



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Risto Ylijoki

Sensoridatan hyödyntäminen tuotantolinjan kehittämisessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

20.11.2019

Tekijä Otsikko	Risto Ylijoki Sensoridatan hyödyntäminen tuotantolinjan kehittämisessä
Sivumäärä Aika	43 sivua + 2 liitettä 20.11.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi Projektipäällikkö Atte Koskela
<p>Insinööriyön toimeksiantajana toimi ABB Drives. Työssä käsiteltävä linjasto on ABB:n Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla. Osastolla, jonne työ on tehty, halutaan kehittää lähiaikoina valmistuneita uusia linjastoja, johon työssä tehdyllä selvityksellä annettiin pohja. Työssä oli tarkoituksena kehittää kyseisen linjaston toimintaa hyödyntämällä linjastolla olevien sensoreiden tarjoamaa dataa sekä esimerkiksi SAP-tietokannoista löytyvää dataa.</p> <p>Työssä etsittiin sopivia tietolähteitä ja tarvittavaa dataa kerättäväksi linjaston sarjanumerotasolla tapahtuvaa seuranta varten. Datalähteiksi valikoituivat pääasiassa valmistuslinjastolla käytössä olevat sekä tuotannonohjauksessa käytettävät SAP-tietokannat sekä valmistuslinjastolla olevat anturit.</p> <p>Käytettävissä olevien datalähteiden perusteella työssä suunniteltiin linjaston seuranta varten työkalu, jolla työnjohtajat ja tuotannonsuunnittelijat pääsevät seuraamaan tuotannon työskentelyä. Seurantaan käytettävää informaatio suunniteltiin siten, että sitä on mahdollista hyödyntää myös linjaston visuaalisessa ohjauksessa.</p> <p>Työssä määritellyn datan avulla toimeksiantajalla on hyvät valmiudet tehdä tarvittavat toimenpiteet seurannan toteuttamiseen käytännössä sekä jatkaa linjaston seurannan automatisoinnin kehitystyötä.</p>	
Avainsanat	Tuotantolinja, IIoT, anturi, sensoridata

Author Title	Risto Ylijoki Development of a Production Line by Using Sensor Data
Number of Pages Date	43 pages + 2 appendices 20 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer Atte Koskela, Project Manager
<p>The Bachelor's thesis was assigned by ABB Ltd. The thesis examines the production line for module assembly, which is located in ABB Drives factory in Pitäjänmäki, Helsinki. Large investments have been made in new production lines in order to improve production line automation. The objective of the thesis was development of the production line and tracking of assembled modules on the production line.</p> <p>The writing of the thesis was started by finding the appropriate sources of information for tracking each module on a serial number basis. The tracking was based on data collected from SAP databases and sensors located on the production line. Based on the information collected from the production line and SAP a tool was designed for monitoring the production line activity. The data collected for monitoring the production line was also designed for the use of visual guidance tools for assemblers working on the production lines.</p> <p>In conclusion, it was discovered that it is possible to monitor the location of each module on the production line using data from sensors and SAP. Based on the results, the client company is well-equipped to implement the required procedures and to develop the production line and its automation even further.</p>	
Keywords	Production line, IIoT, sensor, sensor data

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Toimeksiantaja ja valmistuslinjasto	2
2.1	ABB Oy	2
2.2	Nykyinen linjasto	2
2.2.1	Linjaston rakenne	3
2.2.2	Linjaston ohjausjärjestelmä	9
3	Esineiden internet ja sensorit	10
3.1	Esineiden internet	10
3.2	Massadata	11
3.3	Sensorit	12
3.3.1	Elektromagneettiset sensorit	12
3.3.2	Konenäkö	13
3.3.3	Läheisyysanturit	14
4	Taajuusmuuttajamoduulien seuranta linjastolla	17
4.1	Nykyisten sensorien tarjoama data linjaston toiminnasta	17
4.2	SAP-data	18
4.3	Linjastolta haluttava informaatio	18
4.3.1	Datan hallinnointi	20
4.3.2	Seuranta SAP-dataa ja sensoridataa yhdistämällä	20
4.3.3	Moduulin tila	24
4.3.4	Tahtiaika, puskuriaika ja läpimenoaika	25
4.3.5	Työpisteen tila	27
4.3.6	Komponenttien ja valmistettujen tuotteiden laatu	28
4.3.7	Häiriötilanteet	28
4.4	RFID-seuranta	29
5	Älykkäät laadunvarmistusjärjestelmät	33

