Tampereen yliopisto

Annimari Hartikainen

ROBOTTISOLUN INTEGROINTI TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄÄN

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja 1: Risto Ritala
Tarkastaja 2: David Hästbacka
05/2020

TIIVISTELMÄ

Annimari Hartikainen: Robottisolun integrointi toiminnanohjausjärjestelmään

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Automaatiotekniikka

Toukokuu 2020

Tämä työ käsittelee Industry 4.0 tuotantoa tavoittelevaa Konecranesin vaihdetehdasta. Industry 4.0 on laaja ja epäselvästi määritelty käsite, joten tavoitteet täytyy sanoittaa tarkemmin. Konecranesin vaihdetehtaan tavoitteena on pitkälle automatisoitu tuotanto. Työssä etsitään ratkaisua yksittäisen robottisolun ja toiminnanohjausjärjestelmän integrointiin. Tavoitteena on välittää toiminnanohjausjärjestelmän tuotantoaikataulu ja tuotettavat nimikkeet robottisolulle tietojärjestelmien kautta. Näiden tietojen ohjaamana robottisolu voisi tulevaisuudessa tehdä kokoonpanoa automaattisesti.

Toiminnanohjausjärjestelmän ja robottisolun välistä integraatiota mallintaa ISA-95-standardi. Sen mukaan integraatio tehdään tuotannonohjausjärjestelmän avulla. Työssä kartoitetaan, millaisia toimintoja kyseiseen integraatioon sopiva tuotannonohjausjärjestelmä vaatii. Näiden vaatimusten perusteella suunnitellaan uuteen robottisoluun sopiva integraatioarkkitehtuuri. Lisäksi listataan tehtävät, joiden avulla uusi robottisolu integraatioineen saadaan toimimaan.

Suositellussa integraatioarkkitehtuurissa käytetään mahdollisimman paljon Konecranesilla käytössä olevia tekniikoita ja sisäistä osaamista. Tämä vähentää sekä ohjelmistojen hankintaan että ulkoiseen konsultointiin kuluvia kustannuksia. Työssä esitellään myös vaihtoehtoinen integraatioarkkitehtuuri, jossa hyödynnetään uutta OPC UA -kommunikaatioprotokollaa. OPC UA tekee toteutuksesta monimutkaisemman, eikä siitä ole välitöntä hyötyä yksittäisen robottisolun integroinnissa. Tulevaisuudessa vaihtoehtoinen integraatioarkkitehtuuri helpottaisi Industry 4.0 kehitystä integroitavien järjestelmien määrän ja integraatioiden monimutkaisuuden kasvaessa.

Sama pätee laajaan ISA-95-standardin määrittelemään tuotannonohjausjärjestelmään. Sitä ei kannata rakentaa yhden robottisolun ja toiminnanohjausjärjestelmän välille, mutta koko tehtaan kattavana se olisi hyödyllinen. Yhden robottisolun ja toiminnanohjausjärjestelmän integraatioon riittää ISA-95-standardia suppeampi tuotannonohjausjärjestelmä.

Avainsanat: robottisolun ja toiminnanohjausjärjestelmän integraatio, ISA-95, Industry 4.0, MES, OPC UA

ABSTRACT

Annimari Hartikainen: Integration between robot cell and ERP

Master of Science Thesis

Tampere University

Automation Technology

May 2020

Konecranes Gear Factory seeks Industry 4.0 manufacturing processes. Because Industry 4.0 as a topic is very wide and unclearly defined, targets of development need to be determined more accurately. In this case, the target is to automate manufacturing. In this thesis, integration architecture between a new robot cell and Enterprise Resource Planning (ERP) system is made. The integration architecture makes it possible to utilize scheduling and items of ERP when manufacturing items in a robot cell. With this information, robot cell could work automatically in the future.

ISA-95 standard models the integration. It states that the integration is made with additional Manufacturing Execution System (MES). This thesis searches required functions for MES in this integration. Integration architecture and MES are sketched based on these requirements. Also, tasks that are needed to make the robot integration work, are listed.

Suggested integration architecture prefers techniques that are already in use at Konecranes and there is already relevant internal expertise. This reduces costs from purchases and consulting. At the lowest cost and with already familiar technologies, some of the new Industry 4.0 technologies like OPC UA communication protocol are left out. This thesis also presents an alternative integration architecture with OPC UA. It makes an integration architecture and implementation more complicated without immediate benefits when integrating only one robot cell. But in the future, it could help Industry 4.0 development when the amount of systems to be integrated and the degree of complexity grow.

The same applies to a wide MES defined by ISA-95 standard. It should not be implemented for only one robot cell, but in the scale of a factory it would be advantageous. In this case a compact and light MES solution is suggested.

Key words: ERP and robot cell integration, ISA-95, Industry 4.0, MES, OPC UA

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty. Kiitän Konecranesia mielenkiintoisen projektin tarjoamisesta ja kollegoita työhön osallistumisesta. Suuren kiitoksen korvaamattomasta ja nopeasti saatavilla olleesta avusta ansaitsevat Patrick Lindahl, Risto Ritala ja David Hästbacka. Kaikenlaisesta muusta avunannosta kunnian saavat perhe, ystävät ja Jere. Automaatiotekniikan opiskelu ja oheistoiminta oli oikein mukavaa ja kannattavaa.

Helsingissä 20.5.2020

Annimari Hartikainen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄN INTEGROINTI TUOTANTOON TULEVAISUUDEN INDUSTRY 4.0 TEHTAALLA 3
2.1 Industry 4.0 3
2.2 Tehtaan tietojärjestelmät 5
2.2.1 Toiminnanohjausjärjestelmä 5
2.2.2 Tuotannonohjausjärjestelmä 6
2.2.3 Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmä 7
2.2.4 Joustava valmistusjärjestelmä 7
2.3 Toiminnanohjausjärjestelmän integrointi tuotantoon 8
2.3.1 Hyödyt 8
2.3.2 ISA-95-standardi 9
2.3.3 OPC UA -standardi 10
2.3.4 Integraatioalustat 11
3. KEHITYSPROSESSIT TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN LUONTIIN JA INDUSTRY 4.0 TEHTAAN TAVOITTELUUN 13
3.1 Kehitysprosessi kohti Industry 4.0 tehdasta 13
3.2 Tuotannonohjausjärjestelmän kehitysprosessi 13
3.3 Tuotannonohjausjärjestelmän kehitys ISA-95 aktiviteettimallin pohjalta 14
3.3.1 Aktiviteettimalli kokonaisuudessaan 14
3.3.2 Aktiviteettimallin osat 16
4. KONECRANESIN HÄMEENLINNAN VAIHDETEHTAAN NYKYTILA 24
4.1 Tuotanto ja tuotteet 24
4.1.1 Tuotteet 24
4.1.2 Tuotanto 26
4.1.3 Robottisolu 28
4.2 Tietojärjestelmät ja tuoterakenteet 30
4.2.1 Tietojärjestelmät 30
4.2.2 Tuoterakenteet 31
4.3 Kokoonpanon tuotannonohjaus 32
4.3.1 Tuotannonohjauksen yleinen prosessi 32
4.3.2 Työkalut aktiviteettimallissa 35
5. MUUTOSVAATIMUSTEN MÄÄRITTELY 37
5.1 Tavoitteena Industry 4.0 tehdas 37
5.2 Muutosvaatimusten tunnistus ryhmähaastattelujen avulla 37

5.2.1 Ennakkokäsitys muutostarpeista ennen haastatteluja ja haastateltavien ryhmien valinta ... 37
5.2.2 Haastattelumetodit ... 38
5.2.3 Tuotannonkehityksen vastaukset ... 39
5.2.4 SAP-tiimin vastaukset ... 39
5.2.5 Tehtaan johdon vastaukset ... 41
5.2.6 Tuotannonohjaajien vastaukset ... 41
5.2.7 Tuotannon työntekijöiden vastaukset ... 42
5.2.8 Haastattelujen jälkeiset vaatimukset ... 43
6. UUSI PROSESSI JA TEHTÄVÄT SEN TOTEUTTAMISEKSI ... 44
6.1 Uuden prosessin kuvaus ... 44
6.1.1 Yhdistelmien kokoonpanoprosessi järjestelmissä ... 44
6.1.2 Yhdistelmien kokoonpanoprosessi robottisolussa ... 45
6.1.3 Jatkokehitys ... 46
6.2 Tehtävät uuden prosessin saavuttamiseksi ... 47
6.2.1 SAP:in ja robottisolun integraatioarkkitehtuurin suunnittelu ... 47
6.2.2 Toiminnanohjausjärjestelmän muutokset ... 48
6.2.3 Yhdistelmien valmistussääntöjen kartoittaminen ... 49
7. SAP:IN JA ROBOTTISOLUN INTEGRAATIOARKKITEHTUURIN SUUNNITTELU 50
7.1 Toiminnanohjausjärjestelmän rajapinta ... 50
7.2 Robottisolun rajapinta ... 52
7.3 Integraatioalusta ... 53
7.4 Tuotannonohjausjärjestelmä ... 53
7.5 Integraatioarkkitehtuuri kokonaisuudessaan ... 55
8. TULOSTEN ARVIOINTI ... 59
8.1 Kriittinen arvio ... 59
8.2 Oman kontribuution vertaus muihin julkaisuihin ... 60
9. YHTEENVETO ... 62
LÄHTEET ... 64

LIITE A: Kaavio Hämeenlinnan vaihdetehtaan kokoonpanon tuotannonohjauksesta
LIITE B: Ryhmähaastatteluiden muutosvaatimuslista

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonohjausjärjestelmä
PLM	Product Lifecycle Management, tuotetiedon hallintajärjestelmä
FMS	Flexible Manufacturing System, joustava valmistusjärjestelmä
MMS	Manufacturing Management Software, FMS:in ohjausjärjestelmä
ISA-95	ERP:n ja tuotantolaitteiston integraatiostandardi
OPC	Open Platform Communications, kommunikaatioprotokolla
EAI	Enterprise Application Integration, integraatioalusta
IPaaS	Integration Platform as a Service, integraatioalusta pilvipalveluna
KPI	Key Performance Indicator, yrityksen avainluku
SAP	SAP SE toiminnanohjausjärjestelmä
DMC	Digital Manufacturing Cloud, SAP:in laajennus
RFC	Remote Function Call, toiminnon etäkutsu
BAPI	SAP alipalvelu

1. JOHDANTO

Kun puhutaan nykyaikaisesta tehdastuotannosta, käsite Industry 4.0 on usein esillä. Se rinnastetaan ajatukseen tulevaisuuden tehtaista, jotka valmistavat tuotteita älykkäästi ja uusilla teknologioilla. Yleinen käsitys termistä on hyvin laaja ja epätäsmällinen, eivätkä Industry 4.0 virallisemmatkaan määritelmät ole kovin tarkkoja. Tekniikan alalla se määritellään löyhästi tiettyjen uusien tekniikoiden, kuten pilvipalveluiden, esineiden internetin, tuotantolaitteiden digitaalisten kaksosten tai koneoppimisen hyödyntämiseksi. Jokaisen Industry 4.0 tuotantoa tavoittelevan tahon täytyy ensin selvittää, mikä on kehityksen tavoite. Sen jälkeen voidaan selvittää, mitä näistä uusista tekniikoista he voivat hyödyntää saavuttaakseen tavoitteensa.

Tämä työ käsittelee Industry 4.0 tuotantotapoja etsivää tehdasta. Pidemmän tähtäimen tavoitetilana on automatisoitu tehdas, jonka tietojärjestelmät ohjaavat automaattista tuotantoa tilausten perusteella. Pitkälle automatisoitu tehdas ei poista työntekijöitä, vaan muuttaa heidän rooliaan tuotantoa valvoviksi ja käyttöjärjestelmän kautta hallinnoiviksi käyttäjiksi. Parhaimmillaan pitkälle automatisoitu prosessi valmistaa tuotteita energian ja käytettyjen materiaalien kannalta tehokkaammin, lyhyemmillä tuotantoajoilla sekä yllättäviin muutoksiin nopeasti reagoiden. Automaatiosta nähdään usein vain tehtaan lattialla automaattisesti toimivat robotit, mutta se käsittää myös ohjelmistojen automatisoidun toiminnan. Tässä työssä tutkittavassa tapauksessa automatisoidaan tilauksen kulku yrityksen tietojärjestelmissä tuotannon robottisolulle asti. Tietojärjestelmät myös optimoivat tuotantoa Industry 4.0 tehtaassa. Optimointi voi olla esimerkiksi tekoälyn ohjaamia päätöksiä siitä, missä järjestyksessä tuotteet kannattaa valmistaa, miten tuotantolaitteita hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti tai kuinka paljon, milloin ja mistä tuotantoon tarvittavia materiaaleja tilataan.

Tässä työssä pilotoidaan automatisoidumpaa tilaus-tuotantoprosessia Hämeenlinnan vaihdetehtaalle tulevassa uudessa yksittäisessä robottisolussa. Robottisolun tulee ohjautua tehtaan toiminnanohjausjärjestelmässä olevien tilausten aikataulutuksen perusteella ja saada tuoterakenteet tietojärjestelmien kautta.

Diplomityön tutkimuskysymyksenä ja alakysymyksinä ovat:

- Miten uusi robottisolu integroidaan tehtaan toiminnanohjausjärjestelmään?
    a. Millaisia tehtäviä integraatioprojektiin kuuluu?
    b. Millainen integraatioarkkitehtuuri tarvitaan?

Kappaleissa 2 ja 3 esitellään tehtaan yleisimpiä tietojärjestelmiä ja niiden integrointia tuotantoon. Lisäksi tutustutaan ISA-95-standardiin, joka mallintaa toiminnanohjausjärjestelmän ja tuotantolaitteiston välistä integraatiota. ISA-95-standardin mallinnuksen mukaisesti oletetaan, että integraatio tehdään tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntäen. Työssä perehdytään myös Industry 4.0 käsitteen merkitykseen. Tutkimusmenetelminä käytetään kvalitatiivisia haastatteluja ja nykytilan kartoitusta, joita kappaleiden 2 ja 3 teoria ehdottaa.

Työhön liittyvän teorian esittelyn jälkeen edetään kohteen nykytilan kartoitukseen ja tavoitteen tarkempaan määrittelyyn kappaleessa 4. Diplomityötä aloittaessa ylätason tavoitteena oli robottisolun integrointi toiminnanohjausjärjestelmään. Tavoitetta tarkennettiin kappaleessa 5 tekemällä yrityksen sisäisiä haastatteluja sekä tutkimalla nykytilan ongelmakohtia, ja päädyttiin seuraaviin tavoitteisiin:

- Robottisolu ohjautuu toiminnanohjausjärjestelmän antaman tuotantoaikataulun mukaan.
- Toiminnanohjausjärjestelmä saa tiedon tehdystä tuotannosta.
- Tuoterakenteet ovat oikein kaikissa tietojärjestelmissä ja niitä hallitaan toiminnanohjausjärjestelmässä.
- Varastosaldot ovat oikein kaikissa tietojärjestelmissä ja niitä hallitaan toiminnanohjausjärjestelmässä.

Kappaleessa 6 kuvataan uutta, tavoitteiden mukaista prosessia sekä tehtäviä, joilla siihen päästään. Ensin luonnostellaan, millainen uuden robottisolun automatisoitu prosessi on ja miltä sen integraatioarkkitehtuuri muihin tietojärjestelmiin näyttää ylätasolla. Tämän jälkeen luetellaan tehtävät tavoitteen saavuttamiseksi. Yksi tehtävistä on robottisolun ja toiminnanohjausjärjestelmän integraatioarkkitehtuurin suunnittelu, joka toteutetaan tässä työssä kappaleessa 7.

Kappaleessa 8 pohditaan suunnitellun integraatioarkkitehtuurin sopivuutta. Työssä tarkastellaan erikseen integraatioarkkitehtuurin sopivuutta lyhyellä tähtäimellä yksittäisen robottisolun integraatioksi ja pidemmällä tähtäimellä Industry 4.0 kehityksen tukemiseen. Lisäksi tämän työn kontribuutiota verrataan muihin saman aihepiirin diplomitöihin.

2. TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄN INTEGROINTI TUOTANTOON TULEVAISUUDEN INDUSTRY 4.0 TEHTAALLA

2.1 Industry 4.0

Industry 4.0 on alun perin Saksan hallituksen strateginen hanke teollisuuden kehittämiseksi. Se esiteltiin ensimmäistä kertaa Hannover-messuilla vuonna 2011 [1]. Hermann *et al*. [2] kuvailee termiä Industry 4.0 epäselväksi. Saksan hankkeen edistäjät kuvaavat visiota, tärkeimpiä teknologioita ja yksittäisiä käyttötapauksia, mutta terminä Industry 4.0 ei saa heiltä tarkkaa määritelmää. Industry 4.0 on monien tutkimuskeskusten prioriteetti mutta akateemisen maailman suorittamat tutkimukset ovat ennemmin laajentaneet kuin tarkentaneet käsitteen merkitystä.

Industry 4.0 viittaa yleisesti myös neljänteen teollisuuden vallankumoukseen, joka toi Internet -teknologiat teollisuuteen [3]. Neljäs teollisuuden vallankumous on kuitenkin ensimmäinen teollisuuden vallankumous, joka julistettiin olemassa olevaksi jo keskeneräisenä [1]. Tämä voi osaltaan johtaa epäselvään Industry 4.0 käsitteeseen. Käsitteen epäselvyyden vuoksi Industry 4.0 esitellään alan kirjallisuudessa mainittujen visioiden ja teknologioiden kautta. Industry 4.0 ylätason tavoitteina voi pitää julkaisujen [1, 4] mukaan

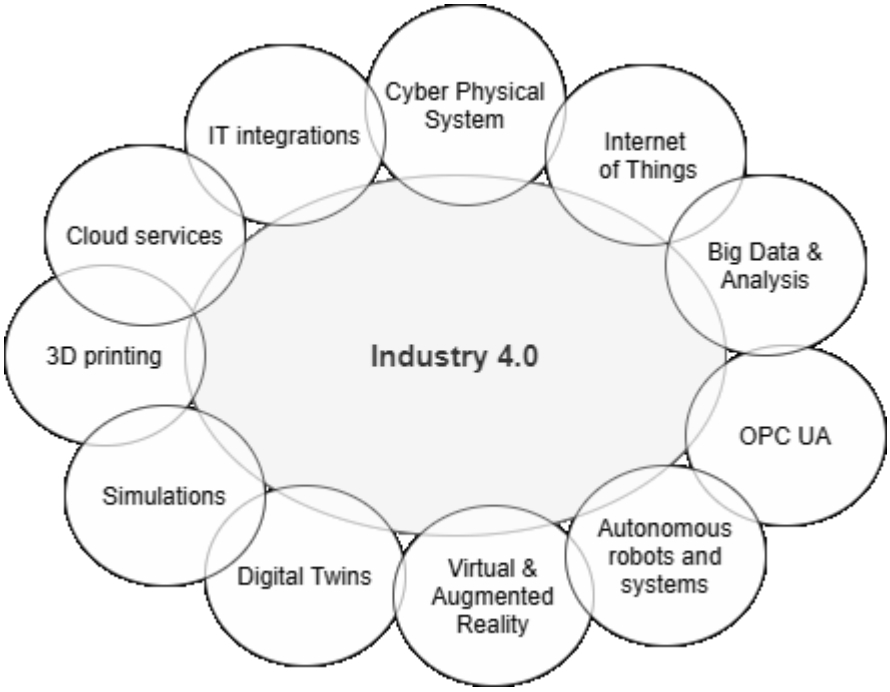
- ketteriä ja joustavia toimintatapoja
- uusia liiketoimintamalleja
- kustannustehokkaita räätälöityjen tuotteiden valmistustapoja.

Nämä ylätason tavoitteet saavutetaan luomalla yhteyksiä ihmisen, koneiden, tuotteiden ja datan välille [2, 5]. Industry 4.0 mukaista teollista toimintaa tavoiteltaessa sovellettavia teknologioita ja periaatteita ovat alan kirjallisuuden mukaan esimerkiksi

- esineiden internet [1, 2, 6-8]
- kyberfyysinen järjestelmä [1-4, 7]
- digitaalinen kaksonen [9]
- standardit rajapinnat, kuten OPC UA [4, 9, 10]
- 3D-tulostus [1, 5, 8]
- tietojärjestelmien, kuten ERP, MES ja PLM, integrointi [1, 4, 5, 8]

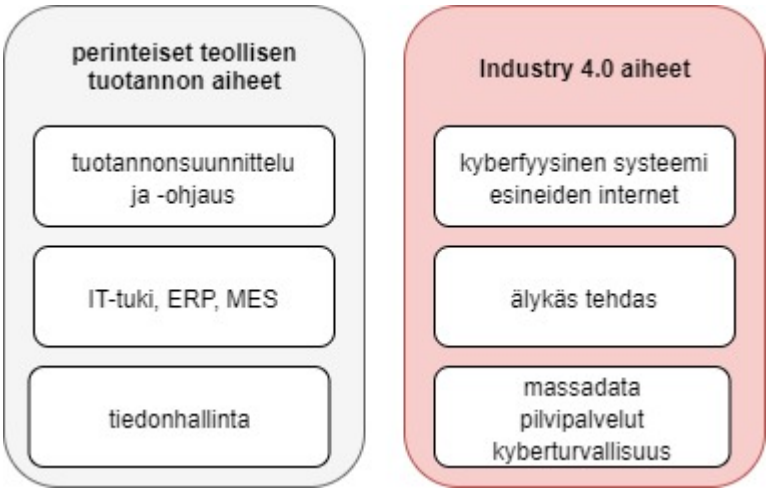
- pilvipalvelut [5, 7, 8, 10]
- data-analyysi päätöksenteon tueksi [4, 5, 8, 10]
- virtuaalinen ja lisätty todellisuus [5, 8]
- autonomiset robotit ja systeemit [5, 8]
- simulointi [5, 8]

Luetteloa havainnollistetaan kuvassa 1. Tähän työhön liittyvät käsitteet *autonominen robotti* ja *rajapinta*. Tavallinen automaattinen robottisolu vähentää ihmisen tekemää manuaalista työtä, kun taas autonominen robottisolu kerää tietoa ympäristöstään ja mukautuu olosuhteisiin täysin ilman ihmisen apua [11]. Rajapinta määrittelee kahden systeemin, laitteiston tai ohjelmiston välisen rajan [12]. Tietotekniikassa rajapinta viittaa myös tarkemmin kommunikaatioon, jossa ohjelmistoa voi käyttää ulospäin näkyvän rajapinnan avulla tietämättä ohjelmiston sisäistä toteutusta [12]. Luettelossa mainittuja tietojärjestelmiä sekä niiden integrointia käsitellään kappaleissa 2.2-2.3 ja OPC UA:ta kappaleessa 2.3.3.



Kuva 1. *Industry 4.0 teknologioita*

Industry 4.0 voidaan nähdä myös teollisten tuotantojärjestelmien luonnollisena digitalisoitumisena. Tämä tarkoittaa, etteivät teollisen tuotannon ongelmat ja aiheet ole muuttuneet, vaan ongelmia ratkovat teknologiat ja menetelmät ovat uudistuneet, tiivistää Rojko [1]. Perinteisemmät tuotannon aiheet vertautuvat Industry 4.0 aiheisiin, kuten Rojko esittää kuvassa 2.



Kuva 2. *Perinteisten teollisen tuotannon ja Industry 4.0 aiheiden vertailu, suomennettu lähteen [1] kuvasta*

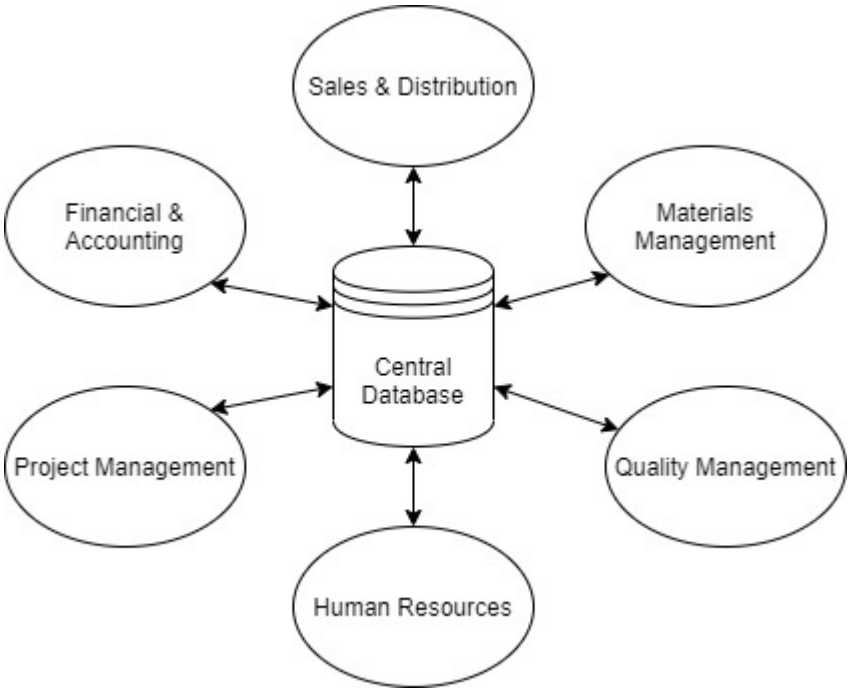
Industry 4.0 on uusi alue, jossa yhdistelmä ohjelmisto-, anturi-, prosessori- ja kommunikaatioteknologioita tuo mahdollisuuden syöttää tietoa esineisiin ja luoda lisäarvoa valmistusprosesseihin [8]. Se pyrkii luomaan avoimen ja älykkään valmistusalustan, johon viitataan yleisesti termeillä älykäs valmistus ja älykäs tehdas.

2.2 Tehtaan tietojärjestelmät

2.2.1 Toiminnanohjausjärjestelmä

Toiminnanohjausjärjestelmä tunnetaan englanninkielisellä nimellä Enterprise Resource Planning, lyhennettynä ERP. Se integroi yrityksen tietojärjestelmät tiiviisti yhteen [13]. Guptan [14] mukaan sen tavoitteena on yhdistää asiakkaat ja toimittajat yrityksen tuotantoympäristöön. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että asiakkaan tilaus välittyy ERP:lle, joka jälleen välittää pyynnön tarvittavista materiaaleista toimittajalle.

Gupta [14] kuvailee ERP:n olevan kokoelma sovelluksia, jotka automatisoivat talouden ja henkilöstöjohdon toimintoja sekä auttavat hallitsemaan tehtäviä, kuten tilaustenkäsittelyä ja tuotannon aikataulutusta. Myös Shehab *et al.* [13] näkee ERP:n hallitsevan erilaisia toiminnallisuuksia, joista yleisimmät on esitelty kuvassa 3. Tyypillisesti järjestelmä mahdollistaa moduulien tiedon jakamisen keskitetyn tietokannan avulla, johon kaikilla moduuleilla on yhteys.



Kuva 3. *ERP:n yleisimmät toiminnallisuudet, muokattu lähteen [13] kuvasta.*

Pilvipalveluiden yleistyessä yritykset ovat alkaneet siirtää toiminnanohjausjärjestelmiään ja tietokantojaan pilveen [15]. Buyya *et al.* s.3 [16] mukaan pilvipalveluiden pääperiaate on tarjota laskentaa, muistia ja ohjelmistoja palveluina. Tämä mahdollistaa myös laskutuksen palvelun käytön perusteella.

2.2.2 Tuotannonohjausjärjestelmä

Tuotannonohjausjärjestelmä on suomennos termistä Manufacturing Execution System, lyhennettynä MES. Govindaraju *et al.* mukaan se yhdistää ERP:n tuotannon järjestelmiin, kuten automaation ohjausjärjestelmiin [17]. Kletti kertoo kirjassaan Manufacturing Execution System (MES) [18], että tuotantoprosessia voi optimoida hyödyntämällä MES:in tuotannosta keräämää reaaliaikaista dataa ja historiatietoa. Nykyään MES:in hyödyntäminen keskittyy yhä enemmän myös reaaliaikaiseen toimitusketjun hallintaan. Se tarkoittaa sekä yrityksen sisäisen että asiakkaille ja toimittajille suuntautuvan logistiikan hallintaa.

