science+Business Media, 1996.
- [19] S. C. R. J. Nigel Slack, Operations Management, sixth edition, Harlow, England: Pearson Education Limited, 2010.
- [20] S. W. S. F. U. P. Colin Hood, Requirements Management: Interface between requirements development and all other systems engineering processes, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [21] R. Marshall, Design Modularisation: A Systems Engineering Based Methodology For Enhance Product Realisation, väitöskirja, Loughborough University: Department of Manufacturing Engineering, 1998.
- [22] H. M. H. N. I. I. Laihonen Harri, Tietojohdaminen, Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tiedon hallinnan ja logistiikan laitos, 2013.
- [23] M. P. C.B Chapman*, ”Design engineering — a need to rethink the solution using knowledge,” 8 joulukuu 1999. [Online]. Available: <http://ac.els-cdn.com/S0950705199000131/1-s2.0-S0950705199000131->

main.pdf?_tid=e87187cc-16d5-11e6-9b9c-00000aab0f6c&acdnat=1462902046_809eafac5b1059eece8ef5ad3f861268.
[Haettu 30 4 2016].

- [24] Joonas Lehtoranta, Lappeenranta teknillinen yliopisto, ”Diplomityö, Hisseissä käytettävän kulmakorin tuotekehitys ja tuotteistaminen,” 2014. [Online]. Available:
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/101770/Hisseiss%C3%A4%20k%C3%A4ytett%C3%A4v%C3%A4n%20kulmakorin%20tuotekehitys%20ja%20tuotteistaminen.pdf?sequence=2>. [Haettu 6 12 2015].
- [25] T. & S. J. Salonen, ”Tuotetietostandardien käyttö tuotannossa,” VTT, tuotteet ja tuotanto, Helsinki, 2005.
- [26] P. Ruotsalainen, ”Tuoterakenteen ja dokumentaation merkitys kokoonpantavuudessa, Diplomityö,” 15 elokuu Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2012. [Online]. Available:
<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21398/Ruotsalainen.pdf?sequence=1>. [Haettu 1 2 2016].
- [27] I. E. Commission, ”IEC 61355 - Collection of standardized and established document kinds,” IEC, Geneva, Switzerland, 18 4 2016. [Online]. Available:
[http://std.iec.ch/iec61355/iec61355.nsf/\\$enFunction?OpenForm](http://std.iec.ch/iec61355/iec61355.nsf/$enFunction?OpenForm). [Haettu 2016].
- [28] K. Hölttä-Otto, ”Modular product platform design, Doctoral Dissertation,” 2005, Espoo, TKK. [Online]. Available:
<http://lib.tkk.fi/Diss/2005/isbn9512277670/isbn9512277670.pdf>. [Haettu 16 1 2016].
- [29] L. T. K. Juha Tiihonen, ”Kansallinen konfigurointikartoitus - asiakaskohtainen muuntelu suomalaisessa teollisuudessa,” 30 9 1999. [Online]. Available:
<http://www.soberit.hut.fi/pdmg/papers/Tiih99Kan.pdf>. [Haettu 2016 4 21].
- [30] J. Einovaara, ”Massaräätälöinti ja modulaarisuus veneen tuotesuunnittelussa, Insinööri työ,” 4 2012, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. [Online]. Available:
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41356/Einovaara_Jaakko.pdf?sequence=1. [Haettu 3 2016].
- [31] N. H. M. Jakob Filippson Parslov, ”Interface definitions in literature: A reality check,” *Concurrent Engineering: Research and Application*, osa/vuosik. 23, nro 3, pp. 183-198, 2015.

