

Juha Jussila

3D-instrumentointisuunnittelun implementointi venttiilyhdistelmätuotantoprosessiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Automaatioteknologia
Opinnäytetyö
21.2.2011

| | |
|---|---|
| Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika | Juha Jussila 3D-instrumentointisuunnittelun implementointi venttiiliyhdistelmätuotantoprosessiin 71 sivua + 8 liitettä 21.2.2011 |
| Tutkinto | insinööri (ylempi AMK) |
| Koulutusohjelma | automaatioteknologia |
| Suuntautumisvaihtoehto | |
| Ohjaaja(t) | tehdaspäällikkö Tomi Salonen lehtori Timo Tuominen |
| <p>Työssä tutkitaan ja suunnitellaan Metso Automation Helsingin toimituskeskuksen venttiiliyhdistelmäkokoonpanon tuotantoprosessiin kustannustehokas 3D-instrumentointisuunnittelun toimintamalli sekä selvitetään nykyisessä toimintamallissa instrumentointikokoonpanon läpäisy aika ja kustannukset. Toimintamalli testataan koesarjalla ja selvitetään vaikutus yhdistelmäkokoonpanon läpäisy aikaan.</p> <p>Kirjallisuustutkimuksen ja vertailuoppimisen perusteella määritetään 3D-instrumentointisuunnittelun ominaispiirteet sekä vaatimukset piensarjakokoonpanon ja digitaalisen koneenrakennuksen näkökulmasta. Nykytilaa analysoidaan kvalitatiivisten sekä kvantitatiivisten tutkimuksen menetelmillä.</p> <p>Kirjallisuuteen perustuen luotiin 3D-instrumentointisuunnittelun tuotantomenetelmä asiakasohjautuvan yhdistelmäkokoonpanon tuotantoprosessiin. Instrumentoinnin tuotantomenetelmä toteutettiin varaudu-toteuta-verkostotoimintamallina. Instrumentointituotanto jaettiin volyympiperusteisesti kolmeen eri tuotekategoriaan: vakioinstrumentointipaneeliin, moduulipohjaisiin instrumentointipaneeliin ja projekti-instrumentointipaneeliin. Koesarjan perusteella toimituskeskuksen instrumentointikokoonpanon läpäisyajan havaittiin olevan 14–43 prosenttia alkuperäisestä. Toimituskeskuksen loppukokoonpanon ennustettavuuden ja joustavuuden parantuminen sekä täydellisen tuoterakenteen luominen ovat merkittävimmät parannukset suunnitellussa toimintamallissa. Tuotantomenetelmän etuja havaittiin kokoonpanoprosessin parantumisen lisäksi instrumentointisuunnittelun, oston, myynnin ja varaston toiminnoissa.</p> <p>3D-suunnittelun käyttöönotto instrumentointituotannossa mahdollistaa toimituskeskuksen tuotannon tehostamisen sekä ulottaa hyötyjä muille Metson Automationin sisäisille toimintoille. Digitaalisen koneenrakennuksen laajentaminen lopputuotteiden 3D-mallintamiseen on edellytys tulevaisuuden suurille kehitysaskelille tuotantoteknologian parissa. Työssä esitetyt ja suunnitellut tuotannon parannusehdotukset auttavat Helsingin toimituskeskusta siirtymään haluttuun toimintatapaan. 3D-instrumentointisuunnittelun toimintamalli tukee tuotannon virtautuksen konseptia siirtämällä tuotantovolyymiä standardoimattomista tuotteista vakiotuotteisiin.</p> | |
| Avainsanat | 3D-suunnittelu, instrumentointi, kokoonpano |

| | |
|--|---|
| Author(s) Title Number of Pages Date | Juha Jussila Implementation of a 3D instrumentation design to the valve assembly production process 71 pages + 8 appendices 21 February 2011 |
| Degree | Automation Technology |
| Degree Programme | Master of Engineering |
| Specialisation option | |
| Instructor(s) | Tomi Salonen, Manager, Helsinki Supply Center Timo Tuominen, Principal Lecturer |
| <p>The purpose of this thesis was to examine and plan a cost effective operation model of 3D instrumentation design for the valve assembly production process at Metso Automation's Helsinki Supply Center. The planned operating model was reviewed with test batch. Lead-time of existing operating model was analyzed and compared to lead-time of the planned operating model.</p> <p>Literature review and benchlearning were used to identify and define the requirements for 3D instrumentation design, from the point of view of small batch assemblies and digital manufacturing. The current state was analyzed with quantitative and qualitative research methods.</p> <p>On the basis of the literature review, it was possible to create a production method with 3D instrumentation design, for the customer-driven final valve assembly process. The production method was executed as the plan-for-capacity, execute-to-order network operating model. Instrumentation production is divided into three product categories: standard instrumentation panels, module based instrumentation panels, and project instrumentation panels. When instrumentation was handled as a component product the lead times of the Helsinki Supply Center's instrumentation assembly were found to be 14–43 percentage of the current lead times. Improved predictability and production flexibility as well as the creation of a complete bill of material were the most significant improvements in the supply center's final assembly process. Benefits of the new operating model could also be seen at instrumentation planning, purchasing, sales and warehouse operations.</p> <p>Implementing 3D instrumentation design to the final assembly process of the Helsinki Supply Center makes it possible to improve the production process and also benefits other Metso Automation's internal operations. Expanding digital manufacturing to the 3D modeling of end products is essential to further big development steps in the field of production technology. The improvement proposals listed in this thesis will help the Helsinki Supply Center's final assembly process to move towards the desired state of production. The operating model of 3D instrumentation design will support the concept of production flow by moving production volume to standardized end products.</p> | |
| Keywords | 3D design, instrumentation, assembly |

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Metso Automation Flow Control | 1 |
| 1.2 | Tutkimusongelma | 2 |
| 1.3 | Tavoite ja rajaukset | 2 |
| 1.4 | Käytettävät tutkimus- ja suunnittelumenetelmät | 3 |
| 1.5 | Työn rakenne | 3 |
| 1.6 | Kontribuutio | 3 |
| 2 | Piensarjakokoonpanon kehittäminen | 5 |
| 2.1 | Tuotteiston hallinta | 5 |
| 2.1.1 | ABC-luokittelu | 6 |
| 2.1.2 | Modulointi ja standardointi | 7 |
| 2.1.3 | Tuoteperheet ja konfiguroitavat tuotteet | 7 |
| 2.2 | Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu | 8 |
| 2.3 | Ohjaava kokoonpano | 10 |
| 2.3.1 | AR-ohjeen suunnittelu- ja valmistusprosessi | 12 |
| 2.4 | Vertailujohtaminen ja -oppiminen | 13 |
| 3 | Digitaalisen koneenrakennuksen käyttöönoton perusteet | 15 |
| 3.1 | 3D-mallintamisen perusteet | 16 |
| 3.2 | Tuotteen 3D-suunnittelun vaatimukset | 18 |
| 3.3 | Kokoonpanon mallintaminen | 19 |
| 3.4 | Tuotteen elinkaaren hallinta | 20 |
| 3.4.1 | Tuotetiedon hallinta | 20 |
| 3.5 | Kustannusten mallintaminen | 21 |
| 4 | Verkostotoimintamalli nykyaikaisessa teollisessa tuotannossa | 23 |
| 4.1 | Verkoston ohjaus | 23 |
| 4.2 | Verkostostrategiat | 24 |
| 4.3 | Kilpailuttaminen | 25 |
| 4.4 | Yhteistyötoimintamalli | 25 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.5 | Riskien jakaminen | 26 |
| 4.6 | Verkoston toiminnan suunnittelu ja toteutus | 26 |
| 4.7 | Toimituskyvyn hallinta | 27 |
| 4.7.1 | Verkoston toiminnan kontrollointi | 27 |
| 4.7.2 | Muutosten hallinta | 28 |
| 4.7.3 | Taloudelliset asiat sekä sopimusasiat | 28 |
| 4.7.4 | Tietojärjestelmät | 29 |
| 4.8 | Varaudu-toteuta-ohjausmalli | 29 |
| 5 | Nykytilan analyysi | 31 |
| 5.1 | Toimituskeskuksen tuotteiden luonne ja variantit | 31 |
| 5.2 | Toimituskeskuksen kokoonpanoprosessi | 34 |
| 5.3 | Instrumentointisuunnittelu ja -kokoonpano | 36 |
| 5.4 | Järjestelmät | 37 |
| 5.5 | Suunnittelutuotteisto | 39 |
| 5.5.1 | Instrumentoinnin asiakastarpeen määrittäminen | 40 |
| 5.5.2 | Instrumentointikomponenttien analyysi | 41 |
| 5.5.3 | Läpäisy aika ja kustannukset | 43 |
| 6 | Vertailuoppimisen tulokset | 48 |
| 6.1 | Case: Valtra Oy, Suolahti | 48 |
| 6.2 | Case: Metso Paper Oy, Järvenpää | 51 |
| 7 | Venttiilyhdistelmätuotantoprosessin 3D-instrumentointisuunnittelu | 54 |
| 7.1 | Toteutusvaihtoehdot | 54 |
| 7.2 | Instrumentoinnin tuotantomenetelmä ja verkostotoimintamallin luonti | 55 |
| 7.2.1 | Strategia | 56 |
| 7.2.2 | Toimintamallit | 58 |
| 7.3 | Toiminnan toteutus | 58 |
| 7.3.1 | A-tuotteet: vakiopaneelit | 59 |
| 7.3.2 | B-tuotteet: moduulipohjaiset instrumentointipaneelit | 60 |
| 7.3.3 | C-tuotteet: projekti-instrumentointipaneelit | 62 |
| 8 | Koesarja | 64 |
| 9 | Yhteenveto | 67 |
| | Lähteet | 70 |

Liitteet

Liite 1. Instrumentointisuunnitteluun vaikuttavat asiakasvaatimukset

Liite 2. Esimerkki instrumentoinnin piirikaaviosta

Liite 3. Glendayn seula instrumentointikomponenttiryhmistä

Liite 4. DFA-analyysi, kahden pääkomponentin kokoonpano

Liite 5. DFA-analyysi, neljän pääkomponentin kokoonpano

Liite 6. DFA-analyysi, kahdeksan pääkomponentin kokoonpano

Liite 7. Mallinnetut instrumentointipaneelit

Liite 8. DFA-analyysi, instrumentointipaneeli komponenttituotteena

Lyhenteet

| | |
|--------------|---|
| 2D | 2-Dimensional , <i>kaksiulotteinen esitystapa</i> |
| 3D | 3-Dimensional , <i>kolmiulotteinen esitystapa</i> |
| AFR | Air Filter Regulator , <i>suodatinsäädin</i> |
| AOV | Air Operated Valve , <i>ilmaohjattu venttiili</i> |
| ATO | Assembly to Order , <i>tilaus käynnistää kokoonpanon</i> |
| AR | Augmented Reality , <i>lisätty todellisuus</i> |
| CAD | Computer Aided Design , <i>tietokoneavusteinen suunnittelu</i> |
| CAM | Computer Aided Manufacturing , <i>tietokoneavusteinen valmistus</i> |
| CV | Check Valve , <i>takaiskuventtiili</i> |
| DFA | Design for Assembly , <i>tuotteiden kokoonpantavuus</i> |
| DFM | Design for Manufacturing , <i>tuotteiden valmistettavuus</i> |
| DFMA | Design for Manufacturing and Assembly , <i>valmistus ja kokoonpano- ystävällinen suunnittelu</i> |
| DFx | Design for X , <i>yleisnimitys, joka kokooa valmistus- ja kokoonpanoystäväl- liset suunnittelumenetelmät</i> |
| EHC | Energy & Hydrocarbon , <i>energia-, öljy- ja kaasuteollisuus</i> |
| ERP | Enterprise Resource Planning , <i>toiminnanohjaus järjestelmä</i> |
| ESD | Emergency Shutdown , <i>hätäsulku</i> |
| ESV | Emergency Venting , <i>varoventtiili</i> |
| ExCom | Executive Committee , <i>Metso Automation Oy, Flow Controlin hallitus</i> |
| ETO | Engineer to Order , <i>asiakasräätälöity tuotanto</i> |
| FAT | Factory Acceptance Test , <i>asiakastarkastus</i> |
| FC | Flow Control , <i>Metso Automation Oy:n liiketoimintalinja</i> |
| HCF | Helsinki Component Factory , <i>Helsingin komponenttitehdas</i> |
| HSC | Helsinki Supply Center , <i>Helsingin toimituskeskus</i> |
| MTO | Make to Order , <i>asiakastilaus käynnistää valmistamisen</i> |
| MTS | Make to Stock , <i>suoraan varastoon tuotanto</i> |
| PDM | Product Data Management , <i>tuotetiedon hallinta</i> |
| PLM | Product Lifecycle Management , <i>tuotteen elinkaarenhallinta</i> |
| PPS | Pneumatic Pressure Switch , <i>pneumaattinen painekeytkin</i> |
| QFD | Quality Function Deployment , <i>analyysimenetelmä asiakastarpeen selvittämiseksi</i> |

| | |
|-------------|--|
| QEV | Quick-Exhaust Valve, pikapoistoventtiili |
| SCM | Supply Chain Management, toimitusketjunhallinta |
| SCV | Speed Control Valve, kuristin |
| SOP | Standard Operating Procedure, Lean-tuotantomallin mukainen toimintaohje |
| SV | Solenoid Valve, magneettiventtiili |
| STEP | Standard for Exchange of Product Data, ISO 10303 -standardiperhe tuotetietoon |
| VB | Volume Booster, tilavuusvirran vahvistin |
| VMI | Vendor Managed Inventory, toimittajan hallinnoima varasto |

1 Johdanto

Metso Oyj on kansainvälinen teknologiakonserni, jonka erikoisosaamista ovat kestävät teknologia- ja palveluratkaisut kaivos-, maarakennus-, voimantuotanto-, automaatio-, kierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuudelle. Liiketoiminta on organisoitu kolmeen segmenttiin: kaivos- ja maarakennusteknologiaan, energia- ja ympäristöteknologiaan sekä paperi- ja kuituteknologiaan. Metso-konserni työllistää maailmanlaajuisesti noin 27 000 henkilöä, ja asiakkaita on yli sadassa maassa. Vuonna 2009 Metso-konsernin liikevaihto oli 5 016 miljoonaa euroa.

Automaatio-liiketoimintalinja kuuluu Metson energia- ja ympäristöteknologia -segmenttiin. Se on erikoistunut prosessiteollisuuden virtauksensäätöratkaisuihin sekä automaation ja informaationhallinnan sovellusverkkoihin ja järjestelmiin ja palveluihin, jotka kattavat tuotteiden koko elinkaaren. Merkittävimmät asiakasteollisuudet ovat energia-, öljy- ja kaasuteollisuus sekä sellu- ja paperiteollisuus. Automaatio-liiketoimintalinja toimii maailmanlaajuisesti, ja sillä on myynti- ja asiakaspalveluyksiköitä 39 maassa.

1.1 Metso Automation Flow Control

Metso Automationin Flow Control (FC) -liiketoimintalinja kehittää ja toimittaa säätö-, sulk- ja hätäsulkuventtiileitä sekä kenttälaitteiden hallintaratkaisuja useille prosessiteollisuuden aloille. Flow Control -liiketoimintalinjan juuret ovat Helsingissä, jossa sijaitsee liiketoimintalinjan pääkonttori ja suurin tuotantolaitos. Helsingin tehtaan yhtenä osana on Helsingin toimituskeskus, Helsinki Supply Center (HSC). Toimituskeskuksia on tällä hetkellä Helsingin lisäksi Shanghaissa Kiinassa, Horgaussa Saksassa ja Sorocabassa Brasiliassa.

Helsingin toimituskeskus on vastuussa venttiileiden korkealaatuisesta yhdistelmäkokonpanosta mukaan lukien toimitusketju aina osatoimittajista pakattuun ja lähetettyyn asiakastilaukseen. Toiminnan päämittareita ovat toimitusvarmuus, korkea laatu sekä läpäisy aika.

1.2 Tutkimusongelma

Metso Automation Oy Flow Control Operations rakentaa uuden tehtaan Vantaan Hakkiilaan. Tehdas valmistuu keväällä 2011. Uuteen tehtaaseen siirretään nykyiset toiminnot Helsingin Roihupellosta, mukaan lukien toimituskeskus. Toimituskeskuksen toimintaa kehitetään ja muutetaan uudessa tehtaassa palvelemaan paremmin asiakkaita sekä sisäisiä sidosryhmiä. Yhdistelmäkokoonpanon läpäisy aika ei ole ennustettavissa riittäväällä tarkkuudella. Tähän yksi syy on yhdistelmään liittyvän instrumentoinnin asennus ja kokoonpanon etukäteissuunnittelun puuttuminen.

Lopputuotteeseen liittyvä instrumentointi on suunniteltu piirikaavion ja mittakuvan tasolle. Instrumentoinnin layoutin toteuttaa asentaja. Keskitetyn 3D-suunnittelun puuttumisesta seuraa, että yhdistelmät ovat usein erilaisia keskenään, tuoterakenteet ovat puutteellisia sekä varaston hallinta ja kokoonpanon keräily on työlästä. Yhdistelmäkokoonpanon instrumentoinnin kokonaiskustannukset eivät ole tiedossa, eikä asiakkaille ei pystytä toimittamaan 3D-malleja lopputuotteesta.

1.3 Tavoite ja rajaukset

Työn tavoitteena on tutkia ja suunnitella Helsingin toimituskeskuksen yhdistelmäkokoonpanon tuotantoprosessiin kustannustehokas 3D-instrumentointisuunnittelun toimintamalli ja selvittää nykyisessä toimintamallissa instrumentointikokoonpanon läpäisy aika ja kustannukset. Työ rajataan Neles-tuotelinjan virtauksensäätöratkaisuihin.

Työssä kuvataan, miten 3D-instrumentointisuunnittelun tulee toimia huomioiden informaatiovirta ja tietovarastot. Työn tuotoksena tehdään koesarjoin testattu ja perusteltu suositus toimintamallista 3D-instrumentointisuunnitteluprosessille ja lasketaan 3D-suunniteltujen tuotteiden todelliset valmistuskustannukset.

1.4 Käytettävät tutkimus- ja suunnittelumenetelmät

Työ tehdään konstruktivisena tutkimuksena, jossa tutkimusongelma sidotaan aikaisempaan teoriaan. Suunnitellaan muutos havaittujen ongelmien ratkaisemiseksi. Toteutetaan sekä testataan suunnitelma. Tutkimuksessa hyödynnetään kvalitatiivisen sekä kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä. Kvalitatiivisilla menetelmillä perehdytään tutkimusongelman ymmärtämiseen sekä tutkitaan muiden yritysten toimintatapaa. Kvantitatiivisilla menetelmillä tutkitaan ja analysoidaan nykytilaa.

1.5 Työn rakenne

Työ jakaantuu neljään pääkokonaisuuteen: kirjallisuustutkimukseen, nykytila-analyysiin, vertailuoppimiseen ja toteutusvaiheeseen. Työn kirjallisuusosiossa selvitetään tämän päivän piensarjakokoonpanon, digitaalisen koneenrakennuksen ja verkostotoimintamallin vaatimuksia, käyttöönoton perusteita sekä parhaita käytäntöjä ja menetelmiä. Kirjallisuuslähteet ovat pääasiassa tuoreita tieteellisiä artikkeleita, julkaisuja sekä tuotantotekniikan kehittämisen peruskirjallisuutta. Nykytila-analyysissä selvitetään nykyinen toimintamalli ja venttiiliyhdistelmätuotannon instrumentointikokoonpanon läpäisy aika ja kustannukset.

Vertailuoppimisen avulla kartoitetaan muiden kokoonpanovalmistusta käyttävien yritysten toimintaa. Valitut yritykset ovat hyödyntäneet menestyksekkäästi useita vuosia tuotantoprosesseissa digitaalista koneenrakennusta. Yritysten suunnitteluprosessista etsitään konkreettisia toimintatapoja, joita hyödynnetään 3D-instrumentointisuunnittelun käyttöönotossa. Toteutusvaiheessa sovelletaan kirjallisuustutkimuksen, nykytila-analyysin ja vertailuoppimisen asioita sekä kehitetään, toteutetaan ja testataan 3D-instrumentointisuunnitteluprosessin toiminta.

1.6 Kontribuutio

Digitaalisen koneenrakennuksen ja verkostotoimintamallin avulla venttiiliyhdistelmäkokoonpanon läpäisy aika lyhenee ja joustavuus lisääntyy, mikä helpottaa tuotannon ohjausta. Lopputuotteen etukäteissuunnittelu parantaa tuotteiden laatua ja lopputuotteen tuoterakenteen ylläpitoa. Kehitetyn toimintamallin vaikutukset ulottuvat yli tehtaan

rajojen instrumentointisuunnitteluun sekä myynti-, osto- ja varastotoimintoihin. Instrumentointisuunnittelun resursseja voidaan ohjata paremmin vaikeisiin asiakaskohtaisiin sovelluksiin ja laajoihin projekteihin. Myynnin työ helpottuu standardoidun ja moduloidun instrumentointituotannon johdosta. Työ tukee tuotannon virtautuksen ja Lean-johtamisfilosofian käyttöönottoa. Asiakasta ohjataan tuotannon kannalta optimaalisiin ratkaisuihin. Asiakas hyötyy nopeampana toimitusaikana ja suunniteltuna laatuna.

2 Piensarjakokoonpanon kehittäminen

Hyvin suunniteltu - puoliksi tehty (Lempiäinen ja Savolainen 2003: i).

Valmistettavan tuotteen lopullisiin kustannuksiin vaikuttavat pääosin tuotteen suunnitteluprosessin aikana tehdyt päätökset. Valmistusystävällisyys on otettava huomioon jo tuotteen suunnittelussa. Tällöin vältetään perinteisen lähestymistavan ongelmalta, jossa suunnitteluosasto vastaa tuotteen suunnittelusta ja tuotanto valmistuksesta. Tässä mallissa tuotannolliset ongelmat tulevat esiin vasta vastuun siirryttyä tuotannolle, jolloin aiheutuu uudelleen suunnittelua, pidempää suunnittelu-aikaa ja suurempia kokonaiskustannuksia. Erityisesti konepajateollisuudessa kokoonpanotoimintojen osuus tuotteen valmistuskustannuksista on merkittävä. Tämän vuoksi tuotekehitysprosessissa on erityisen tärkeää ottaa huomioon kokoonpano kahdella eri tasolla: koko tuotteen ja tuotteen osien suunnittelussa. (Laakko ym. 1998: 184.)

2.1 Tuotteiston hallinta

Yrityksen tuotteiston hallinta vaikuttaa lähes kaikkiin yrityksen toimintoihin ja perustuu asiakastarpeen tunnistamiseen (kuva 1). Asiakastarpeeseen vastataan liiketoimintaketjussa tuotekehityksellä siirtyen markkinointi-, myynti-, suunnittelu-, valmistus- ja asennusvaiheiden kautta huoltotoimintoihin. Kaikkia liiketoimintaketjun vaiheita voidaan helpottaa hyvällä tuotetiedon hallinnalla.



Kuva 1. Tuotteiston hallinnan vaikutus liiketoimintaketjuun (Laakko ym. 1998: 15).

Tuotteiston hallinta vaatii selvästi määritellyn tuotepolitiikan. Tuotepolitiikan funktiona on tunnistaa todelliset asiakastarpeet kuvitelluista. Asiakastarpeita tunnistettaessa pitää huomioida niiden mahdollinen ketjuuntuminen eli asiakkaan tarpeet. Tuotepolitiikka edellyttää yrityksen osaamisalueen tunnistamista ja huomioonottamista. Tämä pitää ottaa erityisesti huomioon asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa riskinä on räätälöinnin ajautuminen ulos osaamisalueelta, jolloin tarjottuja ratkaisuja ei ole kannattavaa toteuttaa omalla osaamisella. (Laakko ym. 1998: 15–16.)

2.1.1 ABC-luokittelu

Laakko ym. (1998: 13) painottavat, että on tärkeää erottaa asiakasprosessin kannalta toisistaan erityyppiset tuotteet. Toimitusprosessien jako eri ryhmiin tehostaa tuotteiston hallintaa. Tähän analysointiin soveltuu hyvin ABC-luokittelu, jossa tuotteet jaetaan kolmeen kategoriaan. A-prosessin tuotteet ovat täysin vakioituja, B-prosessin tuotteet vaativat vakiotuotteista poikkeavaa konfigurointia ja C-prosessin tuotteet sisältävät epästandardeja osia tai moduuleja, jotka vaativat uutta suunnittelua. A-prosessista

valmistuu etupäässä standardiosia sisältäviä suuren toistuvuuden tuotteita ja C-prosessin tuotteet ovat epästandardeja pienen toistuvuuden tuotteita.

Tuotteiden analysoinnin tulee olla jatkuvaa niiden ollessa markkinoilla. Alun perin C-prosessin tuotetyyppi saattaa olla järkevää kehittää tai muuttaa siten, että se voidaan siirtää B- tai A-prosessin tuotteeksi. (Laakko ym. 1998: 12–16.) Sakki (2003: 92) selvittää, että ABC-analyysi on aina kuva menneistä tapahtumista ja ettei tulevaisuus ole samanlainen.

2.1.2 Modulointi ja standardointi

Modulointi on ratkaisu asiakkaiden tarvekirjon laajenemisen myötä tapahtuvaan tuotteiston liian laajaksi kasvamiseen ja sen vaikeaan hallittavuuteen. Moduloinnin tarkoituksena on löytää tuotteelle rakenne, johon voi hallitusti tehdä asiakkaan haluamat muutokset. Moduuli on asiakkaan tarpeeseen perustuva kokonaisuus. Kun tuote jaetaan moduuleihin, voidaan vähemmällä erilaisten osien määrällä hoitaa laajempi tuotevalikoima. Yrityksellä voi olla vähän keskenään samanlaisia toimituksia, mutta moduulien toistuvuus voi kuitenkin olla merkittävä. Standardointi pyrkii minimoimaan nimikkeiden määrän, mikä osaltaan tehostaa tuotteiston hallintaa. Moduloinnin ja standardoinnin tuloksena sitoutuneen pääoman ja suunnittelutyön määrä pienenee, mikä johtuu yksittäisten nimikkeiden kierron kasvamisesta. (Laakko ym. 1998: 16–17.)

2.1.3 Tuoteperheet ja konfiguroitavat tuotteet

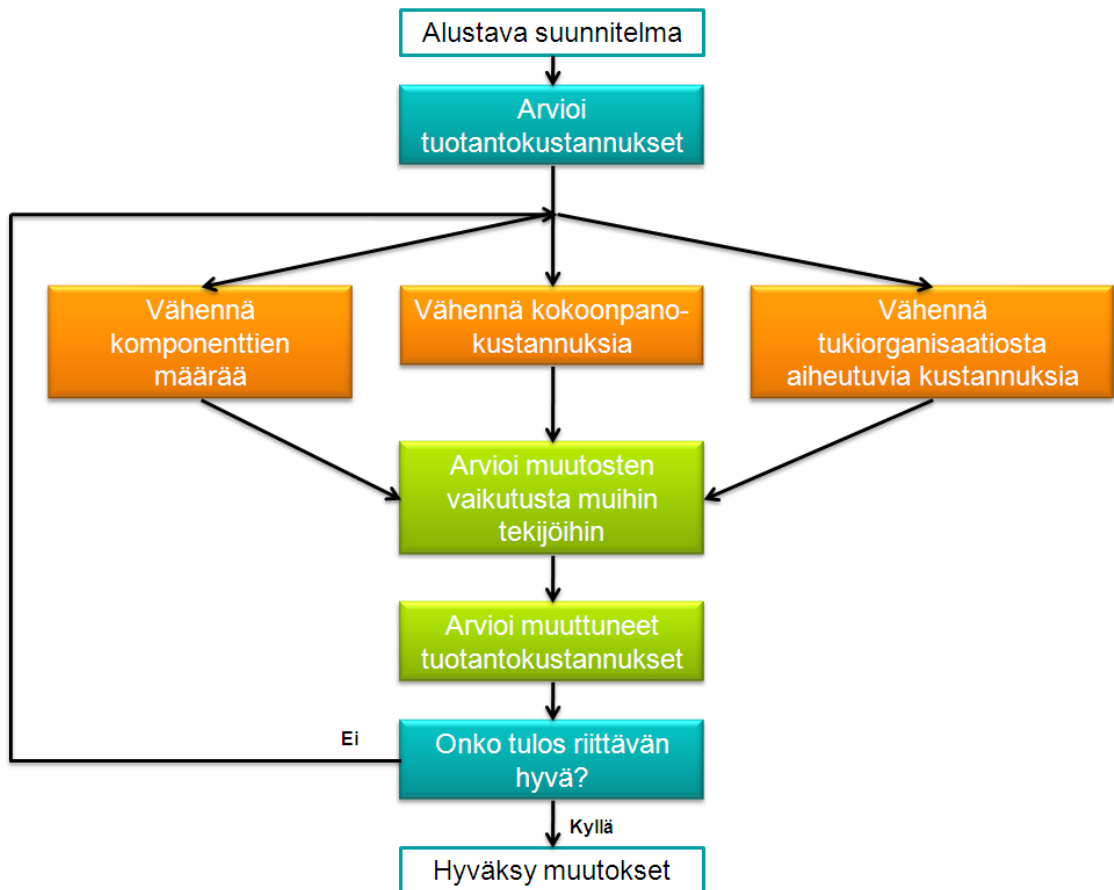
Tuoteperheajatuksen ideana on jakaa tuotteisto kussakin kohteessa ryhmiin, joissa tuotteiden samankaltaisuudesta voidaan hyötyä. Tuoteperheillä tarkoitetaan tuoteryhmiä, joiden sisällä tuotteilla on jokin tai joitakin yhteisiä ominaisuuksia. Ominaisuuksien yhteneväisyys voi olla esimerkiksi valmistusmenetelmissä, valmistuksen reiteissä, tuotteen käyttötarkoituksessa tai markkinoinnin kohderyhmissä. Sama tuote voi kuulua useaan tuoteperheeseen sen mukaan, mihin tarkoitukseen tuoteperhe on perustettu. Tärkeää on, että tuotannon kaikki osa-alueet pystyvät jakamaan omaan tuotantoon kuuluvat osat siten, että yhtäläisyyksistä hyödytään.

Tuote- ja osaperheajattelulla voidaan säästää huomattavasti aikaa sekä tuotteen myöhemmässä kehitystyössä suunnittelukustannusten osalta että tuotteiden valmistuksessa. Paras hyöty saavutetaan, kun tuotteet pystytään moduloimaan mahdollisimman pitkälle. Moduloinnilla tulisi päästä siihen, että eri tuotteet voidaan toteuttaa tuotteen vakiomoduuleja yhdistelemällä. Modulointiratkaisuiden esteenä on usein liittymäkohtien ja -rajapintojen standardoimattomuus. Rajapinnat pitää olla tarkasti määritelty, jotta täydellisen modulointiratkaisuiden käyttö on mahdollista.

Tuoteperheen ja konfiguroitavan tuotteen välillä ero on usein varsin häilyvä. Konfiguroitava tuote myydään asiakaskohtaisesti määriteltyinä erilaisista moduuleista uniikiksi koottuna. Tuoteperheen kokoonpanot ja rakenteet ovat vakiintuneet tasolle, jossa myydään etukäteen vakioituja vaihtoehtoja. Tuoteperheen jäsen voidaan muodostaa varioimalla. (Laakko ym. 1998: 111–117.)

2.2 Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu

Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFMA) pyrkii mahdollisimman edulliseen konstruktion, jossa tuotteen muita ominaisuuksia ei ole unohdettu. DFMA-prosessia voidaan soveltaa tuotekehitysvaiheessa olevaan prototyyppiin tai jo tuotannossa olevaan tuotteeseen. Prosessi on iteratiivinen (kuva 2), eli sitä käydään läpi kerta toisensa jälkeen, kunnes päästään mahdollisimman lähelle edullisinta kokonaisratkaisua.



Kuva 2. DFMA-prosessi (Laakko ym. 1998: 185).

DFMA-prosessin tavoitteena on

- minimoida osien määrä
- minimoida kokoonpanossa toisiinsa asemoitavien pintojen määrä
- käyttää top-down-suunnittelua
- helpottaa osien paikalleen tuomista
- maksimoida osien yhteensopivuus
- maksimoida osien symmetria
- optimoida osien käsiteltävyys
- välttää erillisiä lukituselementtejä
- käyttää itselukittuvia osia
- käyttää modulaarista suunnittelua.

DFMA-suunnittelu koostuu kahdesta osittain päällekkäisestä osa-alueesta, jotka ovat tuotteiden valmistettavuuden huomioon ottava suunnittelu (DFM) ja tuotteiden kokoonpantavuuden huomioon ottava suunnittelu (DFA). Tuotteen ja sen osien valmistet-

tavuuteen ja kokoonpantavuuteen vaikuttavat usein samat suunnittelupäätökset, joten molemmat menetelmät kannattaa viedä tuotesuunnitteluprosessissa rinnakkain.