Järvenpää *et al.* toteavat julkaisussaan [19], ettei MES:in toimintoja ole määritelty tarkasti. Termillä viitataan usein mihin tahansa valmistuksen operaatioiden hallintajärjestelmään. Valmistuksen operaatioiden hallintaan kuuluu Kletin mukaan tuotannon suunnittelu ja aikataulutus, datan keräys sekä tuotannon raportointi [18]. Kletti s.218 [18] kertoo joidenkin MES:in ja ERP:in toimintojen olevan osittain päällekkäisiä. Niitä voi MES:in sijasta toteuttaa ERP:issa tai jakaa pienempiin ERP:in ja MES:in prosesseihin. Näihin toi-

mintoihin kuuluvat esimerkiksi laadun-, varaston- ja työajanhallinta, logistiikka sekä aikataulutus. Sen sijaan prosessien ohjaus, datan keräys ja tuotantolaitteiden yhdistäminen toisiinsa tapahtuu MES:issa.

Kletti s.17 [18] nostaa esille kaksi merkittävintä MES-standardia, MESA- ja ISA-95-standardit. MESA on tarkoitettu prosessiteollisuuteen ja ISA-95 kappaletavaratuotantoon. Koska tämän työn kohteen tuotanto on kappaletavaratuotantoa, valitaan kappaleissa 2.3.2 ja 3.3 tarkasteltavaksi ISA-95-standardi.

2.2.3 Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmä

Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmä tunnetaan englanninkielisellä nimellään Product Lifecycle Management, lyhennettynä PLM. Sääksvuori et al. [20] kertoo, että PLM:n avulla hallitaan tuotetietoa, kuten 3D-suunnittelumalleja, dokumentteja, tuoterakenteita ja versioita. Lisäksi nykyaikaisilla tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmillä automatisoidaan ja standardoidaan yhtenevien projektien hallintaa, tuotehallinnan prosesseja ja suunnittelun työnkulkua.

Esimerkiksi tuotteesta vastaava organisaation sisäinen osasto vaihtuu tuotteen elinkaaren aikana monesti. Tuotteen elinkaaren hallinta helpottaa tehokasta yhteistyötä luomalla yleiset toimintatavat ja yhdistämällä tiedon kussakin elinkaaren vaiheessa vastuussa olevasta osastosta kyseiseen tuotteeseen [21]. Sääksvuoren et al. [20] mukaan toimintatehokkuus kasvaa, kun järjestelmä jakaa tuotetiedot digitaalisesti monessa eri paikassa ja tarkoituksessa käytettäväksi, sekä automatisoi ja standardoi sisäisiä prosesseja. Esimerkiksi huoltoteknikko ja varaosamyyjät saavat PLM:lta tarvittavat tuotetiedot nopeasti myös asiakkaan luona ollessaan.

2.2.4 Joustava valmistusjärjestelmä

Joustavalla valmistusjärjestelmällä tarkoitetaan tässä työssä Fastemsin Flexible Manufacturing Systemia, lyhennettynä FMS. Fastems on yritys, joka toimittaa tehdasautomaatiojärjestelmiä optimoimaan valmistusta [22]. Fastemsin FMS:ia käsitellään, koska se on käytössä työn kohteena olevalla vaihdetehtaalla. Eri valmistajien FMS -tuotteet eivät ole täysin samanlaisia.

Fastemsin Automation Systems -verkkosivusto [22] ja kyseiseltä sivulta ladattava FMS ONE -esite [23] kertovat FMS:sta seuraavat tiedot. FMS yhdistää materiaalien käsittelyn ja työstökoneet yhdeksi systeemiksi. Sen avulla työstökoneita voidaan hyödyntää mak-

simaalisesti ja automatisoida tuotantoa. FMS kuljettaa paletteja työstökoneiden ja työpisteiden välillä. Se kuljettaa paletteja nopeasti ja ergonomisesti sekä hyödyntää lattiapinta-alan tehokkaasti. Kuvassa 4 on esimerkki Fastemsin FMS:sta.

Kuva 4. *FMS [22]*

FMS:ia ohjaa Manufacturing Management Software, MMS. MMS kykenee automaattisesti optimoimaan tuotantoprosesseja ja resursseja tilausten perusteella. MMS ohjaa myös FMS:iin liitettyjä työstökoneita. Näin saavutetaan hyötyjä automatisoiduista koneistusratkaisuista, jotka laajentavat mahdollista tuotantoaikaa myös työntekijöiden vuorojen ulkopuolelle.

2.3 Toiminnanohjausjärjestelmän integrointi tuotantoon

2.3.1 Hyödyt

Järvenpää et al. tutkivat tuotannonohjauksen nykytilaa ja MES:ien hyödyntämistä suomalaisissa tehtaissa [19]. He kertovat, että suunnitteluun ja monimutkaisten kappaleiden kokoonpanoon keskittyvien yritysten yleinen operatiivinen haaste on tilauksen ja toimituksen välissä tapahtuvan prosessin hallinta. Kun eri osastot hallitsevat aikataulujaan omissa Excel-taulukoissaan, kokonaiskuvan saaminen on haastavaa. Erityisesti muutokset vaativat paljon kommunikaatiota ja käsittelyä osastojen välillä.

ERP luo päivittäisen tuotantoaikataulun. Se ei kykene tuotantoaikataulun luontiin työvuorojen, tuntien tai minuuttien tarkkuudella. ERP ei sovellu tuotantolaitteiden ohjaukseen, koska se ei saa reaaliaikaista tietoa toteutuneesta tuotannon tilasta [18]. Siksi MES:in täytyy kartoittaa tuotannon reaaliaikainen tilanne ja mahdollistaa todellisen tilanteen mu-

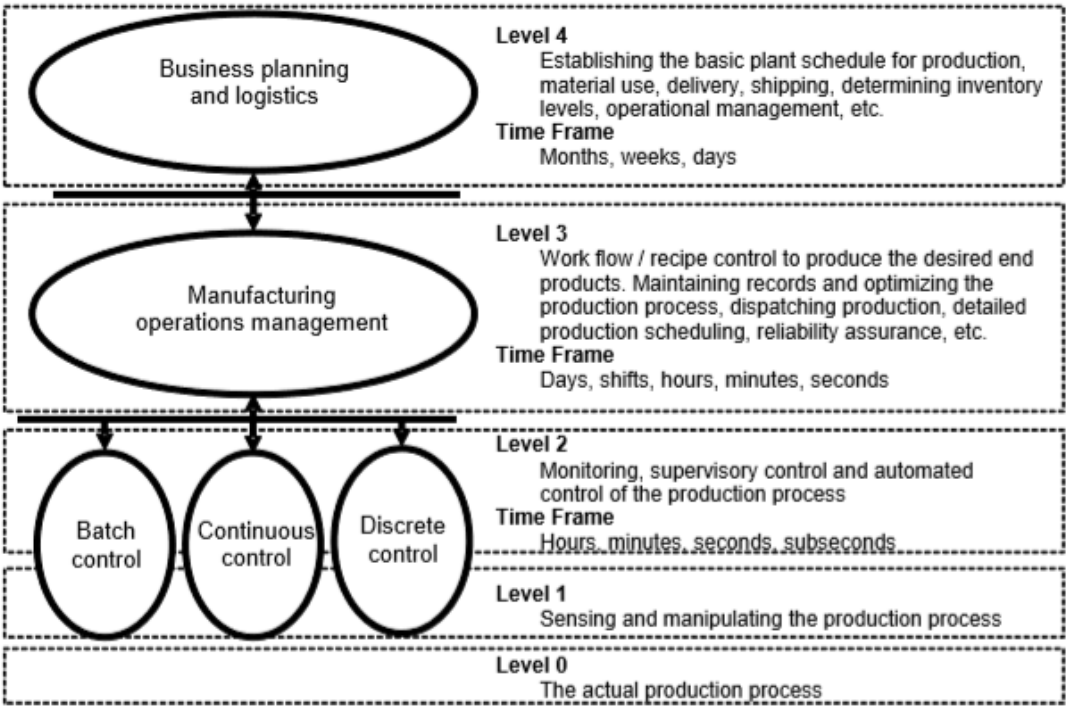
kaan määritellyt reaaliaikaiset toimenpiteet. Tietojärjestelmät tukevat muuttuvaa tuotantoympäristöä, kun reaaliaikainen data muutoksista on aina kaikkien toimijoiden saatavilla [19].

2.3.2 ISA-95-standardi

ISA-95-standardi tarjoaa standardin terminologian ja vakioidut mallit ERP:n ja tuotannon laitteiden ohjausjärjestelmien väliseen integraatioon, kertoo standardin ensimmäinen osa ISA-95.00.01 [24]. Standardia kannattaa hyödyntää, koska se

- helpottaa tarpeiden tunnistuksessa
- helpottaa kommunikaatiossa toimittajan kanssa
- pienentää tuotantoprosessin automatisoinnin kuluja.

Standardi suosittelee sen hyödyntämistä automaatiojärjestelmien integroinnissa, järjestelmien rajapintojen määrittelyssä sekä teollisuusyritysten tuotannossa, materiaalinsiirroissa ja varastoinnissa. Sen tarkoitus ei ole pakottaa hylkäämään nykyisiä käytäntöjä tai ehdottaa vain yhtä tiettyä tapaa ohjausjärjestelmien ja ERP:n integrointiin, vaan tarjota hyviä integrointikäytäntöjä. ISA-95.00.01 esittelee toiminnallisen hierarkian, jota havainnollistaa kuva 5.



Kuva 5. *ISA-95 toiminnallinen hierarkia [24]*

Toiminnallinen hierarkia sisältää viisi tasoa:

0. Fyysinen tuotantoprosessi
1. Tuotantoprosessin ohjaus ja mittaus
2. Tuotantoprosessin valvonta ja automatisoitu ohjaus
3. Tuotannon työtehtävät ja niiden koordinointi, tuotantodatan keräys
4. Liiketoiminnan suunnittelu, logistiikka, tuotannon aikataulutus, käytettävät materiaalit

Tässä työssä käsitellään tuotannon ohjausjärjestelmien ja ERP:n integrointia eli tasojen 0-2 integrointia tason 4 kanssa. Kuten kuva 5 havainnollistaa ja Kletti s.20 [18] kertoo, taso 3 eli MES:in hallitsema taso sijoittuu käsiteltävään väliin.

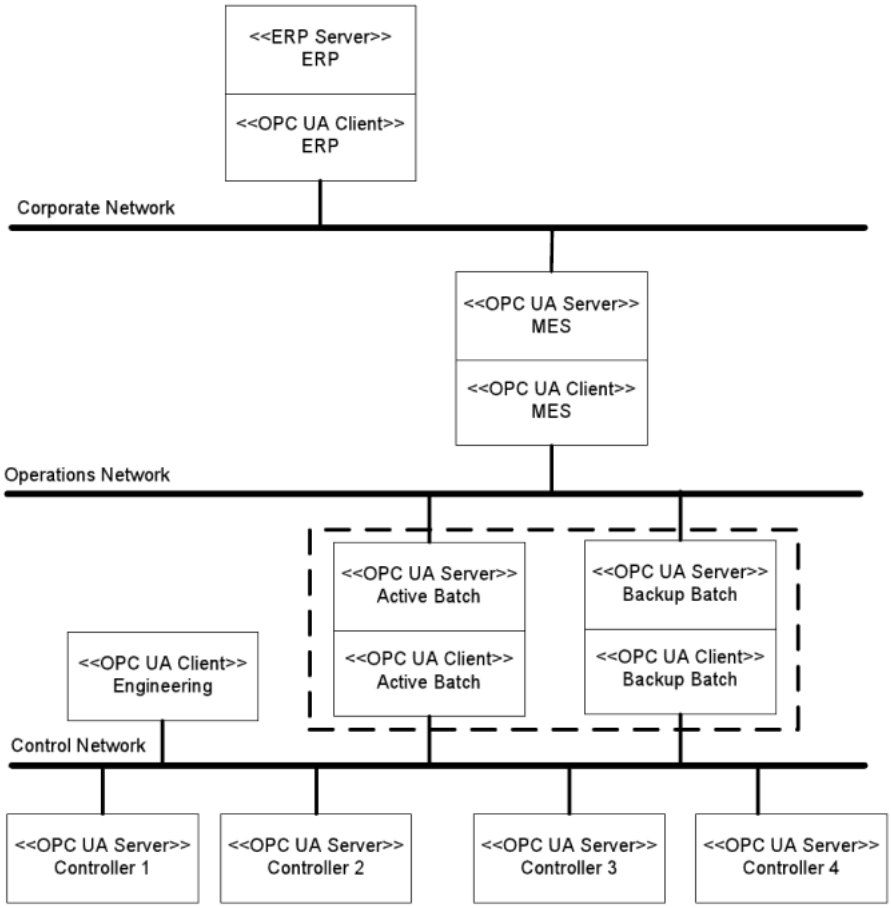
2.3.3 OPC UA -standardi

Tämä kappale pohjautuu OPC standardien kehittäjän, OPC Foundationin, nettisivuihin [25], ellei toisin mainita. OPC on kommunikaatioprotokolla tietoturvalliseen ja luotettavaan tiedonsiirtoon etenkin tehdasautomaatiossa mutta myös muualla teollisuudessa. Ensimmäistä kertaa OPC julkaistiin vuonna 1996. Silloin se mahdollisti tehtaan laajemman ohjausjärjestelmän kommunikoinnin lattiatason automaatiolaitteiden kanssa standardoidulla tavalla. OPC muutti laajemmalta ohjausjärjestelmältä sille tulevat standardoidin mukaiset kirjoitus- ja lukukäskyt kohdelaitteelle sopivaan muotoon.

Aluksi OPC-käskyjä pystyi lähettämään vain Windows-käyttöjärjestelmillä. Silloin lyhenne OPC on lyhenne Windowsiin viittaavista sanoista Object Linking and Embedding for Process Control. Nykyään Windows-pohjainen OPC standardi tunnetaan nimellä OPC Classic. Se jakautuu edelleen kolmeen ohjeistukseen, jotka käsittelevät datan hakemista, hälytyksiä ja historiadataa.

OPC Classicia seurasi vuonna 2008 julkaistu OPC UA, joka ei ole sidottu Windows-käyttöjärjestelmään. Lyhenne ”UA” tulee sanoista Unified Achitecture. Kun Windows-pohjaisuus väistyi, myös lyhenteen OPC merkitykseksi on vakiintunut Open Platform Communications. OPC UA:ssa ei ole OPC Classicin tapaisia erillisiä ohjeistuksia, vaan kaikki on kerätty yhteen. Tietoturvallisuutta on kehitetty esimerkiksi käyttäjän tunnistuksella ja viestien salauksella. Kommunikaatiota on entistä helpompi muokata ja laajentaa rikkomatta jo olemassa olevia sovelluksia. Datan muutosten seuraaminen ja reagoiminen muutoksiin tapahtumapohjaisesti on OPC UA:n tuoma uusi mahdollisuus.

Mahnke *et al.* s.265 [26] mukaan asiakas-palvelin –malli on OPC UA:n yleisin kommunikaatiomalli. Sen hyödyntämistä havainnollistaa kuva 6.



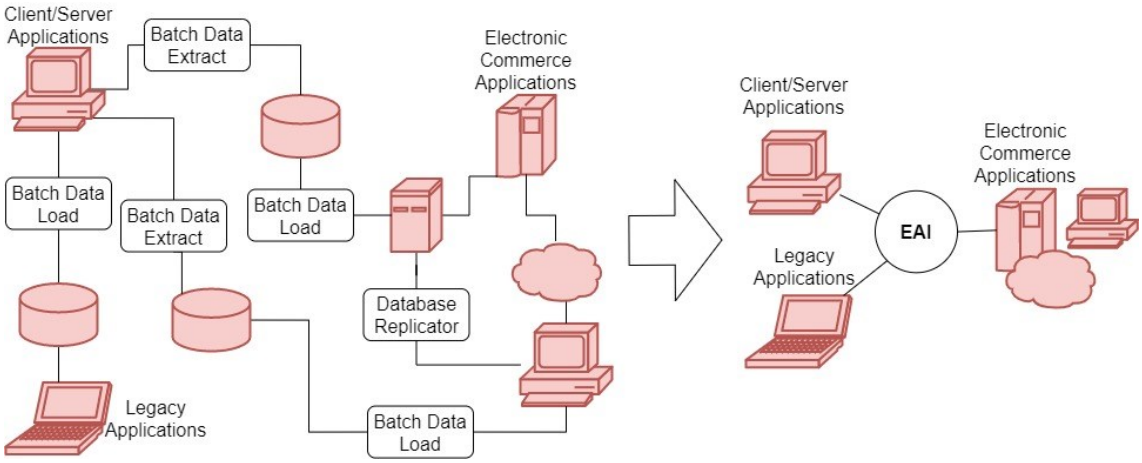
Kuva 6. *OPC UA:n asiakas-palvelin malli tehtaan järjestelmissä [26]*

Asiakas-palvelin –mallissa palvelin tarjoaa palveluita ja asiakas käyttää niitä toteuttaakseen tehtävänsä. Asiakas lähettää palvelimelle OPC UA:n mukaisesti muotoillun pyynnön ja palvelin vastaa jälleen OPC UA:n mukaisella viestillä.

2.3.4 Integraatioalustat

Ebert *et al.* [27] kertoo integraatioalustojen kehityksen alkaneen 2000-luvulla, jolloin ratkaisua kutsuttiin termillä Enterprise Application Integration, EAI. Siihen asti sovellukset oli yhdistetty pisteittäisesti väliohjelmistoilla. Linthicum [28] huomauttaa tämän johtavan irrallisiin informaatioputkiin ilman keskitettyä hallintaa, mikä tekee järjestelmämuutokset hankaliksi. Lisäksi uudet liitännät ovat useimmiten maksullisia ja vaativat työläitä muutoksia yhdistettäviin järjestelmiin [27].

Linthicum [28] kertoo, että EAI:ssa data ja prosessi voidaan jakaa sovellusten ja tietokantojen kesken tekemättä laajoja muutoksia itse järjestelmiin. Jaetut pienemmät prosessit voidaan koota laajemmiksi liiketoimintaprosesseiksi, mikä ei onnistu pisteittäisillä yhteyksillä. Esimerkiksi erilliset automaatiojärjestelmät voidaan näin yhdistää toisiinsa. Kuva 7 havainnollistaa arkkitehtuurin muutosta pisteittäisestä integraatiosta EAI:ksi.



Kuva 7. *Vasemmalla esimerkkiarkkitehtuuri point-to-point järjestelmästä, oikealla EAI:sta. Kuvat mukailtu lähteestä [28].*

EAI:n jälkeen tarjolle tullut uusi vaihtoehto Integration Platform as a Service, lyhennettynä IPaaS, tekee vastaavan integraation pilvipalvelussa [27]. Serrano *et al*. [29] kuvailee IPaaS:n olevan pilvipalvelu, jossa käyttäjä voi luoda ja hallita useiden sovellusten ja tietokantojen integraatiota asentamatta laitteistoja tai väliohjelmistoja. Myös Ebert *et al.* [27] tukee väitettä, että IPaaS on yksinkertaisempi ja helppokäyttöisempi kuin perinteinen EAI. Siksi uuden sovelluksen integrointi on entistä nopeampaa ja integraatioiden ylläpitokustannukset ovat pienemmät. IPaaS asettaa integraatioalustan pilveen mutta siihen liittyvät sovellukset ja tietokannat voivat sijaita pilvessä tai paikallisesti eli ”on-premise”.

3. KEHITYSPROSESSIT TUOTANNONOHJAUS-JÄRJESTELMÄN LUONTIIN JA INDUSTRY 4.0 TEHTAAN TAVOITTELUUN

3.1 Kehitysprosessi kohti Industry 4.0 tehdasta

Schuch *et al.* [4] mainitsee, että kehitys kohti Industry 4.0 -konseptia on aloitettava analysoimalla yrityksen nykyistä tilaa ja tavoitteita. Onnistunut muutos tapahtuu vaiheittain. Yrityksen täytyy luoda askeleittain etenevä suunnitelma, jonka avulla saavutetaan tavoitteet, ja vähennetään investointiin ja käyttöönottoon liittyvää riskiä, sanovat sekä Schuch *et al.* [4] että Rojko [1]. Suunnitelma on jokaisen yrityksen kohdalla erilainen ja sisältää määritelmän siitä, millaista osaamista ja teknologiaa yrityksen täytyy vielä hankkia saavuttaakseen Industry 4.0 tavoitteensa [4].

Perinteiset ERP ja MES -järjestelmät voidaan Rojkon s.83-84 [1] mukaan nähdä askeleina Industry 4.0 -konseptia kohti. MES:in vaatima edistynyt IT-laitteisto tehtaan lattiatasolla on vaatimus myös älykkään tehtaan kehittämiseen. Lisäksi on tärkeää integroida käytössä olevat järjestelmät ja tietokannat [1] sekä määritellä rajapinnat, s.745 [30]. Klassinen automaatioprotokolla ei ole tarpeeksi joustava reagoimaan tilauksien ja tuotannon muutoksiin. Siksi toiminnallisuuksiltaan hajautettu MES on paras ratkaisu konfiguroitavissa tuotantojärjestelmissä [1, 30]. Jatkuva informaatiovirta kaikkien elementtien kesken pitäisi mahdollistaa [1].

Dataa ei kerätä yksittäisten analyysien tekemistä tai operaatioiden tukemista varten, vaan yrityksen täytyy kyetä luomaan ajan tasalla oleva tilannekuva toiminnastaan joka hetkellä [4]. Tietokantojen dataa ja tehtaan lattiatason sensoreita yhdistelemällä saavutetaan huomattavia etuja. Integroidut PLM, ERP ja MES järjestelmät luovat läpinäkyvän ja kattavan kuvan toiminnasta. Toiminnallisuuden modulaarinen jako järjestelmiä integroitaessa helpottaa yhden oikean tiedonlähteen määrittelyn.

3.2 Tuotannonohjausjärjestelmän kehitysprosessi

Klettin s.72-73 [18] mukaan MES:in kehitysprosessissa on tärkeää luonnostella mahdollisimman realistinen malli tulevasta tuotanto-organisaatiosta. Jotta tähän päästään, tarvitaan tarkka nykytilan analyysi ja potentiaalisten kehityskohteiden havainnointi, joiden perusteella löydetään vaaditut toimenpiteet. Hyvä kehityssuunta ei löydy ilman selvää määränpäätä.

Kletti [18] kertoo, ettei tuotannonohjausta voi kehittää perinteisesti hierarkkisesti ylhäältä alas organisaatiossa. Prosessin omistajat eli työntekijät tietävät parhaiten toistuvat puutteet toiminnassa ja heidän asiantuntemukseensa täytyy keskittyä. Kaikki projektiin liittyvät henkilöt on otettava mukaan alusta lähtien. Eriarvoisuus projektiin liittyvän tiedon jakelussa johtaa epäluottamukseen, vihamielisyyteen sekä rinnakkaisten hierarkioiden syntymiseen.

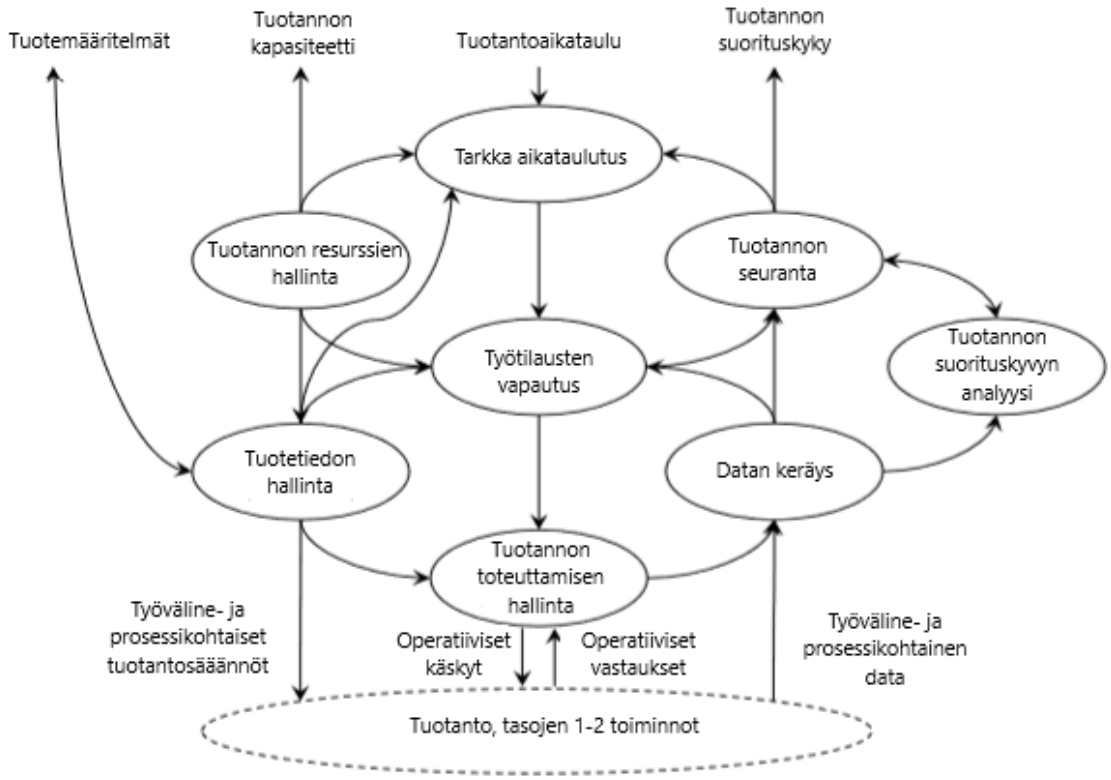
Govindaraju *et al.* [17] esittää menetelmän, jolla MES:in suunnittelu helpottuu. Se hyödyntää ISA-95 aktiviteettimallia [31] MES:in toiminnallisten vaatimusten määrittelyyn ja ISA-95 hierarkiamallia [24] ERP- ja MES-järjestelmän rajapinnan määrittelyyn. Suunnittelun loppuvaiheessa se suosittelee hyödynnettäväksi myös sekvenssikaavioita ja ISA-95 tarkempaa toiminnallista mallia.

Data MES:in ja muiden järjestelmien välillä välitetään yleisesti integraatioalustan kautta. Linthicum [28] kertoo, että myös integraatioalustaa hyödyntäessä on tärkeää tuntea nykyinen arkkitehtuuri, prosessit ja data. Sen jälkeen pystyy perustellusti määrittelemään, minkä sovellusten tai tietokantojen täytyy jakaa informaatiota.

3.3 Tuotannonohjausjärjestelmän kehitys ISA-95 aktiviteettimallin pohjalta

3.3.1 Aktiviteettimalli kokonaisuudessaan

ISA-95-standardin 3. tasoa määrittää tarkemmin ISA-95.00.03 [31]. Sen sisältämä tuotannon operaatioiden hallinnan aktiviteettimalli auttaa tunnistamaan tuotannon toiminnot ja niihin liittyvät roolit. Aktiviteettimallia havainnollistaa kuva 8.



Kuva 8. *Tuotannon aktiviteettimalli suomennettuna [31]*

Aktiviteettimalli ei ota kantaa siihen, miten toiminnot toteutetaan. ISA-95.00.03 tuotannon operaatioiden hallinnan aktiviteettimallia on käytetty tuotannonohjauksen määrittelyyn muun muassa diplomitöissä [32-36]. ISA-95-standardi yksinkertaistaa huomattavasti järjestelmäintegraation suunnitteluprosessia [33] ja soveltuu toiminnallisuuden [34, 36] sekä rajapintojen [36] suunnitteluun. Aktiviteettimalli soveltuu MES-järjestelmien vaatimuskartoitukseen sekä helpottaa eri toimittajien järjestelmien vertailua [32].

ISA-95-00.01 [24] sanoo standardin hyödyntämisen MES-järjestelmän kehitysvaiheessa helpottavan prosessia ilman lisätyötä. Sen sijaan standardista eroavaa toteutusta on vaikea palauttaa jälkeenpäin yhteensopivaksi standardimallin kanssa. Standardin mukaisen MES-järjestelmän sovellusosia voi korvata muiden toimittajien tarjonnalla ja hyödyntää niitä muissa ympäristöissä.