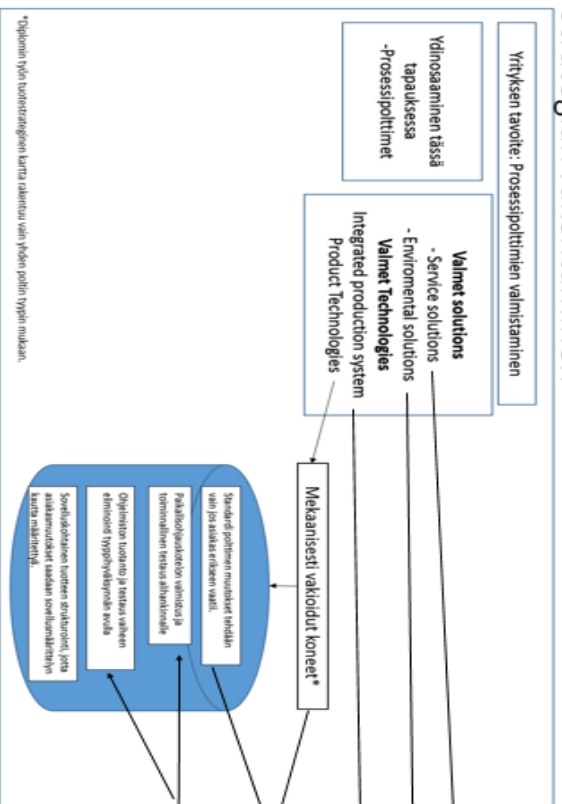
LIITE A: TUOTTEISTAMISPROSESSIMALLI



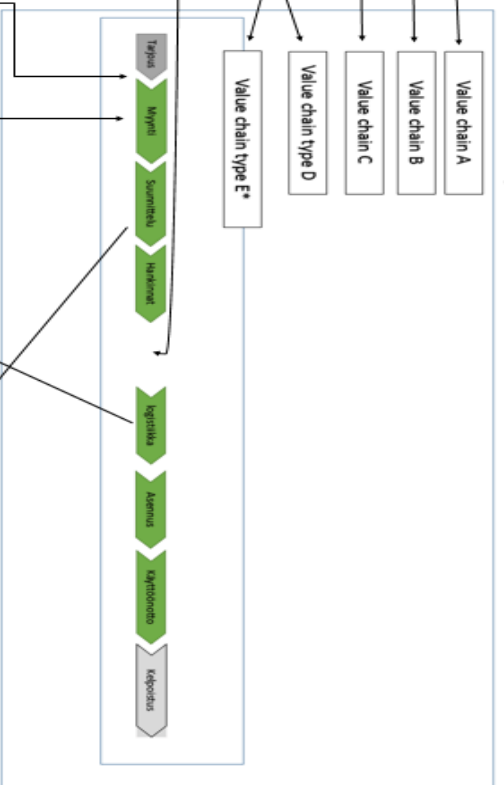
Lähde: [1], 4. painos

LIITE B: COMPANY STRATEGIC LANDSCAPE

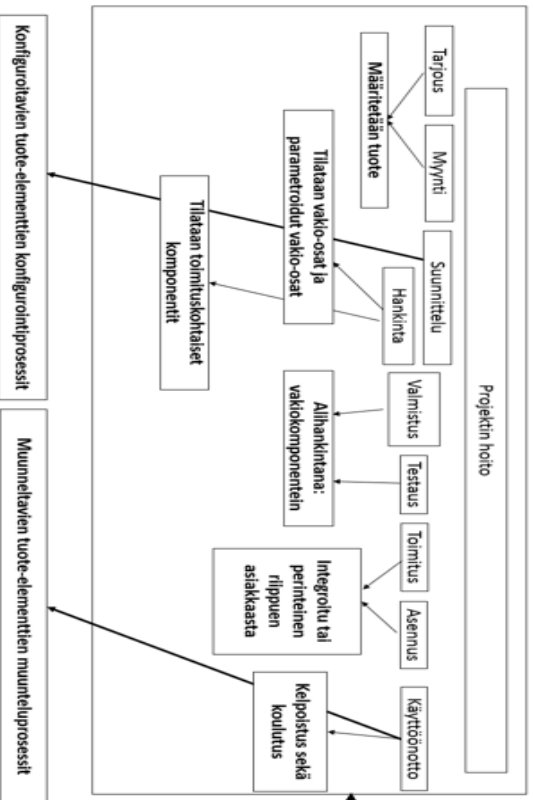
Strategian rakentaminen



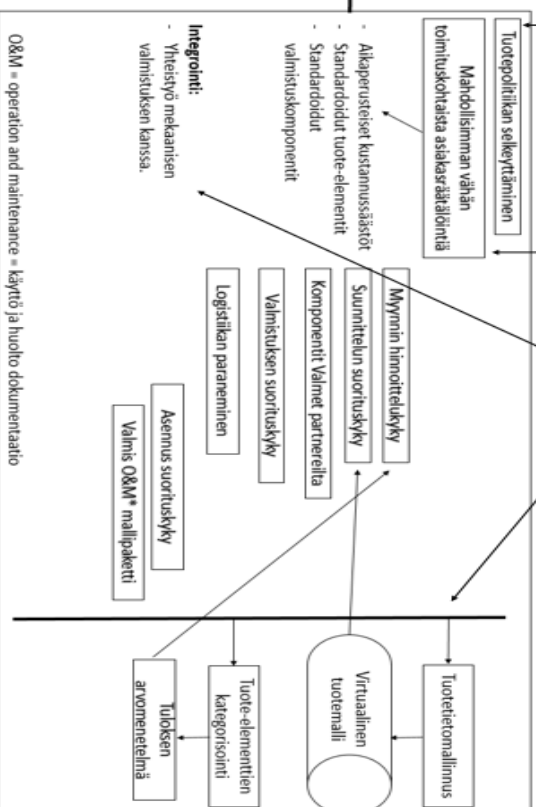
Arvoketjun rakentaminen



Prosessin strukturointi



Tuotteen strukturointi

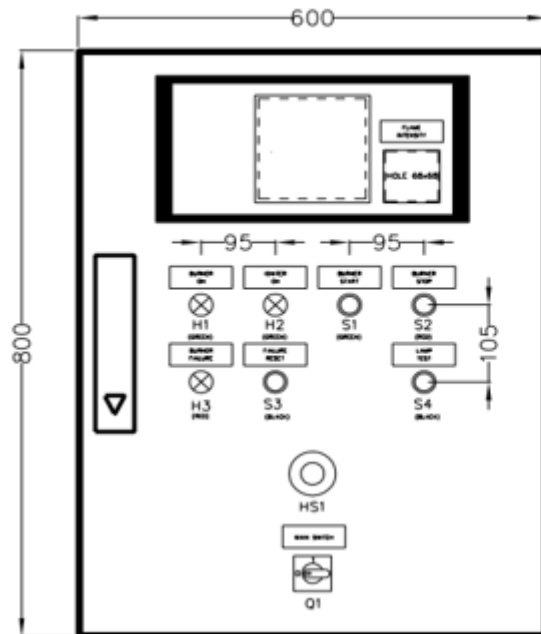


LIITE C: KUSTANNUSLASKENTAPOHJA TUO- TEMALLILLE

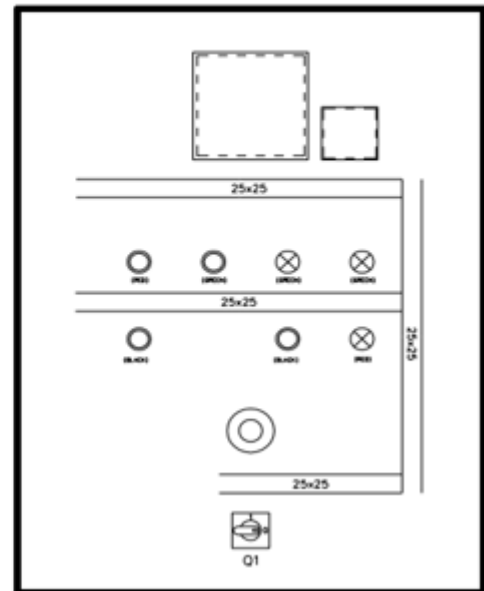
COST TYPE:						
DESCRIPTION	VALUE	SPECIFICATION	PARAMETERS	ACTUAL COST WORK PROCESSED (ACWP)	COST VARIANCE (CV)	SCHEDULE VARIANCE (SV)
Common standard parts Parametrical standard parts Configurable standard parts Configurable parametric standard parts						
COMPONENTS (BCWP):						
Project specific parts	0	Customer requirements		ACWP	-BCWP-ACWP	
Cables to burner instruments	1212	EDM	length of cables	ACWP	-BCWP-ACWP	
Cables to valveact instruments	312	EDM	length of cables	ACWP	-BCWP-ACWP	
other Cabling	0		project specific	ACWP	-BCWP-ACWP	
OPTIONS (BWCP):						
HiHi-touchpad-module	6423	if needed		ACWP	-BCWP-ACWP	