DFA

DFA-suunnittelulla vähennetään osien kokoonpanosta aiheutuvia kustannuksia. Kustannusten vähentäminen perustuu osien lukumäärän vähentämiseen ja komponenttien asennettavuuden helpottamiseen. Osien kokoonpantavuutta voidaan parantaa helpottamalla osan tuontia paikalleen ja lisäämällä symmetrisyyttä, jolloin kokoonpanoasennon etsiminen on helpompaa. Asemoitavien pintojen määrä pyritään vähentämään DFA-suunnittelun avulla.

Tuotteen osa voidaan todennäköisesti integroida muihin osiin, jos se ei täytä kolmesta ehdosta yhtäkään

- osan täytyy liikkua muihin osiin nähden
- osa täytyy olla eri materiaalia kuin muut osat
- osa täytyy pystyä irrottamaan asennuksen tai huollon vuoksi.

Tuotteen valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta parannettaessa pitää arvioida kaikkien muutosten kokonaisvaikutus. Oikean menetelmän valinta perustuu myös tuotteen sarjakokoon. Pienissä erissä korostuvat menetelmät, joissa työkaluissa ja työvälineissä aiheutuvat kiinteät kustannukset ovat vähäisiä, kun taas sarjakokoon kasvaessa tehokkaammat valmistusmenetelmät vaativat suurempia investointeja. (Laakko ym. 1998: 184–188).

2.3 Ohjaava kokoonpano

Yksittäistuotteiden ja räätälöitävien tuotteiden kokoonpano on hidasta, kallista ja altista virheille ja tuotteenvaihdon asetusajat ovat pitkiä. Tuotteen suunnitteluvaiheessa luodaan suurelta osin se informaatio, jota tarvitaan kokoonpanon tehokkaaseen ohjaamiseen. Ongelmana on usein, että se ei välity kokoonpanotyöhön käyttökelpoisessa, visuaalisessa muodossa. Informaatio on usein tekstimuotoista ja yleispätevää koko tuoteperheelle. Lisäksi informaation haku on työlästä ja yksiselitteinen tulkinta vaatii pitkää ammattitaitoa ja kokemusta. Jos tehtaan lattialla tapahtuvaa suunnittelua täydentävä

päätöksenteko halutaan minimoida, on edellytyksenä informaation tehokas välittäminen visuaalisesti. (Salonen ym. 2009: 9–10.)

AR-tekniologia (Augmented Reality) on uusi vuorovaikutteinen keino ihmisen ja koneen kanssakäymiseen, jossa yhdistetään digitaalisia tai virtuaalisia objekteja käyttäjän näkemään kuvaan todellisesta maailmasta. AR-ohjeissa 3D-malleja voidaan animoida kokoonpanoprosessin mukaisesti, jolloin saadaan näytettyä kokoonpanijalle liikeradat, joita pitkin kokoonpano suoritetaan, ja se miten osat on kuljetettava kokoonpanoon. Kokoonpanijan on helppo noudattaa visuaalisia ohjeita ja tehdä kokoonpano-ohjeiden mukaisesti ja aina oikein. Ohjeet ovat helpommin ymmärrettävissä kuin paperiset ohjeet. Ohjeena toimii 3D-malli liitettynä oikeaan kokoonpantavaan osaan ja työtehtävään. Ohjeet tulevat samalla luoduksi kulttuurista ja kielestä riippumattomiksi. AR-sovelluksiin liittyy tyypillisesti näyttölaitteeseen integroitu videokamera, jonka välittämä kuva käsitellään lisäämällä skaalattuja ja asemoituja virtuaalisia objekteja vastaamaan käyttäjän katselupistettä. Tätä kutsutaan augmentoinniksi. Augmentoidun kuvan näyttölaitteena voivat toimia PC:n näytöt, datalasiset tai matkapuhelimen näytöt.

Lisätty todellisuus kehittää yksittäis- ja piensarjatuotteiden suunnittelu- ja valmistusprosessia tukemaan kokoonpanotyötä paremmin. Kokoonpanomallin kanssa voidaan mennä virtuaalisesti kokoonpanoympäristöön ja varmistaa kokoonpantavuus. Kokoonpanijat keskittyvät itse kokoonpanotyöhön eivätkä siihen, mitä seuraavaksi pitäisi tehdä ja mitä kaikkea kokoonpanotyössä olisi huomioitava. Informaation etsimiseltä ja 2D-ohjeiden tulkinnalta vältytään välittämällä täsmällistä ja tarpeellista informaatiota visuaalisessa muodossa. (Salonen ym. 2009: 13–30.)

Sääski ym. (2008b) esittelevät tutkimustuloksia, jossa testattiin traktorin työhydrauliikkaventtiilin kokoonpanoa paperiohjeiden (koneenpiirustus, osaluettelo, kokoonpano-ohje) ja tietokoneella näytettävien AR-ohjeiden avulla. AR-ohjeiden avulla tehty kokoonpano nopeutui 15 % ja virheiden lukumäärä väheni 84 % verrattuna paperiohjeilla tehtyyn kokoonpanoon. Kokoonpanon lisäksi lisättyä todellisuutta voi hyödyntää myös koulutuksessa, hitsauksessa, huollossa ja ylläpidossa (Salonen ym. 2009: 31).

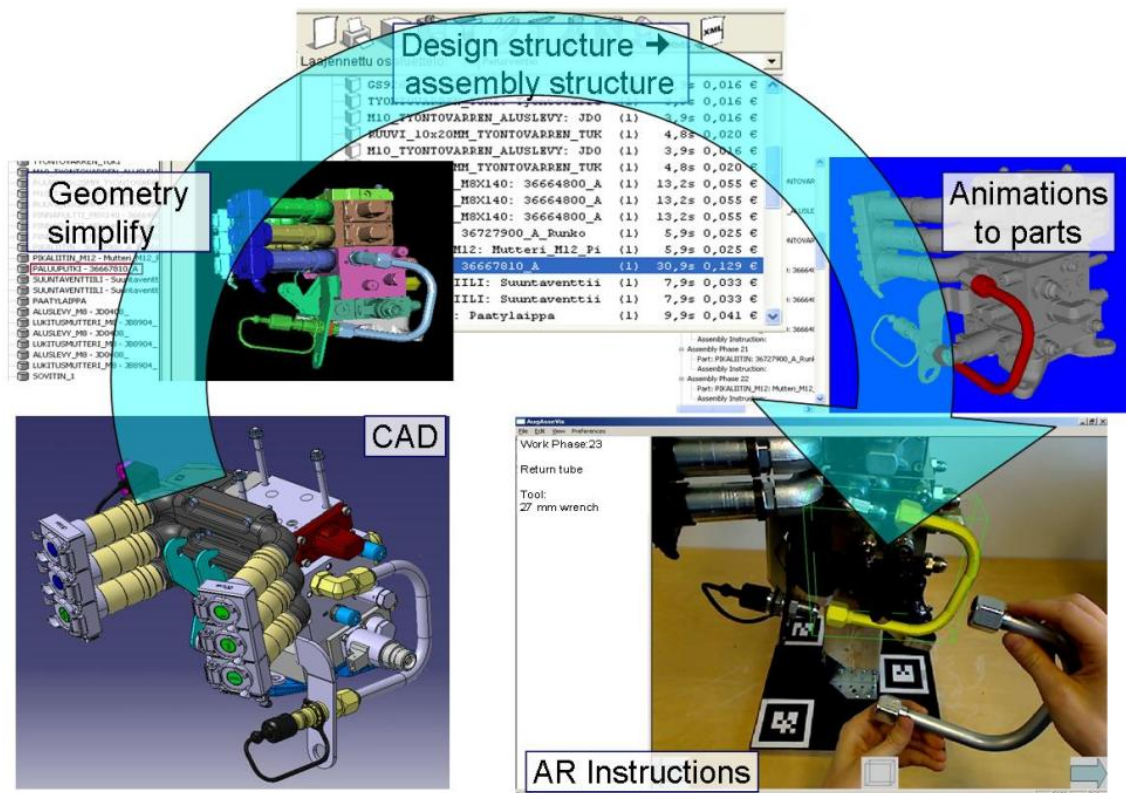
AR-tekniologian haasteena on tekniikan kypsymättömyys ja siitä johtuva laitteistojen valinnan vähyyks sekä hinta. Salonen ym. (2009: 12) pitävät AR-tekniikkaa yhtenä lähi-

tulevaisuuden merkittävistä teknologioista, vaikka tekniikan arvioidaan olevan jokapäiväisessä käytössä 5-10 vuoden kuluttua. Käyttäjätutkimuksen mukaan suurimpia puutteita olivat silmikkonäytön epätarkkuus ja käyttäjän näkemän virtuaaliobjektin hidas päivittyminen videokuvassa (Sääski ym. 2008a: 26).

2.3.1 AR-ohjeen suunnittelu- ja valmistusprosessi

AR-ohjeet liitetään tuotemalliin ja tuotesuunnitteluprosessia muutetaan siten, että AR-ohjeiden luonti on osa tuotesuunnittelua. Käytännössä AR-ohje on yksi PDM/PLM-järjestelmään (Product Data Management/Product Lifecycle Management) vietävän tuotemallin osa. Ohjeet voidaan hakea tai generoida PDM/PLM-järjestelmästä. AR toimii käyttöliittymänä kokoonpanoinformaatioon.

AR-ohjeiden lähtökohtana on suunnittelutieto, jota on rikastettava. Prosessin mukaisesti (kuva 3) kokoonpantava 3D-malli kirjoitetaan STEP-standardin mukaiseksi. Mallia kevennetään kolmioimalla mallin geometriaa, poistamalla yksityiskohtia sekä ei-näkyviä geometrian osia. Kokoonpanorakenne luetaan DFA-ohjelmaan, jossa kokoonpanorakenteelle luodaan työvaiheet ja niihin kuuluvat työkalut ja muut ohjeet. Näiden vaiheiden jälkeen tehdään AR-visualisointi, jossa työhohjeisiin lisätään osien ja osakokoonpanojen liike ja asento suhteessa osan lopulliseen paikkaan ja asentoon. (Salonen ym. 2009: 16–17.)



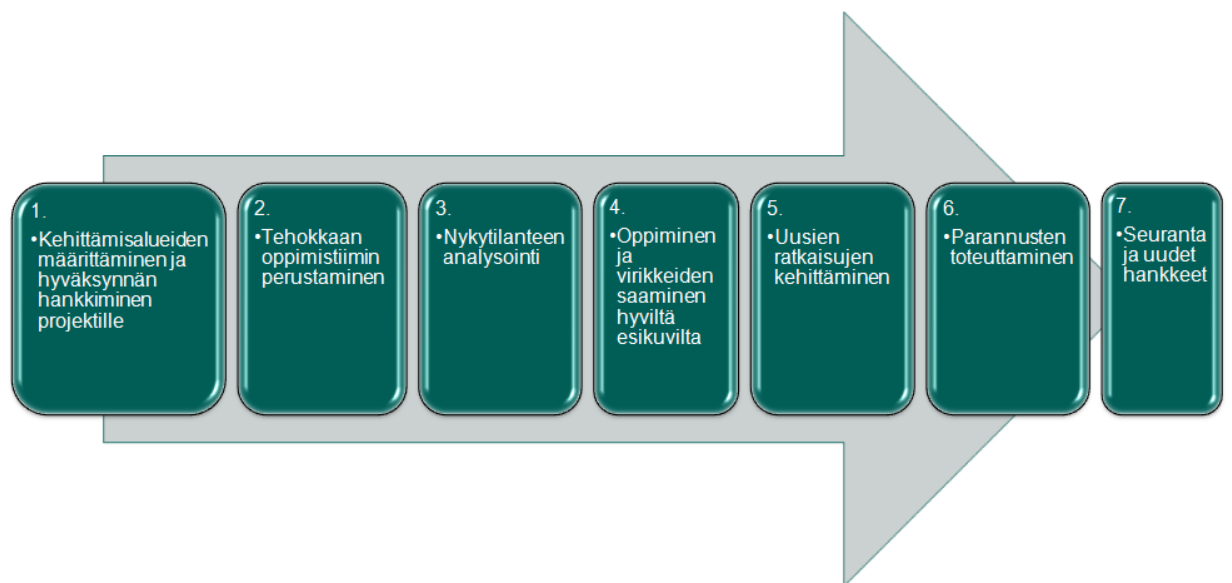
Kuva 3. AR-ohjeen suunnittelu- ja valmistusprosessi (augmented reality in manual assembly work).

2.4 Vertailujohtaminen ja -oppiminen

Vertailujohtamisen (benchmarking) tehtävänä on kerätä virikkeitä ja hakea inspiraatiota muualla vallitsevista samanlaisista tilanteista. Tarkoituksena on piristää organisaation omaa luovaa ajattelua saada se keksimään parannusmahdollisuuksia, jotka eivät olisi muuten tulleet mieleen. Vertailujohtaminen on osoittanut käytännössä sekä Yhdysvalloissa että Euroopassa yritysten kehittämisen luotettavimmaksi toimintamalliksi. Vertailujohtamisella on kuitenkin joitain rajoituksia, jotka eivät nykyään täytä kaikkia kehittämiskäsitteelle asetettuja kriteereitä. Vertailujohtaminen on tarkoitettu johdon käyttöön. Se perustuu tunnuslukuihin, joita käytetään kehittämisen ja vertailujen kriteereinä. Vertailujohtamisen hyödyntämisestä eli syvällisestä kehittämisestä ei ole laadittu menetelmiä tai menettelytapoja.

Vertailuoppimisen (benchlearning) käsite on kehitetty tarpeeseen varmistaa nopea ja tehokas oppiminen monimutkaisessa ja innovatiivisuutta sekä luovuutta vaativassa ympäristössä. Vertailuoppiminen perustuu hyvien esikuvien opetukselliseen vaikutuk-

seen, mikä on perua vertailujohtamisesta. Pääpaino on inspiraatiossa, hankitaan ja käytetään tietoa ottamalla oppia ulkopuolisten kokemuksista ja kehityksestä. Vertailuoppiminen antaa myös työntekijöille mahdollisuuden vaikuttaa suoraan oman työnsä kehittämiseen. Parhaita mahdollisia toimintatapoja etsittäessä ei yrityksen toimialalla tai tuoterakenteella ole kovin suurta merkitystä. Tärkeä asia on löytää tutustumisen kohteena oleva prosessi yrityksestä, jossa se on menestystekijä tai jopa ydinprosessi. Karlöf ym. (2003: 133) ovat jakaneen vertailuoppimisen prosessin seitsemään eri vaiheeseen: kehittämisalueiden määrittämiseen, oppimisjärjestelmän perustamiseen, nykytilanteen analysointiin, oppimiseen hyviltä esikuvilta, uusien ratkaisujen kehittämiseen, parannusten toteuttamiseen ja hankkeen seurantaan (kuva 4).



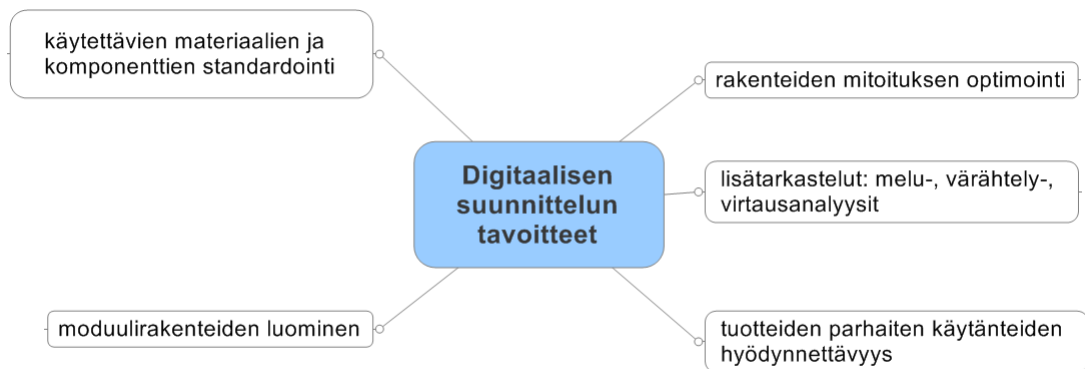
Kuva 4. Vertailuoppimismenetelmän yleiskuvaus (Karlöf ym. 2003: 133).

3 Digitaalisen koneenrakennuksen käyttöönoton perusteet

Mitä monimutkaisempi tuote on sitä suuremmat hyödyt tietotekniikan soveltamisesta on koneenrakennuksessa (Määttä ym. 2005: 6).

Digitaalinen koneenrakennus on tietokoneavusteista koneen suunnittelua (CAD), valmistusta (CAM), käyttöä ja näihin liittyvää tiedonhallintaa. Digitaalinen koneenrakennus lähtee tuotemallista, joka yhdistää tuotetiedonhallintaan (PDM) liittyvät dokumentit, mahdollistaa sekä tuotesuunnittelun, valmistus-, ja tuotannosuunnittelun tarvitsemat simuloinnit, suorittaa resurssisuunnittelua ja johtaa tuotteen elinkaaren hallintaa (PLM). (Lempiäinen ym. 2007: 2; Määttä ym. 2005: 7.)

Panostamalla digitaaliseen koneenrakennukseen voidaan kehittää suunnittelun laatua ja siten vähentää valmistuksen kustannuksia. Suunnitteluprosessin alkuvaiheisiin panostamalla säästetään erehtymisestä johtuvista tuotannon muutoksista tuotannon jo käynnistyttyä. Kokoonpanotuotannon kannalta tärkeimmiksi asioiksi nostetaan moduulirakenteiden luominen sekä materiaalien ja komponenttien standardointi (kuva 5). Asiakaskohtaiset tuotteet voidaan muodostaa vakiokomponenteista ja tuotteet on helpompi ja nopeampi liittää toisiinsa. (Lempiäinen ym. 2007: 9–10.)



Kuva 5. Digitaalisen suunnittelun tavoitteet.

Tekesin teettämän katsauksen (Ylén ym. 2010: 10) perusteella Suomessa ei enää ajatella, että automaatio vähentää työpaikkoja. Automaatio nähdään liiketoiminnan edistäjän roolissa. Tuottavuuden tehostaminen on jo pitkään ollut yksi tärkeimmistä keinoista säilyttää teollisuustuotanto Suomessa. Teollisuustuotannon kehittämisen ja mahdollis-

tamisen lisäksi automaatio tuo olennaista lisäarvoa valmistettuihin koneisiin, tuotannollisiin järjestelmiin ja suunnittelupalveluihin.

Viimeisen vuosikymmenen aikana 3D-mallinnus on merkinnyt jälleen uutta tapaa suunnitella teknisiä kohteita. Sähköisen tiedonhallinnan tehostuessa dokumentti- ja kaaviopohjaisesta suunnittelusta ollaan siirtymässä kohti tuotemallilähtöistä suunnittelua. Suunnitteluprojektissa ja tuotteen elinkaareissa laajemminkin noudatetaan ja hyödynnetään tuotemallia. 3D-kuvat tai kaaviot ovat näkymiä tuotemalliin. Toinen muutos suunnittelutyössä on sen verkottumisen voimakas lisääntyminen. Suunnitteluun osallistuu globaalimmin henkilöitä useista organisaatioista. Tuotetiedon hallinta korostuu ja vaatii suunnittelu- ja simulointiympäristöiltä entistä enemmän. Tuotemallinnus integroi tehokkaasti suunnittelun eri osa-alueita ja auttaa vuoropuhelua eri alojen suunnittelijoiden kesken. (Ylén ym. 2010: 38.)

3D-mallinnus mahdollistaa suuremman suunnittelutehokkuuden kuin 2D-mallinnus. Siirtyminen 2D-suunnittelusta 3D-suunnitteluun säästää pitkällä aikavälillä huomattavasti kustannuksia suunniteltaessa uusia tuotteita ja valmistettaessa niiden prototyyppejä. Kokonaisuuden huomioon ottavan suunnittelun merkitys korostuu, ja suurin hyöty mallinnuksesta saadaan, kun sen avulla voidaan etukäteen tehdä yhteensovittaminen ja tuotteen rakenteen varmistaminen (Ylén ym. 2010: 38; Tuhola & Viitanen 2008: 13). Tuotteen kokoonpantavuuden varmistaminen ja suorituskyvyn optimointi pitää nähdä osana suunnittelua eikä erillisenä työvaiheena.

3.1 3D-mallintamisen perusteet

Tässä työssä ei keskitytä mallinnusohjelmien vertailuun, ominaisuuksiin tai valintaan, vaan käydään mallintamisen perusteet läpi tehokkaan mallinnuksen käyttöönottamiseksi. Mallinnusohjelmat kehittyvät uusien versioiden myötä, joten ohjelmistojen vertailut vanhenevat nopeasti, ja monissa yrityksissä on konserni- tai yritystasolla valittu suunnitteluympäristö. Jokainen 3D-järjestelmä voidaan kytkeä osaksi tuotannonohjausjärjestelmää, jolloin malli ja piirustustietokannat ovat eri tahojen käytössä.

Päämääränä 3D-mallintamisessa on tuottaa mahdollisimman laadukasta informaatiota valmistuksen, kokoonpanon ja markkinoinnin tueksi. Mallinnus mahdollistaa tuotteen

fyysisten, kinemaattisten, liikerata- ja lujuusominaisuuksien tarkastamisen ja muokkaamisen ennen valmistusta. Tuotteen 3D-mallia muokkaamalla päivittyy koko muu rakenne muutosten mukaisesti. Esimerkiksi törmäystarkastelutyökaluilla voidaan varmistaa osien sopiminen kokoonpanoihin ja kokoonpanojen liityntärakenteisiin.

3D-mallinnuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaateista. Suunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja sisältävät kaikki fyysikaaliset sekä mekaaniset ominaisuudet, joita valmistettavalla tuotteella on.

Mallinnus on prosessi, joka koostuu lähtötietojen kartoittamisesta, esivalmisteluista ja varsinaisesta mallinnuksesta. Kaikki mallintamisen tarkasteluvaiheet tähtäävät siihen, että varmistetaan lähtötietojen oikeellisuus ja että lopullisesta tuotteesta saadaan toimeksiantoa vastaava toimiva kokonaisuus.

3D-mallinnusmenetelmiä on kolme päätyyppiä: kappale-, levy- ja pintamallinnus. Kappalemallinnus perustuu valmiiden muotojen käyttöön, ja pohjana on usein jokin valmis muoto, esimerkiksi kartio, ympyrä, neliö tai kolmio. Valmiista muodosta otetaan pois tai siihen lisätään muita sopivan muotoisia kappaleita. Kappalemallinnuksella tuotettujen tuotteiden työstömenetelmiä ovat lastuavat työstömenetelmät kuten sorvaus, jyrsintä, poraus ja hionta. Levymallinnus perustuu erilaisten levyjen käyttöön. Levymallinnuksen pohjana käytetään levyä, ja mallinnuksella tuotettuja tuotteiden työstömenetelmiä ovat kanttaus, särmäys, puristus- ja vetotyökalujen käyttö sekä pyörästyskoneiden käyttö. Pintamallinnus perustuu mallin muotoiluun erilaisten pintojen avulla. Pintamallinnusta käytetään tyypillisesti mallinnettaessa tuotteita, jotka valmistetaan valamalla ja pursotustyökaluja käyttämällä. Koneenrakennuksessa pyritään yksinkertaisiin ja helposti valmistettaviin tuotteisiin, joten yleensä käytetään kappale- ja levymallinnusta. Pintamallinnus on pääasiassa muotoilijoiden työkalu.

Mallinnusohjelmissa 3D-mallia voidaan tarkastella eri tavoin, kuten rautalanka-, pinta- ja tilavuusmallina. Kullakin tarkastelutavalla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa sekä käyttötarkoitukset mallinnuksen eri vaiheissa. Rautalankamallissa ovat näkyvissä ainoastaan ääriviivat, ja sitä käytetään usein, kun halutaan valita särmiä mielivaltaisesti. Pintamallissa ovat näkyvissä vain pinnat, joista tuote koostuu. Pintamallia käytetään yleisesti pursotettavien tuotteiden suunnittelussa. Tilavuusmallissa on näkyvissä kaikki

tieto, josta malli koostuu. Tämä on käytetyin tarkastelutapa. (Tuhola & Viitanen 2008: 17–34).

3.2 Tuotteen 3D-suunnittelun vaatimukset

Tilauksesta tuotteen toimitukseen on käytettävissä entistä vähemmän aikaa, joten etukäteissuunnittelun merkitys kasvaa entisestään. Tuhola ja Viitanen (2008: 33) painottavat että tehokkaan suunnittelun neljä kulmakiveä ovat ihmisen

- kyky toteuttaa asioita, eli ohjelmien hallinta ja hahmotuskyky
- käytännön kokemus
- hyvät mallinnustaidot
- taito suunnitella.

Suunnitteluprosessin pirstoutuminen yli organisaatorajojen on johtanut siihen, että tuotetiedon tärkeys korostuu. Tuotteeseen liittyvä tieto pitää pystyä tallentamaan soveltuvaan muotoon, ja tätä tietoa pitää voida muokata, levittää ja käyttää uudelleen. Tämä tieto kuvataan tuotemallina, josta liiketoimintaprosessissa työskentelevä voi hyödyntää ja rikastaa tärkeää osaa tuotteen tietämyksestä. (Laakko ym. 1998: 9.)

Tuotemallille asetettavia tavoitteita:

- suurten ja laajojen kokoonpanojen esityskyky
- osien välisten liitosten ja vapausasteiden kuvaus
- kokoonpanon yksittäisten osien esittäminen
- tuotetiedon selaus ja muokkaus eri näkökulmista
- tuotetiedon siirto ja hajautettu käyttö
- kustannusten, valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden analysointi
- tuotteen elinkaarisuunnittelun tuki
- kokoonpanorajoitusten ratkaisu
- simultaanisuunnittelun tuki
- laatuvaatimusten huomioonottaminen ja tuotetiedon uudelleenkäytön tehostaminen (Laakko ym. 1998: 10).

Lempiäisen ym. (2007: 22) mukaan tuotevaatimukset kuvaavat tuotteen käyttäjän edellyttämiä toimintoja, tuotteessa käytettäviä materiaaleja ja komponentteja, valmis-

tusmenetelmiä, huollon kohteita sekä kierrätykseen ja hävittämiseen liittyviä ohjeita tai määräyksiä. Näiden lisäksi tuotteiden on täytettävä lainsäädännölliset ja standardien mukaiset vaatimukset. Hyvin dokumentoidut ja hyväksi todetut käytännöt ovat tärkeitä suunnittelun lähtökohtia, koska moni kehitettävä konstruktio perustuu aikaisempaan suunnittelutyöhön.

Teollinen muotoilu

Teollisella muotoilulla on usein tärkeä merkitys tuotesuunnittelussa. Tuotteiden tarjonnan lisääntyessä tuotteen ulkonäkö ja ergonomia ovat tulleet yhä tärkeämmiksi myyntivalteiksi. Teollisen muotoilijoiden tulisi osallistua tuotesuunnitteluprosessiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jos asiakkaan tarpeet vaativat panostusta muotoiluun tai halutaan erottua kilpailijoista. (Laakko ym. 1998: 21.)

3.3 Kokoonpanon mallintaminen

Kokoonpano koostuu joukosta komponentteja, jotka koottuina mahdollistavat järjestelmän toiminnan. Kokoonpanojen suunnitteluprosessi keskittyy komponenttien ja alikokoonpanojen välisiin suhteisiin. CAD-järjestelmät tukevat usein hyvin yksityiskohtaisten osien suunnittelua. Tästä johtuu, että kokoonpanot mallinnetaan kokoamalla valmiista komponenteista. Tuotesuunnitteluprosessissa luonnollista olisi lähteä liikkeelle vaatimusten määrittelystä ja luonnostelusta. Kokoonpanon mallintamiseen on kaksi vastakkaista toimintatapaa; bottom-up- ja top-down-menetelmät. Näiden lisäksi voidaan edetä yhdistelmänä molemmista tavoista.

Bottom-up-menetelmä

Bottom-up-menetelmässä kokoonpanoon liittyvät yksittäiset osat on oltava täysin määritelty ennen alikokoonpanojen ja lopulta koko tuotteen kokoonpanoa. Tuotteen kokoonpanossa osien ja alikokoonpanojen paikat ja asemoinnit sekä yhteydet määritellään. Menetelmä on käyttökelpoinen erityisesti silloin, kun uutta tuotetta ei suunnitella alusta asti ja voidaan hyödyntää olemassa olevia komponentteja.

Top-down-menetelmä

Top-down-menetelmä on tuotekehittelijän tapa luoda uusia tuotteita. Menetelmä aloitetaan käsitteellisestä toiminnollisesta tasosta, jossa etsitään tapa toteuttaa tuotteen vaatimukset. Tuotteesta ja sen pääkomponenteista tehdään yleisluonnos, joka jaetaan

aliongelmiin, alikokoonpanoihin ja yksittäisiin kappaleisiin, kunnes riittävä yksityiskohtien tarkkuus saavutetaan. Top-down-suunnittelua käytetään tavallisesti mekaanisten tuotteiden suunnittelussa. (Laakko ym. 1998: 68–73.)

3.4 Tuotteen elinkaaren hallinta

Tuotteen elinkaaren hallinta (PLM) pyrkii ohjelmistokokonaisuuksien avulla hallitsemaan kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa ja suunnitteluprosessia koko elinkaaren ajan. Yritystason ohjelmistoteknologialla integroidaan tuotteen suunnittelu, menetelmäsuunnittelu, tuotannosuunnittelu, logistiikka sekä huolto ja kunnossapito. PDM- ja PLM-käsitteiden sekä sisältöjen laajuuden välillä on usein epätietoisuutta. PLM on yritystason ohjelmistoteknologia uusien tuotteiden elinkaaren sekä suunnitteluprosessin hallintaan, kun taas PDM on tuotetiedon hallintaan liittyvä ohjelmistosovellus sekä yksi osa tuotteen elinkaaren hallintaa. PLM sisältää myös CAD-ohjelmistot sekä digitaalisen valmistuksen suunnitteluohjelmistot. PLM-järjestelmien merkitys korostuu, kun yrityksen toimintoja ulkoistetaan. Silloin tietoteknisten apuvälineiden koordinoitintarve kasvaa merkittävästi. (Lempiäinen ym. 2007: 19–21.)

3.4.1 Tuotetiedon hallinta

Tiedon tuottajana CAD-järjestelmät ovat merkittävässä osassa, mutta ne keskittyvät pääasiassa tuotteen geometriaan. Järjestelmät eivät enää riitä täyttämään yritysten tarpeita tuotetiedon hallinnassa. Tuotteeseen liittyvää tietoa tuotetaan ja käytetään sen elinkaaren edetessä enimmäkseen muualla kuin CAD-ohjelmistoissa. Yrityksen koko toiminnan kannalta tuotetiedon käyttäjäryhmät ovat moninaiset, koska esimerkiksi markkinointiin, myyntiin ja komponenttien ostoon tarvitaan tietoa tuotteista. Tieto on usein erinäköistä tai -muotoista mitä CAD-järjestelmistä tuotetaan. Tuotetieto pitää pystyä esittämään erilaisille käyttäjille eri muodossa, ja tiedon pitäisi olla helposti käytettävissä. Kaikki tuotteeseen liittyvä tieto tulee hallinta kokonaisuutena. Tähän tarkoitukseen on kehitetty tuotetiedonhallintajärjestelmät (PDM). (Laakko 1998: 238–239.)

PDM-järjestelmien tavoitteena on tuotteeseen liittyvän tiedon tehokas hallinta, tiedon varastointi, dokumenttien ja nimikkeiden versioiden hallinta, tilauksen tai projektin hallinta, tuoterakenteen hallinta ja konfigurointi sekä tiedonvaihto muiden järjestelmien

kesken. Järjestelmä valvoo käyttöoikeuksia sekä osien, kokoonpanojen ja piirustusten välisiä yhteyksiä. PDM-järjestelmät on usein integroitu CAD-järjestelmän kanssa yhteen, jolloin PDM-järjestelmän tietoihin pääsee CAD-ohjelman sisältä. PDM-järjestelmät kytkeytyvät toiminnanohjausjärjestelmiin, jolloin tiedolla on yhteys tuotannon, oston, myynnin ja markkinoinnin kanssa. (Lempiäinen 2007: 24; Laakko 1998: 243–244.)

Suunnitteluprosessin ja työkalujen standardointi on tärkeää ja PDM on välttämätön, kun jaetaan ja siirretään suunnittelutietoja eri organisaatioiden välillä. Laitteista riippumattomasti käyttäytymä PDM-ohjelmistoihin toteutetaan usein Internet-selaimen avulla. Yrityksen oman tietotaidon ja immateriaalioikeuksien suojaamiseen pitää kiinnittää huomiota. Sopimusvalmistajat voidaan kytkeä tuotetiedonhallintajärjestelmään rajoitteuin oikeuksin, jolloin tuoteprojektien tehokkuus lisääntyy ja saadaan huomattavia säästöjä. Kaiken tiedon ei tarvitse olla yksityiskohtaista. Esimerkiksi kokoonpanotietojen osalta detaljeja voidaan keventää, kuitenkin niin että yhteistyökumppani saa riittävästi tietoa omiin suunnitelmiinsa. (Lempiäinen ym. 2007: 20–46.)