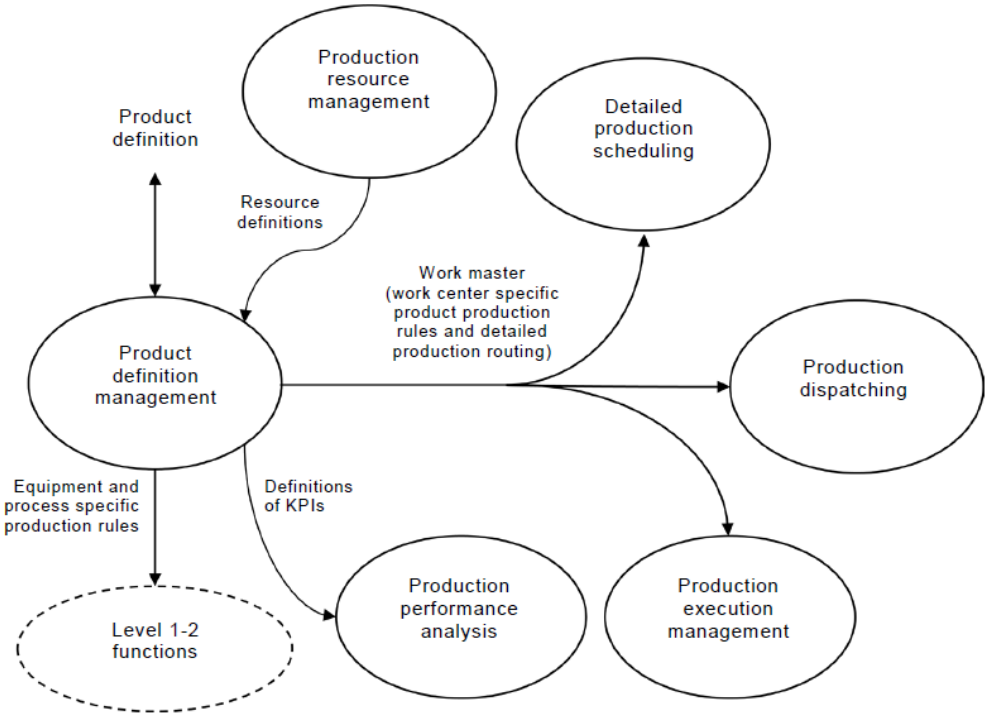
Kletti [18] kertoo ISA-95-standardin ja aktiviteettimallin sopivan laajan järjestelmän perusrakenteen suunnitteluohjeeksi suuressa yrityksessä, jossa tarvitaan standardimaista ratkaisua. Päivittäisessä projektityössä sen hyödyntäminen voi olla turhan kuormittavaa. MES-vaatimusmäärittelyä varten tehdyn ohjeen [9] mukaan vaatimuksia esittävät työntekijät ovat jaettavissa yleensä kahteen pääryhmään: talous- ja IT-hallintoon sekä tuotannon työntekijöihin.

3.3.2 Aktiviteettimallin osat

Kappale on kirjoitettu ISA-95.00.03 -standardin [31] pohjalta, eikä viitettä mainita enää erikseen.

Tuotetiedon hallinta

Tuotetiedon hallinnassa määritellään, mitä tuotteita valmistetaan, ja minkä valmistusreitin kukin tuote kulkee. Tuotetiedon muutokset tehdään tässä osiossa. Tuotetiedon hallinnassa voidaan myös optimoida tuotteiden valmistussääntöjä analysoimalla nykyistä tuotantoa. Tuotantoon ja tuotteisiin liittyviä yrityksen avainlukujen (Key Performance Indicator, KPI) määritelmiä hallitaan tässä osiossa. Tuotetiedon hallinnan rajapintoja havainnollistaa kuva 9.

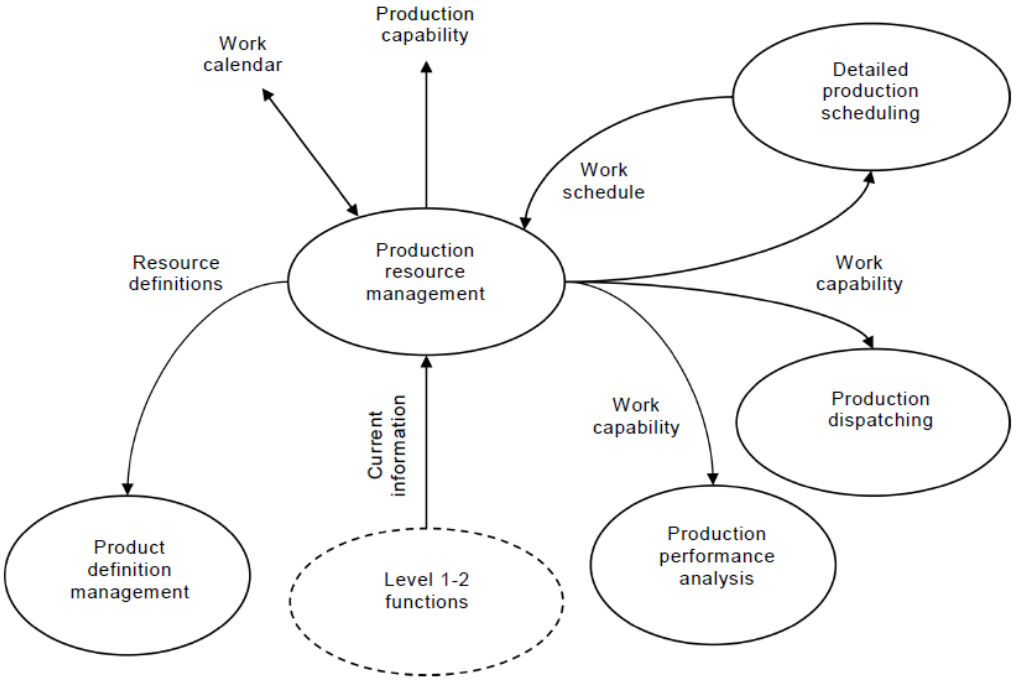


Kuva 9. *Tuotetiedon hallinnan rajapinnat aktiviteettimallissa [31]*

Tuotetiedon hallinta välittää muille tuotannon aktiviteettimallin osille tietoa siitä, miten ja millaisia tuotteita valmistetaan. Tuotetiedon hallinta on yhteydessä myös tasojen 1-2 eli tuotannon sekä tason 4 eli toiminnanohjauksen kanssa.

Tuotannon resurssien hallinta

Tuotannon resurssien hallinta sisältää tietoa työntekijöistä, materiaaleista ja työvälineistä. Se määrittää käytössä olevat resurssit ja pitää kirjaa nykyisestä ja tulevasta varaustilanteesta. Tuotannon resurssien hallinta voi tarkkailla, onko lähitulevaisuudessa tuotantoon tarvittavat hankintapyynnöt aloitettu. Se voi varmistaa, onko resursseilla sopivat valmiudet tuotannon tehtävänantoa varten. Varmistettava valmius voi olla esimerkiksi työntekijän sähköasennuksiin tarvitseman koulutuksen tarkistus. Tuotannon resurssien hallinta voi ylläpitää työkalenteria, liikkuvien resurssien sijaintitietoja ja resurssien suorituskykytietoja. Alla oleva kuva 10 havainnollistaa tuotannon resurssien hallinnan rajapintoja.

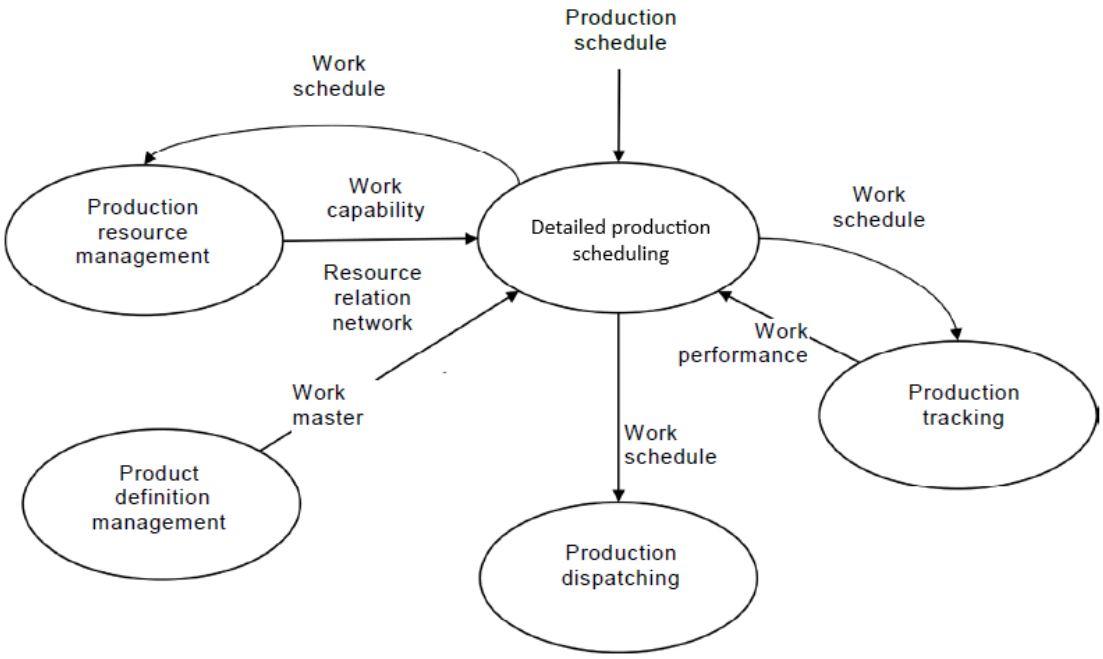


Kuva 10. *Aktiviteettimallin tuotannon resurssien hallinnan rajapinnat [31]*

Kokonaisuudessaan tämä osio hallinnoi tietoa tuotannon tarvitsemista resursseista, resurssien yhteyksistä toisiinsa sekä työkalenterista. Resurssien ohjaus kuvataan muissa aktiviteettimallin osioissa. Tuotannon resurssien hallinta voi olla osin tai kokonaan manuaalista. Siihen voi sisältyä resurssien varausjärjestelmiä. Tuotannon resurssien hallinta välittää muille aktiviteettimallin osille ja 4. tasolle tietoa resursseista ja niiden varaustilanteesta. Aktiviteettimallin tulkinnassa tulee ottaa huomioon, että tietojärjestelmien lisäksi tietoa voidaan välittää myös suoraan ihmiselle.

Tarkka aikataulutus

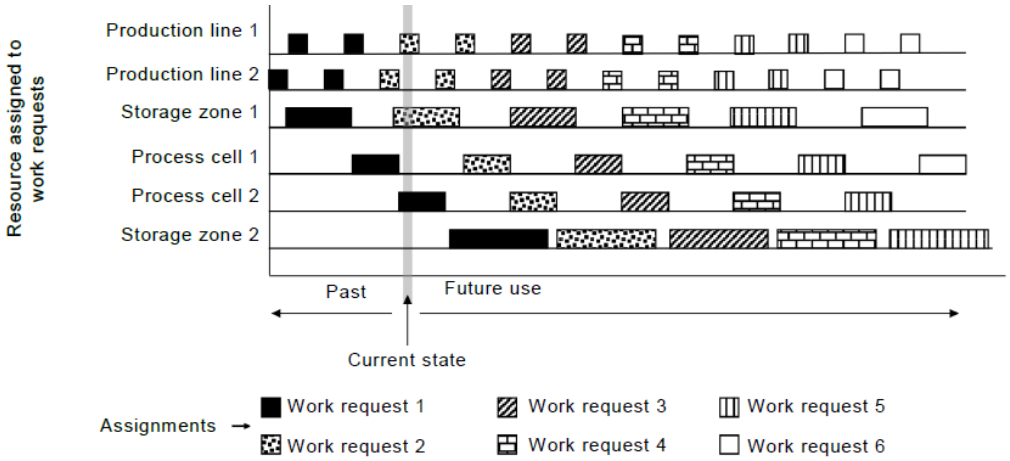
Tarkka aikataulutus muotoilee optimoidun tarkan aikataulun tuotannolle ottaen huomioon paikalliset säännöt, resurssit, työkalujen vaihdot sekä yhdistettävät ja hajautettavat tilaukset. Tarkan aikataulutuksen rajapinnat muihin aktiviteettimallin osiin havainnollistaa kuva 11.



Kuva 11. *Aktiviteettimallin tarkan aikataulutuksen rajapinnat [31]*

Tarkka aikataulutus on tiiviissä yhteydessä 4. tason toiminnanohjauksen tuotannon aikataulutukseen eli karkeakuormitukseen. Tarkka aikataulutus luo 4. tason antaman tuotantoaikataulun perusteella tarkempia aikatauluja. ERP:lla 4. tasolla ei usein ole tiedossaan työpisteiden ja työntekijöiden tarkkoja tietoja, mutta tarkka aikataulutus ottaa myös nämä huomioon. Tarkka aikataulutus voi mukautua työntekijöiden, materiaalien tai työkalujen puutteiden mukaan.

Tuotannon aikataulutus jakaa tilaukset pienemmiksi tuotannon työtilauksiksi, kuten kuva 12 havainnollistaa. Näin pystytään yhdistämään työtilauksia useammasta tilauksesta tai hajauttamaan yhden tilauksen osia erillään valmistettavaksi. Tilaukset jaetaan esimerkiksi käytetyn fyysisen prosessin, työntekijöiden, työkalujen, aloitusajan tai aloituksen käynnistävän tapahtuman mukaan.

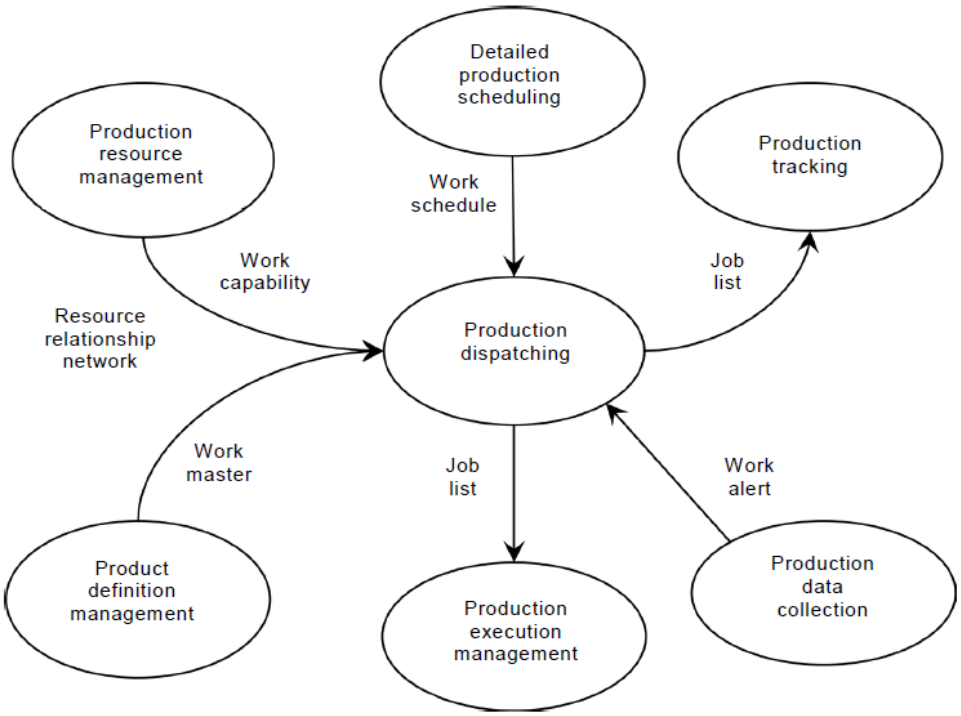


Kuva 12. *Tilausten jakaminen tuotannon tarvitsemiksi työtilauksiksi [31]*

Tarkka aikataulutus voi vertailla suunniteltua ja toteutunutta tuotantoa sekä simuloida erilaisia tuotantotilanteita. Se saa toteutuneen tuotannon tiedot tuotannon seuranta -aktiviteetilta ja yhdistää toteutuneen ja pyydetyn tuotannon tiedot.

Työtilausten vapautus

Tämä osio vapauttaa tuotannon tarkan aikataulun antamia tuotannon työtilauksia työntekijöille ja työpisteille. Lisäksi se voi tuottaa tuotantotehtäviä kuvaavan työlistan. Työtilausten vapautuksen rajapinnat muihin osiin näkyvät kuvassa 13.

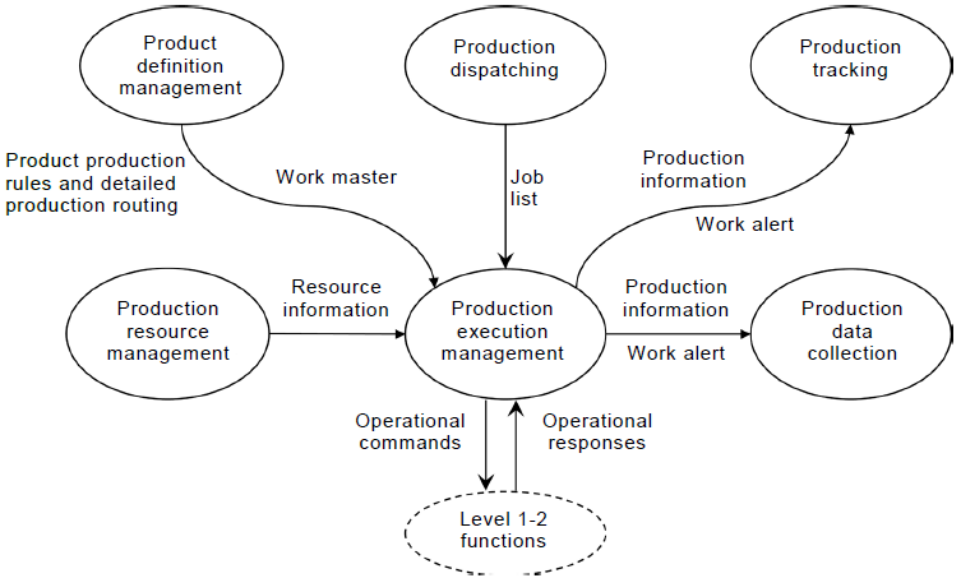


Kuva 13. *Aktiviteettimallin työtilausten vapautuksen rajapinnat [31]*

Työtilausten vapautus voi pyytää tuotannon resurssien hallintaa varaamaan resurssit, mikäli sitä ei ole aiemmin tehty. Työtilausten vapautus ylläpitää tietoa työtilausten nykytilasta ja ilmoittaa ennakoimattomista muutoksista tarkalle aikataulutukselle. Työtilausten vapautus antaa tuotannon toteuttamisen hallinnalle työjonon.

Tuotannon toteuttamisen hallinta

Tuotannon toteuttamisen hallinta ohjaa tuotannon suoritusta työjonojen perusteella. Se käynnistää tuotannon aktiviteetit ja ohjaa tuotteen valmistusprosessissa määriteltyjen työvaiheiden läpi. Se voi luoda työohjeet tuotetiedon hallinnalta saatujen tuotekohtaisten työohjetietojen mukaisesti. Tuotannon toteuttamisen hallinta varmistaa, että tuotannossa on käytössä oikeat materiaalit ja työkalut. Se voi varmistaa myös, että tuotannossa noudatetaan laatustandardeja. Tuotannon resurssien hallinta lähettää tiedon ennakoimattomista resurssipuutteista tuotannon toteuttamisen hallinnalle. Alla oleva kuva 14 havainnollistaa tuotannon toteuttamisen hallinnan rajapintoja.

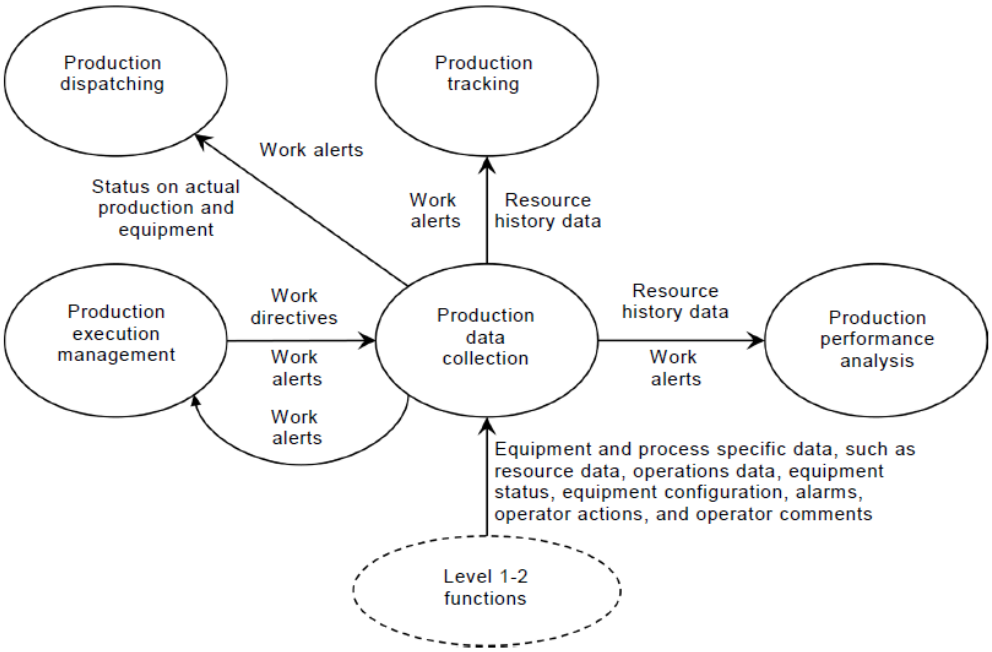


Kuva 14. *Aktiviteettimallin tuotannon toteuttamisen hallinnan rajapinnat [31]*

Tuotannon toteuttamisen hallinta koordinoi sekä manuaalisen että automatisoidun työn toteuttamista, joten se tarvitsee tarkkaan määritellyn kommunikaatioväylän automaation ohjauslaitteistoon. Tuotannon toteuttamisen hallinta tuottaa tietoa datan keräykselle ja seurannalle, jotka välittävät sitä muille aktiviteettimallin osille. Muille osille tarpeellista tietoa ovat esimerkiksi tuotannon aikataulut, työntekijät, materiaalit, työn aloitus- ja lopetus sekä tuotannon ongelmat.

Datan keräys

Datan keräys kerää, arkistoi ja hakee dataa. Se voi liittyä rajapinnan kautta laitteiden ohjausjärjestelmiin ja kerätä niistä dataa automaattisesti. Datan keräys voi tarjota raportteja esimerkiksi tuotantodatasta tai tuotelaadusta. Se vastaa tuotannon datan hallinnasta ja tarjoaa dataa muiden osioiden suorittamia tuotannon analyyseja varten. Datan keräys voi hallita myös tuotteen jäljitettävyystietoja. Alla oleva kuva 15 havainnollistaa datan keräyksen rajapinnat.

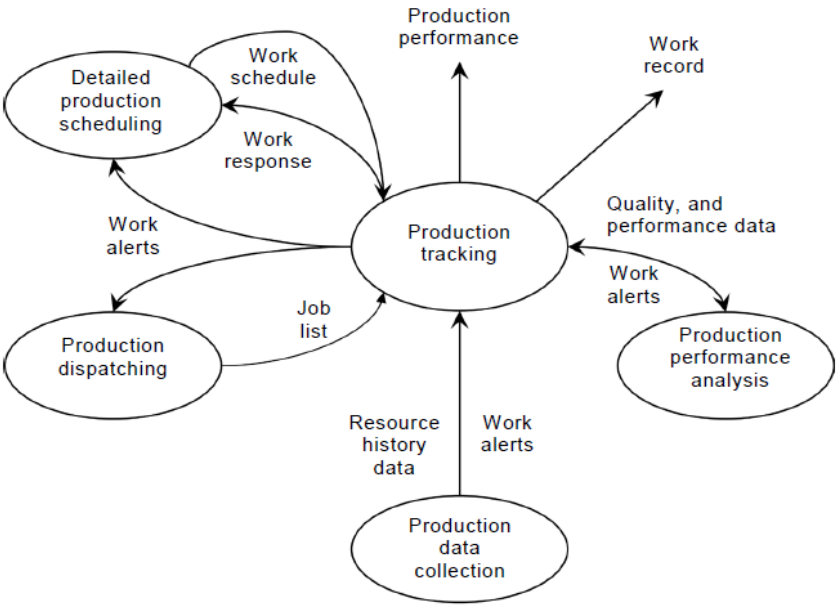


Kuva 15. *Aktiviteettimallin datan keräyksen rajapinnat [31]*

Kerätty data voi olla esimerkiksi dataa mittalaitteista, työvälineistä, tapahtumista, työntekijöiden syötteistä, transaktioista, työntekijöiden toiminnoista, viesteistä tai laskentamalleista. Data sidotaan aikaan tai tapahtumaan, jotta se on yhdistettävissä oikeaan kontekstiin, kuten työtilaukseen tai tiettyyn erään.

Tuotannon seuranta

Tuotannon seuranta antaa tietoa toteutuneesta tuotannosta tarkalle aikataulutukselle, työtilausten vapautukselle ja tuotannon suorituskyvyn analyysille. Tietoa hyödynnetään esimerkiksi tuotannon seuraamiseen, jäljittämiseen ja analysoimiseen. Tuotannon seurannan rajapintoja havainnollistaa kuva 16.

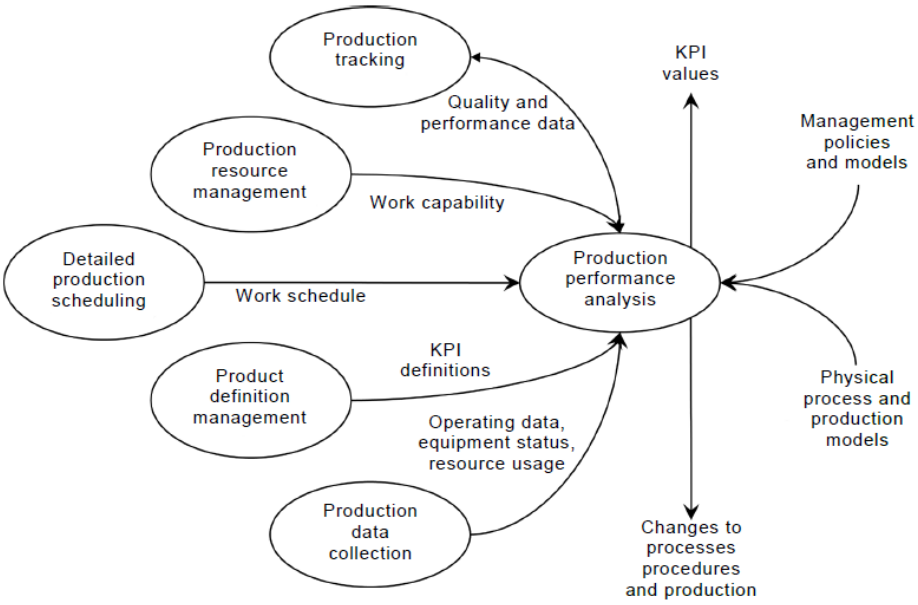


Kuva 16. *Aktiviteettimallin tuotannon seurannan rajapinnat [31]*

Tuotannon seuranta kirjaa ylös esimerkiksi materiaalien liikkeet ja tuotantoerien sijainnit ja kappalemäärät. Se vastaanottaa datan keräykseltä ja tuotannon suorituskyvyn analyysilta tietoa liittyen esimerkiksi käytettyihin materiaaleihin tai prosessin aikana vallinneisiin olosuhteisiin. Tuotannon seuranta muuttaa prosessitapahtumat osaksi tuotetietoja. Tuotannon seuranta voi luoda tuotantorekisterin laadunhallintaa tai tuotantoa koskevia säännöksiä varten. Tuotannon seuranta antaa tietoa myös toteutuneesta aikataulusta 4. tasolle ERP:lle sekä aktiviteettimallin tarkalle aikataulutukselle, jotta aikataulutusta voidaan mukauttaa nykytilan mukaan.