Integrated to valveact	4292	if customer wants		ACWP	-BCWP-ACWP	
Plug-in-delivery	5433	if customer wants		ACWP	-BCWP-ACWP	
WBS (BCWP):						
Design and procurements	321	Internal hour		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Programming	0	Internal hour or contract		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Control panel manufacturing	4843	Order specification		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Testing	24	scope specific		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Installation	323	scope specific		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Commissioning	1234	Internal hour or contract		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
Training	5532	according to customer		ACWP	-BCWP-ACWP	-BCWP-BCWS
ESTIMATED TO COMPLETE (ETC):	30405					

**Kustannuslaskennan arvot on korjattu parametrivektorilla. [a, b, c ... k], missä parametrit ovat yrityksen sisäisessä tiedossa.

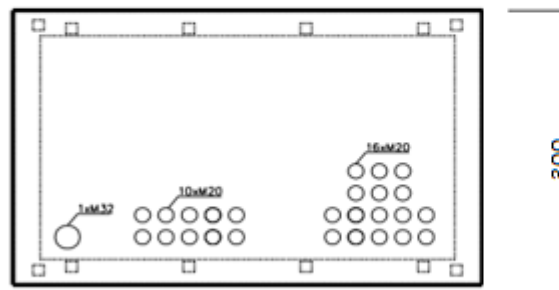
LIITE D: PILOTTITUOTTEEN LAY-OUT KUVA



DOOR OUTSIDE



DOOR INSIDE



CABLING FROM THE BOTTOM