3.5 Kustannusten mallintaminen

Suunnittelupäätösten taloudellisten vaikutusten vuoksi kustannuskäyttäytymistä on kyettävä mallintamaan jo tuotekehitys- ja suunnittelutyön aikana. Taloudellisilla vaikutuksilla tarkoitetaan valmistajalle sekä alihankinta- ja jakeluportaalille aiheutuvia kustannuksia koko tuotteen elinkaaren ajan.

Kustannusten arvioinnin perusteena on kustannusmalli, joka kuvaa tärkeät kustannustekijät ja niiden yhteyden tuotemallissa kuvattuun tuotekonstruktioon. (Laakko ym. 1998: 189.) Suomessa digitaalisen koneenrakennuksen ja sen työkalujen mahdollistamien hyötyjen arviointi on usein puutteellista, koska yrityksissä ei ole kiinnitetty huomioita hyötyjen mittaamisen (Lempiäinen ym. 2007: 45–46).

Tuotteen valmistuskustannukset voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: osakustannuksiin, kokoonpanokustannuksiin ja muihin kustannuksiin. Tuotteen osien valmistamisen kustannukset aiheutuvat raaka-aineista, tuotantoprosessista ja työkaluista. Osista toiset tehdään itse ja osa on alihankintatuotteita. Kokoonpanokustannukset muodostuvat resurssikustannuksissa, kuten henkilö-, kone- ja laite- sekä työkalukustannuksista. Mui-

ta kustannuksia aiheuttavat tukitoimintoihin liittyvät asiat, kuten materiaalin hallinta, laadun varmistus, osto, kuljetus, laitteiden huolto ja ylläpito, sekä epäsuorat kustannukset, joita ei voida suoraan kohdistaa tuotteelle, kuten rakennusten huolto ja ylläpito. (Laakko ym. 1998: 194.)

4 Verkostotoimintamalli nykyaikaisessa teollisessa tuotannossa

Prosessi tuotteen tilauksesta toimitukseen on erittäin laaja. Siihen sisältyy tuotteiden valmistusprosessi materiaalitoimintoihin ja alihankintoihin. Asiakastoimitusprosessia tukee tuotekehitysprosessi, joka omalta osaltaan tuottaa tarvittavan tuoteinformaation asiakastoimitusten tehokkaalle toteuttamiselle. (Laakko 1998: 12–13.) Tuotannolta vaaditaan joustavuutta ja lyhyttä läpäisyäikää, kun pienenevät tilaus- ja toimituseräkoot yhdistyvät nopeisiin toimitusaikoihin. Verkostotoimintamallin edut ovat kiistatottomat monella alueella. Markkinadynamiikan hallinta helpottuu, luoden joustavuutta ja nopeutta yrityksen toimintaan. Toimintamalli mahdollistaa myös uusien innovaatioiden toteuttamisen. Seppänen & Kouri (2003: 4) esittävät verkostoitumisen kolme yleisintä tavoitetta:

- joustavuus
- uusien markkinoiden avaaminen
- riskien jakaminen.

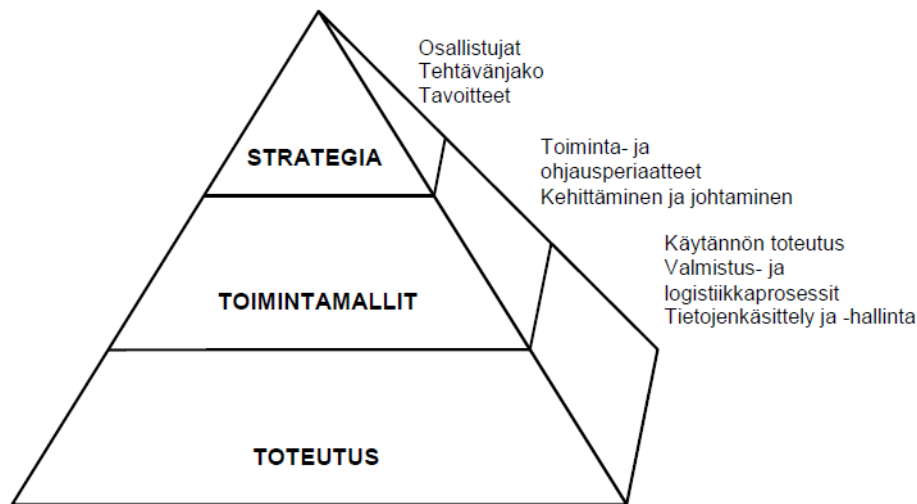
Joustavuus on yleisin verkostoitumisen johtava tekijä, sillä kapasiteetin hallinnassa tarvitaan joustoa, valmistusprosessiin halutaan joustoa ja tuotevaihtojen nopea toteuttaminen vaatii venymistä. Uusille markkinoille tuloa helpottaa kilpailijan kanssa yhteisen markkinakanavan käyttö tai yhteistyökumppanin jakeluverkoston käyttö. Myös verkostokumppanin kehittämä teknologia voidaan lisensoida oman tuoteperheen täydennykseksi. Riskin jaosta esimerkki on hankkeiden toteutus, joihin yksittäisellä ei ole mahdollisuutta.

Pitkälle menevien yhteistyömallien kehittäminen on pitkän aikajänteen investointi kummallekin osapuolelle. Osapuolilta vaadittava sitoutuminen yhteisiin toimintaperiaatteisiin ja käytäntöihin vaatii huomattavia ponnisteluja ja järkkymätöntä uskoa yhteiseen tulevaisuuteen. Kommunikaation kehittäminen on tärkeä osa yhteistoiminnan kehittämistä. (Ylén ym. 2010: 78; Seppänen & Kouri 2003: 37.)

4.1 Verkoston ohjaus

Verkoston ohjaus voidaan jakaa kolmeen eri tasoon pyramidin mukaisesti (kuva 6). Ylin taso sisältää verkoston osallistujat, tehtävänjaon ja tavoitteet. Verkoston osallistujien

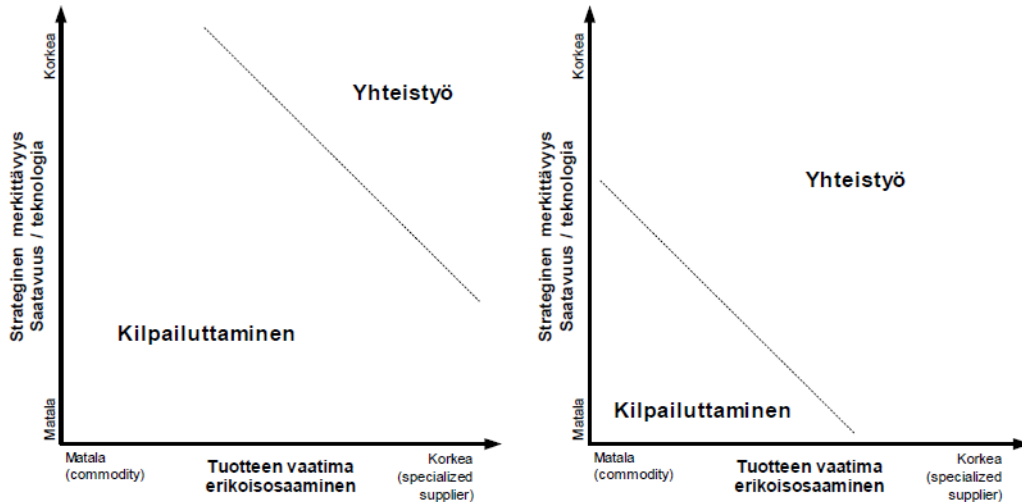
valinta ratkaisee käytettävissä olevan tietotaidon, tuotannollisen maksimikapasiteetin ja yleisen suorituskyvyn. Toinen tärkeä asia on päättää töiden jakaminen ja verkoston yhteiset tavoitteet. Pyramidin toisella tasolla suunnitellaan operatiivisen toiminnan toimintamallit. Pyramidin suurin pohjaosa koostuu toiminnan toteutuksesta. Tähän kuuluu tilaus-toimitusprosessin käytännön toteutus, reklamaatiot, verkostossa kulkevat sanomat ja toimintaan liittyvät dokumentit. (Seppänen & Kouri 2003: 19–20.)



Kuva 6. Verkoston ohjauksen rakenteelliset tasot (Seppänen & Kouri 2003: 20).

4.2 Verkostostrategiat

Verkostoituneessa toimintamallissa tavoite on, että koko toimitusketjun jokainen osa on mietitty tarkkaan ja se toimii parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Periaatteena on koko arvoketjun tehokkuuden hallinta. Seppänen & Kouri (2003: 22) toteavat tutkimuksessaan, että verkostoituminen voi perustua kilpailuttamiseen tai yhteistoimintaan perustuvaan toimintamalliin, mutta käytännössä yhteistyömallit löytyvät näiden välistä (kuva 7). Siirryttäessä verkostotuotantoon on varmistuttava, että omat toimintaprosessit tehostuvat ja yksinkertaistuvat. Lähtökohtana analysoidaan, mitä toimintoja halutaan ylläpitää ja kehittää pitkällä aikajänteellä. Tutkimuksen mukaan yritykset pyrkivät pitämään omassa hallussaan strategisesti tärkeät toiminnot ja teknologiat. Tulevaisuudessa toimittajat jaetaan entistä selkeämmin partnereihin, yhteistyökumppaneihin sekä vakiotuotteiden toimittajiin. Yhteistyötä suosivat yritykset tekevät yhteistyötä vakiokomponenttitoimittajien kanssa, kun taas kilpailuttamiseen uskovat yritykset kilpailuttavat laajemmin.



Kuva 7. Verkostostrategiat (Seppänen & Kouri 2003: 37).

4.3 Kilpailuttaminen

Kilpailuttamista hyödyntävässä verkostoitumisessa ajatellaan, että markkinamekanismi ja tehokas kilpailutus ovat keskeiset keinot verkoston tehokkuuden kehittämisessä. Kilpailuttamalla toimittajia yritykset ovat valmiita vaihtamaan toimittajia hinnan perusteella. Toimintamalli edellyttää tuotteen valmistuksen hallintaa eikä toimittajalle haluta antaa vastuuta konstruktion kehittämisestä tai valmistusprosessin hallinnasta. Vahvasti kilpailuttamiseen nojaava yritys ei tarvitse laajaa ja monimutkaista strategiaa kilpailumekanismien säädellessä kumppanien valintaa sekä yhteistyön luonnetta. Strategiassa on kuitenkin tärkeää valita ulkoistettavat toiminnot sekä yhteistyökumppanit oikein, sillä väärät valinnat aiheuttavat ongelmia pitkällä aikajänteellä.

4.4 Yhteistyötoimintamalli

Yhteistyöhön perustuva toimintamalli edellyttää pitkäaikaisia ja pysyviä yhteistyösuhteita sekä eri organisaatioiden paneutumista tuotteiden, toimintamallien ja teknologioiden kehittämiseen. Käytännön toteutus, toiminnan kehittäminen ja ongelmien ratkaisu vaatii molemminpuolista panostamista kehittämisen ja hyvää kommunikointia. Toimintamallissa toimittajalle annetaan vapaammat kädet ja suurempi vastuu tuotteiden toteuttamisesta ja suunnittelusta.

4.5 Riskien jakaminen

Keskeinen verkostoitumista edistävä tekijä on riskien vähentäminen ja jakaminen. Verkostoituminen ja toiminnan ulkoistaminen ei saa kasvattaa liiketoiminnan riskejä. Riskien hajauttaminen ja ulkoistaminen ei saisi olla liian kallista. Toimittajien on osattava hinnoitella yhteistyöhön ja sitoumuksin liittyvät riskit oikein. Mikäli toimittajien kyky hallita riskiä ja ratkaista ongelmia on parempi kuin päämiehellä, verkostoituminen on järkevää kummallekin osapuolelle. Verkoston kokonaisriski voi kasvaa, jos kustannusten minimointi ja kilpailuttaminen viedään äärimilleen. (Seppänen & Kouri 2003: 37–38.)

4.6 Verkoston toiminnan suunnittelu ja toteutus

Verkoston toiminnassa on kyse yhteisen rytmien löytymisestä ja toiminnan tehostamisesta. Toimitusketjun hallinnan kehittäminen edellyttää oman toiminnan hyvää hallintaa. Jos omassa toiminnassa on puutteita ja ongelmia, on vaikeaa ohjata verkostoa tehokkaasti. Verkostotoiminta edellyttää oman toiminnan laadun kehittämistä. Monimutkaisen ohjauksen ja suunnittelun tarvetta vähentää ohjattavuuden ja reagoitokyvyn kehittäminen. Verkoston avulla tuotannon läpäisyajojen lyhentäminen helpottaa merkittävästi toiminnanohjauksen ongelmia (Seppänen & Kouri 2003: 24). Volyymisuunnitelmat muodostavat reunaehdot verkoston toiminnalle. Tilausten tehokas toteuttaminen nojaa siihen, että verkoston eri osapuolet organisoivat toimintansa siten, että ennusteen puitteisiin mahtuvat toimitukset voidaan toteuttaa tilausten perusteella.

Seppänen & Kouri (2003: 41) toteavat että tuotteiden, tuotannon ja verkoston logistiikan kehittäminen edellyttää kehitystoimintaa johtavalta yritykseltä hyvää käsitystä verkoston kokonaiskustannusten muodostumisesta. Pitkällä aikajänteellä tämä edellyttää paneutumista verkoston toimintaan, kustannusten muodostumiseen ja kustannustietojen hankkimiseen verkoston toimijoilta. Yhteistyöverkostossa toimittajilla on laajempi vastuu toiminnan kehittämisessä ja yritykset kehittävät toimintaa omatoimisesti kustannusten vähentämiseksi.

4.7 Toimituskyvyn hallinta

Lyhytjänteisyydellä voidaan pahimmassa tapauksessa ulosmitata koko ketjun tuottavuuden kehittämisestä saadut hyödyt. Joustavuuden saavuttaminen vaatii ketjun ylävirrassa sopivaa puskurointia. Kapasiteetin ja materiaalivirran hallinta konkretisoituu toimitusketjussa niin ala- kuin ylävirran hallinnassa. Kapasiteetin käyttöasteen todellinen hallinta edellyttää tietoa tulevasta kuormituksesta.

Kiirehtimisillä ja töiden uudelleen ajoituksilla voidaan ottaa kiinni toimitusten myöhästymisiä, mutta tämä on seurausten, ei syiden hoitoa. Tärkeää on tietää mahdollisesta tulevasta toimituksen myöhästymisestä mahdollisimman ajoissa, jolloin yritys voi etukäteen valmistua tähän oman toiminnan ohjauksessa. Mittarina toimitusvarmuus ei auta operatiivista ohjausta, koska se on luonteeltaan jälkikäteistä tietoa. Toiminnan suunnittelun tulee perustua riittävän varmoihin ennusteisiin. Jos ennusteen luotettavuus on esimerkiksi 50–60 prosenttia, sen käytettävyys on erittäin heikko. (Seppänen & Kouri 2003: 31–32.)

4.7.1 Verkoston toiminnan kontrollointi

Käytännössä läpinäkyvyyteen perustuvaa seuranta on vaikea toteuttaa tietoteknisesti ja käytännön rutiinein, koska se edellyttää voimakasta tietosisältöjen ja toimintamallien standardointia (Seppänen & Kouri 2003: 28–29). Verkoston seuranta voidaan toteuttaa ennalta määrättyjen tarkastuspisteiden avulla, jolloin raportointi tapahtuu toimitusten hallinnan kautta tärkeissä vaiheissa. Kevyempi ratkaisu toiminnan kontrollointiin on häiriöiden seuranta, jossa jatkuvan seurannan sijaan seurataan poikkeamia. Tässä toimintatavassa poikkeamien nopean havaitsemisen avulla suunnitellaan paremmin sen aiheuttamien ongelmien hoito. Poikkeamien hallinnasta ja hoitamisesta vastuu on toimittajalla. (Seppänen & Kouri 2003: 39–40.)

Prosessia on helpompi kontrolloida, kun asiakkaan määrittämä variantti varioituu mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa tuotantoketjua. Modulaarisuudella päästään masaräättälöinnin logiikalla mahdollisimman myöhäiseen varioituvuuteen, mutta sillä on verkottuvassa liiketoiminnassa myös toinen merkitys tapana standardoida eri toimijoiden rajapintoja. Tarkasti määritelty osakokonaisuus on mahdollista toteuttaa ilman

raskasta yhteistyön ja koordinoinnin tarvetta. Tuotteiden konfiguroitavuus vaatii myös tuotteilta modulaarisuutta ja massaräätälöinnin periaatteiden noudattamista. (Seppänen & Kouri 2003: 35–36.)

4.7.2 Muutosten hallinta

Mahdollisimman aikaisella tilaustietojen informoinnilla lisätään toimitusketjun joustavuutta. Lopullisen varman tiedon odottaminen ennen tilauksen tekemistä syö joustavuutta, kun ylävirran toimijat eivät voi suunnitella omaa toimintaansa. Seppäsen & Kourin (2003: 32) mukaan muutoksella on kaksi eri puolta, muutokseen liittyvä tieto ja muutoksen vaikutus. Muutoksiin reagointia voidaan helpottaa reagointinopeudesta sopimisella. Kaksi tyypillistä operatiiviseen ohjaukseen liittyvää muutostyyppiä ovat enuste- ja toimitussisältöjen muutokset. Toiminnan ohjattavuuden ja seurannan parantamisessa korostuu muutosten hallinnan kehittäminen muutostyypistä huolimatta. Muutosten vaikutus pitäisi saada kaikille oleellisille osapuolille tietoon mahdollisimman pian. Keinoja tähän ovat puhelin, sähköposti ja verkkopalvelu, riippuen yritysten toimintakulttuurista. Automatisoitu tietojen siirto tietojärjestelmien välillä on seuraava kehityskaskel. Toimitusketjun toimitusvarmuutta parannettaessa on vielä tärkeämpää kehittää toimitustäsmällisyyttä, jolloin tilauksia ei toimiteta etuajassa vaan täsmällisesti oikeaan aikaan.

4.7.3 Taloudelliset asiat sekä sopimusasiat

Avointen kustannus- ja hinnoittelutietojen käyttö on kiinteissä verkostosuhteissa eräs kannustimien muoto. Molempien osapuolten tuntiessa kustannusrakenteen voidaan helposti sopia saavutettujen synergiaetujen jakaminen. Avoin hinnoittelu edellyttää vankkaa uskoa yhteistyösuhteen keston ja yhteisen kilpailukyvyyn parantumiseen avoimuuden ansiosta. Avoimessa hinnoittelussa sovitaan aina tavoite hintatasosta, joka on sen hetkistä hintaa alempi ja vaatii kehitystyötä kustannusalennuksiin pääsemiseksi. (Seppänen & Kouri 2003: 33–34.)

Tyypillisesti verkoston toimintamalli sovitaan kirjallisesti tietyksi ajanjaksoksi. Sopimusta kutsutaan vuosi-, puite- tai raamisopimukseksi. Seppäsen & Kourin (2003: 34) tekemän analyysin perusteella yritykset näkevät, että verkostosuhteissa sopimusten tulisi

olla toistaiseksi voimassaolevia, jolloin jatkuvuus kuvaa toiminnan pitkäjänteisyyttä. Analyysin perusteella sopimukset nähdään täydentävänä osana henkilöiden välisille suhteille, jotka ovat pitkäkestoisessa yhteistyössä tärkeässä roolissa. Tavanomaisesti sopimuksissa sovitaan tietyn ajanjakson volyyymista, nimikkeiden hinnoista ja kaupallisista ehdoista. Muiden sopimuskohteiden lisäksi määritellään arvioidut valmistusmäärät ja toimitusajat. Vuosisopimusten yhteydessä määritellään myös ehdot, joilla kapasiteettia voidaan muuttaa ajanjakson aikana. Yhteistoimintaverkostoissa sopimukset ovat suppeahkoja eikä kaikkia reunaehtoja pyritä raamittamaan kun, taas kiihkeän verkoston sopimukset ovat huomattavasti laajempia ja yksityiskohtaisempia. (Seppänen & Kouri 2003: 34.)

4.7.4 Tietojärjestelmät

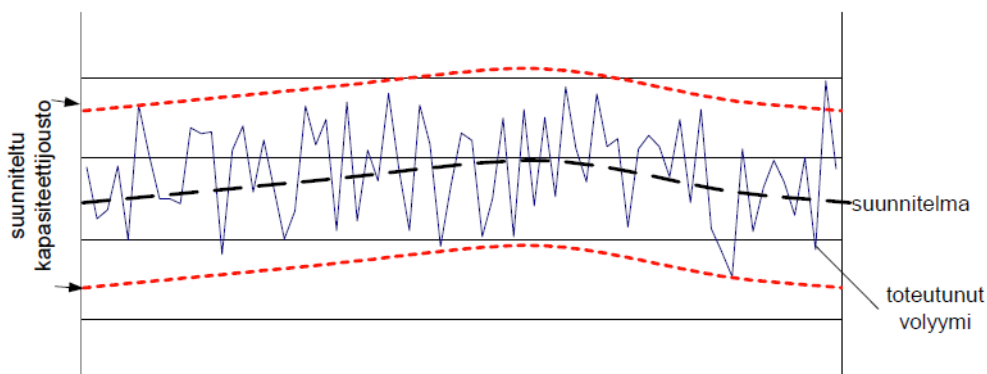
Toimintojen ulkoistaminen tai verkostotuotantoon siirtyminen kasvattaa yritysten välisen tiedonsiirron määrää. Tietojen välityksen pitää olla nopeaa, luotettavaa ja kustannustehokasta. Variaatioiden määrä kasvaa yhdessä aikajänteiden lyhentymisen kanssa. Yhteisten järjestelmien avulla toiminnan ohjaus ja koordinointi voidaan tehdä tehokkaasti. Tämä ei ole useinkaan mahdollista ulkoisten verkostojen toimintamallissa. Yksi mahdollinen toimintatapa on antaa toimittajille rajatut käyttöoikeudet omiin järjestelmiinsä, jolloin toimittajat voivat hakea tarvittavat tiedot päämiehen järjestelmästä. VMI-toimintamallissa (Vendor Managed Inventory) toimittajat seuraavat eri nimikkeiden menekkiä päämiehen tietojärjestelmästä. (Seppänen & Kouri 2003: 41–42.)

4.8 Varaudu–toteuta-ohjausmalli

Tällä hetkellä useimmissa verkostoissa on käytössä varaudu–toteuta-ohjausmalli (plan for capacity, execute to order). Käsitteellä tarkoitetaan tuotantoprosessin valmistuskapasiteetin ja materiaalipuskureiden mitoitusta alustavan volyyymisuunnitelman perusteella. Tuotteiden valmistus tapahtuu kuitenkin vasta todellisen tilauksen perusteella. Seppäsen ja Kourin (2003: 39) mukaan toimintamalli tulee vielä yleistymään tulevaisuudessa entisestään, koska se on yksinkertainen, toimintavarma. Toimintamalli tarjoaa joustavan mahdollisuuden toimitusketjun ohjauksen tehostamiseen, ja siinä on selkeä vastuunjako. Toimintamallin käyttöönotto on helppoa. Lyhentämällä aikajänteitä ja tihentämällä suunnittelusykliä voidaan ohjausta kehittää vähitellen. Toimintamalli pe-

rustuu luottamukseen edellyttäen yrityksiltä yhteisiin pelisääntöihin sitoutumista. Toimittajien jatkuvan kilpailuttamisen sijasta kehitetään verkoston joustavuutta, toimitusnopeutta, laaduntuottokykyä sekä läpäisyajojen lyhentämistä.

Tuotannosuunnittelun lähtökohtana on päämiehen laatima volyymisuunnitelma, jonka lähtökohtana on tuotteiden tilauskanta ja ennusteet tuotteiden tulevasta menekistä. Volyymisuunnitelmaa laadittaessa huomioidaan myös liiketoiminnalliset tavoitteet, liiketaloudelliset seikat sekä tuotantoprosessin ominaisuudet. Toimittajien valmistuskapasiteetti ja materiaalivarastot mitoitetaan siten, että suunnitelman mukainen tuotanto voidaan toteuttaa. Oleellista mallissa on tilausten valmistaminen varman tarpeen perusteella, jolloin aika tilauksesta toimitukseen on lyhyt. Tämä edellyttää, että tuotteen läpäisy aika verkostossa on pienempi kuin tuotteen toimitusaika. Nopean läpäisyajan lisäksi volyymisuunnittelun tarkkuus on tärkeää. Volyymisuunnittelu on erityisen vaikeaa tuotannossa, jossa asiakaskohtaisista tuotevariaatioita on paljon. Tällöin volyymisuunnittelun aikaväliä on lyhennettävä ja hyvin usein suunnitelmaa joudutaan muuttamaan kesken sopimuskauden. Järjestelmään on rakennettava kuitenkin jousto, koska suunniteltu volyyymi ei vastaa todellista menekkiä kuin poikkeustapauksissa. Kuvassa 8 on esitetty varaudu–toteuta-ohjausmallin volyymisuunnitelma ja sen ympärille suunniteltu kapasiteettijousto. (Seppänen & Kouri 2003: 25–28.)



Kuva 8. Varaudu–toteuta-ohjausmallin suunniteltu kapasiteettijousto (Seppänen ja Kouri 2003: 26).

5 Nykytilan analyysi

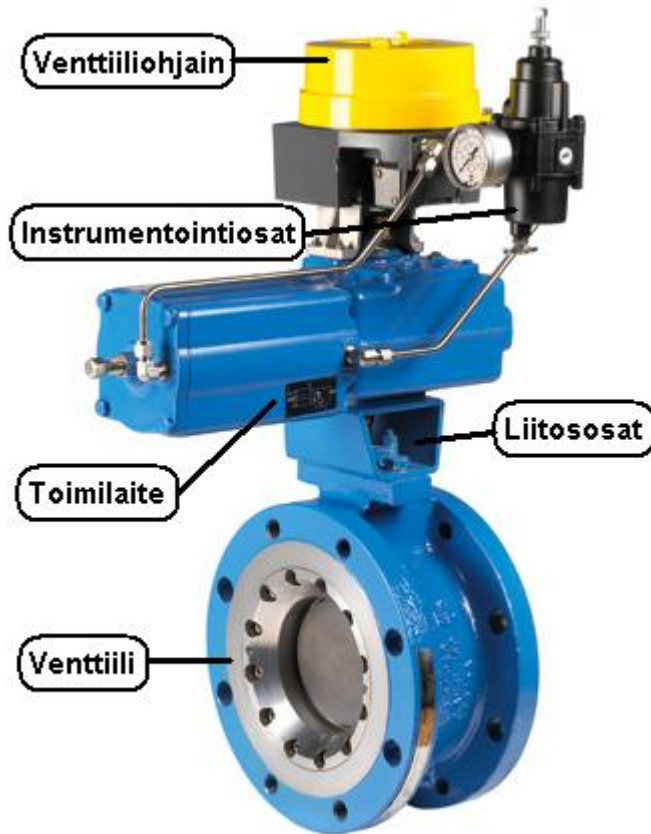
Karlöf ym. (2003: 152) toteavat, että ennen kuin voi ottaa oppia muista, pitää ymmärtää itseään. Vertailusta ei ole apua, ellei valittua kehitysaluetta ole ensin tutkittu ja analysoitu huolellisesti. Sama toteamus pätee myös muuhun tuotannon ja prosessien kehittämiseen. Tässä luvussa käydään läpi Helsingin toimituskeskuksen nykytilaa ennen uuteen tehtaaseen siirtymistä.

Helsingin toimituskeskus valmistaa lopputuotteena tilausohjautuvasti virtauksensäätö-
ratkaisun eli venttiilyhdistelmän. Tärkeimmät loppuasiakkaat ovat energia-, kaasu- ja hiilivetyteollisuudesta sekä sellu- ja paperiteollisuudesta. Sisäisistä asiakkaista ja tärkeimmät ovat myyntikonttorit, asiakastarkastus ja projektiyksikkö. Toimituskeskuksen läpi virtaa myös yhdistelmän komponenttituotteita, mutta tässä työssä niitä ei käsitellä. Flow Control -liiketoimintalinjalla on kolme eri tuotelinjaa: Neles, Jamesbury ja Mapag. Helsingin toimituskeskus on pääasiassa keskittynyt Neles- ja Jamesbury-tuotelinjan tuotteisiin, mutta valmistaa ja toimittaa myös muiden tuotelinjojen tuotteita.

Venttiilyhdistelmät kootaan komponenttitehtailta valmistettavista komponenttituotteista. Komponenttituotteet saapuvat toimituskeskukseen Helsingin ja Shanghain komponenttitehtailta sekä kolmannen osapuolen toimittajilta. Ostosnimikkeet, joita ovat erilaiset rajakytkimet, liitososat ja instrumentointikomponentit, tilataan eri yhteistyökumppaneilta. Venttiilyhdistelmätuotannon vaiheet ovat osien keräily, venttiilyhdistelmien kokoonpano, konfigurointi, kalibrointi, lopputestaus, mahdollinen asiakastarkastus (FAT) sekä pakkaus ja lähetys. Nykytilan analyysissä tarkastellaan toimituskeskuksen tuotteita sekä prosessia kokoonpanon ja instrumentoinnin toteutuksen kannalta.

5.1 Toimituskeskuksen tuotteiden luonne ja variantit

Säätö-, sulku- ja ESD-/ESV-sovelluksien virtauksensäätöratkaisut toimitetaan energia-, kaasu-, hiilivety-, paperi- ja sellutuotantolaitoksiin. Kukin virtauksensäätöratkaisu koostuu komponenttituotteista jotka ovat: venttiili, toimilaite, venttiiliohjain, liitososat ja instrumentointikomponentit (kuva 9). Näiden lisäksi venttiilyhdistelmään voi kuulua rajakytkimiä sekä muita lisäosia, kuten kuuma- ja kylmäjatkeita sekä tulilaatikoita.



Kuva 9. Venttiilyhdistelmän pääkomponentit.

Venttiilyhdistelmät voidaan jakaa tilauskohtaisuuden mukaan neljään eri tuoteryhmään:

- varastotuotteet (Make To Stock, MTS)
- tilaukselle kokoonpantavat tuotteet (Assembly To Order, ATO)
- tilaukselle valmistettavat tuotteet (Make To Order, MTO)
- tilaukselle suunniteltavat tuotteet (Engineering To Order, ETO). (Lappi 2008: 45–46.)

Helsingin tehtaan tuotantostrategia (Global Footprint) perustuu pääasiassa tilaukselle valmistettaviin ja suunniteltaviin tuotteisiin, MTO- ja ETO-tuotteisiin (Mod 2009: 51).

Venttiili

Venttiili on venttiilyhdistelmän osa, joka säätelee virtausaukon kokoa ja on kosketuksissa väliaineeseen. Neles-tuotelinjan venttiilit jaetaan sulkuelimen mukaan pallo-, läppä-, segmentti-, kiertoistukka- ja Rotary Globe -venttiileihin. Näitä kaikkia kutsutaan neljänneskiertoventtiileiksi, koska venttiilin sulkuelin tekee neljänneskiertoliikkeen sulkeutues-

saan tai avautuessaan. Asiakassovelluksesta riippuen venttiilien virtausaukon koko vaihtelee tuumasta sataan tuumaan. Venttiilien materiaalit valitaan sovelluksen olosuhteiden ja virtaavan väliaineen mukaan.

Toimilaite

Toimilaite tuottaa venttiin sulkuelimen liikuttamiseen tarvittavan momentin. Toimilaitteet ovat pääasiassa pneumaattisesti toimivia. Osassa käytetään joustaa palauttamaan toimilaite haluttuun tilaan, esimerkiksi häiriön tapahtuessa. Toimilaitteita on pneumaattisten lisäksi sähkötoimisia ja manuaalisesti käsivivulla sekä -pyörällä operoitavia. Toimituskeskuksessa kootaan Neles-tuotelinjan, Jamesbury-tuotelinjan sekä kolmannen osapuolen toimilaitteita lopputuotteisiin.

Venttiiliohjain

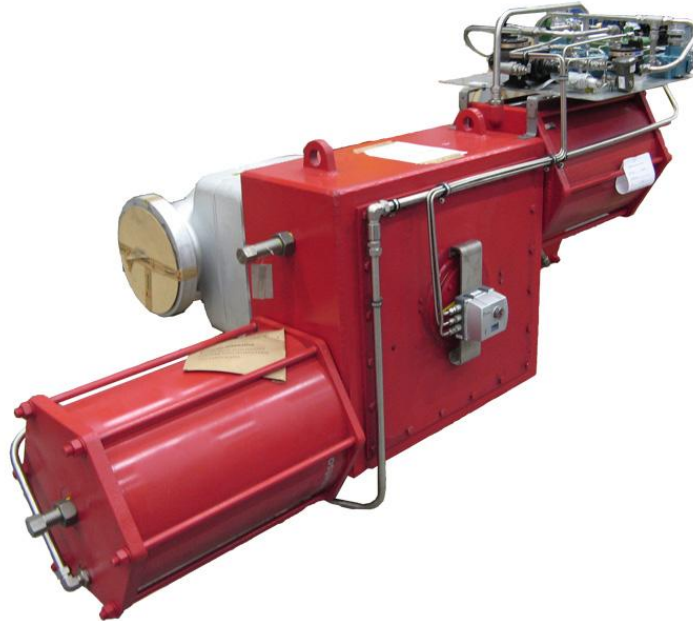
Venttiiliohjain säätää sulkuelimen asemaa, virtausaukon kokoa ja virtausta. Tuotantolaitoksissa ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmästä eri kommunikaatiotapoja käyttäen. Venttiiliohjaimet ovat kehittyneet pneumaattisista ja analogisista asennoittimista älykkäiksi digitaalisiksi kenttälaitteiksi. Kenttäväyläteknikat mahdollistavat kattavat diagnostiikkatoiminnot ja älykkään kunnonvalvonnan laitteen koko elinkaaren aikana. Neles-venttiiliohjaimet jaetaan älykkäisiin venttiiliohjaimiin, jotka käyttävät HART-, Foundation Fieldbus- tai Profibus PA -väylää kommunikointiin. Näiden lisäksi ovat perinteiset säätöventtiilien venttiiliohjaimet, jotka käyttävät pneumaattista tai analogista ohjaussignaalia.