Tuotannon suorituskyvyn analyysi

Tämä osa analysoi tuotannon suorituskykyä ja antaa siitä tietoa tuotannon seurannalle. Tuotannon suorituskyvyn analyysi tuottaa raportteja esimerkiksi suorituskyvystä ja kustannuksista. Kuva 17 havainnollistaa tuotannon suorituskyvyn analyysin rajapintoja.



Kuva 17. *Aktiviteettimallin tuotannon suorituskyvyn analyysin rajapinnat [31]*

Tuotannon suorituskyvyn analyysi voi arvioida laatu- ja kapasiteettirajoituksia. Se voi tehdä suorituskykytestejä kapasiteetin määrittämiseksi. Tuotannon suorituskyvyn analyysi vertaillee tuotantolinjoja ja tuotantoajoja. Tarkoituksena on esimerkiksi määrittää tuotantolinjan keskiarvoinen tuotantoajo. Parhaat tuotantoajot tunnistetaan ja niiden piirteitä analysoidaan, jotta tuotantoa päästään kehittämään kohti keskimäärin parempia tuotantoajoja. Tuotantoajojen tuloksia voidaan ennustaa nykyisen ja aikaisemman suorituskyvyn perusteella. Voidaan luoda tuotannon suorituskykyä kuvaavia indikaattoreita. Tässä osioissa luodaan tuotantodatan riippuvuudet, jolloin tuotantodata yhdistetään esimerkiksi aikaan, olosuhteisiin ja työkaluihin. Tuotannon suorituskyvyn analyysin pohjalta on mahdollista muodostaa myös yrityksen avainlukuja, simuloida erilaisia tuotantotilanteita ja parantaa tuotteen jäljitettävyyttä.

4. KONECRANESIN HÄMEENLINNAN VAIHDE-TEHTAAN NYKYTILA

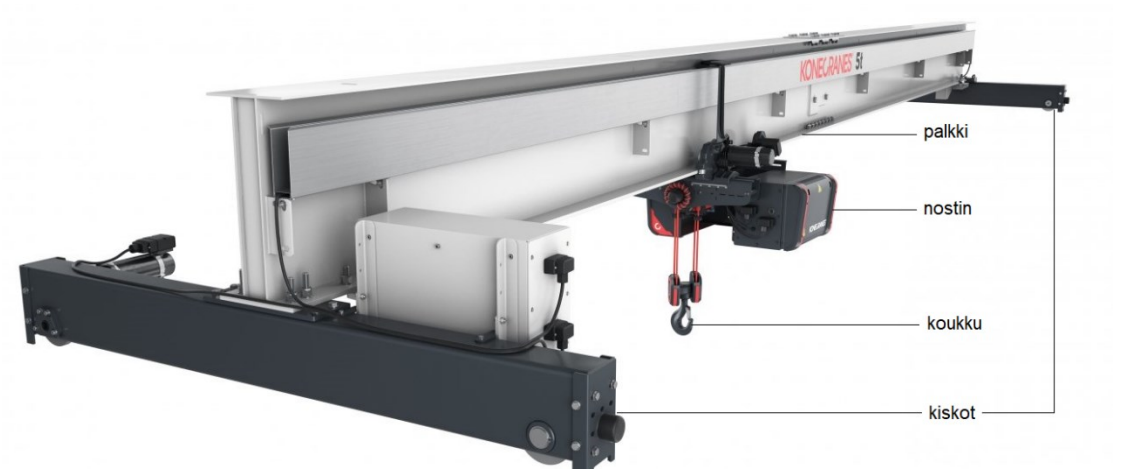
4.1 Tuotanto ja tuotteet

4.1.1 Tuotteet

Kuvaus tuotteista perustuu tehdasvierailuihin Konecranesin Hämeenlinnan vaihdetehtaalla välillä marraskuu 2019 – toukokuu 2020. Vaihdetehtaalla valmistetaan satoja vaihteita viikossa. Vaihteet voidaan jakaa seuraaviin kahteen pääryhmään käyttötavan mukaan:

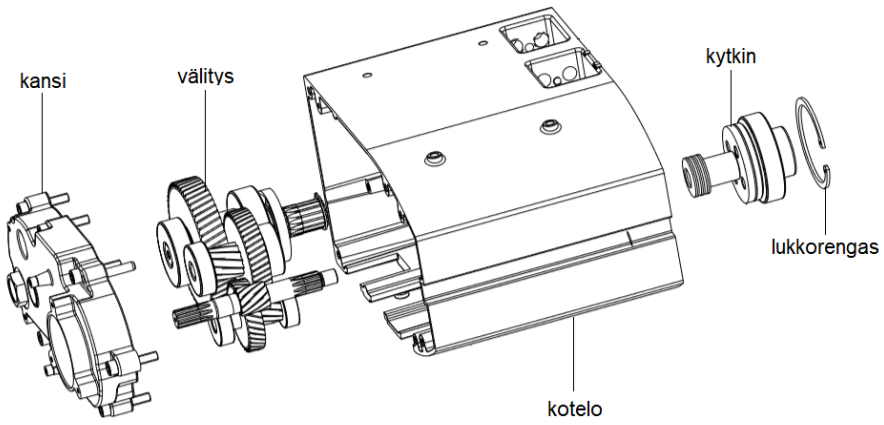
1. siirtovaihteet
2. nostovaihteet

Siirtovaihteet liikuttavat nosturin nostinta palkilla sekä palkkia kiskoilla. Nostovaihteet nostavat ja laskevat nosturin nostimen koukkua tai muuta tarttujaa korkeussuunnassa. Tätä havainnollistaa kuva 18 nosturista.



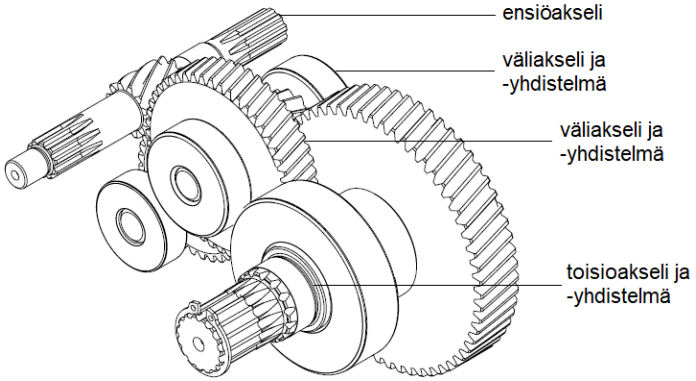
Kuva 18. *Nosturi ja sen tärkeimmät osat. Siirtovaihde liikuttaa nostinta palkilla ja palkkia kiskoilla. Nostovaihde liikuttaa koukkua. [37]*

Vaihdetuotannosta nostovaihteita on 51% ja siirtovaihteita 49%. Siirtovaiheista 63%:iin asennetaan moottori, jolloin lopputuotetta kutsutaan siirtokoneistoksi. Kuvassa 19 on erään vaihteen räjäytyskuva.



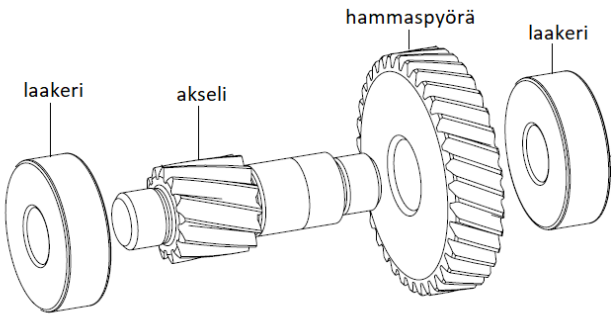
Kuva 19. *Vaihteen räjäytyskuva [38]*

Tämän tutkimuksen kannalta tärkein osa on välitys. Kuvassa 20 on kuvan 19 vaihteen välitys, johon kuuluu kolme yhdistelmää ja yksi yksittäinen akseli, ensiöakseli.



Kuva 20. *Välitys, jossa on kolme yhdistelmää ja ensiöakseli. [38]*

Välitykseksi kutsutaan vaihteen voimansiirron määrittävää mekaanista rakennetta. Moottoriin kiinni tulevaa akselia kutsutaan ensiöakseliksi ja momentin vaihteesta ulos välittävää akselia toisioakseliksi. Muita akseleita kutsutaan väliakseleiksi. Jokaisen vaihteen välitykseen kuuluu ensiöakseli ja 1-3 kpl toisio- ja väliakselien ympärille koottavia yhdistelmiä. Kuvassa 21 on ylemmän väliyhdistelmän räjäytyskuva.

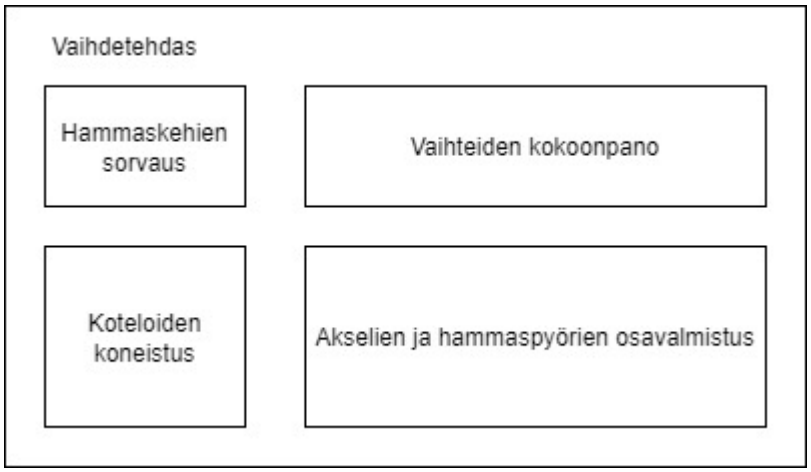


Kuva 21. *Väliyhdistelmän räjäytyskuva [38]*

Yhdistelmän akseli ja hammaspyörä valmistetaan vaihdetehtaan osavalmistuksessa ja laakerit ostetaan toimittajalta. Joihinkin yhdistelmiin kuuluu muitakin ostettavia osia. Jos yhdistelmän akselissa ei ole hammaspyörää paikallaan pitävää uloketta, akselin ympärille lisätään lukkorengas. Lukkorengas on asennettuna kuvan 20 toisioakseliin. Vaihdekotelosta ulos tuleviin akseleihin lisätään tiivisterengas. Joihinkin yhdistelmiin kuuluu liimattava holkki.

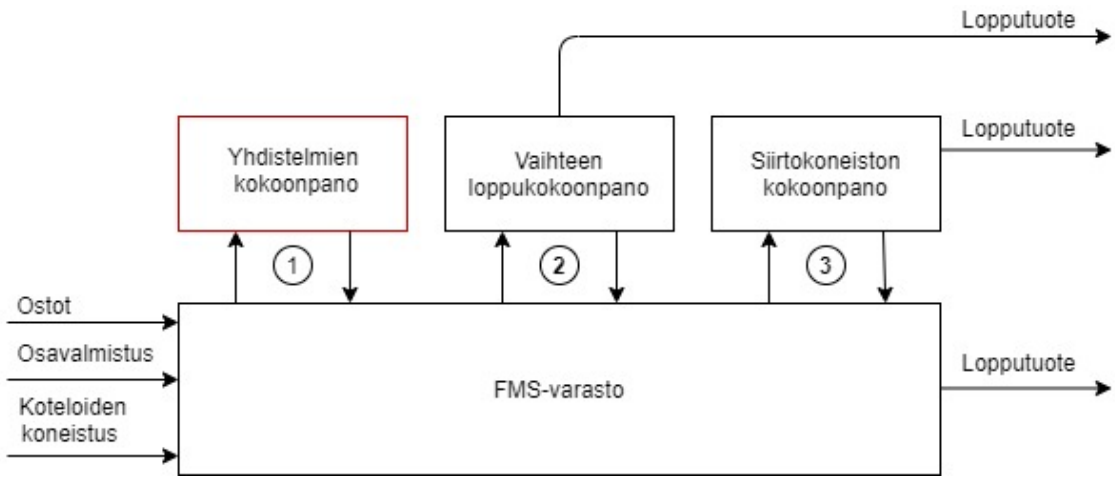
4.1.2 Tuotanto

Tuotannon nykytilan kuvaus pohjautuu samoihin tehdasvierailuihin kuin tuotteen kuvaus. Vaihdetehtaan toiminnot voidaan jakaa neljään osaan, jotka esitellään kuvassa 22.



Kuva 22. *Vaihdetehtaan toiminnot*

Kuva 22 mukailee vaihdetehtaan toimintojen sijaintia ja laajuutta tehtaan pohjapiirustuksessa. Eniten tilaa vie osavalmistus, joka hyödyntää työstökoneita sisältäviä robottisoluja ja karkaisee osat uunissa. Toiseksi eniten tilaa vie vaihteiden kokoonpano. Kotelot koneistetaan vaihteiden kokoonpanoa varten ja hammaskehiä sorvataan muiden tehtaiden tarpeisiin. Tämä tutkimus keskittyy vaihteiden kokoonpanoon, jota havainnollistaa kuva 23. Kuvassa 23 nuolet merkitsevät materiaalivirtoja ja laatikot työvaiheita sekä varastoa.



Kuva 23. *Hämeenlinnan vaihdetehtaan vaihteiden kokoonpanoprosessi*

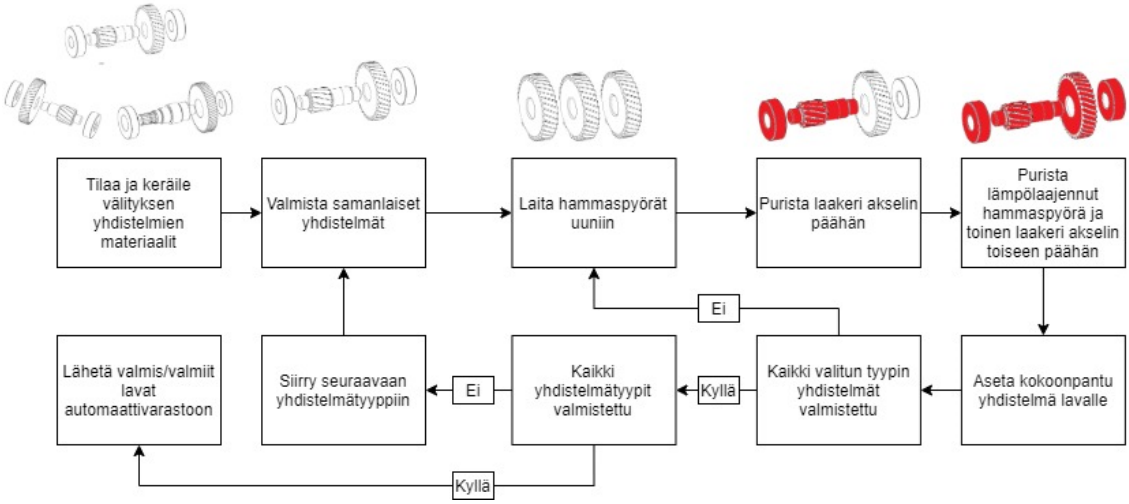
Kuvan 23 kokoonpanoprosessi sisältää työvaiheet:

1. yhdistelmien kokoonpano
2. vaihteen loppukokoonpano
3. siirtokoneiston kokoonpano

Prosessi alkaa ostojen, osavalmistuksen ja koneistuksen syöttäessä materiaaleja sisään FMS-varastoon. Vaihdetehtaan FMS esitellään kappaleessa 4.2.1. Tämä tutkimus keskittyy erityisesti yhdistelmien kokoonpanoon (vaihe 1). Yhdistelmien kokoonpanolla tarkoitetaan alikokoonpanoa, jossa tuotteen akselit, hammasrattaat ja laakerit yhdistetään. Yhdistelmiä kootaan kahdella tekniikalla:

1. puristamalla
2. kutistusliitoksella.

Kutistusliitoksessa hammaspyörää ja joissain tapauksissa myös laakeria lämmitetään ennen liitoksen tekemistä. Kappale lämmitetään tavallisessa uunissa tai induktiouunissa. Isoimmat hammaspyörät lämmitetään aina induktiolla, koska niiden lämmitys tavallisella uunilla on liian hidasta. Lämpölaajenneet hammaspyörä ja laakeri pudotetaan akselin päälle, jolloin kokonaisuuden jäähtyessä muodostuu kutistusliitos. Joihinkin yhdistelmiin asennetaan lukkorengas ja liimataan liukurengas. Yhdistelmien kokoonpanon vaiheet havainnollistetaan kuvassa 24.



Kuva 24. *Yhdistelmien kokoonpanon vaiheet*

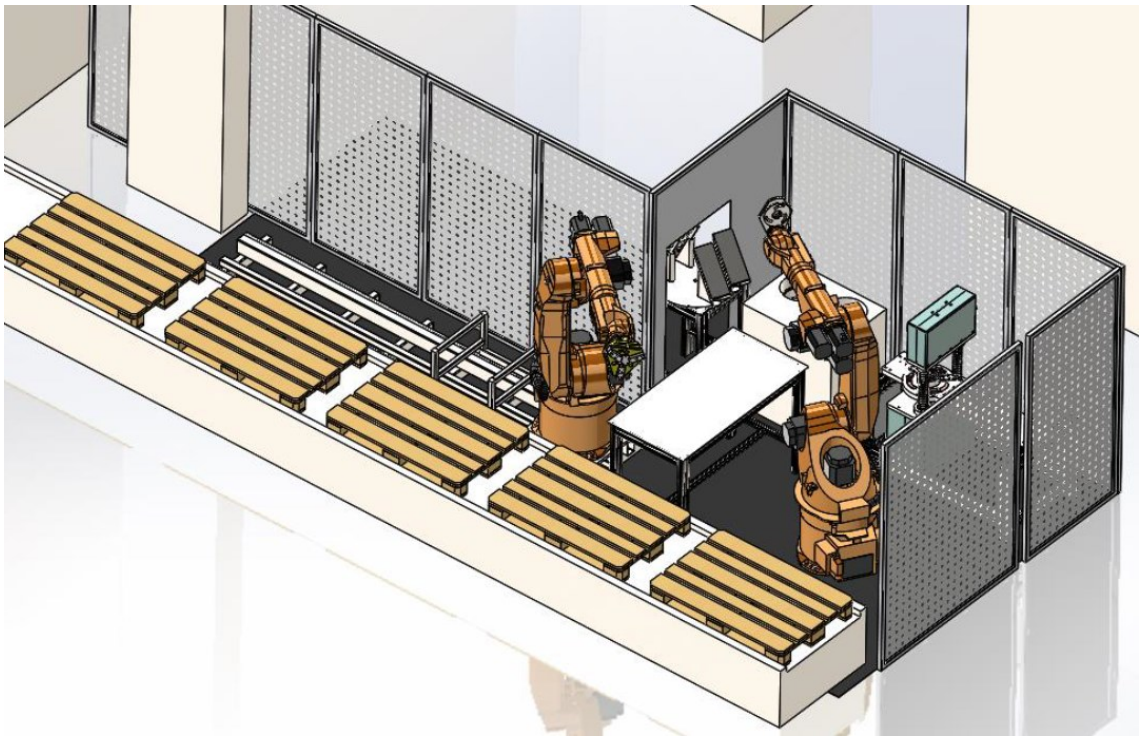
Yhdistelmien kokoonpanon kuva 24 on yksinkertaistettu ja siinä käsitellään vain osia, jotka kuuluvat kaikkiin yhdistelmiin. Yhdistelmätyypeillä voi olla nimikkeelle ominaisia valmistussääntöjä, kuten epäsymmetrisen hammaspyörän asennus tietyin päin.

Kuvan 23 vaiheessa 2 yhdistelmät asetetaan koteloihin. Samalla vaihteeseen asennetaan loput materiaalit ja vaihteen mekaanista toimintaa testataan. Siirtovaihde voi edetä vielä vaiheeseen 3, jolloin siihen asennetaan moottori. Lopputuotteet voidaan varastoida FMS-varastoon tai antaa tehtaan sisäiselle logistiikalle eteenpäin vietäväksi suoraan työpisteeltä valmistumisen jälkeen.

4.1.3 Robottisolu

Hämeenlinnan vaihdetehdas hankkii robottisolun yhdistelmien kokoonpanoon. Robottisolu toimitetaan syksyllä 2020. Tässä esitettävä solun kuvaus perustuu hankinnasta vastaavan tuotantoinsinöörin strukturoimattomiin haastatteluihin ja robottisolun toimittajan dokumentaatioon. Hankintaprojekti etenee tämän työn kanssa rinnakkain, mutta kestää pidempään, joten solun kuvaus diplomityössä on epätäydellinen.

Robottisolun hankinnasta huolimatta manuaalinen kokoonpano jatkuu pienemmässä mittakaavassa tavallista uunia käyttäen. Induktiouuni siirtyy pelkästään robottisolun käyttöön. Tarkoitus on kasvattaa tuotantokapasiteettia ja välttää kyseisen kokoonpanopisteen muodostumista pullonkaulaksi, kun kysyntä kasvaa ennakoidusti. Alla oleva kuva 25 on toimittajan luonnos robottisolusta.



Kuva 25. *Toimittajan luonnos robottisolusta*

Robottisolussa kiskoilla liikkuva robotti keräilee FMS:in toimittamat materiaalit paleteilta työpöydälle. Paikallaan pysyvä robotti lämmittää hammaspyörät induktiouunissa ja puristaa osat yhdistelmäksi. Tämän jälkeen se asettaa yhdistelmät rullaradan päädyssä olevalle paletille, johon kaikki valmistuneet yhdistelmät kerätään. Yhdistelmien uusi kokoonpanoprosessi robottisolussa kuvataan kappaleessa 6.1.2.

Nykyinen induktiouuni asennetaan robottisoluun, jotta robotti voi lämpölaajentaa suurimpia hammaspyöriä. Työntekijöiden työergonomia paranee, kun painavimpia hammaspyöriä ei tarvitse käsitellä käsin. Yhdistelmien laakerit toimitetaan vaihdetehtaalle muovipaketeissa, joita robotit eivät pysty käsittelemään ja avaamaan. Vaikeasti avattavat laakeripaketit avataan siksi käsin ja laakerit syötetään robottisolun aidassa olevaan laakerimakasiiniin.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan robottisolua käytetään FMS-varaston ohjauspaneelista samalla MMS-ohjelmistolla, joka ohjaa varastoa. MMS:lle syötetään tieto välityksestä, jonka yhdistelmät robottisolu valmistaa. MMS toimittaa tarvittavat osat paleteilla FMS:sta robotille, robotti kokoaa yhdistelmän, asettaa osat tyhjälle paletille ja MMS ohjaa paletin FMS:iin valmistuneen välityksen yhdistelmien yhteisnimikkeellä. Diplomityön edetessä tämä suunnitelma muuttui, viimeisin suunnitelma kuvataan kappaleessa 6.1.1.

4.2 Tietojärjestelmät ja tuoterakenteet

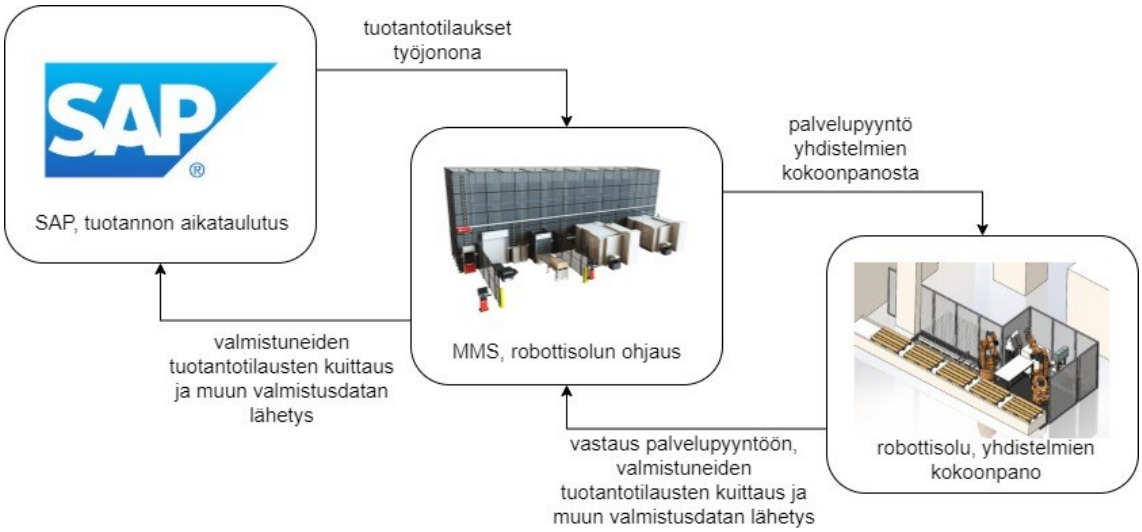
4.2.1 Tietojärjestelmät

Työn tekijä kartoitti nykyiset tietojärjestelmät aiemmin mainituilla tehdasvierailuilla sekä tapaamalla vaihdetehtaan työntekijöitä, vaihdetehtaan tuotannonsuunnittelijoita sekä Konecranesin globaalia tuotannonkehitystiimiä tammikuussa 2020.

Konecranesin ERP on SAP ERP, josta käytetään työssä yleisesti tunnettua lyhennettä **SAP**. SAP:in globaali käyttöönotto aloitettiin Konecranesilla vuonna 2011 ja projekti on edelleen käynnissä [39]. SAP korvaa entisen toiminnonohjausjärjestelmän, joka oli hajautetumpi ja tehdaskohtaisempi. SAP yhtenäistää toimitusprosesseja globaalisti ja yhdistää maailmanlaajuisesti Konecranesin tehtaiden ERP:it. Sitä käytettäessä järjestelmä on globaalisti sama mutta käyttäjän oikeudet riippuvat roolista sekä toimipisteestä. Hämeenlinnan vaihdetehdas otti SAP:in käyttöön vuonna 2014 [39]. Vaihdetehdas vaihtaa SAP:in varastonhallinnan mallia vuonna 2020. Uudessa varastonhallinnan mallissa on varaston sisäiset hyllypaikat. Siksi tuotteen sijainti varastossa pystytään määrittämään tarkemmin kuin vanhassa mallissa, joka tuntee pelkät varastot. Tämä saattaa vaatia muutoksia SAP:in integraatiossa muihin järjestelmiin sekä vaikuttaa tässä työssä luotavaan konseptiin. Konecranesin sisäinen SAP-tiimi harkitsee myös SAP Digital Manufacturing Cloud -laajennuksen (DMC) hankintaa. Se laajentaisi SAP:in toimintoja MES:in kaltaisiksi.

Konecranesilla on käytössä Siemens PLM Softwaren tuotteiden elinkaaren ja tuotetiedon hallintajärjestelmä **Teamcenter**. Konecranesin ohjeistuksen [40] mukaan Teamcenter auttaa valmistamaan monimutkaisia tuotekokonaisuuksia. Sillä hallinnoidaan ja jaetaan tuotesuunnitelmia, dokumentteja, tuoterakenteita ja muuta dataa. Hämeenlinnan vaihdetehtaan kokoonpanon kannalta Teamcenter hallinnoi osien ja lopputuotteen suunnittelua. Järjestelmästä voidaan esimerkiksi tarkkailla useimpien osien ja joidenkin lopputuotteiden 3D-suunnittelumalleja.

Joustava valmistusjärjestelmä eli **FMS** toimii Konecranesin vaihdetehtaalla automaattivarastona. Sinne varastoidaan materiaaleja, alikokoonpanoja sekä valmiita tuotteita. Nykytilassa FMS:n ohjelmisto, MMS, ohjaa FMS:ia ja ylläpitää tietoja sen tilasta ja sisällöstä. Kun robottisolu toimitetaan vaihdetehtaalle syksyllä 2020, alkuperäisenä suunnitelmana on ohjata sitä MMS:llä. Tätä havainnollistaa kuva 26.



Kuva 26. *Robottisolun ohjaus MMS:lla*

Jos robottisolun työjonoa halutaan optimoida MMS:ssa, MMS:a on laajennettava [22]. Laajennus vastaa osittain klassista MES-järjestelmää mutta ei kata esimerkiksi työntekijöiden resurssitietoja ja kalenteria, kertoo Fastemsin Manufacturing Management Systemin (MMS) esittely 13.11.2019 [41].