Metson älykkäät venttiiliohjaimet jaetaan käyttökohteen mukaan eri tuoteperheisiin: säätöventtiilisovelluksiin ND9000, ESD- sekä ESV-sovelluksiin VG9000 ja sulkuventtiilisovelluksiin SG9000. Pääasiassa vanhemmat säätöventtiilisovellukset on toteutettu sähköpneumaattisella NE700- ja pneumaattisella NP700-tuoteperheen asennoittimilla. Venttiiliohjaimen tilalla tai sen lisäksi voidaan käyttää rajakytkimiä, jotka osoittavat sulkuelimen asennon tietyssä kohdassa ja välittävät sen eteenpäin, esimerkiksi automaatiojärjestelmään. Toimituskeskuksen toimitukset sisältävät myös muiden valmistajien venttiiliohjaimia ja rajakytkimiä.

Instrumentointikomponentit

Venttiilyhdistelmän instrumentoinnilla ohjataan paineilman kulkua toimilaitteelle, eli vaikutetaan venttiilyhdistelmän toiminnallisuuteen. Näin mahdollistetaan toimintoja,

joita ei voida toteuttaa venttiiliyhdistelmän peruskomponenteilla. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi paineilman paineen ja virtauksen säätö ja suodattaminen sekä sulku- ja avautumisnopeuden säätäminen. Erilaiset varotoiminnot paineilma- ja sähkökatkoksen tapahtuessa sekä laitevaurioiden sattuessa, toteutetaan usein instrumentoinnin avulla. Kuvassa 10 on säätöventtiiliyhdistelmä, jossa yhdistelmän säätösuorituskyvyn ominaisuuksia on muutettu instrumentoinnilla.



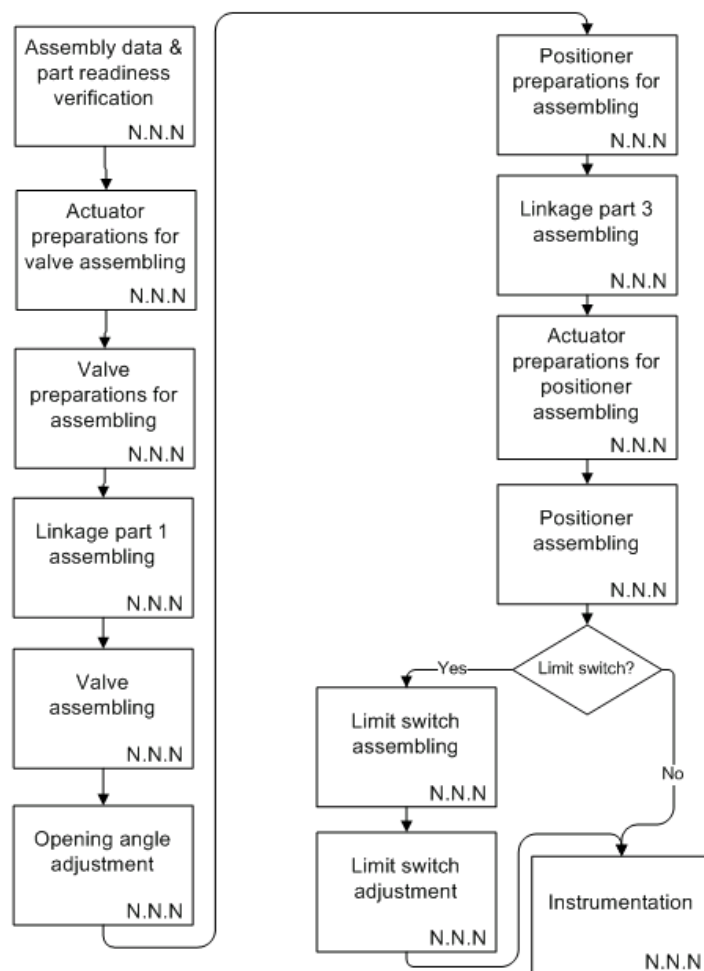
Kuva 10. Asiakasräätälöity lopputuote.

Venttiiliyhdistelmissä käytettävät instrumentointikomponentit jaetaan kahdeksaan pääkategoriaan, jotka ovat suodatinsäätimet (AFR), magneettiventtiilit (SV), kuristimet (SCV), tilavuusvirran vahvistimet (VB), pikapoistoventtiilit (QEV), ilmaohjatut venttiilit (AOV), vastaventtiilit (CV) ja pneumaattiset painekeytkimet (PPS). Näiden lisäksi on vielä muita komponenttiryhmiä, kuten painetankit, painemittarit, paineilmaputket ja liittimet.

5.2 Toimituskeskuksen kokoonpanoprosessi

Uudessa tehtaassa kokoonpanoprosessi eriytetään keräily- ja varastotoiminnoista. Nykyisessä toimintamallissa näin ei ole ollut. Nyt keräilijät tuovat ainoastaan yhdistelmän pääkomponentit: venttiilin, toimilaitteen, venttiiliohjaimen, rajakytkimen ja instrumentoinnin pääkomponentit. Kokoonpanijat keräävät loput osat kokoonpanon yhteydessä kuten ruuvit, mutterit, aluslevyt, liitososat ja paineilмалиittimet.

Kokoonpano ja keräily tehdään kahdessa vuorossa. Kokoonpanoryhmät jaetaan omiin kuormitusryhmiin, jotka pitävät sisällään ryhmäkohtaiset resurssit. Resurssit ovat muun muassa kokoonpanopisteitä, joissa kokoonpano tapahtuu kokoonpanokiinnittimissä. Kokoonpano aloitetaan, kun tilauksen mukainen keräily on tuotu työpisteelle. Tilauksen vaatimustenmukaisuus tarkastetaan ensimmäiseksi (kuva 11). Tämän jälkeen toimilaitte valmistellaan kokoonpanoa varten. Toimilaitteeseen kiinnitetään liitososien välityksellä venttiili. Tämän jälkeen säädetään venttiilin avautumiskulma ja valmistellaan venttiiliohjain kiinnitystä varten. Venttiiliohjain kiinnitetään toimilaitteeseen liitososien avulla. Mahdollisen rajakytkimen kiinnityksen ja aseman säädön jälkeen suunnitellaan ja kootaan yhdistelmän instrumentointi.



Kuva 11. HSC:n kokoonpanoprosessi

5.3 Instrumentointisuunnittelu ja -kokoontaminen

Venttiilyhdistelmän instrumentointisuunnittelu aloitetaan, kun asiakasvaatimusten mukainen venttiili on valittu sekä sen liikuttamiseen tarvittava momentti on laskettu. Momentin perusteella valitaan toimilaite, joka tuottaa riittävän voiman venttiilin sulkueliimen liikuttamiseen. Toimilaitteen valinnassa on huomioitava sulku- ja säätötilanteet ja mahdollinen turvatoiminto.

Instrumentointisuunnittelu valitsee komponentit ja suunnittelee yhdistelmän ohjaustoiminnot asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Näiden perusteella piirretään tilauskohtaisesti piirikaavio. Asiakasvaatimukset ovat perusta venttiilyhdistelmän instrumentointisuunnittelulle. Asiakasvaatimuksia ovat

- haluttu toiminto
- operointiajat
- ohjaussignaali
- materiaalit, lämpötilarajat, räjähdysvaaralliset tilat
- käytettävät komponentit
- putkitus ja liittimet
- häiriötilanteet (Lempinen & Markus 2010).

Yksityiskohtaisempi erittely instrumentointisuunnittelussa huomioon otettavista asiakasvaatimuksista on liitteessä 1. Toiminnallisuuksia ovat esimerkiksi säätö-, On/Off- tai hätäsulku toiminto. Operointiajat määrittävät venttiilin auki-kiinni -liikkeiden keston sekunneissa. Ohjaussignaali kertoo komponenttien ohjaustavan eli sen, ohjataan paineilmalla vai analogisella signaalilla. Asiakas määrittää ympäristöolosuhteet sekä putkituksen ja liittimet, usein myös osan käytettävistä komponenteista. Erityisvaatimuksena voi olla tietty toiminto häiriötilanteissa, esimerkiksi paineilmaverkon pettäessä tai ohjaussignaalin katketessa. (Kämäräinen 2008: 14–15.)

Toimituskeskuksen osuus instrumentoinnista on komponenttien hankinta, layout-suunnittelu ja kokoontaminen. Instrumentointikokoontaminen on venttiilyhdistelmäkokoontamisosuuden vaativin, monimutkaisin ja eniten ammattitaitoa sekä kokemusta vaativa työvaihe. Instrumentoinnin layout suunnitellaan tapauskohtaisesti kokoontamijoiden toimesta. Lähtötietoina ovat työkortti, osaluettelo, instrumentoinnin piirikaavio ja mit-

takuva. Mittakuvassa määritetään mitat, joiden sisään kokoonpanijan on suunniteltava instrumentoinnin layout.

Standardoimaton yksilöllinen instrumentointi lisää yhdistelmän kokoonpanoaikaa, eikä kokoonpanoaika siten ole ennustettavissa riittävän tarkasti. Tilauksen samalla tuoterakenteella tehtävät yhdistelmät voivat olla erinäköisiä kokoonpanijoiden suunnitteleman yksilöllisen instrumentoinnin johdosta. Instrumentoinnin pienkomponenttien kuten liittimien, ruuvien ja muttereiden ostotoiminta ja varastonhallinta on työlästä kokoonpanijoiden toteuttaman yksilöllisen instrumentointikokoonpanon johdosta. Tuotteiden suunnittelematonta räätälöintiä aiheuttaa se, että tuotantoon tulevilla asiakastilauksella ei ole täydellistä tuoterakennetta. Kokoonpanijat joutuvat soveltamaan kokoonpanovaiheessa, jotta työ saadaan valmistettua. Instrumentointikomponenttien tuoterakenne jakautuu ainoastaan pääkomponenttien, putkikoon ja liitintyyppien tasolle.

Instrumentointilevy

Instrumentoinnin asennustavan standardoimisesta on tehty tutkimus vuonna 2002. Insinööriyön päätelmänä oli, että standardoinnille on kysyntää ja se voitaisiin toteuttaa instrumentoinnin asennuslevyllä. Ratkaisuehdotuksena oli instrumentoinnin asennuslevy, jonka paikka on vakioitu toimilaitteeseen nähden. Tämän lisäksi ehdotettiin toimilaitteisiin tehtäviä muutoksia, jotta levy voitaisiin kiinnittää toimilaitteeseen tuotetta purkamatta. Levylle sijoitettavia toiminnallisuuskokonaisuuksia ei moduloitu tai standardoitu eikä instrumenttikomponenttien paikkoja määritelty. (Tossavainen 2002).

Tällä hetkellä instrumentointilevyä ei käytetä systemaattisesti ja suunnitellusti eikä sille ole venttiilyhdistelmässä suunniteltua kiinnitysrajapintaa, kuten muilla komponentti-tuotteilla on. Levylle suunniteltu instrumentointi käsitellään aina yksittäistapauksena ja se vaatii erillistä suunnittelua. Levylle kokoonpantuja instrumentointikokonaisuuksia on käytetty pääasiassa isoissa toimitusprojekteissa.

5.4 Järjestelmät

Toiminnanohjausjärjestelmä (ERP)

Automaatio-liiketoimintalinjan koko toimitusketjun kattava ERP- toiminnanohjausjärjestelmä otettiin Helsingissä käyttöön elokuussa 2010. Lawson M3

-ohjelmistoalusta kattaa suurimman osan toimitusketjun sovellutuksista tuotetiedon, valmistuksen, materiaalinhankinnan, logistiikan, myynnin, huoltoliiketoiminnan, talouden, kysynnän ennustamisen ja projektinhallinnan toiminnoissa.

M3-ohjelmistoalustan keskeinen elementti on Smart Client -käyttöliittymä, joka toimii keskuspalvelimelta käsin. Käyttöliittymä voidaan mukauttaa käyttäjän tarpeisiin ja personoida siten, että jokaisen käyttäjän ruudulla näkyvät hänelle tärkeimmät työkalut ja tiedot.

Suunnittelu- ja tuotetietojen hallintajärjestelmät (PDM)

Tuotekehityksen ja valmistuksen aikana syntyvien nimikkeiden sekä niihin liittyvän dokumentaation hallintaan, muutoshallintaan ja hyödyntämiseen käytetään Modultekin Aton PDM- ja SolidPDM-järjestelmiä. SolidWorks-ohjelmistoon integroitu SolidPDM ohjaa 3D-suunnitteluprosessia ja mahdollistaa mallinnettujen kokoonpanojen nimikerakenteiden kokonaisvaltaisen hallinnan. Järjestelmän päätoiminnot ovat uusien dokumenttien, nimikkeiden ja nimikerakenteiden luonti, tarkastelu, attribuuttien hallinta, revisiointi ja versiointi. Dokumentin ja nimikkeen elinkaaren hallinta on järjestelmällä mahdollista.

SolidPDM perustuu palvelimella sijaitsevan tietokantasovelluksen päällä toimivaan Aton-ohjelmistoon ja -palveluihin. Haut kohdistuvat suoraan Atonin tietokantaan. Aton integroituu standardirajapinnan avulla M3-toiminnanohjausjärjestelmään.

3D-suunnittelusohjelma

Automaatio-liiketoimintalinjan Flow Control -yksikkö käyttää Dassault Systèmes SolidWorks Corporationin 3D-suunnitteluohjelmistoa. SolidWorks soveltuu kokoonpano-, mekaniikka-, instrumentti-, ohutlevy-, teräsrakenne-, putkisto- ja valukappalesuunnitteluun sekä muotoiluun. Suunnitteluohjelmisto on assosiatiivinen, piirrepohjainen, parametrinen ja mahdollistaa tilavuusmallintamisen, geometriset relaatiot ja suunnittelusäännöt.

5.5 Suunnittelutuotteisto

Suunnittelutuotteistoa käytetään uuden tehtaan suunnittelun perusteena. Se on tehty vuoden 2008 tuotantovolyyymista. Tuotannon virtautuksen kehittämisessä käytetään kappalemääriin perustuvia analyyskejä. Tuotannon ohjattavuutta parannetaan ja vaihtelua vähennetään kategorisoimalla ja tasoittamalla tuotteistoa. Toimituskeskuksen tuotevariantit on jaoteltu kokoonpanon kannalta riittävän samankaltaisiksi suunnittelutuotteiston tuotteiksi. Suunnittelutuotteisto on jaettu tuotantoteknisellä analyysillä, Glendayn (2004) mukaan tuotantomäärittäin prosentiosuuksiin:

- "vihreä tuotteisto" 50 %
- "keltainen tuotteisto" 90 %
- "sininen tuotteisto" 99 %
- "punainen tuotteisto" 99-100 %.

Tuotantoteknisen analyysin kautta tutkitaan instrumentoinnin osuus, Helsingin toimituskeskuksen valmistamissa lopputuotteissa.

Taulukosta 1 nähdään, että "vihreään tuotteistoon" ei kuulu instrumentoituja venttiiliyhdistelmiä, vaikka tuotteisto muodostaa toimituskeskuksen volyyymistä puolet. Instrumentoiduksi yhdistelmäksi katsotaan venttiiliyhdistelmä, johon kuuluu suodatinsäätimen lisäksi jokin toinen instrumentointikomponentti. Puolet koko toimituskeskuksen volyyymistä tuotetaan viidellä eri suunnittelutuotteiston tuoteryhmällä.

Taulukko 1. Tuotantotekninen analyysi Glendayn seulalla.

| %-osuus tuotantomäärästä | %-osuus tuotteista | Tuotteita | Instrumentoituja tuotteita | Ins. tuotteiden %-osuus tuotteista | Tuotantomäärä | Instrumentoitujen tuotantomäärä | Instrumentoinnin %-osuus tuotantomäärästä |
|--------------------------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|---|
| 50 % | 2,5 % | 5 | 0 | 0,0 % | 9436 | 0 | 0,0 % |
| 90 % | 16,2 % | 32 | 17 | 53,1 % | 6721 | 3914 | 58,2 % |
| 99 % | 39,9 % | 79 | 51 | 64,6 % | 1650 | 1014 | 61,5 % |
| 99-100 % | 41,4 % | 82 | 58 | 70,7 % | 184 | 123 | 66,8 % |
| Yhteensä | 100 % | 198 | 126 | 63,6 % | 17991 | 5051 | 28,1 % |

Instrumentointia käytettiin 126 eri suunnittelutuotteiston tuotteessa. Näihin sisältyy 5051 instrumentoitua yhdistelmää. Tuotteistosta 64 prosenttia sisältää instrumentointia ja koko tuotantomäärästä 28 prosenttia on instrumentoitu. Tuotannon tavoitteena on siirtää mahdollisimman moni nykyisistä "keltaisen tuotteiston" tuotetta "vihreään virtaan". Teorian mukaan kehitystoimien keskittäminen "vihreiden tuotteiden" jälkeen "keltaisiin tuotteisiin" tuo selviä hyötyjä tuotannon tehokkuudessa (Glenday 2004). Jos "vihreän virran" tuotteet otetaan pois, instrumentoitujen yhdistelmien tuotantomäärä

nousee 59 prosenttiin. Instrumentoidut yhdistelmät kohdentuvat pääasiassa "keltaisiin" ja "sinisiin tuotteisiin". Instrumentoinnin kehitystoimet näissä kahdessa ryhmässä tulisi keskittää standardointiin, modulointiin ja tuotannon komponenttien harmonisointiin. Toimenpiteiden tulee tähdätä tuotteiden vakiotuotantocykliin ottamisen helpottamiseen. "Punaisten tuotteiden" kohdalla tulee arvioida niiden varsinaista hyötyä saatuihin tuottoihin nähden.

5.5.1 Instrumentoinnin asiakastarpeen määrittäminen

Asiakkaiden tarpeiden määrittämiseksi käytetään usein QFD (Quality Function Deployment) -analyysiä. Instrumentoitujen venttiilyhdistelmien toiminnallisuutta tutkittiin vuoden 2009 instrumentointipiirikaavioiden perusteella. Liitteessä 2 on esimerkki instrumentoinnin piirikaaviosta. Piirikaavioilla päästään kiinni dataan, josta selviävät toiminnallisuudet, joita asiakkaat ovat tilanneet.

Vuonna 2009 tehtiin 2500 piirikaaviota. Näistä tutkittiin 19 prosenttia, joka on 464 piirikaaviota. Tutkitut kaaviot valittiin satunnaisesti kolmelta eri ajanjaksolta. Viikoilta 12–14 valittiin 180 piirikaaviota, viikoilta 35–36 valittiin 122 piirikaaviota ja viikoilta 41–42 valittiin 162 piirikaaviota. Piirikaavioista löydettiin 100 erilaista toiminnallisuutta. Eri toiminnallisuudet ja niihin kuuluvat komponenttiryhvät on eritelty (taulukko 2). Huomioitavaa on, että asiakastilauksia oli toteutettu kahdella eri piirikaaviolla saman toiminnallisuuden toteuttamiseksi. Tämä tuo monimutkaisuutta tuotteiden ylläpitoon. Tapaukset on eritelty taulukossa 2 vihreällä, keltaisella, sinisellä ja punaisella. Piirikaavioiden määrää voitaisiin vähentää käyttämällä vain takaiskuventtiilitoimintamallia. Toimintatapa käy kattavammin erilaisiin sovelluksiin, koska vastaventtiili estää syötetyn paineilman purkautumisen järjestelmästä, takaisin putkistoon.

Piirikaavioiden perusteella nähdään, että instrumentoinnin standardoimiselle luo perustan 15 eri toiminnallisuutta. Suurin osa asiakastilauksista voidaan toteuttaa toiminnallisuuksilla, jotka rakentuvat kahdeksasta instrumentointikomponenttien pääkategoriatuotteesta.

Taulukko 2. Asiakastarpeeseen perustuvat toiminnallisuudet.

| Toiminnallisuus | Komponenttiryhmät | AFR | SV | AOV | CV | SCV | VB | QEV | PPS |
|---|--|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| Suodatus asennoittimelle | Pelkkä suodatin | x | | | | | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: ohjaus järjestelmästä | Pelkkä magneettiventtiili | | x | | | | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: suodatus, ohjaus järjestelmästä | Suodatin, magneettiventtiili | x | x | | | | | | |
| Suodatus, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus | Suodatin, volumebooster | x | | | | | x | | |
| Yksitoiminen toimilaite: liikenopeuden säätö 1-suunta | Suodatin, magneettiventtiili, kuristin. | x | x | | | x | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: liikenopeuden säätö 2-suunta | Suodatin, magneettiventtiili, kuristin x 2. | x | x | | | x | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea poisto | Suodatin, magneettiventtiili, pikapoisto | x | x | | | | | x | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea poisto, säädettävä liikenoisuus | Suodatin, magneettiventtiili, pikapoisto, kuristin | x | x | | | x | | x | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV | x | x | x | | | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili | x | x | x | x | | | | |
| Kaksitoiminen toimilaite: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV x 2 | x | x | x | | | | | |
| Kaksitoiminen toimilaite: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV x 2, takaiskuventtiili | x | x | x | x | | | | |
| Kaksitoiminen toimilaite: nopea, painetason valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV x 2, painekytin | x | x | x | | | | | x |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, painetason valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, painekytin | x | x | x | | | | | x |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, painetason valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, painekytin | x | x | x | x | | | | x |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, säädettävä liikenoisuus | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, kuristin | x | x | x | x | x | | | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, volumebooster | x | x | x | | | x | | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, volumebooster | x | x | x | x | | x | | |
| Yksitoiminen toimilaite: nopea, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus, painetason valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili x 2, volumebooster, AOV, painekytin | x | x | x | x | | x | | x |

5.5.2 Instrumentointikomponenttien analyysi

Instrumentointikokoonpanon pääkomponenttien volyymit on analysoitu vuoden 2010 datan perusteella Glenday Sieve -seulalla. Analyysin data on liitteessä 3. Joka vuosi komponenttien valinnassa tehdään kehitystyötä asiakastarpeisiin perustuen ja solmitaan uusia yhteistyösopimuksia toimittajien kanssa parhaan mahdollisen lopputuloksen pääsemiseksi. Tästä johtuen viimeisimmän saatavilla olevan datan käyttö on tärkeää komponenttianalyyssissä. Toimituskeskukseen saapuneiden instrumentoinnin pääkomponenttien volyymit on analysoitu aikajaksolla 1.1–16.11.2010. Aikaväli antaa luotettavan kuvan koko vuoden tilanteesta, koska suurin osa vuoden ostoista on saapunut varastoon.

Yksittäiset isot toimitusprojektit ovat mukana käsitellyssä tiedossa. Yksittäisen asiakkaan vaatimat komponentit eivät välttämättä vastaa volyyymiä, jolla tuotanto pyörii. Nyt instrumentointikomponenttien ostoista ja saapuneista nimikkeistä ei jää toiminnanohjausjärjestelmään merkkiä, jos ne ovat projektiin ostettuja. Tiedon saamiseksi täytyy eri tietokantoja tutkia. Jatkossa seurantaa ja ostojen modulointia varten tulisi tieto olla helposti saatavissa, jotta modulointia ja komponenttien standardointia voidaan kehittää paremmin.

Suodatinsäätimet (AFR)

Suodatinsäätimissä standardointi on viety pisimmälle. Käytetyimmällä nimikkeellä katettiin tuotannosta yli 84 prosenttia ja neljällä ensimmäisellä nimikkeellä 99 prosenttia volyymistä. Tämä on merkittävää, koska ostomäärä on yli 15 000 kappaletta. Koko volyyymi katettiin 13 nimikkeellä. Suodatinsäädin kiinnitetään lähes kaikkiin venttiilyhdistelmiin.

Magneettiventtiilit (SV)

Asiakkaat haluavat eniten vaikuttaa instrumentointikomponenteista magneettiventtiiliin. Se on yksi komponentti, josta venttiilyhdistelmä kytketään tuotantolaitosten automaatiojärjestelmiin. Instrumentoinnin kahdeksasta eri pääkategoriasta magneettiventtiilien standardoinnissa on suurin työmaa. Tarkastelujakson aikana toimituskeskukseen saapui 3 019 magneettiventtiiliä. Määrä koostui 110 nimikkeestä. Puolet tuotantomäärästä toteutettiin kahdeksalla eri nimikkeellä, ja 90 prosenttiin volyymistä tarvittiin 41 magneettiventtiilininimikettä.

Ilmaohjatut venttiilit (AOV)

Kolmella ilmaohjatulla venttiilininimikkeellä katettiin 50 prosenttia yhdistelmäkokoonpanotuotannon AOV-tarpeesta ja 10 nimikkeellä päästiin 90 prosenttiin volyymistä. Tarkastelujakson aikana käytettiin 24 nimikettä. Tuotannon tarpeisiin tarvittiin 2 328 ilmaohjattua venttiiliä.

Vastaventtiilit (CV)

Vastaventtiileitä saapui 1 664 kappaletta marraskuun puoliväliin mennessä. Määrä koostui kahdeksasta nimikkeestä. Yhdellä vastaventtiilityypillä katettiin 50 prosenttia koko volyymistä ja 90 prosentin volyyymi vaati kolmen nimikkeen käyttöä. Volyymin viimeinen prosentti koostuu yhdestä nimikkeestä.

Kuristimet (SCV)

Kahdella kuristimella katettiin 50 prosenttia volyymistä ja 90 prosenttia vaati puolet nimikemäärästä, mikä on kokonaisuudessaan 12. Koko volyymi koostuu 638 kappaleesta. On mielenkiintoista huomata, että viimeinen prosentti volyymistä koostui ainoastaan yhdestä nimikkeestä vastaventtiilien tapaan.

Tilavuusvirran vahvistimet (VB)

Tilavuusvirran vahvistimet ovat virtauksen säätöön vaikuttavia komponentteja, joiden toiminnan laatu näkyy helposti yhdistelmäkokoonpanossa ja asiakkaalla. Tilavuusvirran vahvistimia käytettiin seitsemää nimikettä 325 kappaleen volyymiin. Hieman yli 50 prosenttia volyymistä katettiin yhdellä nimikkeellä ja 90 prosenttiin tarvittiin kolme nimikettä.

Pikapoistoventtiilit (QEV)

Pikapoistoventtiileitä saapui tarkastelujakson aikana 486 kappaletta. Nimikkeitä on 12, joista ostetuimmalla katettiin volyymistä 40 prosenttia. Kuudella nimikkeellä katettiin 90 prosenttia.

Pneumaattiset painekeytkimet (PPS)

Pneumaattisia painekeytkinnimikkeitä oli viisi. Kappalemääräisesti näitä toimitettiin 373. Yleisimmällä nimikkeellä katettiin 60 prosenttia volyymistä ja kolmella nimikkeellä 90 prosenttia.

5.5.3 Läpäisy aika ja kustannukset

Helsingin tehtaalla työn tutkiminen aikaperusteisesti kokoonpanon osalta on ollut aina puutteellista. Tuotantovolyymejä tarkkaillaan, mutta prosessin osien optimoinnin kannalta. Työvaiheiden mittaus ei ole jatkuvaa, ja se tehdään ainoastaan ulkopuolisten työntutkijoiden toimesta erillisinä projekteina. Instrumentointikokoonpanon läpäisyajan selvitys aloitettiin ohjelmoimalla tähän tarkoitukseen ohjelma, joka tallentaa MySQL-tietokantaan instrumentointikokoonpanon komponenttien lukumäärän, tilausnumeron, työn aloittamis- ja lopettamisajan. Mittaamiseen valittiin 8 kokoonpanijaa.

Suunnittelutuotteiston perusteella valittiin mittaukseen kolme eri ryhmää:

- 2–4 instrumentoinnin pääkomponenttia (vähän instrumentointia)
- 5–10 instrumentoinnin pääkomponenttia (paljon instrumentointia)
- 11–15 instrumentoinnin pääkomponenttia (erittäin paljon instrumentointia).

Kuukauden mittaamisen jälkeen selvisi, ettei asetetulla aikataululla ja menetelmällä saada riittävän luotettavasti kerättyä tietoa. Syitä ongelmiin oli monia:

- heikon tilauskannan johdosta liian vähän eri ryhmiin kohdistuvia mittauksia
- uuden toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönoton aikaiset hankaluudet tuotannossa
- kokoonpanijoiden huono motivaatio mittaamista kohtaan
- layout-suunnittelun yksilöllisyys, mikä aiheuttaa suuret vaihtelut mittaustuloksiin
- kokoonpanijan kokemuksesta riippuva kokoonpanoaika
- sarjan ensimmäisen ja viimeisen venttiilyhdistelmän layout-suunnitteluun kuluva aika eri
- instrumentoinnin layout-suunnittelua ja kokoonpanoa ei voi erottaa mittauksessa
- instrumentoinnin tuoterakenne puutteellinen, mikä aiheuttaa kokoonpanossa keräilyä.

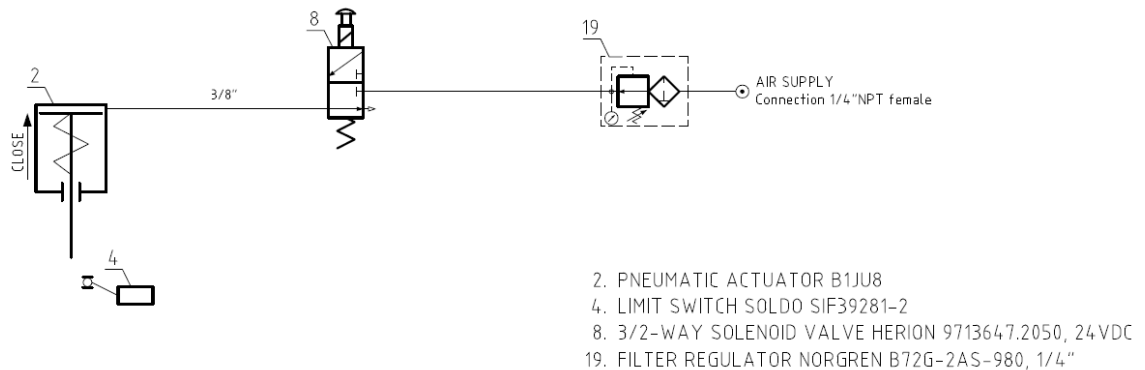
Instrumentointikokoonpanon läpäisyajan analysointi DFA-menetelmällä

Lempiäisen ym. (2007: 45) mukaan tuotteen lisäarvon mittaaminen ja hyötyjen jakaminen voidaan suorittaa puolueettomalla tavalla käyttämällä DFA-analyysityökalua. Instrumentointikokoonpanoajan läpäisy aika selvitettiin DFA-menetelmällä Boothroyd Dewhurstin ohjelmistoa Design for Assembly® käyttäen. DFA-analyysi ei ota huomioon instrumentoinnin toteuttamiseen vaadittavaa kokoonpanijakohtaista suunnittelua. Läpäisyajan analysointi perustuu kappaleiden, työkalujen ja kokoonpano-operaatioiden tilastollisiin standardiaikoihin.

Analyysiin valittiin kaksi, neljä sekä kahdeksan instrumentointipääkomponenttia sisältävää toiminnallisuutta. Valitut kokonaisuudet edustavat kattavasti instrumentoinnin volyymituotteistoa. Yksittäisistä komponenteista ainoastaan magneettiventtiilit eivät kuulu tuotteistonsa kärkeen volyymin perusteella. Magneettiventtiilien kokoonpanovai-

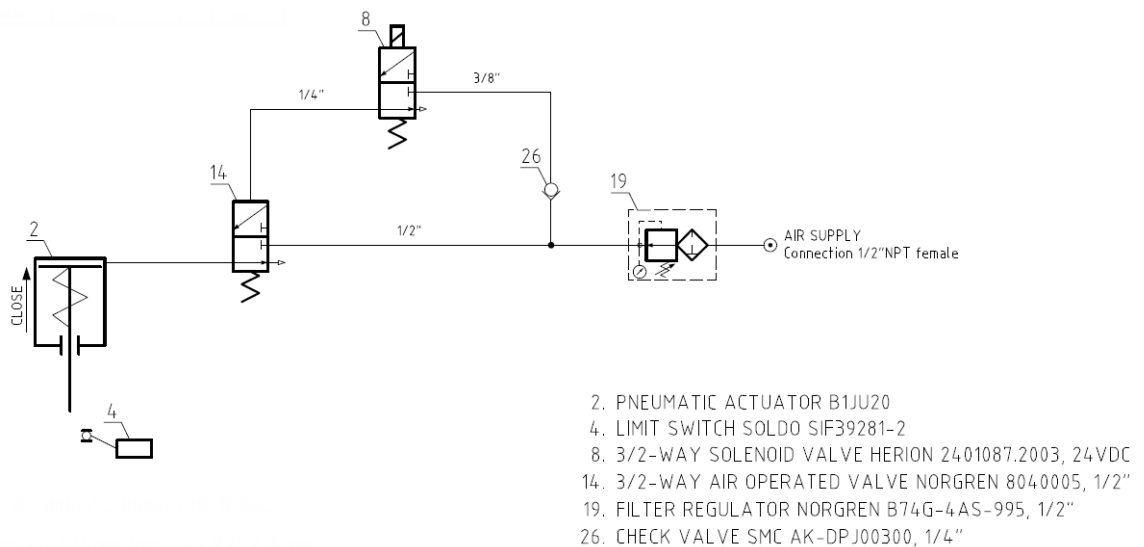
heet ovat samat nimikkeestä riippumatta, joten tämä ei vaikuta analyysin tuloksiin. Taulukossa 3 on yhteenveto DFA-analyyseistä. Tarkempi erittely on liitteissä 4–6.

Kaksi pääkomponenttia sisältävän toiminnallisuuden pääkomponentit ovat: Norgren B72G-2AS-980 -suodatinsäädin ja Herion 9713647.2050 24 V -magneettiventtiili (kuva 12).



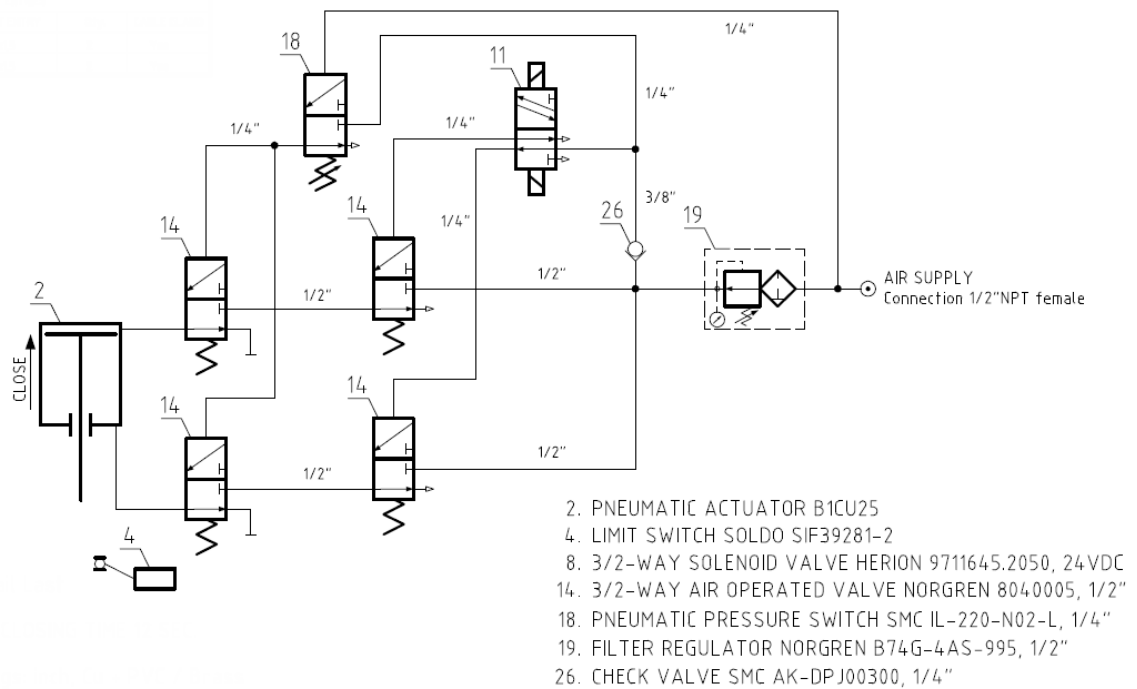
Kuva 12. Kaksi instrumentointipääkomponenttia käsittävän toiminnallisuuden piirikaavio.

Neljä pääkomponenttia sisältävän toiminnallisuuden pääkomponentit ovat: Norgren B72G-2AS-980 -suodatinsäädin, SMC AK-DPJ00300 1/4" -takaiskuventtiili, Herion 2401087.2003 24 VDC -magneettiventtiili ja Norgren 8040005 1/2" NPT -ilmaohjattu venttiili (kuva 13).



Kuva 13. Neljä instrumentointipääkomponenttia käsittävän toiminnallisuuden piirikaavio.

Kahdeksan pääkomponenttia sisältävän toiminnallisuuden pääkomponentit ovat: Norgren B74G-4AS-995 1/2" -suodatusäädin, SMC AK-DPJ00300 1/4" -takaiskuventtiili, SMC IL-220-N02-L 1/4" -30C -painekeytkin, Herion 9711645.2050 24 VDC -magneettiventtiili ja neljä kappaletta Norgren 8040005 1/2" NPT -ilmaohjattuja venttiileitä (kuva 14).



Kuva 14. Kahdeksan instrumentointipääkomponenttia käsittävän toiminnallisuuden piirikaavio.

Vähän instrumentointia sisältävien venttiiliyhdistelmien instrumentointi kootaan 28 minuutissa, kun kyseessä on kaksi pääkomponenttia käsittävä toiminnallisuus ja 51 minuutissa, kun kyseessä on neljä pääkomponenttia käsittävä toiminnallisuus. Kahdeksan pääkomponenttia käsittävä toiminnallisuus kootaan 150 minuutissa. Analyysin tuloksista havaitaan, että kun instrumentoinnin pääkomponenttien lukumäärä kaksinkertaistuu kahdesta neljään, työaika kertaantuu lähes kaksinkertaiseksi (1,83). Kun pääkomponenttien lukumäärä kaksinkertaistuu neljästä kahdeksaan, työaika lähes kolminkertaistuu (2,93).

Työkalujen hakuun ja valmisteluun kuluu 12–9 prosenttia kokonaisajasta. Työkalujen hakuun kuluva aika pienenee instrumentointikomponenttien lisääntyessä. Osien hakuun ja käsittelyyn kuluu kokonaisajasta 6–3 prosenttia. Käsittelyyn kuluva aika pienenee komponenttien määrän lisääntyessä. Osien sekä komponenttien asetus- ja operointiai-

kaan kuuluu 82 prosenttia kahden instrumentointikomponentin kokonaisuudessa. Asetus- ja operointiaika on jo lähes 90 prosenttia paljon instrumentointia sisältävissä yhdistelmissä.

Taulukko 3. Yhteenveto instrumentoinnin DFA-analysistä.

| Nimike | Vähän instrumen- tointia (2) | Vähän instrumen- tointia (4) | Paljon instrumen- tointia (8) |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Pääkomponentit, kpl | 2 | 4 | 8 |
| Eri työvaiheet, kpl | 58 | 97 | 266 |
| Työvaiheet yhteensä, kpl | 103 | 163 | 413 |
| Työkalujen haku ja valmistelu, s | 200,0 | 302,8 | 776,7 |
| Työkalujen haku ja valmistelu, % | 12 % | 10 % | 9 % |
| Osien käsittelyaika, s | 100,0 | 142,1 | 290,2 |
| Osien käsittelyaika, % | 6 % | 5 % | 3 % |
| Asetus- ja operointiaika, s | 1370,8 | 2616,7 | 7921,8 |
| Asetus- ja operointiaika, % | 82 % | 85 % | 88 % |
| Työaika yhteensä, s | 1670,9 | 3061,6 | 8988,7 |
| Työaika yhteensä, min | 27,8 | 51,0 | 149,8 |
| Työaika yhteensä, h | 0,46 | 0,85 | 2,50 |

Instrumentointikokoonpanon kustannukset

Tässä työssä ei ole esitetty Metso Automationin instrumentointikokoonpanon kustannuksia tiedon arkaluonteisuuden takia. Kustannukset saadaan DFA-ohjelman datasta tai laskettua tehtaan tehokkuusluvulla korjatun kokonaistyöajan ja tuntihinnan perusteella. Todellisten kustannusten saamiseksi täytyy kokoonpanokustannuksiin lisätä suunnittelutyön osuus. Instrumentointikokoonpanon yhteydessä tehtävästä suunnittelutyöstä ei ole saatavilla standardiaikaa. Aika voi olla muutamasta minuutista jopa tuntiin, riippuen työn vaativuudesta, sarjakoosta ja kokoonpanijan kokemuksesta.

6 Vertailuoppimisen tulokset

Ulkopuolisiksi inspiraation, virikkeiden ja kehityskokemusten lähteiksi valittiin kokoonpanotuotannon parissa toimivat yritykset, joiden menestyksekkääseen tuotantoprosessiin kuuluu 3D-tuotesuunnittelu. Yrityksen prosesseista keskitytään 3D-suunnitteluprosessin toteutukseen ja tuotetiedonhallintaan sekä informaatiovirtoihin.

6.1 Case: Valtra Oy, Suolahti

Valtra on maailmanlaajuisesti toimiva, suomalainen traktorivalmistaja, jonka kaikki tuotteet ovat asiakasräätälöityjä. Vierailukohteeksi Valtra valikoitui, koska Suolahden tehdasta pidetään tuotantoteknisesti hyvin edistyksellisenä. Osakokoonpanoja sekä osia on 3D-suunniteltu noin kymmenen vuoden ajan. Viimeiset viisi vuotta lopputuotteena oleva traktori on 3D-mallinnettu. Valtran toimitusketjun hallinta on korkealla tasolla. Kaikki tuotteet tehdään tilaukselle ja lopputuote on yksilöllisesti räätälöity traktori.

3D-suunnitteluprosessi

Tuotannonohjausjärjestelmänä on käytössä Xman, 3D-suunnittelutyökaluna Catia ja tuotetiedonhallintajärjestelmänä (PDM) Aton. Catia ja Aton on integroitu yhteen. Tuoterakenne konfiguroituu automaattisesti Catian ja Atonin välillä 3D-kokoonpanon perusteella. Tuotannonohjausjärjestelmäksi on vaihtumassa emoyhtiön käyttämä SAP, joka muuttaa 3D-suunnitteluprosessia. SAP korvaa Xman- ja Aton-ohjelmistot. Catia-suunnitteluohjelmisto korvataan Pro/ENGINEER-ohjelmistolla.

Suunnittelu on jaettu kahdeksaan eri jaokseen, joilla kullakin on vastuullaan tietty kokonaisuus projektikohtaisesta suunnittelusta. Jaoksia ovat esimerkiksi etupääinstallaatiot, moottori ja pakokaasujärjestelmät. Projektikohtaisessa suunnittelukokouksessa kunkin jaoksen jaospäällikkö jakaa tehtävät omalle organisaatiolleen aliprojekteihin. Suunnittelutyötä vaativat komponentit vaativat Agcon hyväksynnän pääkonttorista. Kullakin jaoksella on henkilö, jonka vastuulla on jaoksen tuottamien osakokoonpanojen layout-suunnittelu. Tämä sisältää jaoksen sisäisen suunnittelun ja törmäystarkastelun. Myös koko traktorille tehdään layout-suunnittelu ja törmäystarkastelu.

Uusi sarjatuotantokomponentti käy kolmivaiheisen suunnittelukierroksen, proto 1, proto 2 ja nollasarja, ennen hyväksyntää. Kaikki koesarjat tuotetaan kokoonpanolinjalla. Proto 1- ja proto 2 -vaiheen tuotannontuki on menetelmäsuunnittelijoilla, kunnes komponentti on hyväksytty ja siirretty tuotannonohjausjärjestelmän hallintaan.

3D ja tuotanto

Muutostenhallinta on toteutettu järjestelmäpohjaisesti. Työkaluna on Atonin muutosilmoitukset, joita käytetään kaikissa muutostapauksissa, myös tuotantolinjalla havaittavista muutostarpeista. Jos kokoonpantavassa osakokoonpanossa tai tuotantolinjalla olevassa traktorissa havaitaan poikkeama, poistetaan se muuta tuotantoa häiritsemättä. Tuotannon esimies tekee Atonissa ECR-ilmoituksen, jonka jaospäällikkö käsittelee. Hän päättää, tehdäänkö muutos, ja ohjaa sen tämän jälkeen vastuulliselle suunnittelijalle. Kun muutos on tehty, suunnittelija tekee muutosilmoituksen. Tiedonhallinta käsittelee ja ohjaa kaiken tiedon, joka lähtee tuotekehityksestä. Muutosilmoituksessa on valmiina valinnat, joita muutos koskee ja mille ryhmille tieto pitää saattaa.

Kokoonpano on ohjeistettu 3D-piirustusten ja tuoterakenteen pohjalta. Tuotanto valmistaa esimerkiksi etunostolaitevalmius-osakokoonpanon ilman erillistä kokoonpano-ohjetta. Osakokoonpanojen sähköjohtojen viennit ja hydrauliiikaputkitukset suunnitellaan 3D-reitityksenä. Hydrauliiikaputket suunnitellaan settirakenteiksi. Alihankinnasta ostetaan settinimikkeellä putket kokoonpanoon. Putkisetti rakentuu yksittäisistä putkinimikkeistä sekä liittimistä, jotka on esikiristetty putken päihin valmiiksi. Alihankinnasta tilattavat putket ostetaan 3D-piirustuksen perusteella. Piirustuksessa on taivutukset kuvattu x-, y- ja z-koordinaattipistein. Piirustukseen on merkitty materiaali, pinnan suojaus, taivutuksen keskisäde, putken ristimitta, putken keskiviivan pituus, putken pään standardi, puhtausvaatimukset ja putken päiden suojausvaatimukset.

Parhaat käytännöt venttiilyhdistelmätuotantoon

3D-suunnitteluun on panostettu paljon. Koko traktorin 3D-suunnittelu vaatii oman organisaation ja vastuunjaot eri kokonaisuuksille. Osakokoonpanojen suunnittelu vaatii hyvää kommunikointia vastualueiden välillä. Järjestelmäkuri on tärkeää, koska muutokset vaikuttavat moneen kokonaisuuteen. Kaikista muutospyynnöistä ja toteutuksista on jäätävä jälki järjestelmään, ja ne on toteutettava suunnitellusti. Valtralla muutostiedotukseen oli panostettu, kaikki tuotekehityksestä lähtevä tiedotettava tieto on koordi-

noitua. Täydellinen traktorin 3D-malli on erittäin raskas käsitellä. Tämä johtuu itse Catia-ohjelmiston raskaudesta ja siitä, että traktori koostuu yli 10 000 mallinnetusta nimikkeestä. Suunnittelutyöasemille tämä aiheuttaa erityisiä vaatimuksia.

Tuoterakenne pysyy automaattisesti kunnossa, kun tuotetiedonhallintajärjestelmän ja suunnitteluohjelmiston välinen tiedon käsittely on integroitu. Tämä vaatii järjestelmän kurinalaisen käytön. Tuotannon ohjeistusta helpottaa 3D-suunnittelu. Suunnittelumallista on suoraviivaista tuottaa kokoonpanokäyttöön havainnollinen piirustus. Näin erillistä kokoonpano-ohjetta ei välttämättä tarvita, tai ainakin siihen saadaan havainnolliset kuvat. Alihankintaosien ja osakokoonpanojen ostotoimintoja 3D-mallit helpottavat. Esimerkiksi valmisputkien tilaus on yksiselitteistä, kun voidaan kertoa taivutusten koordinaattipisteet, keskiviivan pituus, taivutuksen keskisäde ja putken ristimitta. Tämä vaatii venttiiliyhdistelmätuotannossa komponenttien ja instrumentoinnin toiminnallisuksien modulointia ja standardointia.

Suunnittelijoiden renkipäivät ovat myös mielenkiintoinen ja opiksi otettava asia. Kerran vuodessa Valtran suunnittelijat menevät päiväksi töihin asiakkaiden mautille. Tämä on koettu hyväksi ja konkreettiseksi keinoksi tutustua asiakkaisiin sekä heidän vaatimuksiinsa tuotteille. Samaa voitaisiin soveltaa myös Metso Automation Flow Control -organisaatiossa. Toimituskeskuksen henkilöstö voisi esimerkiksi käydä käyttöönotoissa asiakkaiden luona tai seurata tehtaan tuotantoa ja kunnossapitoa venttiilien näkökulmasta. Näin saataisiin tuotantoon arvokasta tietoa ja osaamista loppuasiakkaista ja heidän prosesseistaan.

6.2 Case: Metso Paper Oy, Järvenpää

Toinen vertailuoppisen kohde on konsernin Metso Paper Oy:n jälkikäsitteilykoneiden pituusleikkurit -yksikkö. Pituusleikkureiden tuoteperhe on Metso Paperin pisimmälle 3D:nä suunniteltu tuoteperhe. Pituusleikkureiden varustelusuunnittelussa on tärkeänä osana putkisto- ja instrumentointisuunnittelu.

Pituusleikkurilla paperikoneen, kartonkikoneen, päällystyskoneen tai kalanterin konerulla leikataan ja rullataan asiakkaalle sopivan levyiseksi ja pituisiksi asiakasrulliksi. Metso Paperilla on Kiinassa pituusleikkuritehdas, joka valmistaa pituusleikkureita paikallisille markkinoille. Tuotesuunnittelu tehdään Suomessa Järvenpään tehtaalla myös Kiinan tehtaalla valmistettaville tuotteille.

3D-suunnitteluprosessi

Pituusleikkureita on suunniteltu 3D-malleina yli kymmenen vuoden ajan. Tuoteperheet on standardoitu pisimmälle Metso Paperin jälkikäsitteilylaitteista. Kaikki uudet tuotteet suunnitellaan 3D:nä.

Pituusleikkureiden suunnittelussa työskentelee tilauskannasta ja kuormasta riippuen 40–60 suunnittelijaa. Yhden pituusleikkurin suunnitteluprojekti vaatii 500–15 000 tuntia riippuen tuotteesta, asiakasvaatimuksista ja räätälöinnin tasosta. Tyypillinen projekti vaatii noin 2 000 suunnittelutuntia. Asiakkaita pyritään ohjaamaan hinnalla standardituotteisiin mahdollisuuksien mukaan. Tällöin suunnittelutyö jää pieneksi ja valmistus on tehokkaampaa. Järvenpään jälkikäsitteilykoneiden suunnittelussa työskentelee kuormituksesta riippuen noin 150–250 henkilöä.

Tuotannonohjausjärjestelmänä toimii Baan ja 3D-suunnittelutyökaluna Catia V5. Tuotetiedonhallintajärjestelmänä on Metso Paperille räätälöity selainpohjainen Paper and Fibertechnology PDM Production 3.6.4.3. Projektien tiedostojen arkistointiin käytetään Arkisto Pro -sovellusta. Catia ja PDM ovat yhteydessä siten, että 3D-kokoonpanon tuoterakenne konfiguroituu automaattisesti Catian ja PDM:n välillä.

Pituusleikkureiden varustesuunnittelussa työskenteli vierailun aikana kaksi suunnittelijaa. Varustelun suunnittelu on pituusleikkurisuunnittelun viimeinen vaihe ennen valmis-

tuksen aloittamista. Varustelu aloitetaan, kun mekaniikkasuunnittelusta valmistuu pituusleikkurin runko. Koneohjauksen kaaviot suunnitellaan hydraulikka-, pneumatiikka-, sähkö- ja automaatio suunnittelijoiden toimesta. Kun lähtötiedot löytyvät tuotetiedonhallintajärjestelmästä, aloitetaan varustelun suunnittelu. Suunnittelussa hyödynnetään mahdollisimman paljon aikaisemmissa projekteissa suunniteltuja malleja. Kaikki instrumentointikomponenttien tekniset tiedot tallennetaan PDM-järjestelmään tuoterakenteeltaan kohtaisesti kaikkien saataville.

Varustelussa katsotaan, että kaikkiin lohkoihin mahtuu valitut toiminnallisuudet. Toiminnallisuudet suunnitellaan piirikaavioiden perusteella. Jos vaaditut komponentit eivät mahdu valittuun lohkoon, otetaan suunnitteluvaiheessa yhteys mekaniikkasuunnitteluun ja ratkaistaan ongelma etukäteen ennen valmistusta.

3D ja tuotanto

Tuotteet valmistetaan ainoastaan 3D-mallista tuotettujen 3D-piirustusten ja osaluetteloiden perusteella, erillisiä kokoonpano-ohjeita ole. Täydellisesti suunnitellun mallin päätarkoitus on palvella valmistuksen tarpeita. Kokoonpantavuus varmistetaan etukäteen. Myynnin ja markkinoinnin käyttämät asiakkaille esiteltävät tuoteperhemallit ovat erillisiä yksinkertaistettuja ja riisuttuja malleja.

Kokoonpanoverstaan toimintaa on ohjattu koko ajan siihen suuntaan, että kaikki osat ja komponentit tulevat valmiina esimerkiksi kannakkeineen. Kaikki kokoonpanoon kuulumaton toiminta, kuten sahaaminen ja viilaaminen, pyritään poistamaan ja keskittymään ainoastaan kokoonpanotyöhön. Tarkoitus on näin lyhentää valmistuksen läpäisy-aikaa. Aikaisemmin tehtiin itse monet moduloidut tai osakokoonpanoksi tuotetut nimikkeet.

Kaikki putket suunnitellaan Catian tubing -moduulilla. Tubing-moduuli tuo liittimet helmineen ja muttereineen putkien vetojen suunnitteluun. Putkien tiedot viedään Catiasta makrolla Excel-tiedostoon. Tämän perusteella ostot toteutetaan. Alihankkijat eivät tarvitse kuvia putkesta, koska tekevät ne digitaalisella putkentaivutuskoneella koordinaattipisteiden perusteella. Kun käytetään numeerisesti ohjattuja koneita, käytetään tarkkoja taivutuskulmia. Putket voidaan vetää pintavetoina, jolloin ne saadaan siistin ja suunnitellun näköiseksi. Valmisputkien käytöllä valmistuksessa paljon aikaa vievä putkien

pituuksien ja kulmien mittaaminen jää kokonaan pois ja tuotteista saadaan aina samanlaisia.

Instrumentoinnin suunnittelussa suositaan liittimissä suoria kierteitä ja pyritään välttämään kartiokierteitä. O-rengastiivisteisiä liittimiä suositaan. Jos joudutaan käyttämään kartiokierteitä, täytyy liittimien malleille rakentaa kohdistuspisteet standardin perusteella. Tällöin liittimen uppoma saadaan rakennettua malliin oikein.

Parhaat käytännöt venttiilyhdistelmätuotantoon

Varustelusuunnittelussa on yhtäläisyyksiä Helsingin toimituskeskuksessa tehtävään yhdistelmäkokoonpanon instrumentointisuunnitteluun. Molemmat suunnitellaan piirikaavioiden pohjalta. Pituusleikkureiden osalta se tehdään vain etukäteen 3D-suunnittelun keinoin tähän varattujen resurssien toimesta.

Pituusleikkurivarustelussa osakokoonpanoihin ja valmiisiin kokonaisuuksiin siirryttäessä on ollut vastustusta valmistuksen työntekijöiden keskuudessa. Sama haaste esiintyy venttiilyhdistelmätuotannossa. Metso Paperilla aika ja sinnikäs yhteistyö valmistuksen ja suunnittelun välillä on ollut paras keino vastustuksen selättämiseen. Valmistuksen yleinen mielipide on muuttunut niin, ettei enää haluta takaisin vanhaan toimintatapaan, jossa kaikki tehtiin itse. On havaittu, että työ on helpottunut. On rakennettu ilmapiiri, jossa asentajat ehdottavat suunnitteluun moduloitavista kehityskohteista.

7 Venttiilyhdistelmätuotantoprosessin 3D-instrumentointisuunnittelu

Lempiäinen ym. (2007: 45–46) kertovat, että 3D-mallinnuksen edelläkävijäteollisuuksissa, kuten lentokone- ja autoteollisuudessa, yritykset ovat saavuttaneet merkittäviä aika- ja kustannussäästöjä kilpailijoihinsa nähden. Tähän on vaikuttanut koko tuotteen kokoonpantavuuden sekä osien valmistettävyyden testaus ja suunnittelu digitaalisesti. Samat hyödyt on saavutettavissa venttiilyhdistelmätuotannosta ottamalla lopputuotteiden digitaalinen etukäteissuunnittelu laajemmin käyttöön. Ihmisen joustavuus ja taidot yhdistettynä tietokoneeseen muodostavat tehokkaan kokonaisuuden, jolloin esimerkiksi kokoonpanija voi keskittyä varsinaisen työtehtävän hoitamiseen ilman, että energiaa ja kapasiteettia kulutetaan kokoonpanojärjestykseen ja osien miettimiseen (Salonen ym. 2009: 30).

7.1 Toteutusvaihtoehdot

Venttiilyhdistelmätuotantoprosessin 3D-instrumentointisuunnittelun toteuttamiseksi on kaksi vaihtoehtoa: suunnitteluprosessin toteuttaminen sisäisesti luomalla osaaminen ja vastuulliset resurssit tai kehittämällä verkostotoimintamalli, joka tuo tarvittavan osaamisen ja resurssit. Kummankin toimintamallin edellytyksenä on instrumentoinnin moduulointi ja standardointi.

Helsingin toimituskeskuksen ydinosuamista ei ole 3D- tai instrumentointisuunnittelu. Tämän lisäksi haasteena on varmistaa tuotannon häiriöttömyys muuton aikana ja toiminnan käynnistyessä uudessa tehtaassa. Sisäisiä resursseja ei ole ohjata 3D-suunnitteluun. Kehittämällä verkostotoimintamalli hyödytään nopeasti tuotannon paremmasta ohjattavuudesta ja tuotannon vaihtelun pienenemisestä. Verkostotoimintamallin kehittäminen ei pois sulje 3D-instrumentointisuunnittelun tekemistä tulevaisuudessa omin voimin.

7.2 Instrumentoinnin tuotantomenetelmä ja verkostotoimintamallin luonti

Instrumentointityön standardoimisella ja etukäteissuunnittelulla saadaan huomattavia säästöjä kokoonpanotyövaiheiden määrässä. Työvaiheiden määrää vähentämällä vähennetään työkalujen hakuun ja valmisteluun kuluva aikaa sekä osien asetus- ja ope-
rintiaikaa. Näiden lisäksi on huomioitava muut yli organisaatorajojen ulottuvat kustannussäästöt ja edut, jotka saavutetaan etukäteissuunnittelua käytettäessä:

- kokoonpanijasta riippumaton layoutin toteutus
- tasainen laatu
- nopeampi läpäisy aika
- tuoterakenteiden parempi hallittavuus
- suunnitteluajan vähentyminen ja automatisoituminen
- suunnittelupanoksen kohdentaminen vaativiin asiakasräätelöinteihin ja isoihin projekteihin
- ostonimikkeiden keskittäminen
- variaatioiden vähentyminen
- helpompi asiakastarpeeseen vastaaminen myyntitoiminnoissa
- helpompi varaston ylläpito
- kokoonpanijoiden parempi perehdytys
- itseohjautuvan työn määrän lisääntyminen
- instrumentointikonfiguraattorin kehitys, joka mahdollista myynnin käyttöön
- helpompi kokoonpanon jatkokehitys
- simuloinnin käyttöönotto.

Tämän työn kirjallisuustutkimuksen ja vertailuoppimisen kohteissa esiintyy viesti, että instrumentoinnin modulointi ja standardointi on edellytys läpäisyajan lyhentämiseen ja joustavuuden lisäämiseen. Nykytilan analyysi osoittaa, että modulointi on mahdollista toteuttaa venttiiliyhdistelmätuotannon instrumentointiin. Asiakkaita tulisi ohjata standarditoiminnallisuuksien pariin tarjous- ja myyntivaiheessa. Tehokkaammasta tuotantoprosessista hyötyy asiakas nopeamman toimitusajan ja varmistetun toiminnallisuuden johdosta. Jos asiakkaan tarvitsemaa toiminnallisuutta ei voida toteuttaa standarditoiminnallisuuksilla tai moduuleilla, se tehdään projektisuunnittelun toimesta. Markkinointitarkoituksiin ja asiakkaan tuotantolaitosten suunnitteluun rakennetaan virtuaalinen lopputuote, kun venttiiliyhdistelmän instrumentointi on mallinnettu muiden komponent-

tituotteiden lisäksi. 3D-mallia pystytään hyödyntämään jo tarjousvaiheessa, kun asiakkaan tarpeita selvitetään.

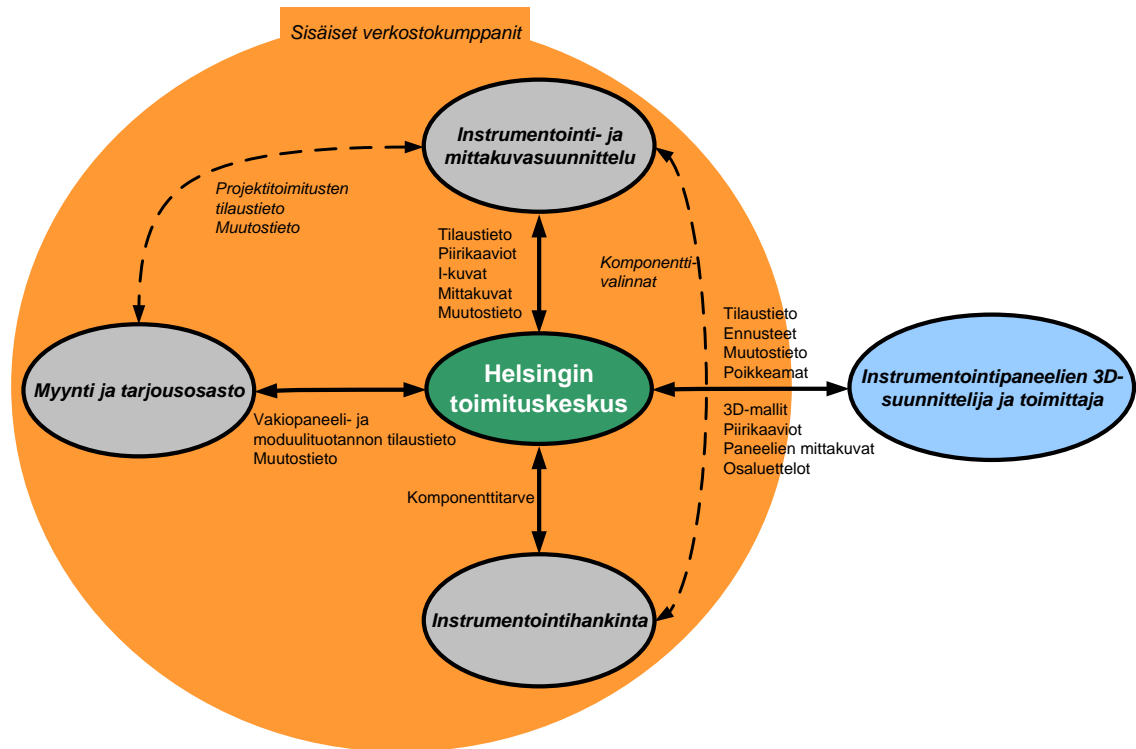
Verkostotoimintamallin kehittämistä puoltaa nykyisen yhteistyökumppanin halu laajentaa yhteistyötoimintaa 3D-instrumentointisuunnittelun strategiseksi kumppaniksi sekä kasvattaa paneelivalmistuksen volyymiä. Yrityksellä on vahva osaaminen eri alojen painilmajärjestelmien kehittämisestä ja niiden energia- sekä tuotantotehokkuuden parantamisesta. Verkoston toimintamalli toteutetaan varaudu–toteuta-mallina. Tässä työssä ei kuvata verkostotoimintamallin sopimusteknisiä asioita niiden arkaluonteisuuden vuoksi.

7.2.1 Strategia

Instrumentoinnin tuotantomenetelmän ja verkostotoimintamallin tarkoituksena on parantaa toimituskeskuksen instrumentointikokoonpanon laatua, ohjattavuutta ja läpäisy-aikaa, tuottaa täydellinen instrumentoinnin tuoterakenne asiakastilauksiin, vähentää instrumentointikomponenttien nimikkeiden määrää ja ohjata asiakkaita Metson standardoimiin komponentteihin ja toiminnallisuuksiin.

Osallistujat

Venttiilyhdistelmän instrumentointituotanto toteutetaan verkostotoimintamallisena. Verkoston veturina toimii Helsingin toimituskeskus (kuva 15). Verkoston muut osallistujat ovat myynti- ja tarjousosasto, instrumentointi- ja mittakuvasuunnittelu, instrumentointikomponenttien hankinta, instrumentointipaneelien 3D-suunnittelija ja toimittaja.



Kuva 15. Verkostotoimintamallin rakenne.

Tehtäväjako

Helsingin toimituskeskuksen operatiivinen toiminta luo verkostolle tarpeen ja toiminnan keskuksen, jota muut verkoston osallistujat palvelevat. Helsingin toimituskeskus vastaa instrumentointikokoonpanon kehittämisestä yhteistyössä paneelien 3D-suunnittelijan ja toimittajan kanssa.