4.2.2 Tuoterakenteet

SAP, MMS ja Teamcenter pitävät yllä toisistaan poikkeavia tuoterakenteita. Tietojärjestelmien tuoterakenteita havainnollistetaan taulukossa 1.

Taulukko 1. *Tuoterakenteet tietojärjestelmissä*

	Lopputuote	Lopputuotteen materiaalit	Välitys	Yhdistelmät
Teamcenter	x	x	/	/
SAP	x	x	/	/
MMS	x		x	x

x = kaikilla nimikkeillä */ = osalla nimikkeistä*

Teamcenterin tuoterakenteet rajoittuvat pääosin lopputuotteeseen, lukuun ottamatta tiettyjä ketjuvaihteita. Näillä ketjuvaihteilla on kattava tuoterakenne, johon kuuluvat välitykset ja yhdistelmät omina tasoinaan puurakenteessa. Sen sijaan esimerkiksi eniten valmistetulle vaihteelle löytyy nimikehaulla vain lopputuote. Lopputuotteen materiaalit ovat omilla nimikkeillä tallessa Teamcenterissä mutta niitä ei ole yhdistetty lopputuotteen rakenteeseen. Teamcenter säilöö koko Konecranesin laajuisesti nimikkeiden tuoterakenteet ja se on integroitu tuomaan nimikekohtaiset tuoterakenteet SAP:iin.

SAP:issa tuoterakennetta voi vielä rikastaa sisältämään enemmän tehdaskohtaista valmistusta vastaavia tuoterakennetasoja. Esimerkiksi tehtaan oma alikokoonpano voidaan määrittää omaksi tuoterakennetasoksi. SAP sisältää kaikki mainitut tuoterakenteet osalle ketjuvaihteista, kuten Teamcenterkin. Ketjuvaihteen välitys on SAP:issa haamurakenne, joka ryhmittelee lopputuotteeseen kuuluvia osakokonaisuuksia [42]. Muiden vaihteiden välitykset ja niiden yhdistelmät eivät ole tuoterakennetasona SAP:issa, jolloin yhdistelmän materiaalit näkyvät vain lopputuotteen materiaalilistalla. SAP vanhaa tuoterakennetta havainnollistetaan uuden tuoterakenteen rinnalla kappaleessa 6.2.2 kuvassa 32.

MMS ylläpitää varastosaldoa lopputuotteista, yhdistelmistä sekä yhdistelmien materiaaleista. Se kutsuu yhdistelmien materiaaleja ”valmistusrakenteeksi”, jonka avulla yhdistelmän materiaalit on mahdollista tilata kerralla yhdistelmän kokoonpanoa varten. Valmistusrakenteen nimikkeen perässä näkyy merkintä ”-I”. Kun valmistusrakenteen materiaalit on koottu yhdistelmäksi, yhdistelmä tallennettaan valmistusrakennetta vastaavalla nimikkeellä mutta merkinnällä ”-Y”. Valmiin yhdistelmän ja lopputuotteen yhteydessä ei ole enää tietoa sen sisältämistä materiaaleista. MMS varastosaldot ja tuoterakenteet eivät ole automaattisesti yhteyksissä SAP:iin tai Teamcenteriin, vaan kaikki muutokset täytyy tehdä FMS-käyttöliittymän kautta.

4.3 Kokoonpanon tuotannonohjaus

4.3.1 Tuotannonohjauksen yleinen prosessi

Tuotannonohjauksen yleisen prosessin nykytilan kuvaus perustuu tapaamisiin 7.1.2020 ja 21.1.2020 tuotannonohjaajien kanssa. Työn tekijä laati ensimmäisen tapaamisen perusteella prosessikaavion luonnoksen, jota täsmennettiin toisessa tapaamisessa. Liite A esittää tuotannonohjauksen prosessin.

Tuotannonohjauksen nykytilan kartoitus alkaa tuotantotilausten lähteiden kartoituksesta, sillä tuotantotilauksen lähde vaikuttaa prosessiin. Tuotantotilauksia tulee kolmea väylää pitkin: asiakas-, safety stock - ja kanban-tilauksina. Asiakas- ja safety stock -tilaukset näkyvät SAP:issa suunniteltuina tuotantotilauksina. Kanban-tilaukset ohittavat suunnitellun tuotantotilauksen vaiheen ja siirtyvät suoraan tuotannon työjonoon. Kanban-tilaus muodostuu, kun työntekijä kuittaa vaihdetehtaan vaihteita sisältäneen kanban-laatikon tyhjäksi SAP:issa jollakin Konecranesin Hämeenlinnan kolmesta tehtaasta. Suuria kanban-tilauksia myös ennakoidaan seuraamalla muiden tehtaiden varastosaldoja.

Suunnitellut tuotantotilaukset vapautetaan tuotantotilauksiksi joko automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattiajo tapahtuu joka yö ja se vapauttaa ne tilaukset, joiden aloituspäivämäärä on viikon sisällä ja joille resurssit riittävät. Jos resurssit eivät riitä, myöhäisimmän aloituspäivämäärän suunnitellut tuotantotilaukset jäävät odottamaan.

Manuaalinen tuotantotilaus tehdään, jos suunniteltu tuotantotilaus ei etene ollenkaan tai tarpeeksi nopeasti automaattisesti tuotantotilaukseksi. Tuotannonohjaaja käy läpi suunniteltujen tuotantotilausten listan säännöllisesti joka maanantai ja huomioi tilaukset, joiden aloituspäivämäärä on nykyhetkestä seuraavan viikon sunnuntaihin. Lisäksi tuotannonsuunnittelija voi tehdä kiireisiä manuaalisia tuotantotilauksia keskellä viikkoa. Yleisimmät tapaukset, joissa tuotannonsuunnittelija vapauttaa manuaalisesti suunnitellut tuotantotilaukset varsinaisiksi tuotantotilauksiksi:

1. materiaalipuute SAP:issa estää automaattisen vapautuksen
2. kapasiteettipuute SAP:issa estää automaattisen vapautuksen
3. automaattiajoa aikaisempi tarve.

Kohdassa 1. automaattisen vapautuksen estävä puute johtuu pienistä varastoista, joita täydennetään jatkuvasti isommista, SAPille näkymättömistä varastoista. Esimerkiksi moottorivarastoa täydennetään jatkuvasti lähellä olevasta isommasta varastosta, mitä SAP ei osaa ennakoida. Siksi SAP antaa vapauttaa tuotantoon vain sen määrän moottorillisia koneita, mihin sen hetkiset moottorivarastot riittävät. Kohdassa 2. automaattisen vapautuksen estävä puute johtuu väärin määritellyistä kapasiteetin SAP:in parametreista ja on mahdollisesti korjattavissa yksinkertaisesti muuttamalla parametrit nykytilannetta vastaaviksi. Esimerkiksi kokoonpanon yhden työpisteen työntekijöiden kapasiteetti on tällä hetkellä määritelty todellisuutta pienemmäksi. Kohdan 3 manuaalinen vapautus tehdään, kun odotettu erikoisosa saapuu kesken päivän ja sitä tarvitseva kokonaisuus aloitetaan tuotannossa välittömästi.

Suunnitelluista tuotantotilauksista automaattisesti tai manuaalisesti vapautetut tuotantotilaukset menevät suoraan tuotannon työjonoon tai erilliselle vapautuslistalle, josta ne täytyy vapauttaa tuotantoon vielä manuaalisesti. SAP:in tiedot määrittelevät osan materiaaleista ohjautumaan vapautuslistalle ennen tuotantoon menoa. Tämä valinta tehdään sellaisille tilauksille, joiden lisäominaisuudet vaativat vielä suunnittelua ja valmistuksen onnistuminen täytyy varmistaa. Tällainen tilanne tulee vastaan esimerkiksi silloin, kun suunnittelijoiden täytyy varmistaa, kestääkö tilatun erikoisvaihteen rakenne asiakkaan määrittämän kuormituksen. Tuotannonsuunnittelija tarkkailee vapautuslistalle tulleita tuotantotilauksia, selvittää tilauksen varmistamiseen tarvittavat tiedot ja lopulta vapauttaa tuotantotilauksen työjonoon tai hylkää tilauksen.

Tuotantotilaukset listautuvat aloituspäivämäärän mukaisesti työpistekohtaisiin työjonoihin. Työjonoja tarkkaillaan työpisteillä mutta töitä ei välttämättä tehdä työjonon antamassa järjestyksessä, koska

1. kanban-tilaukset ilmestyvät listalle satunnaisina hetkinä eivätkä niiden aloituspäivämäärät vastaa todellista tarvetta
2. kiireisiä tilauksia priorisoidaan
3. tilauksia tuotetaan samanaikaisesti
4. eri tilauksiin kuuluvia samoja tuotteita tuotetaan samanaikaisesti
5. työntekijät kommunikoivat keskenään kokoonpanolinjan muiden työpisteiden kiireisimmistä tarpeista.

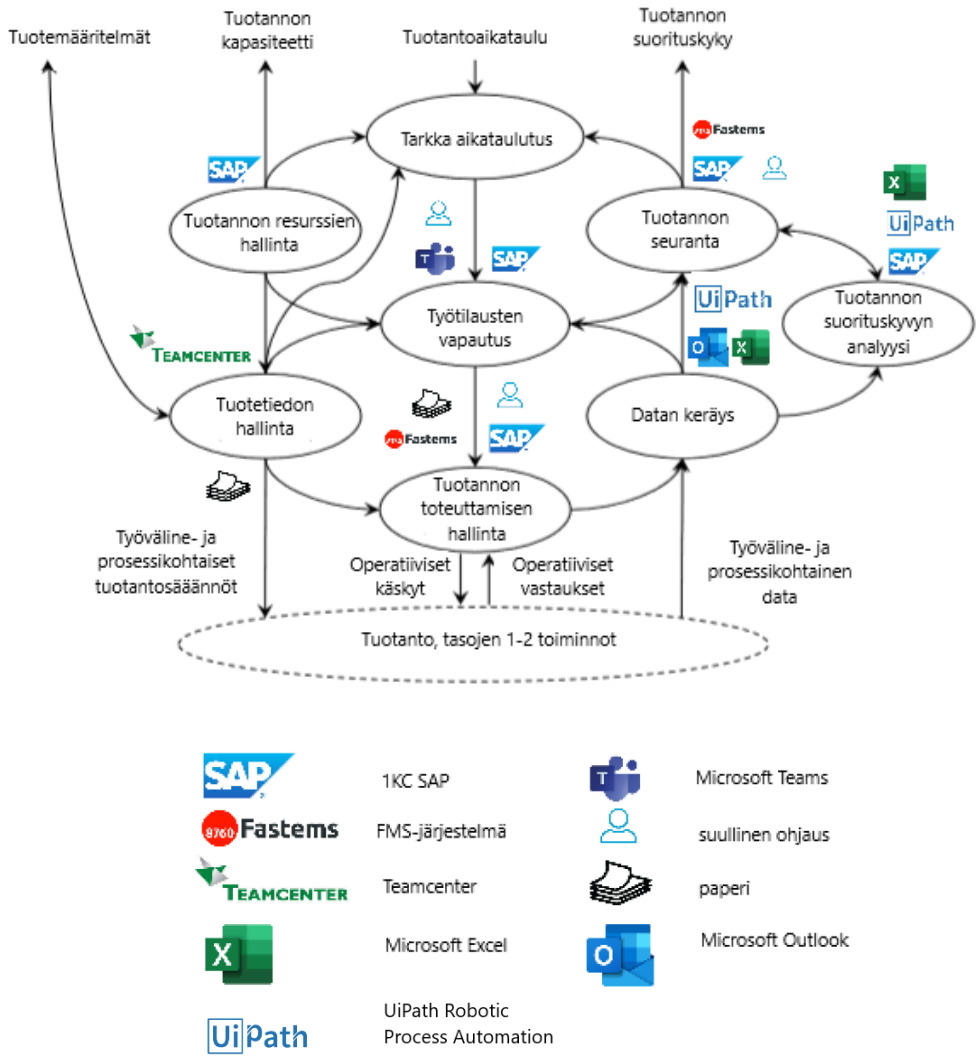
Ensimmäinen ongelma muodostuu, kun kanban-tilaukset tulevat suoraan työjonoon eli niistä ei tehdä välissä suunniteltuja tilauksia. Kanban-tilausten aloituspäivämääräksi kirjautuu tuotantotilauksen luontipäivämäärä eli se päivä, jolloin kanban-laatikko on tyhjentynyt. Tuotannonsuunnittelijan ja työntekijän työn suunnittelu vaikeutuisi, jos satunnaisilla hetkillä kirjautuvat, todellisuudessa kiireettömät tuotantotilaukset pitäisi tuottaa nopeasti. Tämän takia tuotannonsuunnittelija tarkkailee Hämeenlinnan tehtaiden kanban-varastojen tilannetta, ennakoi tulevia kanban-tilauksia, ajoittaa ennakoidut kanban-tilaukset ja ohjeistaa työntekijöille sopivat ajat kanban-tilausten tekoon. Työlistalla kanban-tilaukset jätetään huomiotta.

SAP:issa VIP-tilauksiksi merkittyjä tilauksia priorisoidaan tai tuotannonohjaaja määrää priorisoimaan tilauksen saamansa pyynnön vuoksi (kohta 2). Tuotannonsuunnittelija tai työntekijä yhdistää tuotantotilauksia, joita on helppo tehdä työpisteellä samanaikaisesti (kohdat 3 ja 4). Linjalla on helppo keskustella siitä, millaisia tarpeita seuraavalla kokoonpanovaiheella on tulossa. Näin toimivat etenkin siirtovaihteiden ja moottorillisten siirtovaihteiden eli siirtokoneistojen kokoonpanopisteet. Työntekijä kuittaa lopputuotteet SAP:issa valmiiksi, kun tuotteet poistuvat kokoonpanolinjalta, yleensä valmiina eränä (kohta 5).

Ohjaus SAP työjonolla ei koske yhdistelmien kokoonpanopistettä. Yhdistelmien kokoonpanopisteen työntekijä tarkistaa FMS:sta yhdistelmien saldot ja tekee niitä yhdistelmiä, jotka hän kokee varastotilanteen mukaan tarpeelliseksi. Tuotannonohjaaja ohjeistaa toisinaan yhdistelmien kokoonpanopisteen töitä ennakoimaan tulevien tilausten tarpeita. Lisäksi kokoonpanon työntekijät keskustelevat keskenään seuraavaksi vuorossa olevista töistä, ja yhdistelmien tekoa voi näin mukauttaa kokoonpanolinjan tarpeisiin. Yhdistelmien kokoonpanon tuotannonohjaus on tällä hetkellä melko irrallaan kokoonpanon tuotannonohjauksesta ja tehtaan tietojärjestelmistä.

4.3.2 Työkalut aktiviteettimallissa

Vaihteiden kokoonpanon tuotannonohjauksen työkaluja on havainnollistettu ISA-95 aktiviteettimallin avulla kuvassa 27. Ajatus työkalujen esittelyyn aktiviteettimallissa on saatu Raikkosen diplomityöstä [32].



Kuva 27. *Tuotannonohjauksen työkalut suomennetussa aktiviteettimallissa [31]*

Tuotantoaikataulu tarkkaan aikataulutukseen tulee neljännen tason toiminnoilta SAP:ista. Kokoonpanon tuotannonohjauksen tarkan aikataulutuksen tekee tuotannonohjaaja ilman järjestelmätukea. Tuotannonsuunnittelija vapauttaa työtilauksia suunnittelemansa aikataulun ja suullisten tai Microsoft Teamsin välityksellä annettujen pyyntöjen mukaisesti. Tuotannon toteuttamista hallitaan työpisteillä näkyvillä SAP:in työjonoilla sekä suullisilla- ja kirjallisilla ohjeilla. Työntekijä ja tuotannonsuunnittelija ohjaavat yhdistelmien valmistamista MMS:n varastotiedon perusteella. MMS toimii myös tasoilla 1-2 vastaanottamalla operatiivisia käskyjä ja lähettämällä vastauksia tuotannon toiminnoista.

Tuotetiedon hallinta välitetään tuotannolle Teamcenterista. Työväline- ja prosessikohtaiset tuotantosäännöt annetaan tuotantoon kirjallisina. Tuotannon resursseja hallitaan SAP:in datan mukaisesti. Tuotannonohjaaja hoitaa resurssien hallintaa myös oman tietonsa ja kokemuksensa mukaisesti silloin, kun SAP:in data ei vastaa todellisuutta. Dataa kerätään SAP:ista Microsoft Exceliin UiPathin avulla ja lähetetään tiedoksi sähköpostitse Microsoft Outlookilla. UiPathilla automatisoidaan ohjelmistoprosesseja, kuten datan keräämistä, raporttien laadintaa ja sähköpostien lähettämistä. Tuotannon suorituskykyä analysoidaan SAP:in datalla. Microsoft Excel -raportteja luodaan UiPathin avulla SAP:in datasta. Tuotantoa seurataan SAP:ista, FMS-käyttöliittymästä sekä suullisesti aamupalavereissa.

Tuotannonohjauksessa on samat haasteet, jotka Järvenpää *et al. [19]* löysivät monesta muustakin suomalaisesta kokoonpanoa tekevästä yrityksestä, ks. kappale 2.3.1.

5. MUUTOSVAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

5.1 Tavoitteena Industry 4.0 tehdas

Konecranes tahtoo kehittää tehtaitaan Industry 4.0 -suuntaan ja hyödyntää hyväksi todettuja uusia tekniikoita myös tuotteissaan. Tuotannonkehityksessä tehtaiden Industry 4.0:n tavoitteena nähdään pitkälle automatisoitu tehdas, jossa asiakkaan tilaukset kulkevat lähes automaattisesti järjestelmien kautta automaattisille tuotantolaitteille.

Tästä ollaan kuitenkin vielä kaukana. Automaattisia tuotantolaitteita ei ole integroitu tehtaan nykyisiin tietojärjestelmiin. Toimiakseen tilausten perusteella automaattisesti tuotantolaitteet tarvitsisivat ohjausta ja dataa ERP:n, PLM:n ja MES:in kaltaisilta tietojärjestelmiltä. Tuotantolaitteita ohjaavat tietojärjestelmät tarvitsevat puolestaan reaaliaikaista ja historiadataa tuotannosta. Datan avulla tietojärjestelmät voivat optimoida tuotantoa ja reagoida ennakoimattomiin tapahtumiin.

Tässä työssä valmistaudutaan testaamaan automatisoidumpaa tuotantoa uudella robottisolulla. Tämä työ selvittää, miten uusi robottisolu integroidaan tehtaan tietojärjestelmiin. ERP:n eli SAP:n ja robottisolun integraatio edellyttää väliin sijoittuvaa tuotannonohjausjärjestelmää eli MES:ia, jollaista vaihdetehtaalla ei ole käytössä. Tässä työssä kartoitetaan puuttuvalta MES-tasolta vaadittavia toimintoja.

5.2 Muutosvaatimusten tunnistus ryhmähaastattelujen avulla

5.2.1 Ennakkokäsitys muutostarpeista ennen haastatteluja ja haastateltavien ryhmien valinta

Ennen haastatteluja merkittävimpänä muutostarpeena pidettiin MES-tason järjestelmää ISA-95 aktiviteettimalli soveltuu MES-järjestelmän vaatimusmäärittelyyn, joten muutosvaatimukset määritellään ja ryhmitellään ISA-95 aktiviteettimallin osien mukaan.

Haastateltavien ryhmien valinta ja haastattelut pohjautuvat kappaleen 3.2 ajatukseen, jonka mukaan MES:in kehityksessä on tärkeää ottaa huomioon kaikki projektiin liittyvät henkilöt ja hylätä yleinen organisaatiossa ylhäältä alas kulkeva kehitysmalli. Etukäteen odotettiin, että eri ryhmien näkemykset poikkeavat toisistaan.

Vaatimukset kerättiin viidessä Konecranesin sisäisen ryhmän puolistrukturoidussa haastattelussa. Olennaisiksi ryhmiksi tunnistettiin:

1. tuotannon työntekijät
2. tuotannonsuunnittelijat
3. SAP-tiimi
4. tuotannonkehitys
5. tehtaan johto.

5.2.2 Haastattelumetodit

Haastattelun alussa haastattelija kertoi diplomityön aiheesta sekä tarvittaessa lyhyesti ISA-95 aktiviteettimallista haastattelujen pohjana. Tämän jälkeen haastattelija kertoi, että haastattelun tavoite on luoda luettelo vaatimuksista robottisolua tulevaisuudessa ohjaavalle tuotannonohjausjärjestelmälle.

Tuotannonkehityksen ja SAP-tiimin haastatteluissa vaatimuksia kartoitettiin esittelemällä kappaleessa 3.3.2 kuvatut aktiviteettimallin osat ja niiden tehtävät. Tarkoituksena oli löytää aktiviteettimallien osien tehtävälistojen joukosta tässä tapauksessa tarvittavat toiminnot. Haastattelujen aikana tuli kuitenkin ilmi, että vaatimukset löytyvät parhaiten keskustelemalla nykyisistä ongelmista, robottisoluprojektin avoimista kysymyksistä sekä ryhmän mielestä parhaista tavoista ohjata tuotantoa.

Muissa haastatteluissa siirryttiin haastattelutapaan, jossa esitellään edelleen diplomityön kohde ja kerrotaan tavoitteeksi vaatimuslistaus, mutta aktiviteettimallia ei tuoda juurikaan esille. Aktiviteettimalli toimii tällöin haastattelijan omana välineenä vaatimusten ryhmittelyssä. Haastattelija kysyy ryhmiltä nykyisiin ongelmiin ja robottisoluprojektiin liittyviä kysymyksiä selvittääkseen vaatimuksia.

Ryhmä priorisoi vaatimuksensa asteikolla 3-1, joista 3 on välttämätön toiminnalle, 2 merkittävä hyöty ja 1 pieni hyöty. Jokaisesta ryhmähaastattelusta syntyy dokumentaationa priorisoitu luettelo aktiviteettimallin mukaan ryhmitellyistä vaatimuksista. Haastattelut on dokumentoitu diplomityöhön toteutusjärjestyksessä. Haastatteluissa esille tulleet vaatimukset on dokumentoitu tämän työn liitteenä [Liite B]. Liitteessä vaatimukset on ryhmitelty aktiviteettimallin mukaan sekä kerrottu vaatimuksen esittänyt ryhmä ja prioriteetti.

5.2.3 Tuotannonkehityksen vastaukset

Tuotannonkehitystiimin haastattelu pidettiin 20.2.2020. Tärkeimmät esille nousseet asiat olivat:

1. SAP työjonon vienti robottisolulle.
2. Muidenkin, kuin FMS-keskeisen arkkitehtuurin harkitseminen.
3. Tuoterakenne ja sen hallinta SAP:issa.

Haastateltavien näkemys oli, että tarvittava uudenlainen järjestelmä toimii SAP työjonon ja robottisolun välissä. Oletuksena pidettiin sitä, että sisäisellä osaamisella saadaan korjattua SAP työjonot vastaamaan todellisia tarpeita. Tavoitetilassa tuotannonsuunnittelija vain vahvistaa SAP työjonon mukaisten tuotantotilausten viemisen tuotantoon.

Haastateltavat eivät välttämättä pitäytyisi kappaleessa 4.2.1 esitellyssä ratkaisussa, jossa robottisolua ohjataan FMS-käyttöliittymän kautta. Haastattelun aikana helmikuussa 2020 kyseisen ratkaisun suunnittelu oli aloitettu, mutta päätöstä MMS:n laajennuksen hankinnasta ei oltu vielä tehty. Robottisolun ohjauksen toteutukseen oli siten vielä mahdollista vaikuttaa. Haastateltavat näkivät mahdollisuuksia kehittää tuotannonohjausta olemassa olevissa järjestelmissä, etenkin SAP:issa ja Robotic Process Automationissa.

Erittäin ongelmalliseksi nostettiin SAP:in puutteellinen tuoterakenne. Jos tuotteita tahdotaan valmistaa tilausten perusteella ohjautuvasti, SAP:in täytyy tunnistaa välikokoonpanon rakenne ja kyetä hallitsemaan sen valmistusta ja varastointia. Kuittaus välikokoonpanon valmistumisesta on saatava SAP:iin. Tuotantotilauksen tarvitsemat tuotantoprosessit eli vaiheketju täytyy määritellä SAP:iin, jotta valmistus voidaan toteuttaa sen ohjaamana.

Mahdollisen MES-tason järjestelmän ja SAP:in tuotetiedon hallintaa käsiteltiin myös. Mietittiin, missä järjestelmässä rakenteellista osaluetteloa hallitaan. Tämän hetken MMS, jonka voisi laajentaa MES-tason järjestelmäksi, hallitsee rakenteellista osaluetteloa. Tällä hetkellä SAP ei tunne MMS:n rakenteellista osaluetteloa. Nykyistä ratkaisua pidettiin huonona ja tahdottiin suosia rakenteellisen osaluettelon ylläpitoa SAP:issa.

5.2.4 SAP-tiimin vastaukset

SAP-tiimin haastattelu pidettiin 25.2.2020 Hyvinkäällä. SAP-tiimi nosti vaatimuksiksi tuotannonkehityksen kanssa yhteistä aiheita:

1. Tuoterakenne ja sen hallinta SAP:issa.
2. SAP työjonon vienti robottisolulle.

Lisäksi SAP-tiimille tärkeinä asioina nousivat esille:

3. SAP työjono ei suoraan ohjaa automatisoituja järjestelmiä.
4. Ratkaisussa on selkeät ja useaan tuotantoympäristöön sopivat rajapinnat.
5. Uudelle järjestelmälle on oltava sisäistä osaamista ja tukea.
6. Päivitysten aiheuttamat järjestelmien integraatio-ongelmat huomioitava.

Ensimmäisen kohdan vaatimukseen liittyen SAP-tiimi toivoi, ettei samaa tuoterakennetta tarvitsisi ylläpitää SAP:in ulkopuolisissa järjestelmissä, vaan tuoterakenne tuotaisiin SAP:ilta muille järjestelmille. SAP:in rajapinnasta tulevat tuotantotilaukset on määriteltävä vielä tarkemmin – tulevatko yksittäiset tuotantotilaukset rajapinnasta jossain tietyssä järjestyksessä vai annetaanko SAP:ista eteenpäin lista vapautetuista tuotantotilauksista eli työjono.

Yleisiä vaatimuksia, tai kehitysperiaatteita, esitettiin useita. SAP-tiimi toivoi selkeästi ja Konecranesilla globaalisti yhtenevästi määriteltyjä rajapintoja, jotta ratkaisuja voidaan hyödyntää muuallakin. Tiimin mukaan ratkaisuja ei kannata sitoa liian monimutkaisesti yhteen toimintaympäristöön. Järjestelmän käytön helppous ja mukavuus nousi vaatimukseksi, sillä jos siinä ei onnistuta, järjestelmää ei käytetä. Järjestelmäintegraatiota täytyy hallinnoida etenkin, kun itse ohjelmoitu kokonaisuus on integroituna ulkoisen toimittajan järjestelmään. Tällöin päivitykset saattavat rikkoa rajapinnan toimivuuden. Toimittaja voi ottaa vastuulleen rajapintana liittyvät ongelmat, jos samalta toimittajalta tilataan useampi järjestelmä.

Jo olemassa olevia tekniikoita ja konsepteja tulisi hyödyntää. Tällöin säästyy vaivaa ja kustannuksia, ja myös ratkaisun toteutettavuus on varmempaa. Jos jäädään odottamaan jotakin uutta tekniikkaa, ratkaisun muu suunniteltu tekniikka voi sillä aikaa vanhentua. SAP-tiimi painotti myös olemassa olevien sisäisten asiantuntijatiimien helppoa hyödyntämistä sekä toisaalta uuden järjestelmän käyttöönoton ja sen tukipalveluiden rakentamisen raskautta. Siksi SAP-tiimi näki heidän vastuualueellaan olevan DMC:n mahdollisesti järkevänä ratkaisuna myös tähän työhön.