Myynti ja tarjousosasto rakentavat asiakastilausten toiminnallisuudet vakiopaneelien ja moduulitarjonnassa olevien toiminnallisuuksien avulla. Jos moduulituotannon tarjonta ei ole riittävä tai projektitoimituksen toimitusmäärä on suuri, ohjataan asiakastilaus suunnittelun projekti- ja instrumentointipaneelituoteprosessiin.

Instrumentointisuunnittelu valitsee vakiopaneelien ja moduulituotannon paneelien komponentit yhdessä instrumentointihankinnan kanssa asiakastarpeeseen perustuen. Instrumentointisuunnittelu suunnittelee projekti-instrumentointipaneelien toteutuksen ja tuottaa näiden piirikaaviot. Instrumentointisuunnittelu vastaa instrumentoinnin toiminnallisuuksien kehittämisestä asiakastarpeeseen perustuen. Mittakuvasuunnittelu tuottaa asiakastilausten mittakuvat.

Instrumentointikomponenttien hankinta ostaa paneelitoimittajalle instrumentointikoonpanoon tarvittavat instrumentointikomponentit asiakastarpeen mukaan.

Instrumentointipaneelien 3D-suunnittelija tuottaa instrumentointipaneelien 3D-mallin, moduloitujen paneelien piirikaavion, paneelien mittakuvan ja osaluettelon. Toimittaja valmistaa paneelit toimituskeskuksen tarpeeseen perustuen.

Tavoitteet

Tavoite on valmistaa 95 prosenttia asiakastilausten instrumentointitoiminnallisuuksista vakiopaneelilla tai moduloiduilla toiminnallisuuksilla. Toimitusaikatavoite moduuleista valmistetuille instrumentointipaneelille on kaksi vuorokautta tilauksesta. Tavoite on valmistaa ja mallintaa toiminnallisuudet instrumentointipaneelille täydellisesti sekä tuottaa asiakastilausten instrumentoinnin tuoterakennetieto täydellisesti.

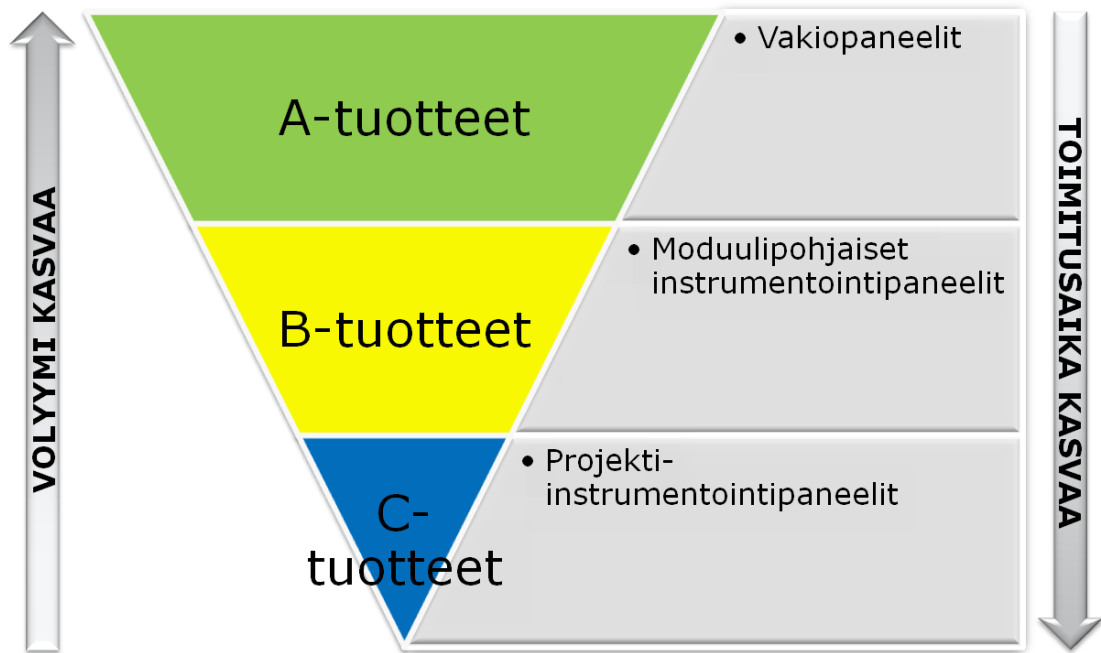
7.2.2 Toimintamallit

Toimittajien jatkuvan seurannan sijaan kehitetään verkoston joustavuutta, toimitusnopeutta ja laaduntuottokykyä. Verkoston toiminnan kontrollointi pidetään mahdollisimman kevyenä. Jatkuvan raportoinnin sijaan seurataan poikkeamia, joiden hallinnan ja hoitamisen vastuu on toimittajilla.

Instrumentointipaneelien hinnoittelu pidetään avoimena. Yhteistyökumppanin kanssa tehtävässä sopimuksessa määritetään nykyinen hintataso ja tavoitehintataso eri kokonaisuuksille. Sopimuksessa sovitaan kustannusten lisäksi muutosten hallinnasta, tuotannon ennusteiden tekemisestä, käytössä olevasta kapasiteetista ja toimitussisällöstä.

7.3 Toiminnan toteutus

Instrumentointituotanto jaetaan volyymiperusteisesti kolmeen eri tuotekategoriaan (kuva 16). A-tuotteet käsittävät instrumentoinnin vakiopaneelit, B-tuotteet moduulipohjaiset instrumentointipaneelit ja C-tuotteet projekti-instrumentointipaneelit. Volyymi on suurin vakiopaneelilla ja pienin asiakaskohtaisesti suunnitelluilla C-tuotteilla. A-tuotteiden toimitusaika on sama kuin varastonimikkeellä, B-tuotteilla kaksi työpäivää ja C-tuotteilla hankittavista komponenteista riippuva.



Kuva 16. 3D-instrumentointituotannon tuotekategoriat..

7.3.1 A-tuotteet: vakiopaneelit

Vakiopaneelit ovat toimituskeskuksen puskurivarastossa visuaalisessa ohjauksessa. Paneelit on testattu ja kokoonpantu komponenttituotteeksi yhdistelmäkokoonpanoa varten. Vakiopaneeleille on automaattinen tilausjärjestelmä. Yhteistyökumppani valvoo ja pitää huolen, että puskurivarastossa on kutakin paneelia saatavilla varmuusvarastoksi määritelty määrä. Puskurivaraston kulutusta seurataan toiminnanohjausjärjestelmäs- tä paneelikohtaisesti.

Yhteistyökumppani suunnittelee vakiopaneelit 3D-malleiksi, jolloin paneeleista saadaan täydellinen tuoterakenne ja ohjeet kokoonpanoa varten. Vakiopaneelista tehdään mal- lin lisäksi piirikaavio ja osaluettelon sisältävä mittapiirustus. Vakiopaneelin malli ja pii- rustukset tallennetaan PDM-järjestelmään, josta ne ovat hyödynnettävissä koko organi- saation käyttöön.

7.3.2 B-tuotteet: moduulipohjaiset instrumentointipaneelit

Tilaus- ja valmistusmenetelmä perustuu oikeaan asiakastarpeeseen, ja modulaarinen tuote on mahdollista toimittaa ilman tilauskohtaista suunnittelua. Instrumentoinnin toiminnallisuudet jaetaan pääkomponenttiryhmittäin moduuleihin. Moduulit on varastoitettu toimittajan tiloihin. Moduuleista kootut paneelit valmistetaan ja testataan tuotannon tarpeeseen perustuen. Yhteistyökumppani saa tiedon tilauskantaan perustuvasta kulu- tuksesta toiminnanohjausjärjestelmän kautta. Toimitusaikavoite on kaksi työpäivää tilauksesta toimituskeskuksen keräilyyn. Yli 20 kappaleen sarjat siirretään C-tuotteisiin, eli projekti-instrumentointipaneeleihin. Tilauksen iskupiste on kaksi vuorokautta ennen valmistuksen aloittamista, mutta muutosten tekeminen on mahdollista toimitukseen asti ilman lisäkuluja tai toimitusviivästystä. Logistiikka saadaan suoraviivaiseksi, kun ostot ja toimitukset eivät ole paneelikohtaisia. Varaston hallinta helpottuu ja arvo pienenee, kun toimittaja hallinnoi puolivalmiita moduuleita.

Yhteistyökumppani suunnittelee moduulit 3D-malleiksi, jolloin eri moduuleista koostuvat instrumentointipaneelit on nopea mallintaa. Paneelista tuotetaan osaluettelon sisältävä mittapiirustus sekä piirikaavio, jotka tallennetaan PDM-järjestelmään.

Moduulien nimikkeet valitaan volyymiperusteisesti, niin että koko nimikkeen volyymistä katetaan 90–99 prosenttia (taulukko 4 ja 5). Erilaisia moduuleita tulee 204 kappaletta, ja niihin kuuluu 86 erilaista nimikettä, kun käytetään vuoden 2010 volyymiä. Magneettiventtiilien 41 nimikettä on ylivoimaisesti suurin osuus moduuli- ja nimikemäärästä, moduuleista 60 prosenttia ja nimikkeistä 48 prosenttia. Moduulien väliset rajapinnat on standardoitu, joten liittimien ja putkien hankinta tehostuu.

Taulukko 4. Moduulit ja niihin kuuluvat nimikkeet.

| Moduulin toiminnallisuus | Moduuli | Koko | Materiaali | Valm./ Tyyppi | Nimik- keet |
|--|---------------------------------|------|------------|------------------|----------------|
| Ohjaus järjestelmästä | 1 x SV | | | | 41 |
| Ohjaus järjestelmästä: redundanssi, toinen päällä | 2 x SV rinnan | | | | 41 |
| Ohjaus järjestelmästä: redundanssi, molemmat päällä | 2 x SV sarjassa | | | | 41 |
| Nopea sulkeutumis-/ avautumisaika | 1 x AOV | 4 | 2 | 3 | 13 |
| Määritetty asento jännitteen tai paineen kadotessa | 2 x AOV 3/2 (AFO, AFC) | 4 | 2 | 3 | 13 |
| Lukittu tila paineen kadotessa | 1 x AOV 3/2 + 1 x AOV 2/2 (AFC) | 4 | 2 | 3 | 13 |
| Paineilman ja tason suodatus ja säätö | AFR | 3 | 2 | 2 | 5 |
| Paineilman ja tason suodatus ja säätö, paine ei saa pudota magneettiventtiilille | AFR + CV-valmius | 3 | 2 | 2 | 5 |
| Paineilman ja tason suodatus ja säätö, painetason valvonta | AFR + PPS-valmius | 3 | 2 | 2 | 5 |
| Nopeuden säätö | SCV | 4 | 2 | 3 | 8 |
| Asennoitimen tilavuusvirran vahvistus | VB | 2 | 2 | 3 | 4 |
| Nopea avautus/sulkeutumisaika yksitoimiset toimilaitteet | QEV | 4 | 2 | 4 | 8 |
| Painetason putoamisen estäminen | CV | 2 | 2 | 1 | 4 |
| Painetason valvonta | PPS | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Yhteensä | | | | | 204 |
| | | | | | 86 |

Taulukossa 5 on esitetty moduloitujen toiminnallisuuksien kattavuudet volyymistä vuoden 2010 asiakastarpeeseen perustuen. Esimerkiksi jos asiakastilauksessa on yksitoiminen toimilaite ja yhdistelmä halutaan nopeatoimiseksi auki- ja kiinni-suuntaan, tarvitaan toiminnallisuuteen suodatinsäädin-, magneettiventtiili-, ilmaohjattu venttiili- ja takaiskuventtiilimoduuli. Moduulikonaisuus kattaa 79 prosenttia kyseisen toiminnallisuuden volyymistä moduuleihin valituilla nimikkeillä.

Taulukko 5. Asiakastarpeeseen perustuvat toiminnallisuudet moduuleittain, vuosi 2010.

| Toiminnallisuus | Komponenttiryhmä | Nimikkeet / kpl | Kattavuus | AFR kattav | SV kattavu | AOV kattavuus | CV kattavuus | SCV kattavuus | VB kattavuus | QEV kattavuus | PPS kattavuus |
|---|--|-----------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Suodatus asennoittimelle | Pelkkä suodatin | 5 | 99 % | 99 % | | | | | | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: ohjaus järjestelmästä | Pelkkä magneettiventtiili | 41 | 90 % | | 90 % | | | | | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: suodatus, ohjaus järjestelmästä | Suodatin, magneettiventtiili | 46 | 89 % | 99 % | 90 % | | | | | | |
| Suodatus, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus | Suodatin, volumebooster | 9 | 94 % | 99 % | | | | | 95 % | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: liikenopeuden säätö 1-suunta | Suodatin, magneettiventtiili, kuristin | 54 | 83 % | 99 % | 90 % | | | 93 % | | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: liikenopeuden säätö 2-suunta | Suodatin, magneettiventtiili, kuristin x 2 | 54 | 83 % | 99 % | 90 % | | | 93 % | | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea poisto | Suodatin, magneettiventtiili, pikapoisto | 54 | 85 % | 99 % | 90 % | | | | | 95 % | |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea poisto, säädettävä liikenopeus | Suodatin, magneettiventtiili, pikapoisto, kuristin | 62 | 79 % | 99 % | 90 % | | | 93 % | | 95 % | |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili | 63 | 79 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | | | | |
| Kaksitoiminen toimilaitte: nopea molemmat suunnat | Suodatin, magneettiventtiili, AOV x 2, takaiskuventtiili | 63 | 79 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | | | | |
| Kaksitoiminen toimilaitte: nopea, painetaso valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV x 2, painekytin | 62 | 82 % | 99 % | 90 % | 95 % | | | | | 98 % |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea, painetaso valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, painekytin | 66 | 77 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | | | | 98 % |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea, säädettävä liikenopeus | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, kuristin | 30 | 74 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | 93 % | | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili, volumebooster | 67 | 75 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | | 95 % | | |
| Yksitoiminen toimilaitte: nopea, asennoittimen tilavuusvirran vahvistus, painetaso valvonta | Suodatin, magneettiventtiili, AOV, takaiskuventtiili x 2, volumebooster, AOV, painekytin | 70 | 73 % | 99 % | 90 % | 95 % | 94 % | | 95 % | | 98 % |

7.3.3 C-tuotteet: projekti-instrumentointipaneelit

Etsitään uniikkeja tuotteita sekä suunnitellaan tilauskohtaisesti asiakastarpeen täyttävät ratkaisut. Osat ja tuotteet tilataan toimitusprojektikohtaisesti, jolloin toimitusaika määräytyy komponenttien saatavuuden mukaan.

Instrumentointisuunnittelu laatii toimitusprojektikohtaisen listan ostajalle. Ostaja ilmoittaa yhteistyökumppanille projektin kokonaistarpeen ennen tilausta. Instrumentointisuunnittelu luo projektikohtaisen paneelin nimikkeen PDM-järjestelmään ja sopii yhteistyökumppanin kanssa paneelien hinnan. Komponentit tilataan varastoon 14 päivää ennen paneelien tarvetta. Varasto kerää paneelin komponentit. Kun keräys on suoritettu, ostaja tekee tilauksen yhteistyökumppanille. Yhteistyökumppani suunnittelee tilauskohtaisen projekti-instrumentointipaneelin sekä sen 3D-mallin piirikaavion ja venttiilyhdistelmän mittakuvan perusteella. Paneelin malli sekä osaluettelon sisältävä mittapiirustus

tallennetaan PDM-järjestelmään. Vastaanotto ottaa yhteistyökumppanin toimituksen vastaan ja siirtää sen varastoon. Osatoimituksia ei sallita.

8 Koesarja

Koesarjan teettämisellä varmistetaan, että instrumentoinnin tuotantomenetelmä voidaan toteuttaa suunnitellulla tavalla. Tuotantomenetelmän kustannuksia arvioidaan koesarjan tuottamisen yhteydessä. Koesarja toteutetaan instrumentointituotannon C-tuotteilla. Projekti-instrumentointipaneelituotanto valittiin koesarjaksi, koska projekti-toimitukset sisältävät usein lukumääräisesti paljon instrumentointikomponentteja ja asiakassovellusten vaatimukset ovat haastavia. Asiakasprojektien instrumentointikoonpanon läpimenoaika on vaikea ennustaa sen standardoimattomuuden vuoksi.

Koesarjaksi valittiin yksi asiakasprojekti kokonaisuudessaan. Projektiin kuului 12 erilaista instrumentointitoiminnallisuutta (taulukko 6). Asiakkaan vaatimat toiminnallisuudet 3D-suunniteltiin piirikaavioiden perusteella instrumentointipaneeleille. 3D-suunnittelu tehtiin 12 paneelille, joista valmistettiin 161 venttiiliyhdistelmää.

Taulukko 6. Koesarjan instrumentointipaneelit.

| Nimike | Nimikkeen kuvaus | kpl |
|----------|------------------|-----|
| H9474 | INSTR. PANEL 3 | 47 |
| H9473 | INSTR. PANEL 2 | 42 |
| H9483 | INSTR. PANEL 12 | 25 |
| H9475 | INSTR. PANEL 4 | 14 |
| H9491 | INSTR. PANEL 1V | 12 |
| H9478 | INSTR. PANEL 7 | 6 |
| H9476 | INSTR. PANEL 5 | 6 |
| H9481 | INSTR. PANEL 10 | 4 |
| H9482 | INSTR. PANEL 11 | 2 |
| H9477 | INSTR. PANEL 6 | 1 |
| H9479 | INSTR. PANEL 8 | 1 |
| H9480 | INSTR. PANEL 9 | 1 |
| Yhteensä | | 161 |

Instrumentointipaneelien toimittaja suunnitteli 3D-mallit piirikaavioiden perusteella (liite 7). Toimittaja valmisti instrumentointipaneelikoonpanot tehokkaasti sarjatuotannon keinoin. Yhdistelmäkokoonpanossa tapahtuva layout-suunnittelu jäi pois. Paneelit kiinnitettiin venttiiliyhdistelmiin merkittävästi vähemmällä operaatioilla, kuin jos instrumentointi koottaisiin erillisistä komponenteista. Läpäisy aika saadaan ennustettavaksi ja huomattavasti lyhyemmäksi kuin nykyisessä toimintamallissa.

Kustannukset

Instrumentointipaneeleilla toteutettavan yhdistelmäkokoonpanon vaikutus kokoonpanon läpäisy aikaan ja kustannuksiin selvitettiin DFA-analyysin avulla (liite 8). Tuloksia verrattiin komponenttituotteista kokoonpantuihin toiminnallisuuksiin (taulukko 7). Analyysin perusteella havaittiin yhdistelmäkokoonpanoon kuluvan ajan pienenevän merkittävästi käytettäessä valmispaneeleita.

Läpäisy aika lyhenee suhteellisesti eniten suurissa instrumentointitoiminnallisuuksissa, joissa paneelikokoonpanosta saadaan paras hyöty irti. Yksitoimisen toimilaitteen sisältävän venttiiliyhdistelmän instrumentointiin kuluu aikaa 12 minuuttia. Kokoonpano sisältää kaksi instrumentoinnin pääkomponenttia. Tämä on 43 prosenttia komponentteittain tehtävän toiminnallisuuden ajasta. Työvaiheita on 22, mikä on 38 prosenttia komponentteittain tehtävän toiminnallisuuden määrästä. Kaksitoimisen toimilaitteen sisältävän venttiiliyhdistelmän instrumentointiin kuluu aikaa 22 minuuttia, sisältäen 34 työvaihetta. Instrumentointitoiminnallisuus sisältää kahdeksan pääkomponenttia. Venttiiliyhdistelmän instrumentoinnin kokoonpanoon kuluu 14 prosenttia komponentteittain tehtävän toiminnallisuuden ajasta. Työvaiheita on 13 prosenttia komponentteittain tehtävän toiminnallisuuden määrästä.

Koesarjan tuloksista havaittiin, että valtaosa instrumentoinnin kokoonpanoajasta kuluu paineilmaputken valmistamiseen. Kaksitoiminen toimilaitte kaksinkertaistaa paineilmaputkien määrän. Suorasta putkesta taivutetaan paneelilta toimilaitteelle tai venttiiliohjaimelle kulkeva instrumenttiputki. Putkien taivutusten määrällä on suuri merkitys kokoonpano aikaan. DFA-analyysit tehtiin optimaalisella taivutusmäärällä, jolloin saadaan u-putki kahden komponenttituotteen väliin. Usein tähän ei päästä, mikä johtuu asiakkaan vaatimasta asennusasennosta. Kun joudutaan taivuttamaan useampia mutkia paineilmaputkiin, kokoonpano aika ja kustannukset kasvavat. Valmisputkien käyttöön otolla päästään tästä ongelmasta eroon. Tämä on mahdollista toteuttaa A-sarjan tuotteiden osalta digitaalisesti ohjattua putkentaivutuskonetta hyödyntämällä. Haasteena valmisputkissa on asennusasentojen huomioiminen eri paneeliversiolla.

Taulukko 7. Paneeli- ja komponenttilähtöisen instrumentointikokoonpanon vertailu.

| Nimike | 1-toiminen toimilaite (H9474 INSTR. PANEL 3) | H9474 INSTR. PANEL 3 vs. komponentti kkp | 2-toiminen toimilaite (H9491 INSTR. PANEL 1V) | H9491 INSTR. PANEL 1V vs. komponentti kkp |
|----------------------------------|--|--|---|---|
| Pääkomponentit, kpl | 1 | 50 % | 1 | 13 % |
| Eri työvaiheet, kpl | 22 | 38 % | 34 | 13 % |
| Työvaiheet yhteensä, kpl | 26 | 25 % | 42 | 10 % |
| Työkalujen haku ja valmistelu, s | 48,2 | 24 % | 80,5 | 10 % |
| Työkalujen haku ja valmistelu, % | 7 % | | 6 % | |
| Osien käsittelyaika, s | 12,0 | 12 % | 19,0 | 7 % |
| Osien käsittelyaika, % | 2 % | 28 % | 1 % | 45 % |
| Asetus- ja operointiaika, s | 662,7 | 48 % | 1200,5 | 15 % |
| Asetus- ja operointiaika, % | 92 % | | 92 % | |
| Työaika yhteensä, s | 722,9 | 43 % | 1300,0 | 14 % |
| Työaika yhteensä, min | 12,0 | | 21,7 | |
| Työaika yhteensä, h | 0,20 | | 0,36 | |

Paneelitoimittajan kanssa sovittavista valmistuskustannuksista on päätettävä lähtöhinnat. Kummankin osapuolen on saatava riittävä hyöty yhteistyöstä. Muiden sopimusasioiden lisäksi on tärkeää sopia tavoitehinnoista eri kokonaisuuksille pidemmälle aikavälille. Toimittaja on sitoutettava kehittämään toimintaa kustannusten pienentämiseksi ja ajan lyhentämiseksi. Näin varmistetaan valmistusmenetelmien ja prosessien kehittämistä yhteisen tavoitteen eteen.

Koesarjan 3D-mallinnukset tehtiin pilottiprojektina, joten sen kustannukset eivät ole vertailukelpoisia jatkuvassa yhteistyössä syntyviin kustannuksiin. Pilottiprojektin kustannuksia ei esitetä tässä työssä. 3D-mallinnusta aloitettaessa yksi merkittävä kustannuksia aiheuttava tekijä on riittävän komponenttikirjaston luominen. Kaikilta komponenttitoimittajilta ei ole saatavilla valmiita 3D-malleja. Tällöin komponentit joudutaan mallintamaan itse, mikä lisää aloituskustannuksia. Kun komponenttikirjasto on kattava ja mallintaminen on hyvin suoraviivaista ja tehokasta. Teknisesti 3D-suunnittelun kannalta ei ole väliä, onko kyseessä A-, B- vai C-tuote. A-tuotteiden paneelit suunnitellaan kerran. B-tuotteiden moduulit suunnitellaan kerran, minkä jälkeen niistä rakennetaan erilaisia kokoonpanoja asiakastarpeen mukaan. C-tuotteet suunnitellaan komponenttitasolta erilaisiin asiakassovelluksiin.

9 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin Helsingin toimituskeskuksen yhdistelmäkokoonpanon tuotantoprosessiin 3D-instrumentointisuunnittelun toimintamalli. Tutkimuksen lähtökohtina olivat asiakkaiden tyytymättömyys venttiilyhdistelmien layoutin vaihteluun sekä tuotannonohjauksen ennustamattomuus instrumentointikokoonpanon osalta. Nykyisen instrumentointikokoonpanon läpäisy aika ja kustannukset selvitettiin erilaisten analyysien avulla. Toimintamalli tehtiin kirjallisuustutkimuksen ja vertailuoppimisen perusteella. Suunniteltu toimintamalli testattiin tuottamalla koesarja.

Instrumentointituotanto analysoitiin ja jaettiin volyymiperusteisesti kolmeen eri tuotekategoriaan. A-tuotteet käsittävät instrumentoinnin vakiopaneelit, B-tuotteet moduulipohjaiset instrumentointipaneelit ja C-tuotteet projekti-instrumentointipaneelit. Standardoinnissa keskityttiin asiakastarpeeseen perustuvien instrumentointimoduulien suunnitteluun sekä niihin kuuluvien komponenttien valintaan. Koesarja valmistettiin C-tuotekategoriaan kuuluvasta asiakasprojektista. Projektiin kuului 12 eri instrumentointitoiminnallisuutta. Näistä valmistettiin 161 venttiilyhdistelmää. Yhdistelmäkokoonpanon läpäisy aika saatiin lyhennettyä merkittävästi käyttämällä instrumentoinnissa etukäteissuunnittelua ja valmiiksi kokoonpantuja toiminnallisuuksia. Vaativissa toiminnallisuuksissa instrumentointikokoonpanon läpäisy aika on 14 prosenttia ja yksinkertaisissa 43 prosenttia nykyisestä toimintatavasta, vaikka instrumentointikokoonpanon layout-suunnitteluun käytettyä aikaa ei huomioitu tuloksissa. Läpäisy aika pystytään parantamaan lisää, ottamalla käyttöön valmisputket paneelin ja toimilaitteen välillä. Instrumentoinnin layout mallinnettiin kolmiulotteisena mallina. Instrumentoinnin tuoterakenne saadaan tuotettua täydellisenä 3D-mallista. Kokoonpanoprosessin ja asiakastyytyvyyden parantumisen lisäksi etuja havaittiin huomattava määrä oston, myynnin ja varaston toiminnoissa.

Instrumentointituotanto toteutetaan varaudu–toteuta-verkostotoimintamallina, johon kuuluu yrityksen sisäisiä ja ulkoisia toimijoita. Verkostotoimintamallille luotiin strategia ja tavoitteet. Verkoston toimijoille määriteltiin tehtävät sekä luotiin toimintamallit. Verkostotoimintamallin kehittämisellä vastataan resurssien ja osaamisen puutteeseen sekä rakennetaan joustavuutta tuotantoprosessiin. Toimintojen ulkoistaminen asettaa suuria vaatimuksia tuotanto-osaamisen hallinnalle sekä uusien valmistusteknologioiden hyö-

dyntämiselle tuotannossa. Yhteistyö on osattava organisoida uudella tavalla. Verkosto- toimintamallin käyttöönotossa seuraavaksi on tehtävä ulkoisten toimijoiden kanssa yhteistyösopimus. Sopimusteknisiä asioita ei tässä työssä käsitelty.

Toimituskeskuksen tuotantoprosessi uudessa tehtaassa, johtaa instrumentointikokoonpanon esisuunnittelun ja paneelikokoonpanon käyttöönottoon. Asiakastilausten keräilyt on hankala toteuttaa standardoimattomilla instrumentointikokonaisuuksilla, kun varasto ja kokoonpano on eriytetty toisistaan. Kokoonpanon esisuunnittelu vaatii digitaalisen koneenrakennuksen käyttöönottoa, instrumentoinnin 3D-suunnittelua. Tuotannosta ja 3D-suunnittelusta saadaan kustannustehokasta suunnitelluilla tuotteiston kategorisoinnilla, standardoinnilla ja moduloinnilla. Ideaalituotannossa ei tarvita kuin vakiotuotteita. Vakiotuotteet suunnitellaan siten, että ne täyttävät avainasiakkaiden tärkeimmät kriteerit. Asiakkaat ohjataan tuotannollisesti tehokkaisiin ratkaisuihin valmistamalla heille suunnitellulla toimitusajalla tasalaatuisia lopputuotteita.

ExCom (Executive Committee) hyväksyi vuoden 2011 alussa konseptin, jossa ”vihreän virran” (Green Stream) tuotteiston tuotteet virtautetaan sekä toimisto- että tuotantoprosessien osalta. Päätavoite on tämän tuotteiston osalta toimitusaikalupausten pitäminen asiakkaalle. Tässä on ollut paljon vaikeuksia viimeisten vuosien aikana. Tuotannon virtautuksen edellytys on, että tuotantovolyyymiä kyetään siirtämään vakiotuotteisiin standardoimattomista tuotteista, joita valmistetaan standardoimattomalla työllä. Tässä työssä luotu instrumentoinnin tuotantomenetelmä toimii apuna ”vihreän virran” käyttöönotossa.

Instrumentointituotantomenetelmän käyttöönotto aloitetaan A- ja C-tuotteiden tuotannolla. A-tuotteisiin luodaan vakiopaneelit 5-12 kpl toimilaitetekokoluokittain. Myyntiorganisaatio tiedotetaan ja koulutetaan valitsemaan instrumentointitoiminnallisuuksia vakiopaneelien perusteella. Instrumentointituotteistoa on analysoitava säännöllisesti. Asiakkaiden toiminnallisuusvaatimuksia on seurattava ja peilattava vakiopaneelitarjontaan. Vakiopaneelien käyttöönoton jälkeen analysoidaan B-tuotekategorian tarpeellisuus. Saadaanko vakiopaneeleilla siirrettyä riittävästi tuotteita ”vihreään virtaan” vai otetaanko avuksi moduulipohjaiset instrumentointipaneelit?

Perusasiat täytyy saada kuntoon tehostettaessa laajemmin Helsingin toimituskeskuksen yhdistelmäkokoontuotantoa. Näitä ovat esimerkiksi lopputuotteen tuoterakenne ja lopputuotteen valmistettavuuden huomioiminen tuotesuunnittelussa. Organisaatioiden pitää keskittyä yhdessä asiakkaille toimitettaviin lopputuotteisiin. Nyt keskitytään liian paljon yksittäisiin komponenttituotteisiin ja niiden valmistuskustannuksiin. Lopputuotteiden suunnittelulle tarvitaan vastuullinen taho.

Tuotesuunnittelun ohella tärkeää on tuotantomenetelmien jatkuva kehittäminen. Kirjallisuustutkimusosiossa esitellyn ohjaavan kokoonpanon näkisin seuraavana suurena askeleena tuotantomenetelmien kehittämisessä haluttaessa parantaa venttiiliyhdistelmäkokoontuotantoa laatua ja läpäisyäikää. Liikkeelle lähdettäisiin tuotannon ja tuotelinjan välisellä yhteisellä pilottiprojektilla, jossa kokeiltaisiiin menetelmän soveltuvuutta virtauksensäätöratkaisuihin sekä niiden valmistamiseen. Ohjaavan kokoonpanon käyttöönotto vaatii paljon uudistuksia ja ajatusmallien muuttamista. Meneillään oleva työmenetelmien standardointi SOP:ien (standard operating procedure) avulla on välivaihe, jossa tuotannon perusasioita laitetaan kuntoon. Tämän lisäksi tuotantoystävälliseen lopputuotteen 3D-suunnitteluun pitää panostaa enemmän. Esimerkiksi raskaille ja suurille komponenteille tulisi suunnitella kunnolliset nostokiinnikkeet ja toimilaitteisiin pitäisi saada instrumentoinnille standardoitu liitosrajapinta. Instrumentointi on nähtävä yhdistelmän komponenttituotteena. DfX (Design for X) tulisi ottaa vakiotoimintaan tuotekehityksessä sekä toimitusketjuorganisaatiossa.

Tuotteen muunneltavuus on kokoonpanolle haasteellista, mutta se luo asiakkaan näkökulmasta tuotteelle lisäarvoa. Asiakas saa standardiosista valmistetun yksilöllisen tuotteen. (Salonen ym. 2009: 15.)

Lähteet

- Augmented reality in manual assembly work. (WWW-dokumentti.) European Future Manufacturing. <http://future-manufacturing.eu/index.php?Itemid=105&id=346&option=com_content&task=view>. Luettu 4.9.2010.
- Bolton, W. 1994. Production planning & control. Lontoo: Longman Group UK Limited.
- Doukas, L. & Simatupang, T. 2001. System Engineering Approach in Make-or-Buy Technology. Management of Engineering and Technology. Vol. 1, s. 224.
- Glenday, Ian. 2004. Moving to Flow. (WWW-dokumentti.) Lean Management Instituut. <http://www.leaninstituut.nl/publications/moving_to_flow.pdf> 2004. Luettu 13.8.2010.
- Groover, Mikell P. 2008. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Third Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Holviala, Niina (toim.). 2010. MASI programme 2005-2009. Tekes Programme Report 3/2010. Helsinki: Tekes.
- Johnson, Norman. 1994. Make or Buy? Manufacturing Engineer. June 1994, s. 135.
- Karlöf, B., Lundgren, K. & Froment, M. 2003. Ota oppia parhaista! Tehoa vertailuoppimisesta. Helsinki: Talentum.
- Kämäräinen, Toni. Prosessiventtiilien automaattiohjausten suunnittelu. Insinööriyö. EVTEK-ammattikorkeakoulu. 2008.
- Laakko, Timo. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- Lappi, Jussi. Toimituskeskuksen tuotannosuunnittelu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, 2008.
- Liker, Jeffrey K. 2006. Toyotan tapaan. Jyväskylä: Readme.fi.
- Lempinen, Vesa & Markus, Tapani. 2010. Tuotepäällikkö Neles-säätöventtiilit, Metso Automation Oy & Instrumentointipäällikkö, Metso Automation Oy, Helsinki. Keskustelu 26.5.
- Lempiäinen, J., Aalto, H. & Söderlin, P. 2007. Digitaalinen suunnittelu ja valmistus eli tietotekniikka koneenrakennuksessa - Nykytila ja kehitystarpeita Suomessa. MASINA - Koneenrakennuksen teknologiaohjelman selvitys. Helsinki: Tekes.
- Lempiäinen, Juhani & Savolainen Jari. 2003. Hyvin suunniteltu - puoliksi tehty. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.
- Londen, Mikko. Automaattiventtiilien instrumentoinnin tuote- ja konfigurointimalli. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu, 2003.

Mod, Lasse. Kokoonpanotuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, 2009.

Määttä, T., Multanen, P., Handroos, H., Eskola, T., Sääsäski, J., Salonen, T., Makkonen, P. & Mäkiranta, A. 2005. Digitaalisen koneenrakennuksen nykytila ja kehitystarpeita suomessa – Esiselvitys. Tutkimusraportti, Tampere: Tekes.

Sakki, Jouni. 2003. Tilaus-toimitusketjun hallinta logistinen B-to-B-prosessi. Espoo: Hakapaino Oy.

Salonen, T., Sääsäski, J., Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O. & Rainio, K. 2009. Augmented Assembly - Ohjaava kokoonpano. VTT Working Papers 138. Espoo: VTT.

Sääsäski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., 2008a. Kuution kokoaminen AR-tekniologian avulla. VTT Working Papers 89. Espoo: VTT.

Sääsäski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Määttä, T., Pakkanen, J., Vanhatalo, M. 2008b. Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. (WWW-dokumentti.) VTT. <http://future-manufacturing.eu/dmdocuments/Hydraulic_block_pres_new.pdf> 2008. Luettu 4.9.2010.

Seppänen, Marko & Kouri, Ilkka. 2003. LiVe – Verkostojen toiminnanohjauksen nykytilan analyysi. Tampere: Tampere University of Technology and University of Tampere.

Shang, Y. & Liang, J. 2009. Information Sharing Model of Supply Chain Based on Third Party Logistics Providers. Computing, Communication, Control, and Management. Vol. 2, s. 139-143.

Sivonen, Markku. 1999. Teollisuuden instrumentointi: rakenne ja suunnittelu. Espoo: AEL.

Tossavainen, Jani. Instrumenttien paikan ja asennustavan standardoimisen tutkimus. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu, 2002.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Tammertekniikka.

Walden, Joseph L. 2009. Modeling and benchmarking supply chain leadership: setting the conditions for excellence. Boca Raton, Florida: CRC Press/Taylor & Francis Group.

Ylén, J-P., Ventä, O., Tommila, T., Lappalainen, J., Hirvonen, J., Karhela, T., Paljakka, M., Lehtinen, H., Heilala, J., Peltonen, J., Malm, T., Valkonen, J. & Voho, P. 2010. Automaatio liiketoimintaprosessien tukena. Tekesin katsaus 271/2010. Helsinki: Tekes.

Liite 1. Instrumentointisuunnitteluun vaikuttavat asiakasvaatimukset

haluttu toiminto

- on/off
- säätötoiminto

asennusasento

- x-määrä
- mahdolliset komponenttien erikoisuudet

operointiajat (auki & kiinni)

- Category A (with solenoid valve)
- Category B (with positioner or with VG, SG)
- Category C (with positioner & Fail-safe)

ohjaussignaali

- jännite (V)
- paineilma (barg)
- virtasignaali (mA)
- kenttäväyläsignaalit (FF, PA, HART)

lämpötilavaatimukset

räjähdyksivaaralliset tilat (ATEX)

turvataso (SIL)

materiaalit

käytettävät komponentit

- valmistaja
- tyyppi

putkitus ja liittimet

- mm
- inch
- liitintyyppi
 - valmistaja
- materiaali
 - AISI316
 - muut (messinki, muovi)

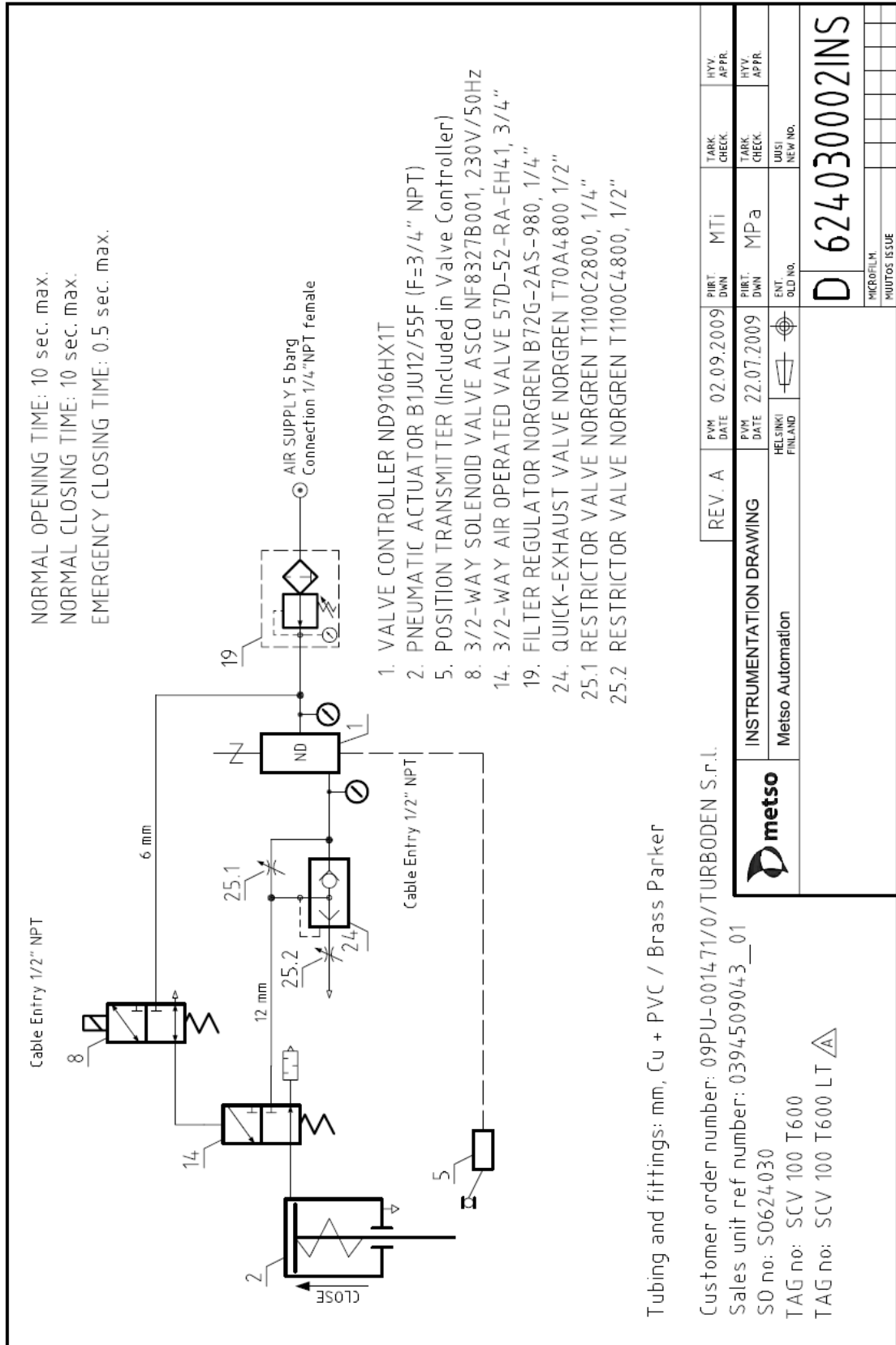
häiriötilanteet

- paineilmasyöttö katkeaa (AFC air fail closed/AFO air fail open/AFL air failed locked)
- ohjaussignaali katkeaa
- jännitesyöttö katkeaa

paineilmasyötön katkeamisen jälkeinen liike (paineilmatankki)

tulisuojaus

Liite 2. Esimerkki instrumentoinnin piirikaaviosta



Liite 3. Glendayn seula instrumentointikomponenttiryhmistä

Air Filter Regulators

| Summa / Qty Re- ceived | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|---|-------|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| AFR7776 | NORGREN | B72G-2AS-980 | 12640 | 84,19 % | 84,19 % | Aluminium | 1 |
| AFR7777 | NORGREN | B74G-4AS-995, 1/2"NPT | 1639 | 10,92 % | 95,11 % | Aluminium | 2 |
| AFR4638 | MIDLAND | 2FRMSF122A05 | 292 | 1,94 % | 97,06 % | Aisi316 | 3 |
| AFR7781 | NORGREN | B68G-8AS-005, 1"NPT | 190 | 1,27 % | 98,32 % | Aluminium | 4 |
| AFR6887 | MIDLAND | 4FRMSF122A05, 1/2" NPT | 123 | 0,82 % | 99,14 % | Aisi316 | 5 |
| AFR7391 | SMC | AW20-N02-2-X2257 | 76 | 0,51 % | 99,65 % | Aluminium | 6 |
| H4776 | NORGREN | B38-200-B1KA 1/4NPT FILTER REG 67CFR-226 | 24 | 0,16 % | 99,81 % | | 7 |
| H1791 | FISHER | 0...125 | 11 | 0,07 % | 99,88 % | | 8 |
| AFR7392 | SMC | AW40-N04-2-X430 | 8 | 0,05 % | 99,93 % | Aluminium | 9 |
| H9210 | ENFM | 12-112A1124309 | 6 | 0,04 % | 99,97 % | | 10 |
| AF6416 | NORGREN | F68G-8AN-AR1 1" NPT | 2 | 0,01 % | 99,99 % | Aluminium | 11 |
| AFR231774 | NORGREN | B64G-4AK-AD1-RMN 1/2" FILTER REG 67CFR-226 | 1 | 0,01 % | 99,99 % | Aluminium | 12 |
| H4155 | Askalon AB, filiaal i Finland | 35...100 | 1 | 0,01 % | 100,00 % | | 13 |
| Total | | | 15013 | 100,00 % | | | |

Solenoid Valves

| Summa / Qty Re- ceived | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----|----------|---------|----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| H8308 | ASCO | NF8327B202 24VDC | 337 | 11,16 % | 11,16 % | | 1 |
| H7567 | ASCO | WSNF8327B102 24VDC | 201 | 6,66 % | 17,82 % | | 2 |
| HP2325 | Sitek-Palvelu Oy | L22BA452BG17G6 + 2x A2MN+ Cable | 201 | 6,66 % | 24,48 % | | 3 |
| H6735 | Bosch Rexroth Oy | 5814171100-R412000144- 89850414 | 181 | 6,00 % | 30,47 % | | 4 |
| SV6266 | HERION | 2623001.3051 24VDC | 162 | 5,37 % | 35,84 % | | 5 |
| H8998 | ASCO | NFET8327B302 24VDC | 148 | 4,90 % | 40,74 % | | 6 |
| SV6269 | HERION | 2623501.3051 24VDC | 115 | 3,81 % | 44,55 % | | 7 |
| SV6274 | HERION | 2636065.4210 24VDC | 107 | 3,54 % | 48,10 % | | 8 |
| SV8625 | ASCO | SC8327B002, 24VDC | 100 | 3,31 % | 51,41 % | | 9 |
| H8610 | ASCO | WSNF8327B112 24VDC | 85 | 2,82 % | 54,22 % | | 10 |
| SV8633 | ASCO | NF8327B001, 230V/50- 60Hz | 81 | 2,68 % | 56,91 % | | 11 |
| SV7839 | HERION | 2401087.2003, 24VDC | 76 | 2,52 % | 59,42 % | | 12 |
| SV8642 | ASCO | NF8327B112, 24VDC ,3.6W | 74 | 2,45 % | 61,87 % | | 13 |
| SV7835 | HERION | 9711545.4612, 24VDC | 63 | 2,09 % | 63,96 % | | 14 |
| SV4898 | MAXSEAL | Y123AA1H1BS, 24VDC, IC04S | 60 | 1,99 % | 65,95 % | | 15 |
| H8881 | MAXSEAL | Y013AA1H1BS 24VDC | 60 | 1,99 % | 67,94 % | | 16 |
| SV7778 | HERION | 2401138.0801 24 VDC | 45 | 1,49 % | 69,43 % | | 17 |
| SV8640 | ASCO | NF8327B111, 24VDC ,3.6W | 45 | 1,49 % | 70,92 % | | 18 |
| SV7852 | ASCO | SC8551A005MS, 24 VDC | 45 | 1,49 % | 72,41 % | | 19 |
| SV6980 | HERION | 2401153.4280, 60VDC | 39 | 1,29 % | 73,70 % | | 20 |
| SV7842 | HERION | 9711545.4613 230V/50Hz | 39 | 1,29 % | 74,99 % | | 21 |

| | | | | | | |
|---------|------------------------|--|----|--------|---------|----|
| SV7188 | HERION | 2401138.4260, 24VDC | 38 | 1,26 % | 76,25 % | 22 |
| SV6267 | HERION | 2623001.3051 230V/50Hz | 37 | 1,23 % | 77,48 % | 23 |
| H5193 | Thompson Valves Ltd | Y123TA1H16S 110VAC | 36 | 1,19 % | 78,67 % | 24 |
| SV7474 | HERION | 2401012.2003, 24VDC | 33 | 1,09 % | 79,76 % | 25 |
| SV7787 | MAXSEAL | Y013AA1V1BS,24VDC, ICO3S | 31 | 1,03 % | 80,79 % | 26 |
| SV7849 | ASCO | SC8551A017MS 24VDC | 24 | 0,79 % | 81,58 % | 27 |
| SV8637 | ASCO | NF8327B002, 230V/50Hz NF8327B122 110V/50- 60Hz | 22 | 0,73 % | 82,31 % | 28 |
| H9463 | ASCO | | 22 | 0,73 % | 83,04 % | 29 |
| SV4444 | JOUCOMATIC | 126 000 01 230V/50Hz | 21 | 0,70 % | 83,74 % | 30 |
| H7228 | HERION | 2401153.4270 24V DC WPTISB314A300MB, 24VDC | 21 | 0,70 % | 84,43 % | 31 |
| SV4564 | ASCO | | 20 | 0,66 % | 85,09 % | 32 |
| SV6275 | HERION | 2636065.4211 230V/50Hz | 20 | 0,66 % | 85,76 % | 33 |
| H9469 | HERION | 9711465.2050 24VDC | 20 | 0,66 % | 86,42 % | 34 |
| H8849 | ASCO | NF8327B002 110/50-60Hz | 17 | 0,56 % | 86,98 % | 35 |
| SV7186 | HERION | 2401112.4662, 24VDC NF8327B021, 24VDC, PBMR | 15 | 0,50 % | 87,48 % | 36 |
| SV8641 | ASCO | | 15 | 0,50 % | 87,98 % | 37 |
| SV8632 | ASCO | NF8327B001, 24VDC U033X5195-48287001N7 24VDC | 15 | 0,50 % | 88,47 % | 38 |
| H9273 | LUCIFER | | 13 | 0,43 % | 88,90 % | 39 |
| SV7838 | HERION | 9711565.4612, 24VDC SOLE VALV | 12 | 0,40 % | 89,30 % | 40 |
| H7454 | HERION | 9801655.4280 24VDC | 12 | 0,40 % | 89,70 % | 41 |
| H9541 | ASCO | NFX8327B002 110VDC, (TPL25200) | 12 | 0,40 % | 90,10 % | 42 |
| SV8636 | ASCO | NF8327B002, 24VDC | 11 | 0,36 % | 90,46 % | 43 |
| SV7834 | HERION | 9711545.4612, 110VDC | 10 | 0,33 % | 90,79 % | 44 |
| SV6268 | HERION | 2623501.3051 230V/50Hz | 10 | 0,33 % | 91,12 % | 45 |
| H3263 | ASCO | NF8327B002 115V/50Hz | 10 | 0,33 % | 91,45 % | 46 |
| H6981 | HERION | 9711535.4040 24VDC | 10 | 0,33 % | 91,79 % | 47 |
| H7197 | ASCO | NF8327B021 110VDC | 10 | 0,33 % | 92,12 % | 48 |
| H8192 | HERION | 2401091.2003 24VDC | 10 | 0,33 % | 92,45 % | 49 |
| SV7212 | HERION | 2401138.3804, 230V/50Hz | 10 | 0,33 % | 92,78 % | 50 |
| SV7756 | ASCO | NF8551B417MO, 24VDC | 10 | 0,33 % | 93,11 % | 51 |
| SV8643 | ASCO | NF8327B022, 24VDC | 9 | 0,30 % | 93,41 % | 52 |
| H9041 | ASCO | PVX8551H307 24VDC | 9 | 0,30 % | 93,71 % | 53 |
| H9618 | HERION | 9713445.4611 110V/50Hz | 9 | 0,30 % | 94,00 % | 54 |
| SVN4878 | ASCO | SCG551A001MS, 24VDC | 9 | 0,30 % | 94,30 % | 55 |
| SV6264 | HERION | 8010851.3051 230V/50Hz | 8 | 0,26 % | 94,57 % | 56 |
| H6360 | ASCO | NF8327B001MS 24VDC | 8 | 0,26 % | 94,83 % | 57 |
| H9596 | ASCO | NF8552A418MO 24VDC | 8 | 0,26 % | 95,10 % | 58 |
| SV6263 | HERION | 8010851.3051, 24VDC | 8 | 0,26 % | 95,36 % | 59 |
| H8122 | ASCO | NF8327B102 24VDC | 7 | 0,23 % | 95,59 % | 60 |
| H9294 | HERION | 8254400.9151 24VDC | 7 | 0,23 % | 95,83 % | 61 |
| SV8634 | ASCO | NF8327B001, 115V/50-60H | 6 | 0,20 % | 96,03 % | 62 |
| SV8623 | ASCO | SC8327B001, 230V/50Hz SC8551A017MS | 6 | 0,20 % | 96,22 % | 63 |
| SV7850 | ASCO | 230V/50Hz | 6 | 0,20 % | 96,42 % | 64 |
| H6982 | HERION | 2500300.4100 24VDC | 6 | 0,20 % | 96,62 % | 65 |
| H8752 | ASCO | NFET8327B102 24VDC WSTISB307A335UMB, 24VDC | 6 | 0,20 % | 96,82 % | 66 |
| SV7785 | ASCO | | 6 | 0,20 % | 97,02 % | 67 |
| SV7837 | HERION | 9711565.4612 110VDC | 5 | 0,17 % | 97,18 % | 68 |
| SV7786 | HERION | 2401138.4673, 230V/50Hz | 4 | 0,13 % | 97,32 % | 69 |

| | | | | | | |
|---------|---------------------------------|--|------|----------|----------|-----|
| SV7783 | ASCO | WSNF8551A421, 24VDC | 4 | 0,13 % | 97,45 % | 70 |
| SV3519 | ASCO | SCG551A017MS 230/50 | 4 | 0,13 % | 97,58 % | 71 |
| SV7832 | HERION | 2401138.4261, 230V/50Hz | 4 | 0,13 % | 97,71 % | 72 |
| H9620 | BURKERT | 6518-C08,0-GM82-GM82-B5-024/DC | 4 | 0,13 % | 97,85 % | 73 |
| SV4445 | ASCO | 12600008, 24VDC | 4 | 0,13 % | 97,98 % | 74 |
| SV7393 | MAXSEAL | Y123PA1H1BS, 24VDC IC04S | 3 | 0,10 % | 98,08 % | 75 |
| H5699 | HERION | 2556205.0201 230V/50Hz | 3 | 0,10 % | 98,18 % | 76 |
| H6624 | HERION | 8010851.3051 110V/50Hz | 3 | 0,10 % | 98,28 % | 77 |
| H6654 | ASCO | WPETISB314A300MB 24VDC | 3 | 0,10 % | 98,38 % | 78 |
| H9546 | HERION | SOLEN VALV 9711465.4610, 120VD | 3 | 0,10 % | 98,48 % | 79 |
| H9637 | MAXSEAL | Y123TA1H1CS 48VDC | 3 | 0,10 % | 98,58 % | 80 |
| SV8627 | ASCO | SC8327B002, 115V/50Hz | 2 | 0,07 % | 98,64 % | 81 |
| SV7851 | ASCO | SC8551A017MS 115V/50Hz | 2 | 0,07 % | 98,71 % | 82 |
| SVN4887 | ASCO | NFG551B401MO, 230V/50Hz | 2 | 0,07 % | 98,77 % | 83 |
| H5018 | ASCO | 12600004 48VDC | 2 | 0,07 % | 98,84 % | 84 |
| H5628 | ASCO | WSISB314A301 24VDC | 2 | 0,07 % | 98,91 % | 85 |
| H8121 | HERION | 2401138.4260 110VDC | 2 | 0,07 % | 98,97 % | 86 |
| H8806 | HERION | 2401147.4670 24VDC SOLE VALV | 2 | 0,07 % | 99,04 % | 87 |
| H9543 | ASCO | JCEF8320G200 120V/6 | 2 | 0,07 % | 99,11 % | 88 |
| H9621 | BURKERT | 6519-L09,0-GM82-GM82-A5-024/DC | 2 | 0,07 % | 99,17 % | 89 |
| H9672 | BIFOLD | U033X5156-492310C2, 24VDC | 2 | 0,07 % | 99,24 % | 90 |
| H9760 | ASCO | WSETISXB344A370 24VDC | 2 | 0,07 % | 99,30 % | 91 |
| H9779 | ASCO | WBIS8316A301MB 24VDC | 2 | 0,07 % | 99,37 % | 92 |
| SVN4879 | ASCO | SCG551A001MS, 230V/50Hz | 2 | 0,07 % | 99,44 % | 93 |
| SVN6385 | NUMATICS | P02061EM4A00061, 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,47 % | 94 |
| SVN4886 | ASCO | NFG551B401MO, 24 VDC Exd | 1 | 0,03 % | 99,50 % | 95 |
| SV8868 | ASCO | NF8327A608, 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,54 % | 96 |
| SV8629 | ASCO | WP8327B001 230V/50- 60Hz | 1 | 0,03 % | 99,57 % | 97 |
| SV8622 | ASCO | SC8327B001 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,60 % | 98 |
| SV7185 | HERION Parker Hannifin Oy | 2401112.4663, 230V/50Hz 74317BN2PN00NKHZ04C2 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,64 % | 99 |
| H5518 | | | 1 | 0,03 % | 99,67 % | 100 |
| H7470 | HERION | 9801655.4280 48VDC L22XA452BQ17P80 | 1 | 0,03 % | 99,70 % | 101 |
| H7882 | NUMATICS | 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,74 % | 102 |
| H8776 | ASCO | NF8327B001 110VDC | 1 | 0,03 % | 99,77 % | 103 |
| H8946 | ASCO | NFET8327B232 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,80 % | 104 |
| H9605 | ASCO | WPET8327B001 115V/50Hz | 1 | 0,03 % | 99,83 % | 105 |
| H9651 | ASCO | WPET8327B201 24 VDC | 1 | 0,03 % | 99,87 % | 106 |
| H9656 | FESTO | JMVH-5-1/4B 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,90 % | 107 |
| H9657 | FESTO | MVH-5-1/4B 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,93 % | 108 |
| H9683 | HERION | 9713645.2051 24VDC | 1 | 0,03 % | 99,97 % | 109 |
| SVN6270 | HERION | 9710000.3051, 24VDC | 1 | 0,03 % | 100,00 % | 110 |
| Total | | | 3019 | 100,00 % | | |

Air Operated Valves

| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--------------------------------|------|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| AOV5025 | MAC | 55B-12-RA-EH55 3/8NPT | 430 | 18,47 % | 18,47 % | Aluminium | 1 |
| AOV6888 | MIDLAND | 3325M21-EC2B, 3/8" | 341 | 14,65 % | 33,12 % | Aisi316 | 2 |
| AOV5050 | MAC | 56C-53-RA-EH55 1/2NPT | 300 | 12,89 % | 46,01 % | Aluminium | 3 |
| H9077 | NORGREN | 8040005 1/2NPT | 281 | 12,07 % | 58,08 % | | 4 |
| AOV8661 | MAC | 58D-51-RA-EH41 1NPT | 202 | 8,68 % | 66,75 % | Aluminium | 5 |
| AOV6317 | MIDLAND | 4325M21-EC2B, 1/2" | 199 | 8,55 % | 75,30 % | Aisi316 | 6 |
| AOV7944 | MAC | 57D-52-RA-EH41 3/4NPT | 100 | 4,30 % | 79,60 % | Aluminium | 7 |
| AOV7942 | MAC | 56C-83-RA-EH55 1/2NPT | 100 | 4,30 % | 83,89 % | Aluminium | 8 |
| AOV9247 | MAC | 55B-22-RA-EH55 3/8NPT | 72 | 3,09 % | 86,98 % | Aluminium | 9 |
| AOV7055 | MIDLAND | 6325M21-EC2B, 3/4" | 57 | 2,45 % | 89,43 % | Aisi316 | 10 |
| AOV7862 | MAC | 58D-53-RA-EH41 11/2NPT | 49 | 2,10 % | 91,54 % | Aluminium | 11 |
| H9078 | NORGREN | 8040025 1NPT | 43 | 1,85 % | 93,38 % | | 12 |
| AOV6318 | MIDLAND | 8325M21-EC2B, 1" | 33 | 1,42 % | 94,80 % | Aisi316 | 13 |
| AOV7945 | MAC | 57D-82-RA-EH41 3/4NPT | 31 | 1,33 % | 96,13 % | Aluminium | 14 |
| AOV8662 | MAC | 58D-81-RA-EH41 1NPT | 28 | 1,20 % | 97,34 % | Aluminium | 15 |
| H8705 | NUMATICS | E34PA40000I0800-35500171-2x346 | 18 | 0,77 % | 98,11 % | | 16 |
| H9562 | Versatile Controls Ltd | VSP-3501-316 | 12 | 0,52 % | 98,63 % | | 17 |
| H9563 | Versatile Controls Ltd | VSP-3502-316 | 12 | 0,52 % | 99,14 % | | 18 |
| AOV8999 | MAC | 59B-52-RA-EH55 2NPT | 9 | 0,39 % | 99,53 % | Aluminium | 19 |
| H9564 | Versatile Controls Ltd | VSP-3601-316 | 4 | 0,17 % | 99,70 % | | 20 |
| H9565 | Versatile Controls Ltd | VSP-3602-316 | 4 | 0,17 % | 99,87 % | | 21 |
| AOV5052 | MAC | 57D-53-RA-EH41 1NPT | 1 | 0,04 % | 99,91 % | Aluminium | 22 |
| AOV5053 | MAC | 57D-83-RA-EH41 1NPT | 1 | 0,04 % | 99,96 % | Aluminium | 23 |
| aov7977 | MAC | 58D-83-RA-EH41 11/2NPT | 1 | 0,04 % | 100,00 % | Aluminium | 24 |
| Total | | | 2328 | 100,00 % | | | |

Check Valves

| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------------|------|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| CV7830 | NORGREN | T55A2800, 1/4"NPT | 846 | 50,84 % | 50,84 % | Aluminium | 1 |
| CV6319 | MIDLAND | 2NRVSE122, 1/4" NPT | 433 | 26,02 % | 76,86 % | Aisi316 | 2 |
| CV6913 | MIDLAND | 4NRVSE122, 1/2" | 175 | 10,52 % | 87,38 % | Aisi316 | 3 |
| CV7831 | NORGREN | T55A4800, 1/2"NPT | 112 | 6,73 % | 94,11 % | Aluminium | 4 |
| CV7135 | SMC | AK-DPJ00300, 1/4" | 65 | 3,91 % | 98,02 % | Aluminium | 5 |
| CV7138 | SMC | AK6000-N10-X288, 1" | 14 | 0,84 % | 98,86 % | Aluminium | 6 |
| CV7136 | SMC | AK4000-N04-X288, 1/2" | 10 | 0,60 % | 99,46 % | Aluminium | 7 |
| H8707 | MIDLAND | 8NRVSE122 1" NPT | 9 | 0,54 % | 100,00 % | | 8 |
| Total | | | 1664 | 100,00 % | | | |

**Speed Control Valves
(Throttle and Check Valves)**

| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|----------------------|--------------|--|-----|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| SCV7829 | NORGREN | T1000A2800, 1/4" NPT | 172 | 26,96 % | 26,96 % | Aluminium | 1 |
| SCV5829 | MIDLAND | 4REGSE122, 1/2"NPT | 127 | 19,91 % | 46,87 % | Aisi316 | 2 |
| SCV7133 | SMC | AS600-N10-L, 1" | 116 | 18,18 % | 65,05 % | Aluminium | 3 |
| SCV5476 | NORGREN | T1000A4800, 1/2" NPT | 84 | 13,17 % | 78,21 % | Aluminium | 4 |
| SCV7067 | MIDLAND | 2REGSE122, 1/4"NPT | 35 | 5,49 % | 83,70 % | Aisi316 | 5 |
| SCV4532 | SMC | AS500-N06-L, 3/4" | 24 | 3,76 % | 87,46 % | Aluminium | 6 |
| SCV6989 | SMC | AS4000-N04-L, 1/2" | 21 | 3,29 % | 90,75 % | Aluminium | 7 |
| SCV7071 | MIDLAND | 6REGSE122, 3/4"NPT THR&CHCVLV AS4200- N04-S BRASS+ | 16 | 2,51 % | 93,26 % | Aisi316 | 8 |
| H4202 | SMC | | 15 | 2,35 % | 95,61 % | | 9 |
| SCV7006 | SMC | AS3000-N02-L, 1/4" | 13 | 2,04 % | 97,65 % | Aluminium | 10 |
| SCV521 | HERION | 4040501, G1" | 9 | 1,41 % | 99,06 % | Aluminium | 11 |
| SCV887 | HERION | 4040401, G3/4" ALUMI- NIUM | 6 | 0,94 % | 100,00 % | Aluminium | 12 |
| Total | | | 638 | 100,00 % | | | |

Volume Boosters

| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| VB5834 | VALTEK | 76407-999, 3/4"NPT | 168 | 51,69 % | 51,69 % | Aluminium | 1 |
| VB7518 | YTC | YT-315-N1, 3/4" | 65 | 20,00 % | 71,69 % | Aisi316 | 2 |
| VB7737 | YTC | YT-310-N1, 3/4" | 60 | 18,46 % | 90,15 % | Aluminium | 3 |
| H7077 | SMC | IL-100-N03-L 3/8"NPT | 15 | 4,62 % | 94,77 % | | 4 |
| VB7656 | FAIRCHILD | 200112XLRLiT 1½NPT | 12 | 3,69 % | 98,46 % | | 5 |
| VB6310 | FAIRCHILD | 4516AEI 3/4NPT Exhaust | 5 | 1,54 % | 100,00 % | | 7 |
| Total | | | 325 | 100,00 % | | | |

**Quick-
Exhaust
Valves**

| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-----------------------|-----|----------|----------|---------------------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| QEV5758 | NORGREN | T70A4800, 1/2"NPT | 197 | 40,53 % | 40,53 % | Aluminium | 1 |
| QEV7801 | NORGREN | T70A2800, 1/4"NPT | 69 | 14,20 % | 54,73 % | Aluminium | 2 |
| QEV6916 | SMC | AQ5000-N04-L, 1/2"NPT | 50 | 10,29 % | 65,02 % | Aluminium | 3 |
| QEV6354 | MIDLAND | 4QEVSE122, 1/2"NPT | 38 | 7,82 % | 72,84 % | Aisi316 | 4 |
| QEV384 | HERION | 4050514, G1" | 35 | 7,20 % | 80,04 % | Brass, Ni plated | 5 |
| QEV6922 | SMC | AQ5000-N06-L, 3/4"NPT | 27 | 5,56 % | 85,60 % | Aluminium | 6 |
| QEV104 | HERION | 4050414, G3/4" | 25 | 5,14 % | 90,74 % | Brass, Ni plated | 7 |
| QEV7134 | SMC | AQ2000-N02-L, 1/4"NPT | 22 | 4,53 % | 95,27 % | Aluminium | 8 |
| QEV6355 | MIDLAND | 6QEVSE122, 3/4"NPT | 15 | 3,09 % | 98,35 % | Aisi316 | 9 |
| QEV6352 | MIDLAND | 2QEVSE122, 1/4"NPT | 5 | 1,03 % | 99,38 % | Aisi316 | 10 |
| QEV2355 | VERSA | QE-5-316 1/2NPT | 2 | 0,41 % | 99,79 % | | 11 |
| H6356 | MIDLAND | 8QEVSE122 1NPT | 1 | 0,21 % | 100,00 % | | 12 |
| Total | | | 486 | 100,00 % | | | |