Liitteessä mainitut SAP-tiimin DMC-kehityksen tavoitteet sulautuivat helposti aktiviteettimalliin. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että SAP-tiimin DMC-projektiin ja tähän työhön sopivaa ratkaisua voidaan kehittää yhdessä. SAP-tiimi kertoi aktiviteettimallin sopivan MES-tason toiminnallisuuden kuvaamiseen ja sanoi käyttävänsä samantapaisia malleja. Toisaalta mainittiin siitä, että järjestelmien ja kappaleen 2.3.2 toiminnallisen hierarkian tasojen rajat ovat nykyään häilyviä. Järjestelmät laajenevat uusille osa-alueille eikä rajoja tahdota välttämättä vetää standardinomaisen tarkasti.

5.2.5 Tehtaan johdon vastaukset

Tehtaan johdon haastattelu pidettiin 4.3.2020. Haastatteluun osallistui tehdaspäällikön lisäksi robottisoluprojektin vetäjä. Esille nousi jälleen samat kaksi vaatimusta:

1. Tuoterakenne ja sen hallinta SAP:issa.
2. SAP työjonon vienti robottisolulle.

Ryhmä piti tärkeänä myös:

3. SAP ja FMS varastosaldojen paikkaansa pitävyyttä ja yhtenevyyttä. Tällä hetkellä varastosaldoja hallitaan erikseen eikä SAP tiedä tarkkoja FMS:n sisällä olevia saldoja.

Lisäksi haastateltavat nostivat esille monia yksittäisiä robottisoluprojektissa huomioitavia asioita, kuten osien tarkan sijainnin määrittämisen robottisolulle menevillä paleteilla sekä lukkorenkaan vaatiman manuaalisen asennuksen. Haastateltavat mainitsivat myös tarpeen laajentaa robottisolussa tehtävien yhdistelmien valikoimaa nopeasti.

5.2.6 Tuotannonohjaajien vastaukset

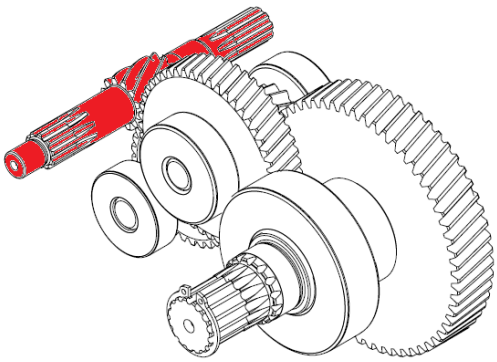
Tuotannonohjaajia haastateltiin 4.3.2020. Olennaisina asioina esille nousi muiden ryhmien vaatimusten tapaan:

1. Tuoterakenne ja sen hallinta SAP:issa.

Uusina asioina esille nousivat:

2. Ensiöakselin erotus välityksen SAP tuoterakenteesta.
3. Robottisolun ja manuaalisen kokoonpanon SAP työpisteiden määrittely.
4. Yhdistelmien kokoonpanon aloituksen ja lopetuksen kuittaus SAP:iin.
5. Rakenneaikojen seuraus.

Tuotannonohjaajat tahtovat muiden ryhmien tapaan tuoterakenteen SAP:iin. He tarkentavat tuoterakennetta seuraavan kuvan 28 mukaiseksi.



Kuva 28. *Tarkennettu tuoterakenne*

Kuvassa 28 punaisella merkitty ensiöakseli jää välityksen yhdistelmien tuoterakennetasolta pois, koska sitä ei käsitellä robottisolussa tai manuaalisessa yhdistelmien kokoonpanossa. Valkoisella merkittyä yhdistelmien kokonaisuutta kutsutaan yhdistelmäsetiksi. Yhdistelmäsetin kolme yhdistelmää kootaan samaa vaihdetta varten samalla kertaa. Yhdistelmäsetin yhdistelmät tahdotaan varastoida samalla lavalla kuten ennenkin, jotta loppukokoonpano ei hidastu.

5.2.7 Tuotannon työntekijöiden vastaukset

Tuotannon työntekijöitä haastateltiin useamman kerran helmi- ja maaliskuussa 2020. Tärkeimpinä asioina esille tulivat:

1. Nykyisen prosessin kuvaus.
2. Yhdistelmien valmistussäännöt.

Työntekijät osasivat neuvoa, mitä asioita tulee ottaa huomioon yhdistelmien kokoonpanossa robottisolulla. Esille tulivat esimerkiksi hammaspyöriin liittyvät asennussäännöt, lukkorenkaan asentamisen vaikeus ja liukurenkaan liimapinnan tarve. Tietoja asennussäännöistä hyödynnetään, kun robotin valmistettavien nimikkeiden määrää laajennetaan erikoistapauksiin. Vaikeasti asennettavat tai liimattavat komponentit tullaan kokoamaan manuaalisesti ennen robottisolua.

Tuotannon työntekijät ovat erityisen tärkeää ottaa mukaan kehitysprosessiin. Heidän toivottiin osallistuvan muun maussa robottisolun käyttöliittymän suunnitteluun, mutta vallinnut koronaepidemia esti haastattelujen jatkamisen. Tuotannon työntekijät osallistuvat kuitenkin tiiviisti robottisoluprojektiin, kun työt jatkuvat normaalioloissa.

5.2.8 Haastattelujen jälkeiset vaatimukset

Haastatteluiden aikaan todennäköisimpänä SAP:n ja robottisolun välissä toimivana järjestelmänä pidettiin MMS:ia, koska robottisolua oli jo suunniteltu MMS:n ohjaamaksi, kuten kappaleessa 4.2.1 kuvassa 26 havainnollistetaan. Tuotannonkehityksen ryhmä kyseenalaisti tämän ratkaisun haastatteluvaiheessa.

Robottisolun ohjaus MMS:lla osoittautui pian haastattelujen jälkeen ongelmalliseksi, koska MMS:n rajapintojen muokkaus kyseistä arkkitehtuuria tukevaksi olisi odotettua kalliimpaa ja prosessin muokkaus vaatisi aina Konecranesin ulkopuolista ohjelmointia. Muutkin ryhmät alkoivat kyseenalaistaa aiemmin suunniteltua kuvan 26 arkkitehtuuria haastattelujen jälkeen. Uusiksi, haastattelujen ulkopuolisiksi vaatimuksiksi nousivat

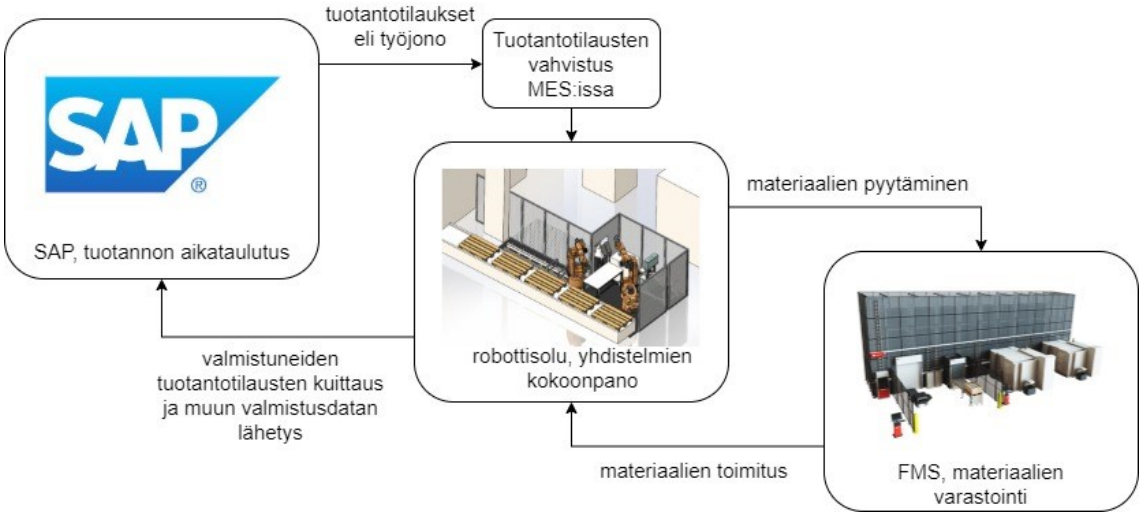
- kohtuullinen hinta
- ohjelmiston avoimuus muokkauksille
- käyttöönotettavan ratkaisun Konecranesin sisäinen osaaminen.

6. UUSI PROSESSI JA TEHTÄVÄT SEN TOTEUTTAMISEKSI

6.1 Uuden prosessin kuvaus

6.1.1 Yhdistelmien kokoonpanoprosessi järjestelmissä

Kuvassa 29 on luonnos yhdistelmien kokoonpanon uudesta prosessista, joka poikkeaa merkittävästi aiemmasta, MMS:n ohjaaman robottisolun suunnitelmasta, kuva 26.



Kuva 29. *Yhdistelmien kokoonpanon uusi prosessi*

Haastattelujen ja niiden jälkeisten vaatimusmäärittelyjen perusteella tehdyt tärkeimmät päätökset ovat:

1. Yhdistelmien kokoonpanoa robottisolussa ohjaa robottisolun oma käyttöjärjestelmä, jonka voi integroida SAP:iin.
2. Robottisolu saa tietoonsa valmistettavan nimikkeen tuoterakenteineen SAP:ilta.
3. SAP:in tuotantotilausten vienti robottisolulle kokoonpantavaksi vaatii edelleen vahvistuksen tuotannonohjaajalta.

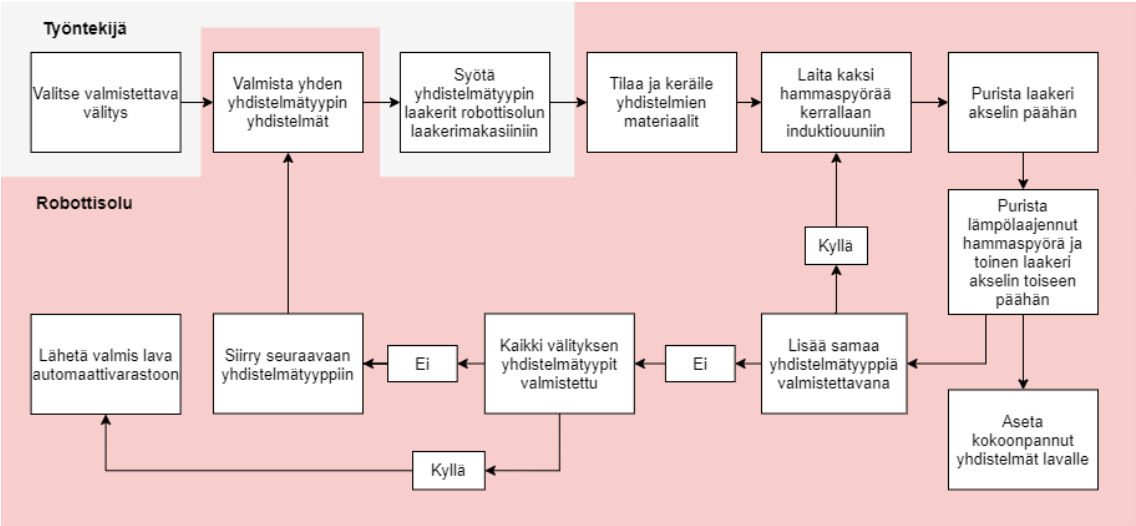
Ensimmäisen kohdan robottisolukeskeinen toteutus on muutos alkuperäisiin suunnitelmiin, joissa MMS:n oli tarkoitus ohjata robottisolun toimintaa. Muutokseen on useita syitä. Robottisolun ohjelmisto jää avoimemmin Konecranesilla sisäisesti tarkkailtavaksi ja muokattavaksi kuin MMS:n vastaava ohjelmisto. Ohjelmiston rajapinnat voidaan määritellä Konecranesilla, sillä robottisolun toimittaja räätälöi ohjelmiston kohtuullisilla kustannuksilla. Avoimen ohjelmiston ja kattavan itse määritellyn rajapinnan ansiosta jatkokehitys on helpompi toteuttaa.

Toiseen kohtaan johtanut vaatimus tuli esille useissa haastatteluissa. SAP tarjoaa robottisolulle tiedot valmistettavista nimikkeistä ja niiden tuoterakenteista. Robottisolu voi tarvittaessa rikastaa valmistustietoja SAP:in tarjoaman tiedon perusteella. Esimerkiksi valmistukseen käytettävät parametrit voi päätellä nimiketiedoista. Koska yhdistelmien kokoonpano lisätään SAP:in tuoterakenteeseen, robottisolu pystyy kuittaamaan valmistetut yhdistelmät SAP:ille. Näin SAP saa tiedon FMS-automaattivarastossa olevista yhdistelmistä sekä toisaalta sieltä kulutetuista hammaspyöristä ja akseleista.

Kolmas kohta on haastatteluissa sekä niiden jälkeen käydyissä keskusteluissa päätetty periaate. SAP työjono tahdotaan saada robottisolun käyttöön digitaalisessa muodossa järjestelmien kautta. Tuotantotilauksia ei siis tarvitse syöttää manuaalisesti robottisolun käyttöliittymään. Tuotannonohjaajan täytyy kuitenkin vahvistaa digitaalisessa työjonossa olevien tuotantotilausten lähetys robottisolulle. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotantotilausten tieto liikkuu digitaalisesti mutta robottisolu ei ilman ihmisen vahvistusta ala valmistaa tuotteita. Tuotannonsuunnittelija vahvistaa tuotantotilaukset MES:issa.

6.1.2 Yhdistelmien kokoonpanoprosessi robottisolussa

Yhdistelmien uusi kokoonpanoprosessi esitetään kuvassa 30, jota voi verrata nykyiseen yhdistelmien kokoonpanoon, kuva 24. Prosessin hahmottamista helpottaa myös kuva 25 robottisolusta, joka suorittaa uutta kokoonpanoprosessia.



Kuva 30. *Uusi yhdistelmien kokoonpanoprosessi robottisolussa*

Uudessa prosessissa manuaalisina vaiheina pysyvät valmistettavan välityksen valitseminen sekä laakerien syöttäminen robottisolulle. Lisäksi joidenkin yhdistelmien lukko- ja liukurenkaat täytyy asentaa ennen robottisolua.

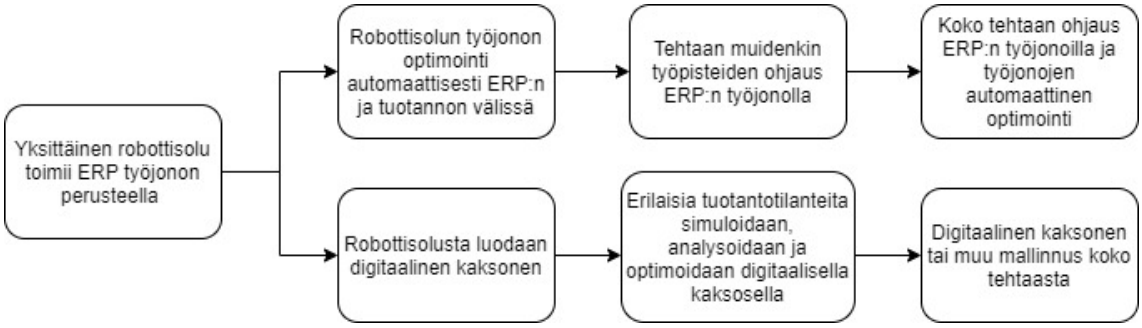
Suurimmat robottisolun tuomat muutokset ovat:

1. materiaalit tilataan yhdelle yhdistelmätyypille kerrallaan
2. lämmitykseen on käytettävissä vain induktiouuni
3. välityksiä voidaan valmistaa kerralla enintään yhdelle lavalle mahtuva määrä
4. robottisolu noudattaa prosessia täsmällisesti.

Ensimmäisen kohdan muutos johtuu robottisolun rajallisesta tilasta. Manuaalisessa valmistuksessa työntekijä on voinut tilata kaikkien yhdistelmätyyppien materiaalit kerralla ja keräillä ne pöydälle odottamaan. Robottisolun työpöytä on liian pieni kaikkien yhdistelmätyyppien materiaalien välikeräilyyn. Toisen kohdan mukaan robottisolulla ei ole käytössä tavallista uunia, joka on ollut manuaalisessa yhdistelmien kokoonpanossa *induktiouunille* vaihtoehtoinen lämmitystapa. Kolmas kohta kuvaa välityksien eräkokojen muuttumista. Manuaalisessa prosessissa työntekijä on voinut täyttää useampaa lavaa tai jättää valmiita yhdistelmiä odottamaan pöydälle, jolloin yhtä lavaa suurempien eräkokojen valmistus on ollut mahdollista. Robottisolulla on käytettävissään vain yksi lava kerrallaan valmistuneille yhdistelmille. Työntekijä on voinut poiketa yleisestä prosessista. Hän on voinut päättää tilata jonkun yhdistelmätyypin materiaalit myöhemmin tai valmistaa kahta yhdistelmätyyppiä yhtä aikaa. Kuten neljännessä kohdassa todetaan, robottisolu ei tee tällaisia poikkeuksia.

6.1.3 Jatkokehitys

Uuden prosessin kehittämisen lisäksi tämä työ antaa pitkän tähtäimen jatkokehitysideoita kohti Industry 4.0 -tehdasta. Koska matka kappaleessa 5.1 kuvattuun automatisoituun Industry 4.0 tehtaaseen on pitkä, eteneminen kannattaa jakaa osatavoitteisiin, kuten kappale 3.1 ehdottaa. Kuva 31 näyttää esimerkin kahdesta tulevaisuuden kehityspolusta Hämeenlinnan vaihdetehtaalla. Polut eivät ole toisiansa poissulkevia. Molemmat tukevat tuotannon automaattista optimointia ja polut voisi toteuttaa toisiaan tukevasti.



Kuva 31. *Mahdollisia kehitysaskeleita kohti Industry 4.0 -vaihdetehdasta*

Ensimmäinen vaihe kuuluu diplomityön alueeseen. Ensimmäisestä vaiheesta voidaan edetä esimerkiksi automaattisemmin työjonojen perusteella ohjautuvaan tehtaaseen, jota kuvan 31 ylempi polku havainnollistaa. Silloin MES optimoisi työjonoa automaattisesti ja se ohjaisi sekä automatisoiduilla tuotantolaitteilla että manuaalisesti tehtävää työtä.

Kuten kappaleessa 3.1 todetaan, Industry 4.0 tarkoituksena on luoda ajantasainen malli yrityksen toiminnasta. Alempi kehityslinja kuvaa digitaalisen kaksosen luomista ensin robottisolusta ja sitten tehtaasta laajemmin. Näillä tuotannon digitaalisilla malleilla simuloitaisiin erilaisia tilanteita ja valittaisiin optimaalisimmat tilanteet toteutettavaksi todellisessa tuotannossa. Simuloimalla voi myös testata tehtaan uusia laite- ja layoutsuunnitelmia ennen varsinaista toteutusta. Lopulta tämä polku pyrkisi tilanteeseen, jossa koko tehtaan tuotantoa mallinnetaan ja simuloidaan digitaalisesti ja optimoidaan automaattisesti.

6.2 Tehtävät uuden prosessin saavuttamiseksi

6.2.1 SAP:in ja robottisolun integraatioarkkitehtuurin suunnittelu

Robottisolun ja SAP:in välinen integraatioarkkitehtuuri suunnitellaan tämän työn yhteydessä kappaleessa 7. Muut muutokset toteuttaa Konecranesin sisäinen taho osana normaaleja työtehtäviään. Integraatioarkkitehtuurin suunnitteluun ei ole toistaiseksi Konecranesilla standardinomaista menettelyä, joten suunnittelu täytyy tehdä kohteen mukaan yksilöidysti. Siksi integraatioarkkitehtuurin suunnittelu valikoitui tehtäväksi, johon tämä työ perehtyy tarkimmin ja määrittelee sopivan konseptin. Robottisolua käytetään ensin alla olevan listan tavalla 1, kunnes tavalla 2 toimiva integraatioarkkitehtuuri SAP:iin on kehitetty.

1. SAP:in työjono korjataan vastaamaan todellisia valmistustarpeita, valmistusta ohjataan SAP työjonon ja suullisen kommunikaation perusteella. Työntekijät ohjaavat robottia manuaalisesti käyttöliittymästä.
2. SAP:in ja robottisolun väliin luodaan kevyt MES-ratkaisu, jossa tuotannonohjaaja voi vahvistaa robottisolulle menevän tuotantotilauksen. Vahvistuksen jälkeen tuotantotilaus siirtyy digitaalisessa muodossa suoraan robottisolulle.

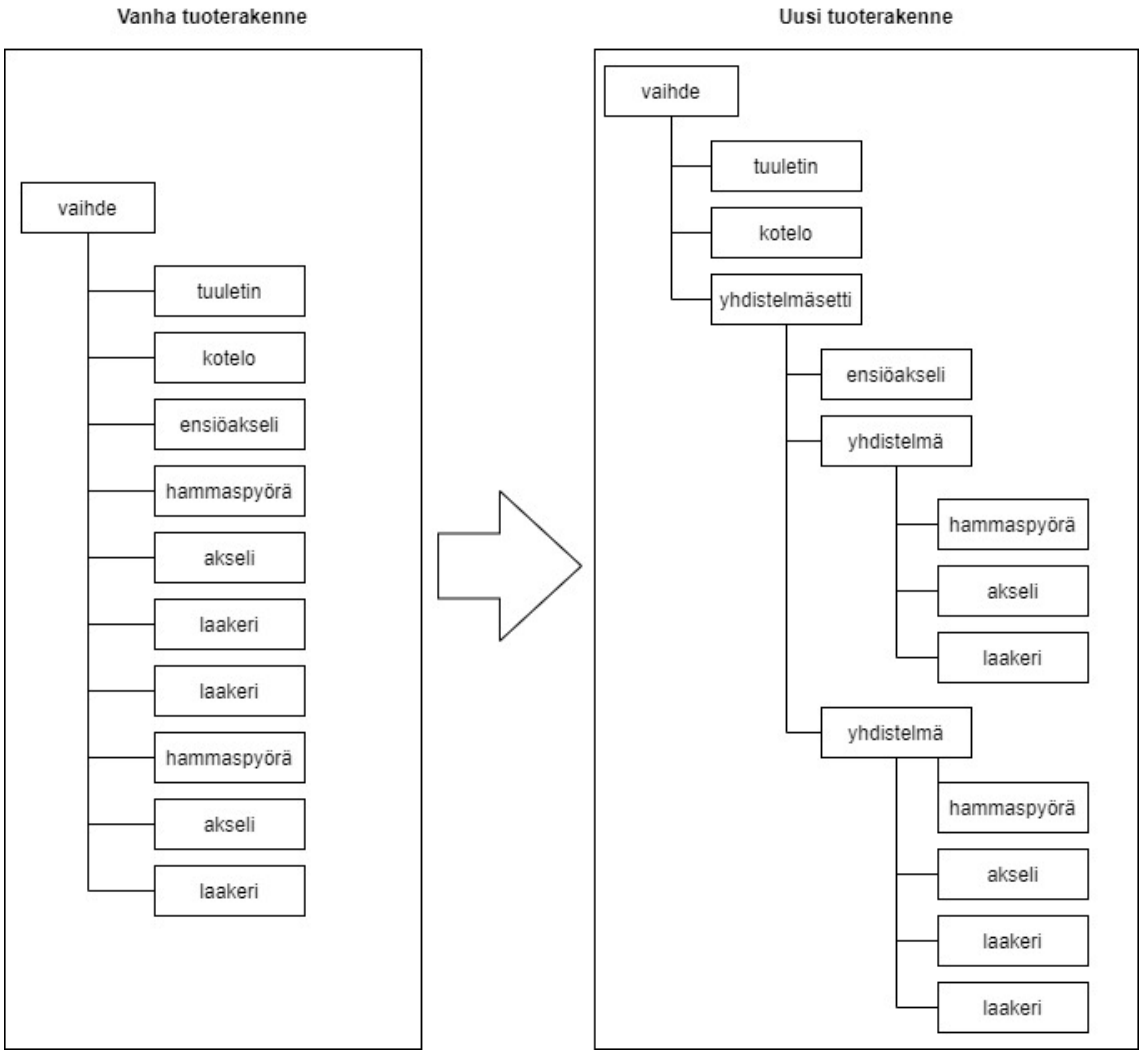
Suunnitelmaa täytyy tarkentaa sekä valita käytettävä kevyt MES-ratkaisu. Projektissa täytyy ottaa huomioon myös MMS:n ja robottisolun välisen rajapinnan tarve. MMS ei nykyisellään tarjoa avointa rajapintaa, joten sellainen täytyy tilata Fastemsilta.

6.2.2 Toiminnanohjausjärjestelmän muutokset

SAP:issa muutoksia tarvitsevat:

1. tuoterakenteet
2. tuotantopolut
3. työjonot.

SAP:in tuoterakenne korjataan muutosvaatimusten mukaisesti sisältämään välitykseen kuuluvat yhdistelmät eli yhdistelmäsetti. SAP:in tuoterakenteen muutoksia havainnollistetaan kuvassa 32.



Kuva 32. *Vanha ja uusi SAP tuoterakenne vertailtuna*

Korjattu tuoterakenne kuvaa vaihdetehtaan todellista valmistusprosessia ja mahdollistaa yhdistelmien varastosaldon kirjaamisen SAP:iin. Kuvassa esitetty tuoterakenne on yksinkertaistettu, todellisuudessa rakenteessa on enemmän osia ja tuoterakenne vaihtelee vaihteittain.

Robottisolu täytyy määritellä osaksi SAP:in valmistuspolkua. Tähän kuuluu robottisolun työpisteiden määrittely sekä sen lisääminen kokoonpantavien yhdistelmien valmistusreitille. Tuotannonohjaajien haastattelussa tuli esille tarkka ehdotus luotavasta valmistuspolusta. Valmistuspolun muutokset tekee sisäinen SAP-tiimi tai vaihdetehtaan tuotannonsuunnittelija, ja siihen liittyvä työmäärä on vähäinen.

Kolmas kohta tarkoittaa, että nykytila, jossa työjono ei vastaa todellisia tuotantotarpeita, korjataan. Tehtaan henkilöstö ja Konecranesin SAP-tiimi korjaavat tämän ongelman.

6.2.3 Yhdistelmien valmistussääntöjen kartoittaminen

Robottisolun toimittaja alustaa robotille yhden välityksen yhdistelmien valmistusohjelmat ja kouluttaa Konecranesin työntekijöitä laajentamaan nimikevalikoimaa. Koska yhdistelmiä on noin tuhat, valmistussääntöjä on paljon. Valmistussäännöt täytyy kartoittaa tarkasti ennen robotin käyttöönottoa, sillä kokoonpantavien yhdistelmien nimikevalikoimaa tahdotaan laajentaa mahdollisimman nopeasti. Valmistussäännöt määrittävät esimerkiksi:

1. hammaspyörien asennukseen tietyin päin
2. akseleiden maksimilämpötilan
3. lukko- ja liukurenkaiden manuaalisen asennuksen ennen robottisolua
4. materiaalien paletoinnin robottisolua varten.

Osa valmistussäännöistä on kuulunut jo aiemmin manuaaliseen yhdistelmien kokoonpanoon, kuten kaksi ensimmäistä kohtaa. Robottisolun lisäys tuo myös uusia valmistussääntöjä, kuten kohdat 3 ja 4. Jotkin valmistussäännöt edellyttävät manuaalisen työvaiheen. Esimerkiksi kolmannen kohdan manuaalinen esikokoonpanovaihe täytyy suunnitella ja lisätä SAP:issa nimikkeen valmistuspolulle. Valmistussäännöt voivat vaatia edellisen työvaiheen muuttamista. Tästä on esimerkkinä neljäs kohta. Jotta robotti osaa käsitellä materiaaleja, niiden täytyy olla paletoituna robotin tuntemalla tavalla. Hammaspyörien ja akseleiden viimeistä valmistusvaihetta voidaan muokata niin, että osat jäävät paletille tarkasti määriteltyyn paikkaan.

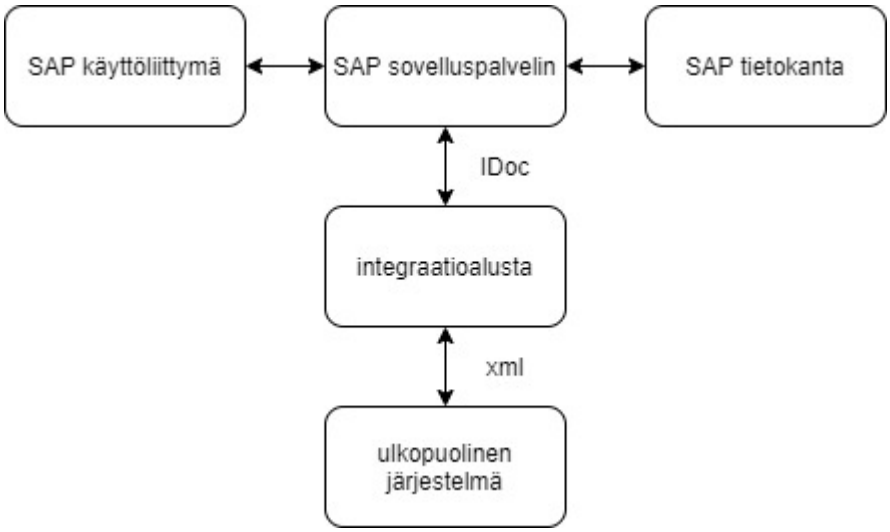
7. SAP:IN JA ROBOTTISOLUN INTEGRAATIO-ARKKITEHTUURIN SUUNNITTELU

7.1 Toiminnanohjausjärjestelmän rajapinta

SAP koostuu kolmesta moduulista: käyttöliittymästä, sovelluspalvelimesta ja tietokannasta. Käyttöliittymä ottaa vastaan manuaalisia syötteitä käyttäjiltä sekä automatisoituja syötteitä etätyöpöydillä toimivilta ohjelmistoroboteilta. Tietokanta säilyttää SAP:in dataa. Sovelluspalvelin tarjoaa SAP:in toiminnot sekä viestii sisäisten moduulien ja ulkoisten järjestelmien kanssa. SAP tarjoaa integroitavan rajapinnan sovelluspalvelimensa kautta. Ulkopuolisen järjestelmän integroimiseksi sovelluspalvelimen kanssa Konecranesilla on kaksi yleistä vaihtoehtoa:

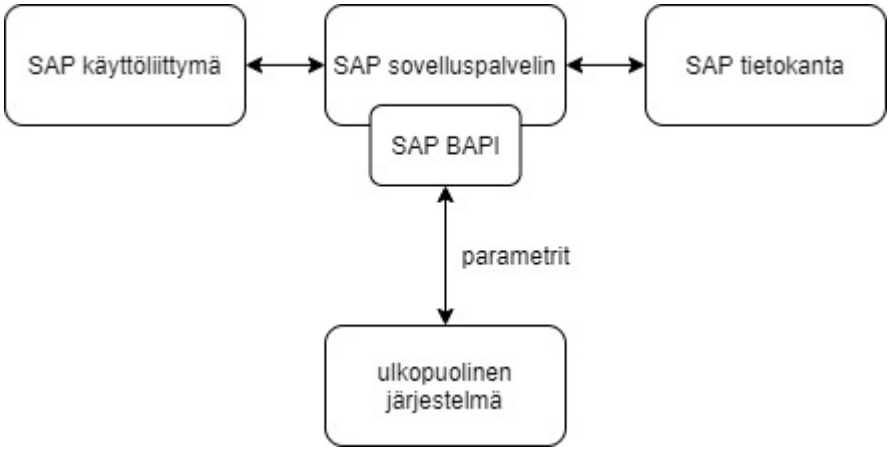
1. integraatioalustan käyttö
2. RFC eli Remote Function Call.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa sovelluspalvelin viestii IDoc-viestejä integraatioalustalle. Integraatioalusta voi välittää viestit sellaisenaan tai muuttaa viestin tiedostotyypin esimerkiksi XML-tiedostoksi. Tarvittavien muutosten jälkeen integraatioalusta ohjaa viestit ulkopuoliseen järjestelmään. Kommunikaatio on asynkronista eli viestien lähettäminen onnistuu, vaikka vastaanottava järjestelmä ei olisi päällä. Integraatioalusta toimii Konecranesin omalla palvelimella ja siihen sisältyy ulkopuoliselta palvelimelta tulevan viestinnän tietoturvallisuuden hallinta. Kuva 33 havainnollistaa ensimmäisen vaihtoehdon.



Kuva 33. *Integraatioalustaan pohjautuva arkkitehtuuri*

Toisessa vaihtoehdossa ulkopuolinen järjestelmä kommunikoi suoraan SAP sovelluspalvelimen kanssa, mitä kutsutaan RFC-kommunikoinniksi. Ulkopuolinen järjestelmä tarjoaa SAP:in BAPI-alipalveluille niiden tarvitsemat parametrit, jolloin SAP toimii ulkopuolisen järjestelmän kyseisen pyynnön mukaan. BAPI-alipalvelut ovat standardoituja rajapintoja SAP:in palveluiden kutsumiseen ulkopuolisesta järjestelmästä. BAPI-alipalveluita voidaan koota yhteen OData-palveluksi, joka hyödyntää useaa BAPI:a. Kommunikointi on synkronista eli ulkopuolisen järjestelmän täytyy olla päällä, jotta RFC-viestit pääsevät heti perille. Kuva 34 havainnollistaa toista vaihtoehtoa.

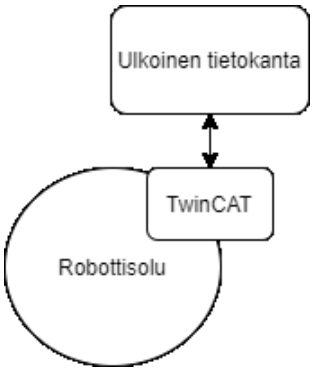


Kuva 34. *RFC:iin perustuva arkkitehtuuri*

Integraatioarkkitehtuuri käyttää jälkimmäistä vaihtoehtoa SAP:in ja ulkopuolisen järjestelmän väliseen kommunikointiin, koska kappaleessa 7.4 suositeltava ulkopuolinen järjestelmä SAP Fiori kytkeytyy BAPI:n kautta SAP:iin.

7.2 Robottisolun rajapinta

Robottisolu tarjoaa rajapinnan TwinCAT 3 PLC:n tai sen tietokantaan kirjoittaman lokin kautta, kuva 35. Robottisolun toimittaja pitäytyy PLC:n ohjelmoinnissa, joten ohjelmistojen ja sovellusten toteutus ei kuulu robottisolun toimitukseen. Toimittaja suosii SQL-tietokantaa, mutta myös muita TwinCAT 3:n kanssa yhteensopivia tietokantoja ja kommunikointitapoja voidaan harkita.



Kuva 35. *Robottisolun rajapinta*

Robottisolu tulee kirjoittamaan tietokantaan yhdistelmien valmistuksen aloitus- ja lopetusajat sekä robottisolun käyttöasteen. Käyttöasteen kirjaustapa on vielä määrittelemättä. Solun käyttöastetta lasketaan vain siltä ajalta, kun tehtaalla on työntekijöitä vuorossa. Koska robottisolu vain kirjaa toimintaansa lokiin, SAP:in täytyisi hakea tiedot kyseisestä lokista. Selvitettäväksi jää, minkä triggerin tai ajoituksen mukaan SAP lähtee hakemaan tietoja ulkoisesta tietokannasta.

Robottisolun toivotaan vastaanottavan tulevaisuudessa myös SAP:ilta välitettyjä tuotantotilauksia. Tuotantotilaukset kulkevat luultavasti MES-järjestelmän kautta, jotta robotille meneviä tuotantotilauksia voidaan tarkkailla ja hallita SAP:in ja robottisolun välissä. Robottisoluun määritellään tuotantotilauksia varten sopiva rajapinta sen mukaan, millaisia viestejä valittu MES-järjestelmä kykenee välittämään.

Tämä työ suosittelee TwinCAT 3:n kanssa yhteensopivan TC3 XML palvelinta tietokantana. Robottisolu voisi suoraan lukea ja kirjoittaa palvelimelle, josta tiedot välittyisivät eteenpäin XML-tiedostoina. Harkintaan kannattaa jättää myös TC3 OPC UA palvelin, joka toisi käyttöön Industry 4.0 tekniikkaa. XML-palvelimen käyttö on yksinkertaisempaa eikä OPC UA:lla ole lyhyen tähtäimen hyötyjä robottisolun integraatiossa. OPC UA mahdollistaisi kuitenkin pidemmän tähtäimen hyödyt jättämällä avoimen ja standardoidun rajapinnan uusille integraatioille. Kun robottisolua tahdotaan hyödyntää yhä automaattisemmin, palvelimen läpi kulkeva kommunikaatio monimutkaistuu ja sitä olisi helpompi hallita OPC UA:lla.

7.3 Integraatioalusta

Pilvipohjainen IPaaS integraatioalusta Dell Boomi on yleisesti käytössä Konecranesilla. Koska Dell Boomiin on jo olemassa lisenssi ja sisäistä osaamista, se valikoitui integraatioalustaksi. Tässä työssä esitellyssä ratkaisussa integraatioalusta välittää viestejä tuotannonohjausjärjestelmän ja robottisolun välillä.

Dell Boomin avulla välitettävien viestien tyyppiä voidaan muokata esimerkiksi IDocista XML:aan. Välitettävät tiedot voidaan poimia laajemman viestin sisältä eli kaikkea vastaanotettua sisältöä ei tarvitse turhaan välittää eteenpäin. Tämä vähentää lähettävän ja vastaanottavan järjestelmän muutoksia, sillä ne voivat lähettää ja vastaanottaa viestin entiseen tapaan. Viestit voivat odottaa integraatioalustalla eikä vastaanottavan järjestelmän tarvitse olla päällä, kun lähettäjä lähettää viestin.

7.4 Tuotannonohjausjärjestelmä

Koska tuotantotilauksia ei tahdota lähettää suoraan robottisolulle, väliin tarvitaan jokin tuotantotilauksista muodostuvaa työjonoa hallitseva MES-tason järjestelmä. Sen käyttöjärjestelmän kautta tahdotaan tarkkailla ja muokata SAP:ilta lähetetyistä tuotantotilauksista muodostuvaa työjonoa. Lisäksi MES kommunikoi robottisolulta valmistuneista tuotantotilauksista ja päivittää tuotantotilauksen statuksen SAP:issa valmistuneeksi.

Haastatteluissa esille tulleista vaatimuksista osa oli toteutettavissa nykyisen ERP-järjestelmän sisällä, eivätkä jäljelle jäävät MES-vaatimukset olleet kovin laajoja. Kommunikoitavat tiedot eivät välttämättä tarvitse kattavaa MES-järjestelmää vaan yksinkertaisen tiedonvälityksen ja mahdollisesti protokollien muunnoksen ERP:n ja robottisolun välissä.

MES:issa voisi rikastaa SAP:in tuotetietoa, mikä tarkoittaisi robottisolun tarvitsemien parametrien liittämistä SAP:in antamiin tuotetietoihin. Esimerkiksi nimikkeen yhdistelmän akselin mitat voitaisiin lisätä tuotetietoihin MES:issa ennen tuotetietojen välitystä robottisolulle. Robottisolun tarvitsemat parametrit tarkentuvat vasta lähempänä robottisolun toimitusta.

MES vaihtoehtoina ovat:

1. SAP DMC
2. SAP Fiori
3. uuden toimittajan MES-ratkaisu.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa SAP:ia laajennettaisiin MES-tason pilvipalvelulla, joka mahdollistaa työjonon käsittelyn ja yhdistää tuotannon laitteet DMC:hen. Tuotetta harkittiin hankittavaksi useampaa käyttötapausta varten mutta se ei täysin tukenut muiden

käyttötapausten vaatimuksia. Pelkästään robottisolua varten DMC ei ole kustannustehokkain ratkaisu, eikä sitä ole toistaiseksi hankittu.

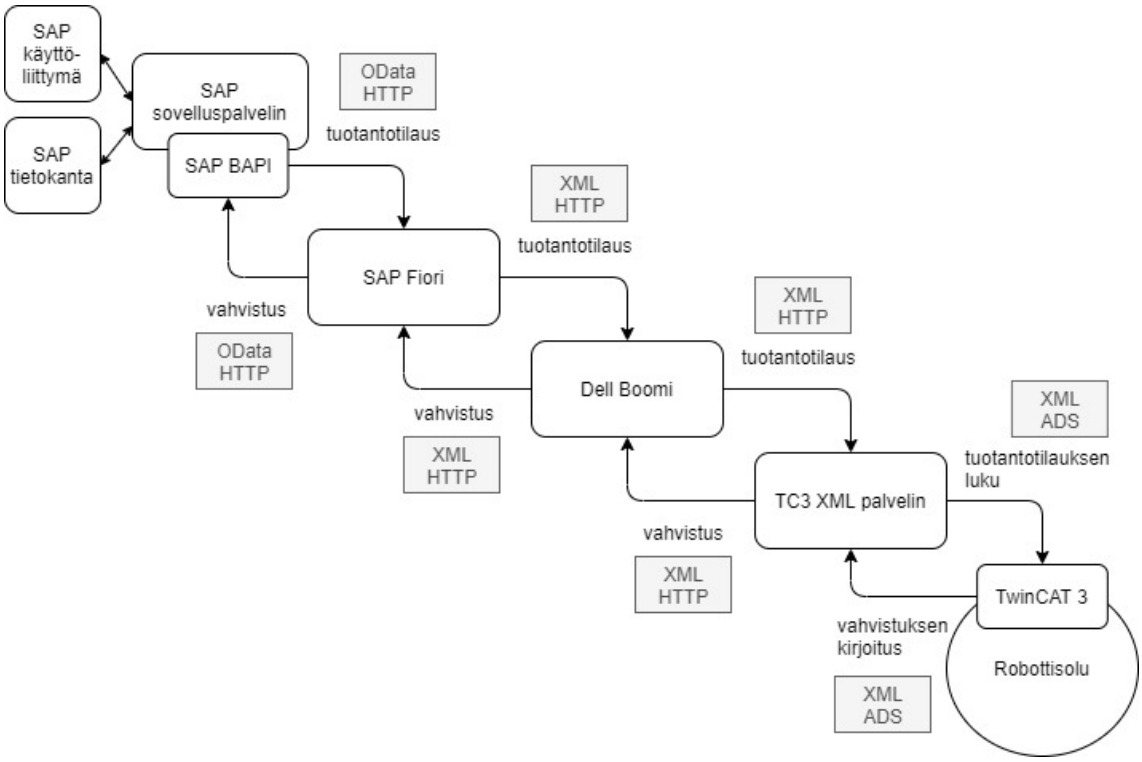
Toinen vaihtoehto, SAP Fiori, on jo Konecranesilla käytössä oleva SAP:in laajennus. Sen avulla luodaan räätälöityjä käyttöliittymiä, joissa voi olla mukana myös logiikkaa. Esimerkiksi useamman parametrin syöttö voidaan yksinkertaistaa yhden helposti käsitettävän parametrin syötöksi käyttöliittymään. Konecranesilla on sisäistä osaamista Fiori-käyttöliittymien ohjelmointiin. Yleensä uudet SAP Fiori -käyttöliittymät tilataan ulkopuoliselta kumppanilta ja heiltä saatua pohjaa voidaan muokata ja kehittää eteenpäin sisäisesti. Vaikka Fiori on ensisijaisesti tarkoitettu käyttäjäkokemuksen parantamiseen, se voisi toimia myös yksinkertaisena työkaluna robottisolun työjonon hallintaan. Ratkaisu olisi erittäin kustannustehokas, sillä Konecranesilla on tarvittava lisenssi ja sisäinen osaaminen tukisi kehitystyötä. Kustannukset tulisivat siis lähinnä sisäisestä kehitystyöstä. Opittua voitaisiin hyödyntää jatkossa muissakin kohteissa.

Kolmas vaihtoehto on MES:in ostaminen joltain uudelta toimittajalta. Kuten kappaleessa 2.2.2 todetaan, MES toiminnallisuutta ei ole määritelty tarkasti. Lisäksi tässä kappaleessa aiemmin todetaan, ettei laaja MES järjestelmä ole tarpeen. Hankintaa tehtäessä tulisi etsiä yksinkertaisin mahdollinen ratkaisu, joka toteuttaa työjonon hallinnan ja robottisolun tilan tarkkailun. Toimittajalta ostettava uusi ratkaisu vaatisi myös osaamisen tai vähintään koulutuksen ostamista ulkopuolelta. Sopivia, kustannustehokkaita ratkaisuvaihtoehtoja ei ole löytynyt.

Tämä työ suosittelee vaihtoehtoa 2 eli SAP Fioria testattavaksi ensimmäisenä sen matalien kustannusten, yksinkertaisuuden ja Konecranesin sisäisen osaamisen vuoksi. Tarkoitukseen sopivan SAP Fiori -sovelluksen hankinnasta aiheuttaa kertaluonteisen kustannus ja sitä osataan sisäisesti jatkokehittää sekä ottaa käyttöön uusissa kohteissa. Työn jälkeen selvitettäväksi jää, riittävätkö SAP Fiorin ominaisuudet korvaamaan varsinaisen MES:in, ja tukeeko se toivotulla tasolla Industry 4.0 kehitystä. Industry 4.0 kehityksessä on tärkeää, että MES-tason sovellukseen voidaan integroida useita tuotantosoluja. Tässä työssä tutkitaan vain yhden robottisolun integraatiota, joten useamman tuotantosolun integrointia täytyy tutkia erikseen.

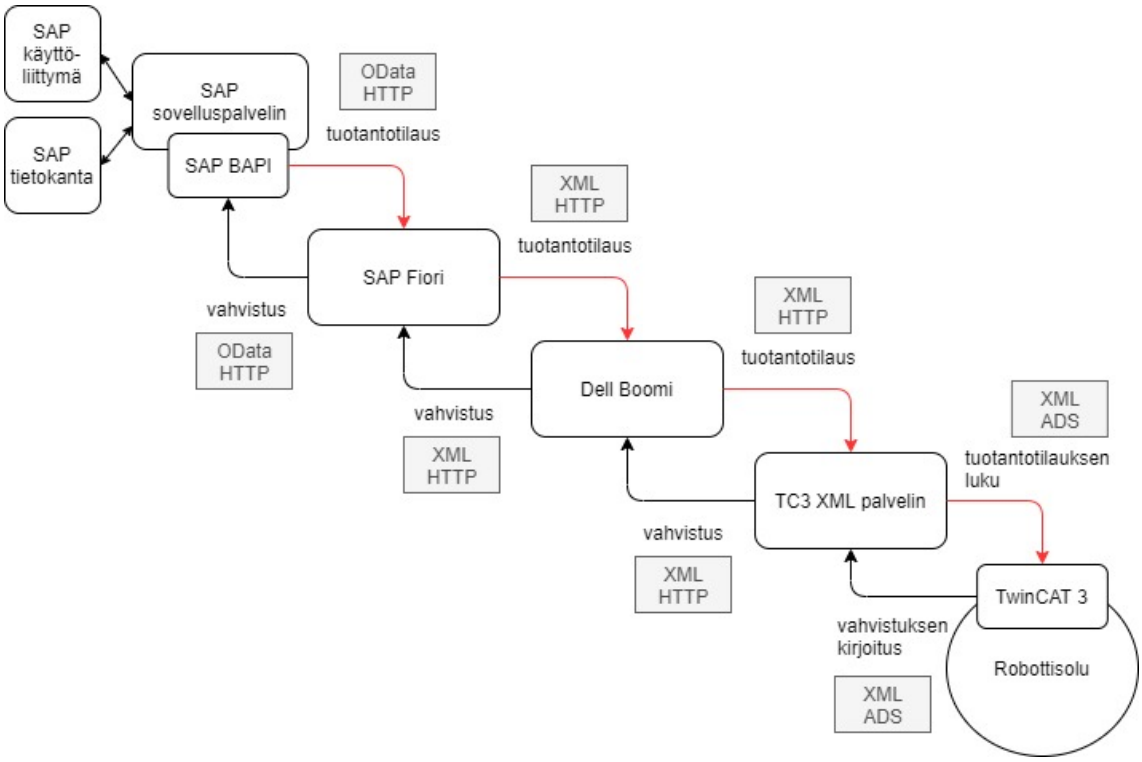
7.5 Integraatioarkkitehtuuri kokonaisuudessaan

Suositeltua integraatioarkkitehtuuria havainnollistaa kuva 36. Kyseinen arkkitehtuuri hyödyntää Konecranesilla jo käytössä olevia tekniikoita. Konecranesilla on sisäistä osaamista kuvan 36 arkkitehtuurin käyttöönottoon. Tässä työssä integraatioon kuuluu vain yksi tuotantosolu, robottisolu. Yleensä ERP:iin integroidaan MES:in avulla useampia tuotantosoluja.



Kuva 36. *Suositeltu integraatioarkkitehtuuri*

Harmaat laatikot antavat lisätietona tiedostomuodon ja tiedonsiirron protokolla. Niihin ei kuitenkaan perehdytä tässä työssä enempää. Ensimmäisenä käsitellään tuotantotilauksen etenemistä SAP:ilta robottisolulle, mitä havainnollistaa kuva 37.



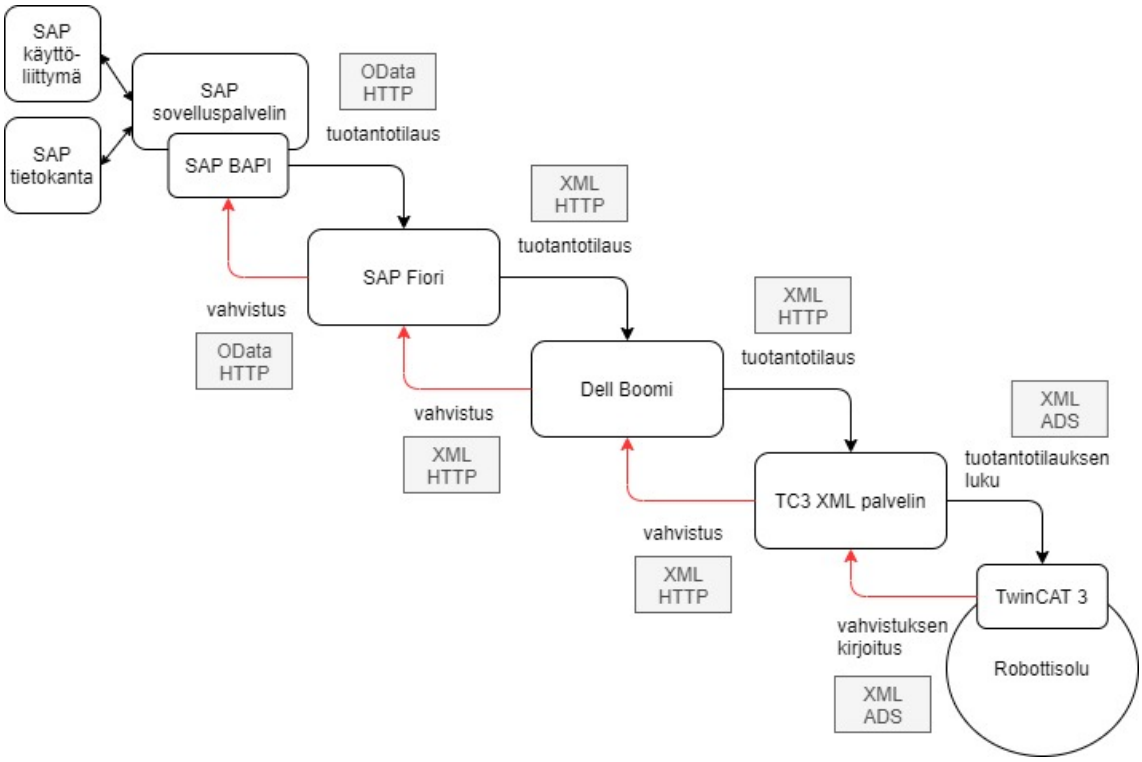
Kuva 37. *Tuotantotilauksen eteneminen integraatioarkkitehtuurissa SAP:ilta robottisolulle*

Ensin SAP BAPI:t kerätään OData-palveluksi, jota Fiori käyttää saadakseen tuotantotilaukset ja tehdäkseen vahvistukset SAP:iin. Tuotantotilaukset haetaan ajastetusti SAP:ista, joten tuotantotilaukset tuodaan Fiorille tuotantotilauslistana eli työjonona.

Fiorissa on käyttöliittymä, josta käyttäjä voi tarkkailla ja muokata työjonoa. Fiori lähettää yksittäisen tuotantotilauksen Dell Boomille, kun se tuotantotilauksen aloituspäivän mukaan tai käyttöliittymästä manuaalisesti määritellään valmistettavaksi.

Dell Boomi välittää tuotantotilauksen tiedostoja tallentavalle TC3 XML palvelimelle. Robottisolun PLC-ohjelmisto eli TwinCAT 3 lukee palvelimen muutoksia, joko ajastetusti tai muutoksiin reagoiden. TwinCAT 3 ohjaa robottisolun valmistamaan tuotantotilauksen.

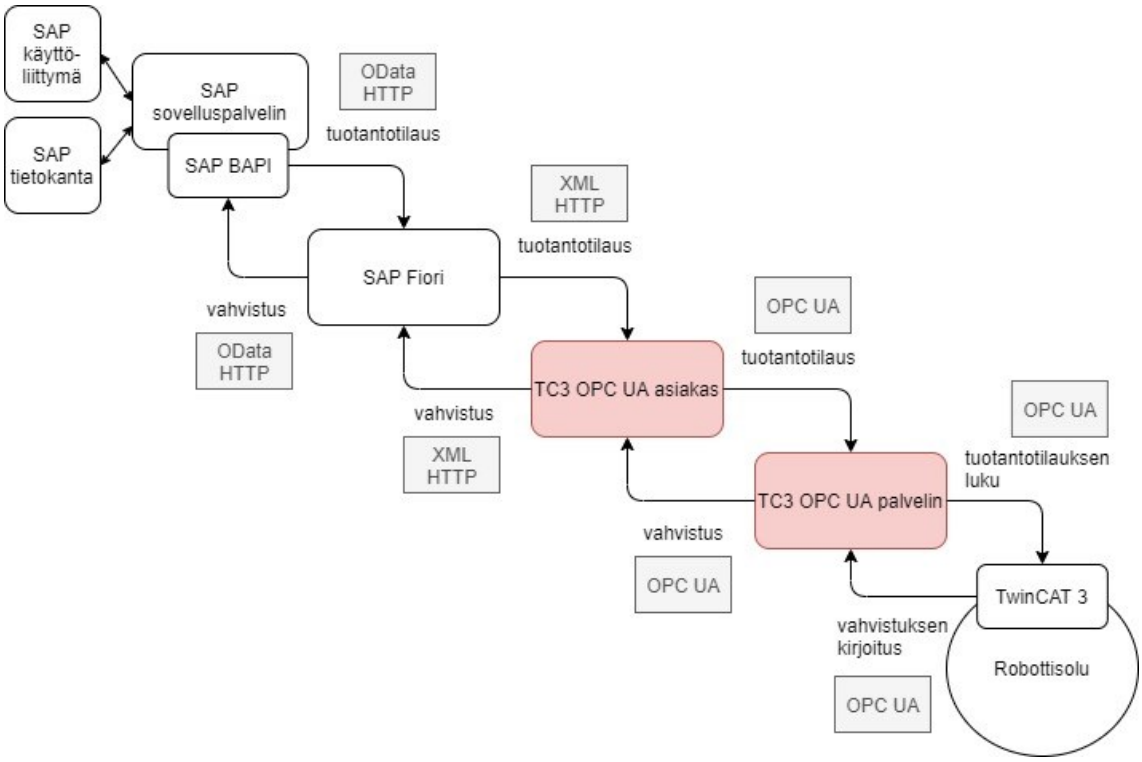
Seuraavaksi robottisolulta lähtee kuittaus takaisin SAP:ille integraatioarkkitehtuurin kautta, kuten kuva 38 havainnollistaa.