**Pneumatic Pressure Switch-
es**

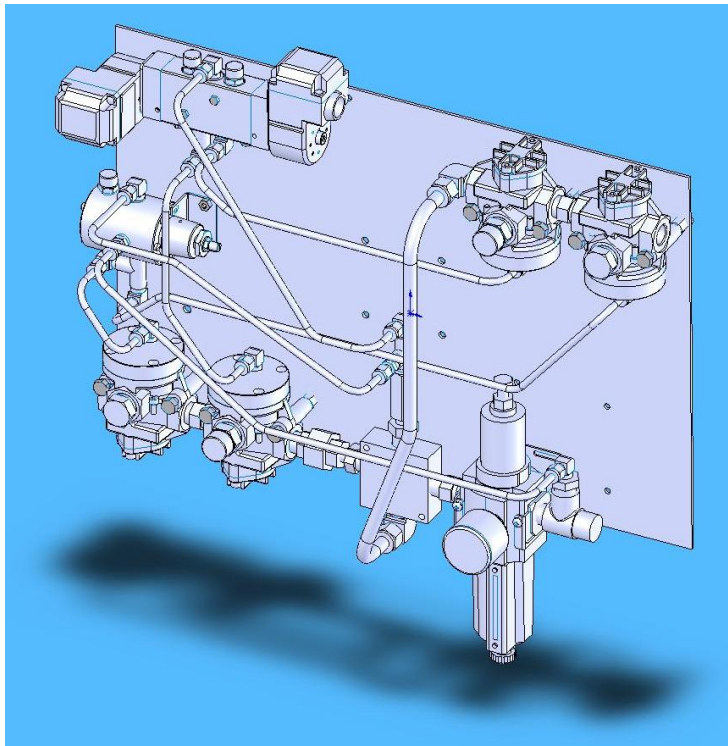
| Summa / Qty Received | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------------------|-----|----------|----------|-----------|-------|
| Item No | Manufacturer | Item Description | Qty | Volume % | Cum % | Material | Index |
| PPS2767 | SMC | IL-220-N02-L, 1/4" -30°C | 225 | 60,32 % | 60,32 % | Aluminium | 1 |
| PPS7774 | SMC | IL-211-N02-L, 1/4" -30 | 73 | 19,57 % | 79,89 % | Aluminium | 2 |
| PPS7069 | MIDLAND | 2PS3SL102, 1/4" -50...+90 | 66 | 17,69 % | 97,59 % | Aisi316 | 3 |
| PPS7773 | SMC | IL-201-N02-L, 1/4" -30 | 5 | 1,34 % | 98,93 % | Aluminium | 4 |
| H9577 | Young Tech Co | YT-520S23 | 4 | 1,07 % | 100,00 % | | 5 |
| Total | | | 373 | 100,00 % | | | |

Liite 4. DFA-analyysi, kahden pääkomponentin kokoonpano

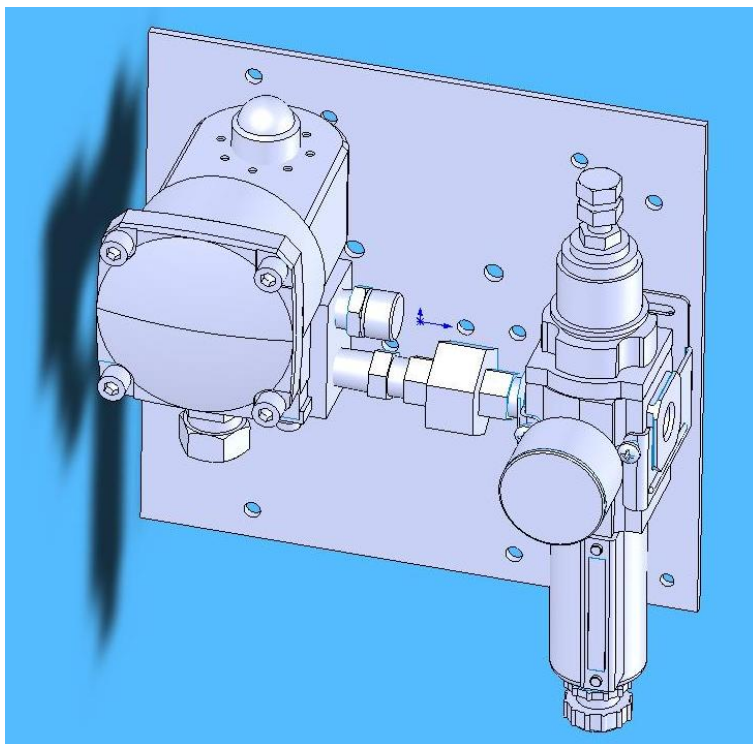
| Name | Part number | Type | Repeat count | Total count | Securing method | Minimum items | Minimum part criteria | Handling problems | Insertion problems | Ergonomic problems | Tool fetching and preparation time, s | Item handling time, s | Insertion/operation time, s | Total labor time, s |
|---|-------------|--------|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|
| Vähän instrumentointia (2) | Esfahan03 | Main | | | | | | | | | | | | |
| I-kaavion lukeminen | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 0 | | 20,2 | 20,2 |
| Tarkastetaan komponenttien vaatimuksen mukaisuus | | Lib Op | 2 | 2 | | | | | | | 0 | | 30 | 60 |
| Suodatinsäädin B72G-2AS-980 | AFR7776 | Part | 1 | 1 | Sep. op | 1 | Assembly | | X | X | 0 | 1,95 | 10,7 | 12,65 |
| Suodasäätim tulppaan kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 1,5 | 4,5 |
| Tulpan kiinnitys suodatinsäättimeen | | Oper | 1 | 1 | Thread | | | | X | | 5,4 | 0 | 5,7 | 11,1 |
| Kaksoisnipaan kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 1,5 | 4,5 |
| Kaksoisnippa 1/4NPTMx1/4NPTF UNION | H9229 | Part | 1 | 1 | Thread | 0 | Fastens | | X | X | 2,9 | 1,95 | 18,6 | 23,45 |
| Pmlttarin liittimeen kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 1,5 | 4,5 |
| Painemittari 0-12 BAR 1/8"NPTSS | HP8523 | Part | 1 | 1 | Thread | 1 | Base part | | X | X | 2,9 | 2,3 | 20,3 | 25,5 |
| Suodatinsäätimen kiinnitysrauta | | Part | 1 | 1 | Sep. op | 0 | Fastens | X | X | X | 0 | 1,95 | 10,7 | 12,65 |
| M4 pan Xhd screw | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | X | | 5,4 | 1,8 | 9,6 | 28,2 |
| Magneettiventtiili 3/2-tie Herion 9713647.2050 24V | H9373 | Part | 1 | 1 | Sep. op | 1 | Base part | X | X | | 0 | 2,3 | 10,7 | 13 |
| Kaapeliholkki ADE 4F M20 (846694) ATEX | H9474 | Part | 1 | 1 | Thread | 1 | Base part | X | X | | 5,4 | 1,95 | 22,9 | 30,25 |
| Äänenvaimentimeen kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 1,5 | 4,5 |
| Äänenvaimennin 1/4 | | Part | 1 | 1 | Thread | 1 | Base part | X | X | | 5,4 | 1,95 | 21,2 | 28,55 |
| Kaksoisnipaan kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 2 | 2 | | | | | | | 3 | | 1,7 | 6,4 |
| Kaksoisnipa | | Part | 1 | 1 | Thread | 0 | Connects | | X | X | 2,9 | 1,8 | 18,6 | 23,3 |
| Kaksoisnipan kiristys yhteen | | Oper | 1 | 1 | Thread | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 20,3 |
| Instrumentointilevy | H9474 | Part | 1 | 1 | Sep. op | 0 | Fastens | X | X | X | 0 | 3,8 | 7,5 | 11,3 |
| I-komponenttien sovitus Instr. paneeliin | | Lib Op | 2 | 2 | | | | | | | 3 | | 15 | 33 |
| Porattavien reikien merkkauk tussilla | | Lib Op | 4 | 4 | | | | | | | 3 | | 12,4 | 52,6 |
| Porattavien reikien aloitusmerkki | | Lib Op | 4 | 4 | | | | | | | 3 | | 2,46 | 12,84 |
| Reikien poraus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 60 | | 120 | 180 |
| Korotuspala | | Part | 2 | 2 | Sep. op | 0 | Connects | | X | X | 0 | 1,8 | 9,2 | 22 |
| M5 kuusioruuvi magneettiventtiiliin kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | X | | 5,4 | 1,5 | 5,7 | 19,8 |
| M5 aluslevy magneettiventtiiliin kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 | Sep. op | 0 | Fastens | X | | | 0 | 1,69 | 3 | 9,38 |
| M5 kuusioruuvi magneettiventtiili levyyn | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | | | 2,9 | 1,5 | 5,7 | 17,3 |
| M5 aluslevy magneettiventtiili levyyn | | Part | 4 | 4 | Sep. op | 0 | Fastens | X | | | 0 | 1,69 | 3 | 18,76 |
| M4 ruuvi suodatimen kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | | | 2,9 | 1,8 | 20,7 | 47,9 |
| M4 plain washer | | Part | 4 | 4 | Sep. op | 0 | Fastens | X | | | 0 | 1,69 | 3 | 18,76 |
| M4 mutteri suodatimen kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | | | 2,9 | 1,43 | 20,7 | 47,16 |
| Asennuslevy | | Part | 1 | 1 | Sep. op | 0 | Fastens | X | X | X | 0 | 3,8 | 7,5 | 11,3 |
| Instr. paneelin sovitus asennuslevyyn | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 15 | 18 |
| M10 ruuvi instr. paneelin ja asennuslevyn kiinnityk | | Part | 4 | 4 | Thread | 0 | Fastens | X | X | | 2,9 | 1,79 | 5,7 | 32,86 |
| M10 mutteri instr. paneelin ja asennuslevyn kiinni | | Part | 8 | 8 | Thread | 0 | Fastens | X | | | 2,9 | 1,13 | 5,7 | 57,54 |
| M10 aluslevy instr. paneelin ja asennuslevyn kiinn | | Part | 8 | 8 | Sep. op | 0 | Fastens | X | | | 0 | 1,69 | 3 | 37,52 |
| Toimilaitteen muttereiden avaus | | Oper | 2 | 2 | Thread | | | | | X | 7,1 | 0 | 2,3 | 11,7 |
| Asennuslevyn asennus toimilaitteen vaamaruuveihin | | Oper | 1 | 1 | Push | | | X | X | | 0 | 0 | 7,2 | 7,2 |
| Uudet mutterit paneelin kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 | Thread | 0 | Fastens | X | X | | 2,9 | 1,8 | 20,7 | 47,9 |
| Liittimiin kierretivistettä Loctite 577 | | Lib Op | 2 | 2 | | | | | | | 3 | | 1,7 | 6,4 |
| Paineilmaliittimen kiinnittäminen toimilaitteeseen | | Part | 1 | 1 | Thread | 0 | Connects | | X | X | 2,9 | 2,3 | 20,3 | 25,5 |
| Paineilmaliittimen kiinnittäminen magneettiventtii | | Part | 1 | 1 | Thread | 0 | Connects | X | X | | 2,9 | 1,8 | 20,3 | 25 |
| Paineilmaputki toimilaitteesta instr. paneeliin | | Part | 1 | 1 | Sep. op | 0 | Connects | X | X | | 0 | 2,3 | 7,5 | 9,8 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 0 | | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 6 | | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 19,44 | 22,44 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 6 | | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 0 | | 90 | 90 |
| Paineilmaliittimen mutterin eskiristys | | Oper | 2 | 2 | Thread | | | | X | | 5,4 | 0 | 17,4 | 40,2 |
| Paineilmaliittimen mutterin kiristys | | Oper | 2 | 2 | Thread | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 37,7 |
| Testauspaineilmaliittimen kiinnitys | | Oper | 1 | 1 | Thread | | | X | X | | 0 | 0 | 9,7 | 9,7 |
| Paineilmaletkun kiinnitys | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 0 | | 5,52 | 5,52 |
| Vuotojen tarkastus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | 3 | | 30 | 33 |
| Suodatinsäätimen paineen säätö | | Oper | 2 | 2 | Thread | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 37,7 |
| Suodatinsäätimen säädön lukitusmutterin kiristys | | Oper | 1 | 1 | Thread | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 20,3 |
| Totals for Vähän instrumentointia (2) | | | | 103 | | 5 | | | | | 200 | 51,46 | 1032,06 | 1670,9 |

Liite 7. Mallinnetut instrumentointipaneelit

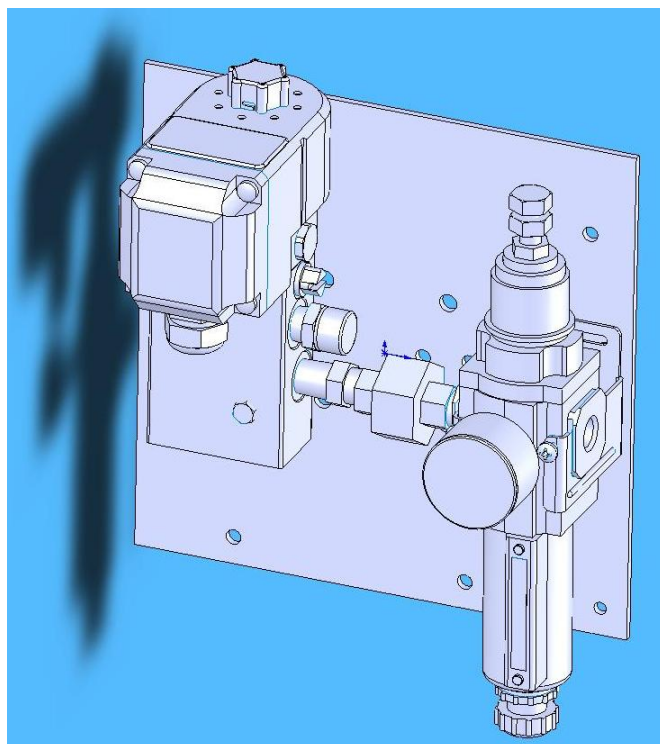
H9491 INSTR. PANEL 1V



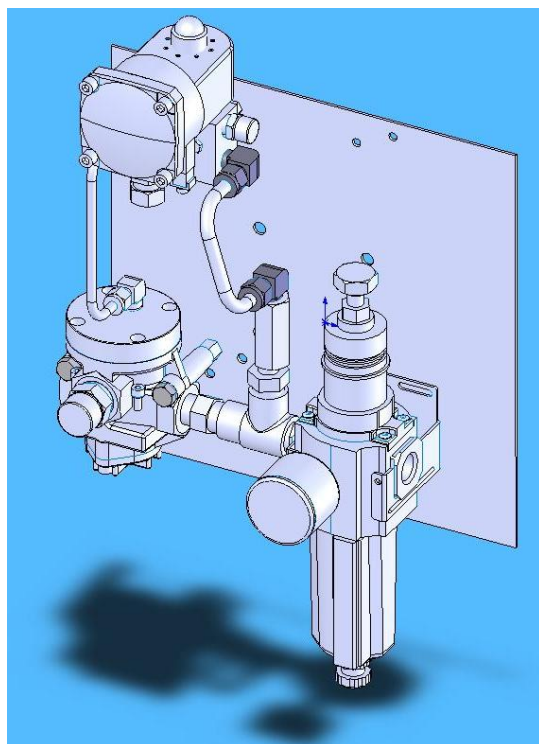
H9473 INSTR. PANEL 2



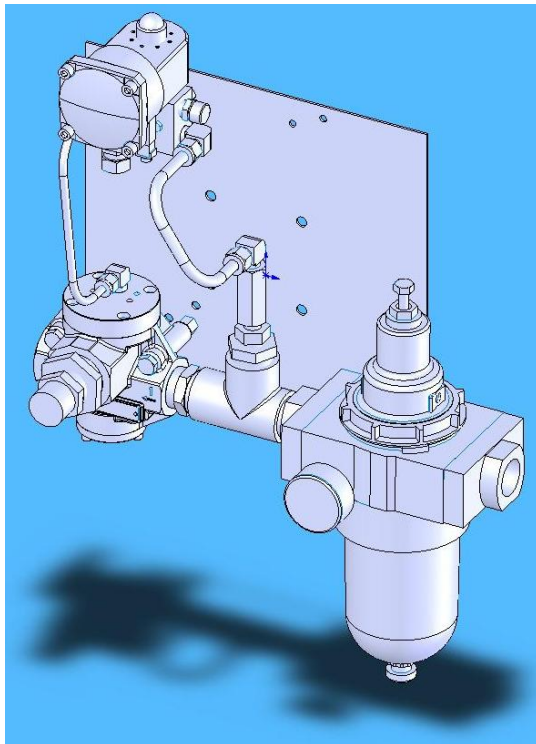
H9474 INSTR. PANEL 3



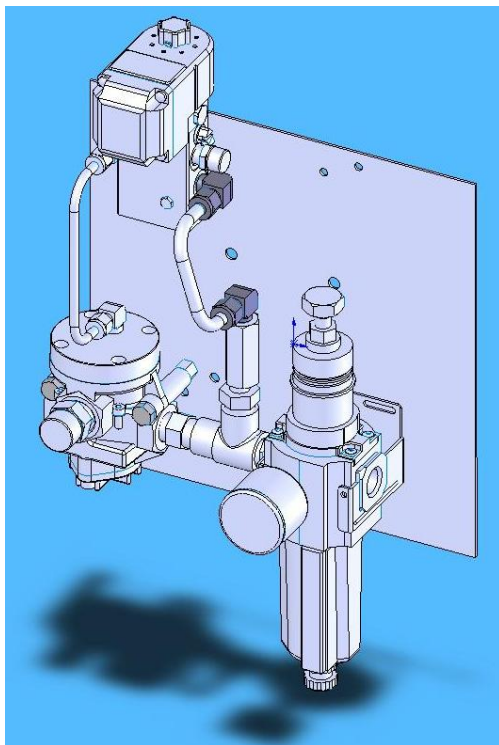
H9475 INSTR. PANEL 4



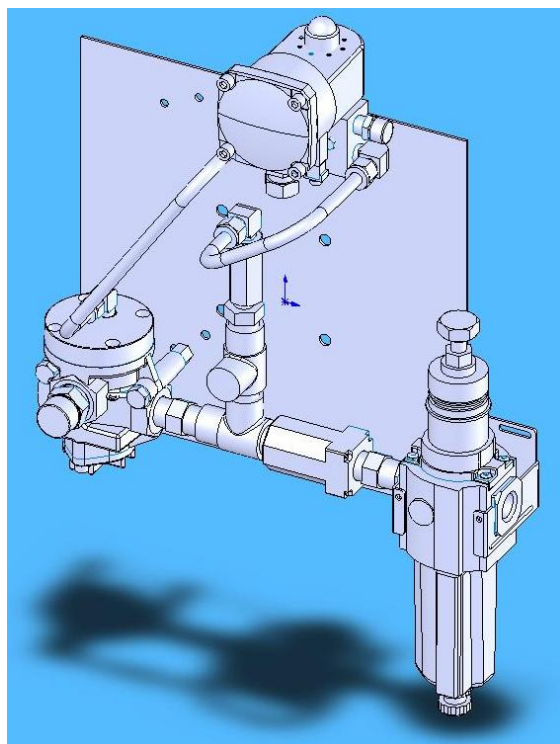
H9476 INSTR. PANEL 5



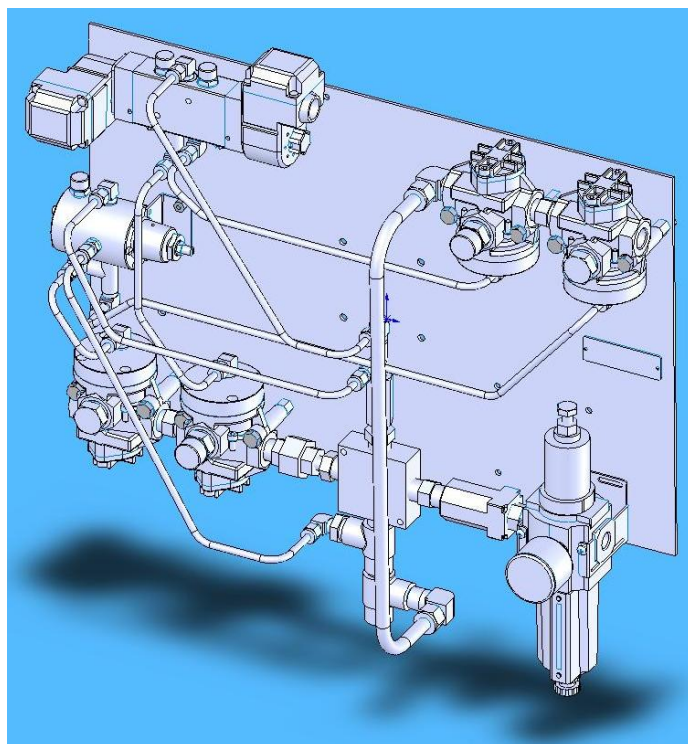
H9477 INSTR. PANEL 6



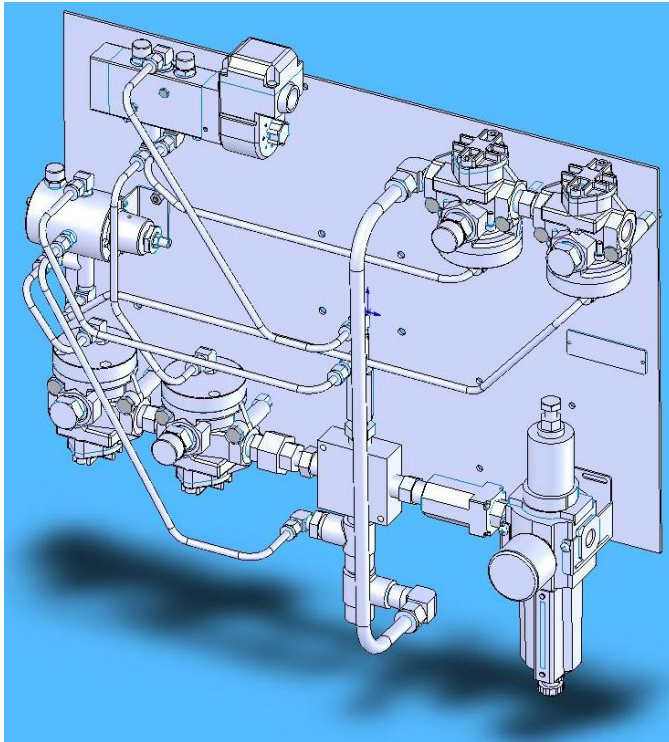
H9478 INSTR. PANEL 7



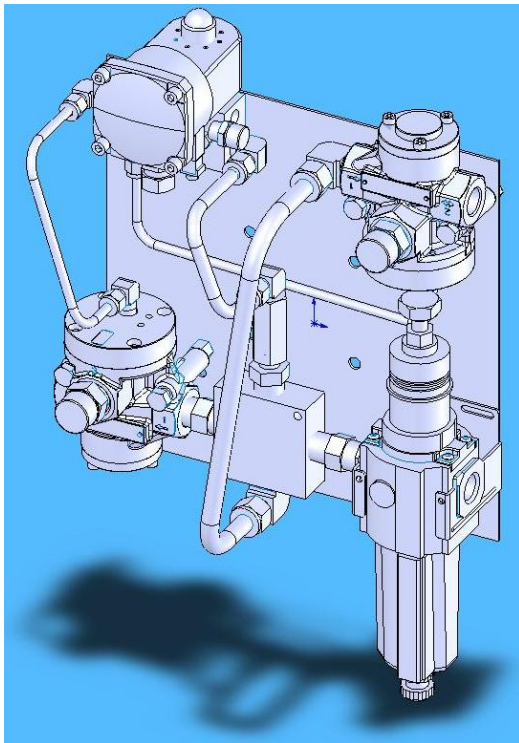
H9479 INSTR. PANEL 8



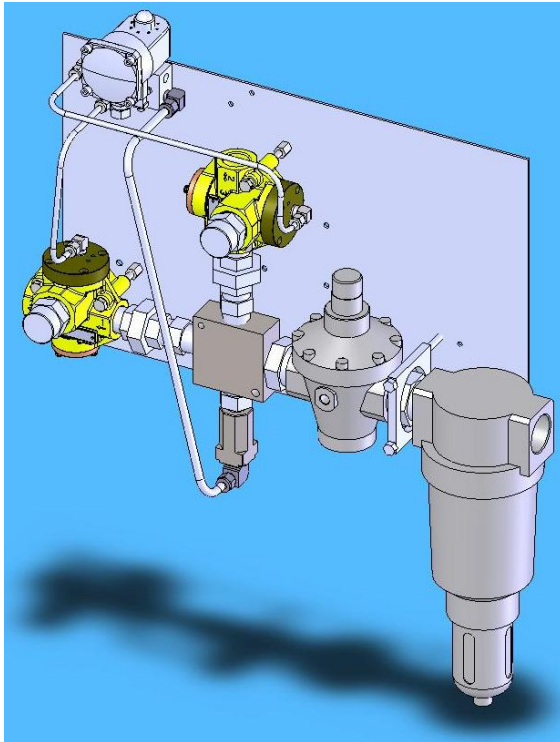
H9480 INSTR. PANEL 9



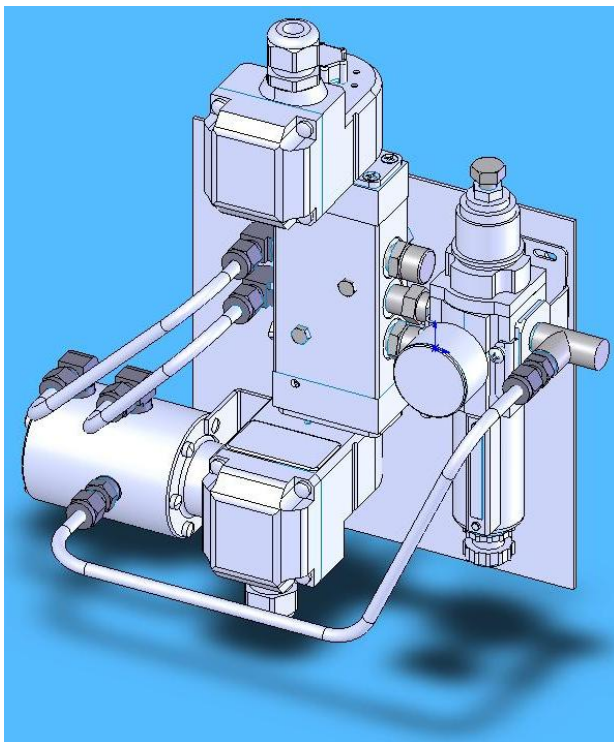
H9481 INSTR. PANEL 10



H9482 INSTR. PANEL 11



H9483 INSTR. PANEL 12



Liite 8. DFA-analyysi, instrumentointipaneeli komponenttituotteena

Instrumentointipaneelin kiinnitys venttiilyhdistelmään, jossa on 1-toiminen toimilaite.

| Name | Part number | Type | Repeat count | Total count | Securing method | Minimum items | Minimum part criteria | Handling problems | Insertion problems | Ergonomic problems | Tool fetching and preparation time, s | Item handling time, s | Insertion/operation time, s | Total item handling time, s | Total insertion/operation time, s | Total labor time, s |
|---|-------------|--------|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Instrumentointipaneeli 2 | | Main | | | | | | | | | | | | | | |
| I-kaavion lukeminen | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 20,2 | 0 | 20,2 | 20,2 |
| Tarkastetaan paneelin vaatimuksen mukaisuus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 30 | 0 | 30 | 30 |
| Instrumentointipaneeli (I-levy+komponent+fixplate) | | Part | 1 | 1 Sep. op | | 0 Fastens | | X | X | X | | 0 | 3,8 | 7,5 | 3,8 | 7,5 |
| Toimilaitteen muttereiden avaus | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | X | | 7,1 | 0 | 2,3 | 0 | 4,6 |
| Aseennuslevyn asennus toimilaitteen vaarnaruuveihin | | Oper | 1 | 1 Push | | | | | X | X | | 0 | 0 | 7,2 | 0 | 7,2 |
| Uudet mutterit paneelin kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 Thread | | 0 Fastens | | X | X | | | 2,9 | 1,8 | 20,7 | 3,6 | 41,4 |
| Liittimeen kierretäviä Lactite 577 | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 1,5 | 0 | 1,5 | 4,5 |
| Paineilmiittimen kiinnittäminen toimilaitteeseen | | Part | 1 | 1 Thread | | 0 Connects | | X | X | | | 2,9 | 2,3 | 20,3 | 2,3 | 20,3 |
| Paineilmaputki toimilaitteesta instr. paneeliin | | Part | 1 | 1 Sep. op | | 0 Connects | | X | X | | | 0 | 2,3 | 7,5 | 2,3 | 7,5 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 30 | 0 | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 6 | 34,4 | 0 | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 19,44 | 0 | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 30 | 0 | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 6 | 34,4 | 0 | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 19,44 | 0 | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Paineilmiittimen mutterin eskiristys | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | X | | 5,4 | 0 | 17,4 | 0 | 34,8 |
| Paineilmiittimen mutterin kiristys | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 0 | 34,8 |
| Testauspaineliittimen kiinnitys | | Oper | 1 | 1 Thread | | | | | X | X | | 0 | 0 | 9,7 | 0 | 9,7 |
| Paineilmaletkun kiinnitys | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 5,52 | 0 | 5,52 | 5,52 |
| Totals for Instrumentointipaneeli 2 | | | | 26 | | 0 | | | | | | 48,2 | | 12 | 662,7 | 722,9 |

Instrumentointipaneelin kiinnitys venttiilyhdistelmään, jossa on 2-toiminen toimilaite.

| Name | Part number | Type | Repeat count | Total count | Securing method | Minimum items | Minimum part criteria | Handling problems | Insertion problems | Ergonomic problems | Tool fetching and preparation time, s | Item handling time, s | Insertion/operation time, s | Total item handling time, s | Total insertion/operation time, s | Total labor time, s |
|---|-------------|--------|--------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Instrumentointipaneeli | | Main | | | | | | | | | | | | | | |
| I-kaavion lukeminen | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 20,2 | 0 | 20,2 | 20,2 |
| Tarkastetaan paneelin vaatimuksen mukaisuus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 30 | 0 | 30 | 30 |
| Instrumentointipaneeli (I-levy+komponent+fixplate) | | Part | 1 | 1 Sep. op | | 0 Connects | | X | X | X | | 0 | 3,8 | 7,5 | 3,8 | 7,5 |
| Toimilaitteen muttereiden avaus | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | X | | 7,1 | 0 | 2,3 | 0 | 4,6 |
| Aseennuslevyn asennus toimilaitteen vaarnaruuveihin | | Oper | 1 | 1 Push | | | | | X | X | | 0 | 0 | 7,2 | 0 | 7,2 |
| Uudet mutterit paneelin kiinnitykseen | | Part | 2 | 2 Thread | | 0 Fastens | | X | X | | | 2,9 | 1,8 | 20,7 | 3,6 | 41,4 |
| Liittimeen kierretäviä Lactite 577 | | Lib Op | 2 | 2 | | | | | | | | 3 | 1,7 | 0 | 3,4 | 6,4 |
| Paineilmiittimen kiinnittäminen toimilaitteeseen | | Part | 2 | 2 Thread | | 0 Connects | | X | X | | | 2,9 | 1,99 | 20,7 | 3,98 | 41,4 |
| Paineilmaputki toimilaite-paneeeli | | Part | 1 | 1 Sep. op | | 0 Connects | | X | X | | | 0 | 3,8 | 7,5 | 3,8 | 7,5 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 30 | 0 | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 6 | 34,4 | 0 | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 19,44 | 0 | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 30 | 0 | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 6 | 34,4 | 0 | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 19,44 | 0 | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Ilmaputken taivutuksen suunnittelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 30 | 0 | 30 | 33 |
| Mutkan taivutus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 6 | 34,4 | 0 | 34,4 | 40,4 |
| Suorakulmalla tarkastelu | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 3 | 19,44 | 0 | 19,44 | 22,44 |
| Putken pään katkaisu purseen poisto ja puhdistus | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 90 | 0 | 90 | 90 |
| Paineilmiittimen mutterin eskiristys | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | X | | 5,4 | 0 | 17,4 | 0 | 34,8 |
| Paineilmiittimen mutterin kiristys | | Oper | 2 | 2 Thread | | | | | | | | 2,9 | 0 | 17,4 | 0 | 34,8 |
| Testauspaineliittimen kiinnitys | | Oper | 1 | 1 Thread | | | | | X | X | | 0 | 0 | 9,7 | 0 | 9,7 |
| Paineilmaletkun kiinnitys | | Lib Op | 1 | 1 | | | | | | | | 0 | 5,52 | 0 | 5,52 | 5,52 |
| Totals for Instrumentointipaneeli | | | | 42 | | 0 | | | | | | 80,5 | | 18,98 | 1200,48 | 1299,96 |