Kuva 38. *Tuotantotilauksen kuittauksen eteneminen integraatioarkkitehtuurissa robottisolulta SAP:ille*

Kun robottisolu on valmistanut tuotantotilauksen, se tallentaa vahvistuksen tehdystä työstä TC3 XML palvelimelle. Dell Boomi hakee ajastetusti TC3 XML palvelimella tapahtuvia muutoksia. Kun se havaitsee uuden vahvistuksen, se hakee vahvistuksen XML-tiedostona itselleen ja välittää sen Fiorille. Fiori käyttää heti vahvistuksen vastaanottaessaan OData-palvelua päivittääkseen vahvistuksen SAP:iin.

Tämä työ suosittelee TC3 OPC UA palvelimen harkitsemista TC3 XML palvelimen tilalle, mikäli Industry 4.0 kehitystä tahdotaan tukea. Vaihtoehtoinen integraatioarkkitehtuuri OPC UA:lla esitellään kuvassa 39.



Kuva 39. *Vaihtoehtoinen integraatioarkkitehtuuri OPC UA:lla*

Kuvan 39 arkkitehtuurissa Dell Boomi korvataan TC3 OPC UA asiakkaalla ja palvelin vaihdetaan TC3 OPC UA palvelimeksi. Asiakas vastaanottaa SAP Fiorilta tuotantotilauksen ja pyytää palvelimelta tuotantotilauksen valmistusta. Palvelin ohjaa robottisolun valmistamaan tuotantotilauksen. Robottisolu vahvistaa valmistuneen tuotantotilauksen palvelimelle, joka välittää tiedon asiakkaalle.

OPC UA asiakas ja palvelin voidaan integroida tulevaisuudessa muihin järjestelmiin helpommin, kuin TC3 XML palvelin. Lisäksi OPC UA:lla on helpompi hallita palvelimen läpi kulkevia viestejä. Kuvan 39 kommunikaatio rajoittuu tuotantotilauksiin mutta pidemmälle automatisoitu robottisolu tarvitsee mahdollisesti monimutkaisempaa kommunikaatiota.

Vaihtoehtoisessa integraatioarkkitehtuurissa integraatioalustan tarve poistuu. Tämä näkyy kuvassa 36 olevan Dell Boomin poistumisena vaihtoehtoisesta arkkitehtuurista. Jos SAP Fiori tai muu sen tilalla oleva MES tukee OPC UA:ta, OPC UA asiakas voidaan rakentaa osaksi MES:ia eikä kuvan 39 TC3 OPC UA asiakasta tarvita erikseen.

8. TULOSTEN ARVIOINTI

8.1 Kriittinen arvio

Onnistunutta työssä on Konecranesin sisäistä osaamista hyödyntävä ja kustannuksiltaan edullinen ratkaisu robottisolun ja SAP:in integraatioarkkitehtuuriksi. Koska sisäistä osaamista pystytään käyttämään integraation rakentamiseen, tekninen ratkaisu voi elää projektin aikana enemmän. Siten pystytään vähitellen testaamaan rakentuvaa integraatiota ja hakemaan toimivimpia ratkaisuja kokemusten perusteella. Mikäli suositeltuja SAP Fioria ja Dell Boomia sovelletaan, ratkaisu on monistettavissa vielä pilotointivaihetta alhaisimmilla kustannuksilla muihin kohteisiin.

Toisaalta suositeltu ratkaisu on täysin uusi, eikä mahdollisia ongelmakohtia välttämättä ole havaittu tai kartoitettu kattavasti. Vaikka sisäinen kehitys on kustannustehokas tapa, myöskään sisäisiä resursseja kehitykselle ei ole vielä varattu. Ei ole varmaa, että integraatio-osaaminen on tarvittavalla tasolla luotettavan integraation luomiseen. Toteutus on kuitenkin ensimmäinen eikä juuri tällaisista integraatioista ole vielä yrityksen sisäisiä käytännön kokemusta.

Kriittisesti voi pohtia myös sitä, kuinka ehdotettu ratkaisu hyödyntää työssä teoriana esiteltyä ISA-95-standardia. SAP Fiori ei varsinaisesti vastaa laajuudeltaan ISA-95-standardin MES-tason järjestelmää. Pelkkä vaihdetehtaan robottisolun integraatio ei muutosvaatimusten perusteella tarvitse laajaa MES:ia. Sen puuttuminen voi kuitenkin tulevaisuudessa vaikeuttaa tehtaan automatisointia kokonaisuutena. Ilman yhtenäistä MES:ia tehtaan useita tuotantolaitteita ja työpisteitä ei voi ohjata yhdestä järjestelmästä.

Suositeltu integraatioarkkitehtuuri kuvassa 36 perustuu ennestään tuttujen tekniikoiden hyödyntämiseen sisäisen osaamisen avulla, mikä johtaa alhaisiin kustannuksiin mutta ei välttämättä yhtä vahvaan kehitykseen kohti Industry 4.0 tehdasta. Se hyödyntää kappaleessa 2.1 mainituista Industry 4.0 tekniikoista lähinnä pilvipalveluita ja järjestelmäintegraatioita. OPC UA:n hyödyntämistä kuvan 39 vaihtoehtoisen arkkitehtuurin mukaisesti kannattaa vielä pohtia.

Kappaleen 6.2 tehtävät uuden prosessin saavuttamiseksi auttavat projektisuunnitelman luontia mutta niistä puuttuu tieto työmäärästä, aikataulusta ja tehtävien järjestyksestä. Nämä jäävät projektisuunnitelman yhteydessä tehtäväksi.

8.2 Oman kontribuution vertaus muihin julkaisuihin

Tätä työtä voidaan verrata samankaltaisiin opinnäytetöihin, jotka käsittelevät MES:in suunnittelua ISA-95-standardia hyödyntäen. Vertailukohtina käytetään kappaleessa 3.3.1 mainittuja diplomitöitä [32-36]. Nämä diplomityöt esitellään taulukossa 2. Aiheiksi nostetaan tämän työn kannalta olennaiset aiheet, joita diplomityöt käsittelevät. Diplomitöistä on nostettu ISA-95-standardin ohella esille OPC UA -standardi, jonka hyödyntämistä robottisolun kommunikaatiossa harkitaan vielä.

Taulukko 2. *Vertailtavat diplomityöt*

Tekijä	Aihe	Vuosi	Kohde	Johtopäätökset
Raikkonen [32]	Miten MES vaatimuskartoitukset kannattaa suorittaa?	2018	kappaletavaratuotanto tehtaalla	ISA-95 sopii nykytilan, tavoitetilan ja järjestelmävaatimusten kartoitukseen.
Virta [33]	MES integraatio OPC UA:lla. OPC UA ja ISA-95 yhteensopivuus.	2010	prosessi automaatio testiympäristössä	ISA-95 ja OPC UA ovat yhteensopivia. OPC UA mahdollistaa tulevaisuudessa tehokkaan ja yksinkertaisen integraation.
Kröger [34]	OPC UA:n ja ISA-95 soveltaminen MES:iin.	2014	joustava konepajatuotanto	OPC UA sopii tuotantolaitteiden ja MES:in väliseen kommunikaatioon. ISA-95 sopii MES toiminnallisuuden ja tietokannan suunnitteluun ja ERP-yhteyden luomiseen.
Takala [35]	MES:in mallipohjainen integraatio. Tutkittavana mallina myös ISA-95.	2018	MES testiympäristö	Mallipohjainen ohjelmointi kannattaa, jos sitä hyödynnetään useita kertoja.
Lautala [36]	Mitä hyötyä ISA-95 standardista on MES-toimittajalle?	2010	prosessitekniikka tehtaalla	ISA-95 on hyödyllinen, kun se otetaan huomioon jo MES-kehitysvaiheessa ja sitä hyödynnetään useassa toimituksessa.

Tämän työn MES-kehityskohde on poikkeuksellinen muihin diplomitöihin verrattuna, koska kohteena on vain yksi tehtaan robottisolu kokonaisen tehtaan tai testiympäristön sijasta. Tässä työssä käsiteltävä robottisolu tekee kappaletavaraa, kuten Raikkosen kohteena oleva tehdas. Raikkonen ei kuitenkaan ota kantaa tuotantolaitteiston yhdistämiseen MES:iin. Kröger ja Virta paneutuvat tuotantolaitteiston ja MES:in yhdistämiseen erilaisessa tuotantoympäristössä.

Yhteistä taulukon 2 diplomitöille on se, että ne toteavat ISA-95-standardin hyödylliseksi. Hyötyjen saavuttamiseksi nimetään useita ehtoja, joista yleisin on ISA-95-standardin hyödyntäminen useammin kuin kerran. Lautala nostaa esille, että ISA-95-standardi täytyy ottaa käyttöön jo MES:in suunnitteluvaiheessa, sillä jo olemassa olevasta järjestelmästä on vaikea muokata ISA-95 -yhteensopivaa. Tässä työssä ISA-95 otetaan käyttöön aikaisin MES:in määrittelyvaiheessa mutta määriteltävä järjestelmä todetaan suppeaksi ISA-95-standardiin verrattuna. Standardinomaisesta määrittelystä voisi kuitenkin olla hyötyä ratkaisua monistettaessa ja etenkin silloin, jos yhden tuotantosolun pilotoinnista siirrytään koko tehtaan kattavaan järjestelmään.

Virta ja Kröger toteavat OPC UA:n sopivan tuotantolaitteiden ja MES:in väliseen kommunikaatioon. Virta selvittää OPC UA:n sopivan myös ISA-95 -standardin kanssa yhteen. Virta painottaa tulevaisuuden helppoja integraatioita ja järjestelmän laajentamista OPC UA:ta hyödyntämällä. Myös tämä työ suosittelee OPC UA:n harkitsemista, jos halutaan panostaa Industry 4.0 tavoitteisiin uusilla tekniikoilla. Virran huomioi tukee tätä.

Muut työt suosittelevat ISA-95 -standardin hyödyntämistä tämän työn robottisolua laajemmassa tuotantoympäristössä. Tämä työ tarjoaa muihin töihin verrattuna lisätietoa yksittäisen kappaletavaratuotannon automatisoidun solun integroinnista ERP:iin. ISA-95 -standardi on hyödyksi tehtaan mittakaavassa mutta sen soveltaminen on haastavaa yhdessä tuotantosolussa. OPC UA:ta sen sijaan on mahdollista hyödyntää suppeammassakin järjestelmässä.

9. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin, miten uusi robottisolu integroidaan jo olemassa olevaan ERP:iin. Kyseisen integraation on tarkoitus tukea laajemman mittakaavan kehitystä kohti automatisoitua Industry 4.0 tehdasta. Työ kohdistui vaihdetehtaalle, jossa uusi robottisolu tulee tekemään yhdistelmiä eli eräitä vaihteen alikokoonpanoja.

Työ alkoi nykytilan kartoituksesta. Tämän jälkeen selvitettiin muutosvaatimukset ja luonnosteltiin uusi yhdistelmien kokoonpanon automatisoitu prosessi, jota ERP:in työjono ohjaa. Seuraavaksi kartoitettiin uuden prosessin rakentamisen tehtävät. Lisäksi yksi tehtävistä, ERP:in ja robottisolun integraatioarkkitehtuurin suunnittelu, toteutettiin osana tätä työtä. Alussa oletettiin, että robottisolun ja ERP:in väliseen kommunikaatioon tarvitaan MES, kuten ISA-95 -standardi esittää. Työssä lähdettiin tekemään vaatimusmäärittelyä MES:ille ISA-95 -standardin aktiviteettimallin pohjalta. Sisäisten haastattelujen perusteella todettiin, että malli määrittelee tarpeettoman laajan MES:in yhden robottisolun ohjaamiseksi. Työssä tutkittu teoria tukee käsitystä siitä, että MES kannattaa toteuttaa tehtaan laajuisena.

Suosituksena integraatiolle esitellään kustannustehokas malli, joka hyödyntää Konecranesille jo hankittuja sovelluksia. Siinä SAP Fiori muodostaa kevyen MES:in kaltaisen sovelluksen, jossa SAP:ilta tulevia tuotantotilauksia voi hallita ennen niiden lähetystä robottisolulle. SAP Fiori lähettää tuotantotilaukset eteenpäin integraatioalusta Dell Boomille, joka kirjoittaa ne palvelimelle. Robottisolu lukee kyseistä palvelinta, toteuttaa tilaukset ja kirjoittaa vahvistuksen palvelimelle, josta viesti kulkee samaa kautta takaisin SAP:ille. ISA-95 aktiviteettimallin voidaan katsoa auttaneen SAP Fiori MES-sovelluksen rajapintojen ja vaatimusten määrittelyä, vaikka se olikin tarpeettoman laaja tarkoitukseen.

Palvelimeksi ehdotettiin XML-palvelinta mutta harkittavaksi jätettiin myös vaihtoehtoinen toteutus OPC UA -palvelimella. OPC UA kommunikaatioprotokollana tukisi paremmin tulevaisuuden Industry 4.0 kehitystä tarjoamalla standardisoidun ja helposti hyödynnettävän rajapinnan robottisoluun. Sen käyttämisestä yksittäisessä kohteessa, kuten yhdessä robottisolussa, ei välttämättä ole heti saavutettavaa hyötyä.

Uuden prosessin käyttöönotolle kriittisiksi tehtäviksi nousivat integraatioarkkitehtuurin suunnittelun lisäksi SAP muutokset ja yhdistelmien valmistussääntöjen kartoitus. SAP:in tuoterakenne täytyy muokata vastaamaan valmistusprosessia, erityisesti SAP:in kuuluu

tunnistaa vaihteen välitykseen kuuluvat yhdistelmät ja niiden osat. Robottisolu on lisättävä vaihteiden tuotantopolkuun SAP:issa ja työpisteiden työjonot on korjattava todellisuutta vastaaviksi. Yhdistelmien valmistussäännöt täytyy kartoittaa, jotta robottisolulla valmistettavien yhdistelmien valikoimaa päästään laajentamaan.

Työn tärkeimmät saavutukset olivat integraatioarkkitehtuurin suunnittelu uuden robottisolun ja SAP:in välille sekä listaus muista uuden prosessin käynnistämiseksi tarvittavista tehtävistä. Työ kertoi myös, mitä Industry 4.0 tarkoittaa ja miten se voi näkyä uuden robottisolun integraatiossa. Industry 4.0 tekniikoita ovat tässä tapauksessa pilvipalveluiden hyödyntäminen, järjestelmien integrointi sekä mahdollinen OPC UA -kommunikaatioprotokollan käyttö. Muihin samankaltaisiin diplomitöihin verrattuna tämä työ antaa lisätietoa ISA-95-standardin hyödyntämisestä yksittäisen automatisoidun kappaletavaratuotantosolun ERP-integraatiossa.

LÄHTEET

[1] Rojko A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). 2017 Jul 24,;11(5):77

[2] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). 2016:3928-37

[3] Drath R, Horch A. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. IEEE Industrial Electronics Magazine. 2014;8(2):56-8

[4] Schuh G, Anderl R, Gausemeier J, ten Hompel M, Wahlster W. Industrie 4.0 Maturity Index. München: Herbert Utz Verlag GmbH; 2017

[5] Uriarte AG, Ng AHC, Moris MU. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. Procedia Manufacturing. 2018;25:586-93

[6] Kagermann H, Helbig J, Hellinger A, Wahlster W. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion; 2013

[7] Marilungo E, Papetti A, Germani M, Peruzzini M. From PSS to CPS Design: A Real Industrial Use Case Toward Industry 4.0. Procedia CIRP. 2017;64:357-62

[8] Bahrin M, Othman F, Talib M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. Jurnal Teknologi. 2016;78

[9] Øvern A. Industry 4.0 - Digital Twins and OPC UA. Norwegian University of Science and Technology; 2018

[10] Rüdiger Fritz, Director Product Management, SAP Plant Connectivity. Connected in 10min: How SAP systems leverage OPC UA. 2018

[11] Escudier M, Atkins T. A Dictionary of Mechanical Engineering. Oxford University Press; 2019

[12] Butterfield A, Gerard EN, Kerr A. interface. 2016

[13] Shehab EM, Sharp MW, Supramaniam L, Spedding TA. Enterprise resource planning: An integrative review. Business Process Management Journal. 2004;10(4):359-86

[14] Atul G. Enterprise resource planning: the emerging organizational value systems. Industrial Management & Data Systems. 2000;100(3):114-8

[15] Peng GC, Gala A. CLOUD ERP: A NEW DILEMMA TO MODERN ORGANISATIONS? . The Journal of Computer Information Systems. 2014;54(4):22-30

[16] Buyaa R, Broberg J, Goscinski A. Cloud Computing: principles and paradigms. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2011

[17] Govindaraju R, Putra K. A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016 February 1;114:012094

[18] Kletti J. Manufacturing Execution Systems (MES). Berlin, Heidelberg: Springer; 2007

[19] Järvenpää E, Lanz M, Tokola H, Salonen T, Koho M. Production planning and control in Finnish manufacturing companies – Current state and challenges. 2015

[20] Saaksvuori A, Immonen A. Product Lifecycle Management. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2008

[21] Stark J. Product Lifecycle Management. 2nd edition ed. Springer London; 2011

[22] Fastems - Factory Automation Systems [Internet]. [viitattu 31.12.2019]. Saatavilla: https://www.fastems.com/offering/automation-systems/

[23] Fastems - Factory Automation Systems for Metal Cutting Industries [Internet]. [viitattu 17.3.2020]. Saatavilla: https://www.fastems.com/offering/automation-systems/

[24] Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology. Edition 2.0 ed. Geneva: ISO Copyright Office; 2013

[25] OPC Foundation website [Internet]. [viitattu 7.5.2020]. Saatavilla: https://opcfoundation.org/

[26] Mahnke W, Leitner S, Damm M. OPC unified architecture. Berlin: Springer; 2009

[27] Ebert N, Weber K, Koruna S. Integration Platform as a Service. Business & Information Systems Engineering. 2017;59(5):375-9

[28] Linthicum DS. Enterprise application integration. Reading, Mass: Addison-Wesley; 2000

[29] Serrano N, Hernantes J, Gallardo G. Service-Oriented Architecture and Legacy Systems. IEEE Software. 2014;31(5):15-9

[30] Bratukhin A, Sauter T. Functional Analysis of Manufacturing Execution System Distribution. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2011 November;7(4):740-9

[31] Enterprise-control system integration - Part 3: Activity models of manufacturing operations management. Edition 2.0 ed. Geneva: ISO Copyright Office; 2016

[32] Raikkonen A. MES- ja APS-järjestelmän tarvekartoitus, vaatimusmäärittely ja vertailuanalyysi; 2018

[33] Virta JP, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta, Aalto-yliopisto, Aalto University. Tuotannonohjaustoimintojen sovellusintegraatio OPC Unified Architecture -tekniikkaa hyödyntäen. Aalto University; 2010

[34] Kröger J, Sähkötekniikan korkeakoulu, Aalto-yliopisto, Aalto University. Uusien integraationstandardien soveltaminen tuotannonohjausjärjestelmiin joustavassa tuotannossa.

[35] Takala T, Sähkötekniikan korkeakoulu, Aalto-yliopisto, Aalto University. Model-driven application integration for manufacturing execution systems.

[36] Lautala J. ISA-95 -standardin ja siihen liittyvien suunnittelumallien hyödyt valmistuksenohjausjärjestelmätoimittajalle. Tampere University of Technology; 2010

[37] The new Konecranes S-series crane [Internet]. [viitattu 5.5.2020]. Saatavilla: https://www.konecranes.com/equipment/overhead-cranes/rope-hoist-cranes/the-new-konecranes-s-series-crane

[38] Teamcenter, Product Lifecycle Management software at Konecranes.

[39] 1KC Implementation Project [Internet]. [viitattu 27.1.2020]. Saatavilla: https://konecranes1.sharepoint.com/sites/mykonecranes/it/it_projects/1kc_origo/Pages/ORiGO-Implementation-Waves.aspx

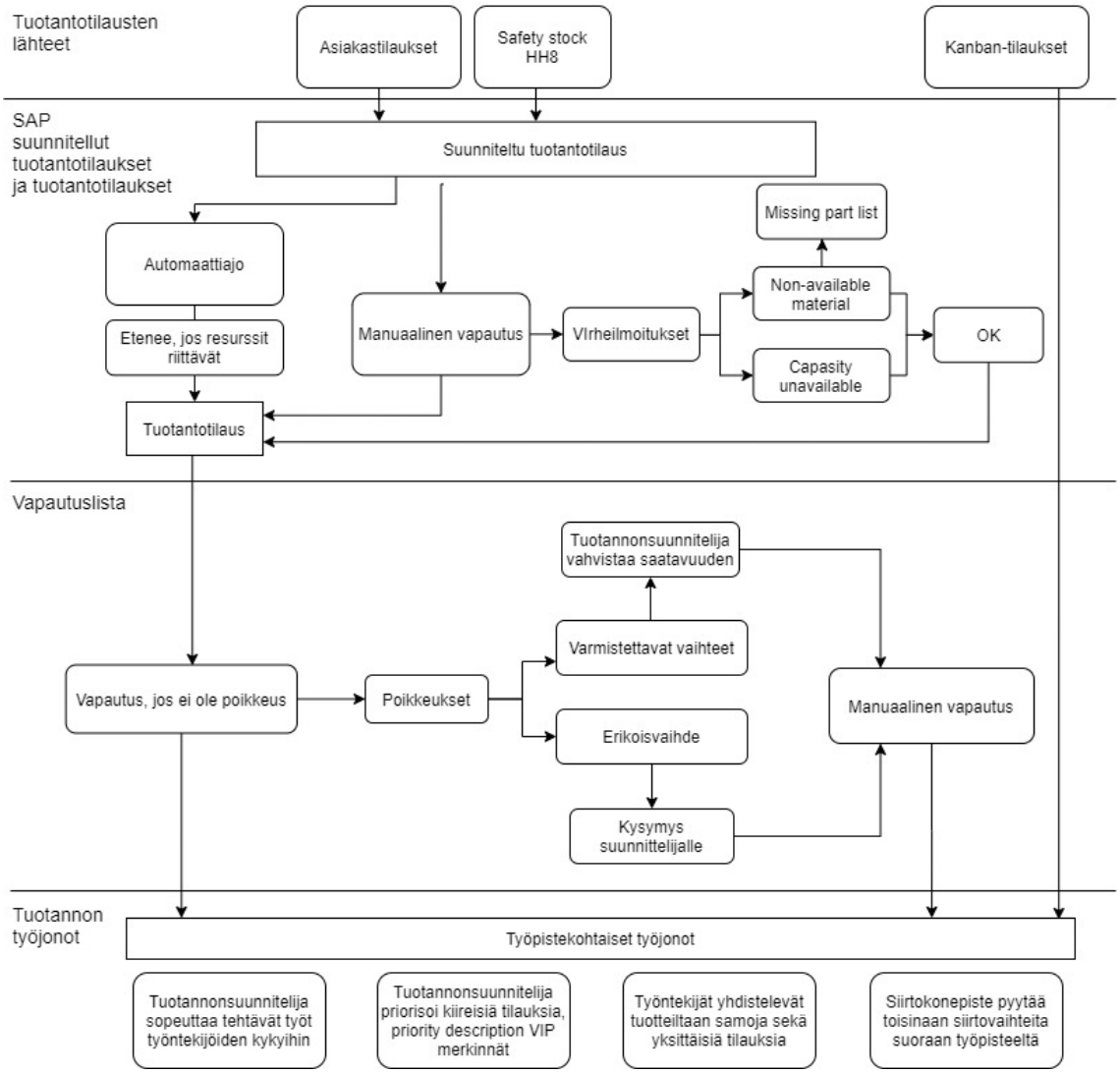
[40] Teamcenter Instructions [Internet]. [viitattu 15.5.2020]. Saatavilla: https://konecranes1.sharepoint.com/sites/mykonecranes/teamcenter-instructions

[41] Nenonen M, Kivinen J. Fastems Manufacturing Management System -esittely. 13.11.2019,

[42] Akhtar J. Production Planning and Control with SAP ERP. 2nd ed. Boston (MA): Rheinwerk Publishing; 2016

LIITTEET

Liite A: Kaavio Hämeenlinnan vaihdetehtaan kokoonpanon tuotannonohjauksesta



Liite B: Ryhmähaastatteluiden muutosvaatimuslista

Prioriteetit:
3. Pakollinen
2. Toivottava
1. Valinnainen

Tuotetiedon hallinta

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
Tuoterakenne ERP:ssa	3	SAP tuotannon-ohjaus
Rakenteellinen osaluettelo ja sen hallinta huomioiden ERP:n lisäksi myös PLM	3	tuotannonkehitys
Tuoterakennetta ei erikseen päivitetä ja hallita ERP:n ulkopuolisessa järjestelmässä, kuten FMS:sa	2	SAP
ERP hallitsee varastonimikkeitä	2	tehdaspäällikkö
Tuoterakenteessa robotilla koottavat yhdistelmät alarakenteena, kokoonpanovaiheen ohittava ensio-akseli erillään rakenteessa	2	tuotannonohjaus
Tuotantotilauksen yhdistys lavaan	1	tuotannonohjaus

Tuotannon resurssien hallinta

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
ERP ja FMS oikeat ja yhtenevät varastosaldot	3	tehdaspäällikkö
Yhdistelmien kokoonpanolle luotava 3 manuaalista ja 3 automaattista workcenteria ERP:iin	3	tuotannonohjaus

Tarkka aikataulutus

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
ERP:n tuotantotilausten lista (työjono) rajapintana robottisolua ohjaavaan järjestelmään	2, 3	SAP tuotannon-kehitys
Yhdistelmien kokoonpanon varasto-ohjautuvuus säilytettävä	2	tehdaspäällikkö
Kanban-tilausten toistuvuuden ennakointi	2	tuotannonohjaus

Työtilausten vapautus

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
Työjonon tuotantotilausten aikataulu, määrä ja järjestys kuntoon ERP:ssa	3	tuotannonkehitys

Tuotannon suorituskyvyn analyysi

ei vaatimuksia

Tuotannon toteuttamisen hallinta

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
ERP ei suoraan ohjaa tuotantolaitteita	3	SAP
Tuotantotilausten vaiheketju (routing) kuntoon ERP:ssa	3	tuotannonkehitys
Välityksen yhdistelmät samalla lavalla varastoon	3	tuotannonohjaus
Hammaspyörien asennussäännöt robotin logiikkaan	3	työntekijät
Lukkorenkaan asennus ja liukurenkaan liimaus tehtävä manuaalisesti ennen robottisolua (asennetaan osalle nimikkeistä)	3	työntekijät
Materiaalivirran hallinnan kehitys	2	SAP
SAP työjono ohjaa MES-tason järjestelmän kautta robottia	2	tehdaspäällikkö
Hammaspyörien ja akseleiden sijainti ja päällimmäinen puoli lavalla tiedettävä	2	tuotannonohjaus
Lukkorenkaan ja holkin tarvitsevat yhdistelmät valmisteltava ennen robottia	2	tuotannonohjaus
Tuotantoautomaation ohjauksen kehitys	1	SAP

Datan keräys

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
Nimikkeiden reaaliaikaiset kokoonpanotiedot	2	tehdaspäällikkö
ERP:iin kuittaukset tuotantotilauksen aloituksesta ja lopetuksesta	2	tuotannonohjaus

Tuotannon seuranta

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
Tuotantotilauksen kuittaukset ERP:hen	3	tuotannonkehitys
Tuotantolaitteiden seurannan kehitys	2	SAP
Varastosiirtojen kuittaukset ERP:hen	2	tuotannonkehitys
Testaustiedon syöttö takaisin ERP:lle	1	SAP

Muut vaatimukset

Vaatimus	Prioriteetti	Ryhmä
Järjestelmien slave-master suhteiden hahmotus	2	SAP
Moneen toimintaympäristöön sopeutuvat modulaariset järjestelmät	2	SAP
Järjestelmän rajapinnan selkeä ja globaalisti yhtenevä määritys	2	SAP
Olemassa olevien järjestelmien ja sisäisten asiantuntijatiimien hyödyntäminen	2	SAP
Järjestelmä on helppokäyttöinen ja käyttäjäystävällinen	2	SAP
ERP varastonhallinnan päivitys IM-mallista WM-malliin huomioitava järjestelmäkehityksessä	2	tehdaspäällikkö
Järjestelmäintegraation hallinnointi	1	SAP