6	Visuaalinen seuranta ja ohjaus	36
6.1	Linjaston seuranta	36
6.2	Linjaston ohjaus	38
7	Yhteenveto	40
7.1	Tavoitteiden saavuttaminen	40
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Linjaston layout	
	Liite 2. Linjaston seurantanäkymä	

Lyhenteet

Big Data	Massadata. Erittäin suuri tietomassa.
Digital Twin	Digitaalinen kaksonen on tarkka virtuaalinen kopio fyysisistä prosesseista, ihmisistä, ympäristöistä, järjestelmistä tai laitteista, joita käytetään datan keräämiseen ja käsittelyyn.
ESD	<i>Electrostatic discharge</i> . Staattisen sähkön purkaus.
IGBT-moduuli	<i>Insulated-Gate Bipolar Transistor</i> . Suuritehoinen bipolaaritransistori.
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> . Teollinen esineiden internet.
IoT	<i>Internet of Things</i> . Esineiden internet.
Nm	Newtonmetri.
OPF-linjasto	<i>One Piece Flow</i> . Moduuli valmistetaan yksi vaihe kerrallaan työpisteillä.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> . Ohjelmoitava logiikkaohjain.
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> . Radiotaajuinen etätunnistus.
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä, jota käytetään datan hallintaan.
TP	Työpiste. Numero kertoo työpisteen sijainnin linjastolla.

1 Johdanto

Insinööriyössä käsitellään ABB:n Pitäjänmäen tehtaan erään valmistuslinjaston seurannan automatisointia ja teollisuus 4.0 -konseptia. Teollisuus 4.0:aan liittyy esimerkiksi virtuaalimaailman hyödyntäminen, laitteiden ja järjestelmien välinen integraatio sekä dataan perustuvat palvelut ja liiketoimintamallit (Raunio 2014; Singh et al. 2019). Myös esimerkiksi esineiden internetin, IoT:n, hyödyntäminen on merkittävässä roolissa tulevaisuudessa, ja tätä pyritään hyödyntämään tuotannon työskentelyä ja tuottavuutta parannaessa (Mladineo et al. 2019, 385). Kerättävää dataa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi keinoälyllä toimivaan työntekijöiden ominaisuuksia huomioivaan työpistejakoon tai valmistettävien tuotteiden jakamiseen tasaisemmin linjastojen välillä, jotta linjaston toiminta pysyy tehokkaana.

Työssä on tarkoituksena edistää kerättävän tiedon tehokasta hyödyntämistä sen sijaan, että dataa kerätään sekalaiseksi tietokannaksi, josta kaikkea tietoa ei välttämättä hyödynnetä tai sitä käytetään tehottomasti. Tutkimuskysymykset, joihin työssä vastataan ovat ”kuinka linjaston toiminnan seuranta voidaan parantaa?” sekä ”kuinka linjaston seurannan parantamisella voidaan vaikuttaa linjaston toimintaan?”

Linjaston seuranta tullaan parantamaan sensoridataa ja SAP-dataa hyödyntämällä ja näin antaa toimeksiantajalle uusia mahdollisuuksia linjaston hyödyntämiseen. Lopputulokseksi tavoitteena on saada ehdotus linjaston seurantaan tarvittavasta datasta, datan keräysmenetelmistä ja tallentamisesta sekä seurantanäkymästä ja sen tarjoamasta informaatiosta niin työnjohdolle kuin tuotannosuunnittelullekin.

Työn ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan valmistuslinjaston toimintaan sekä perehdytään linjaston tämänhetkiseen kokoonpanoon. Toisessa vaiheessa tutustutaan teolliseen internetiin sekä sen tarjoamiin mahdollisuuksiin. Tämän jälkeen keskitytään linjaston toiminnan seuraamisen kehittämiseen hyödyntämällä jo olemassa olevia datalähteitä sekä mahdollisia uusia datalähteitä. Lopputuloksena pyritään löytämään ratkaisu linjaston visuaaliseen seurantaan sekä linjaston työntekijöiden visuaaliseen ohjaamiseen tehokkaampaa tulosta tavoitellessa.

2 Toimeksiantaja ja valmistuslinjasto

2.1 ABB Oy

Insinööri työ tehdään ABB Oy:lle ABB Drivesin Pitäjänmäen tehtaalle. Työssä käsiteltävällä osastolla ollaan lähiaikoina investoitu uusiin valmistuslinjastoihin taajuusmuuttajille ja esimerkiksi robottisoluun IGBT-moduulien valmistuksessa sekä tehdasympäristössä pilottiprojektina olevaan 5G-sovellukseen. Investointien myötä tehtaalla ollaan kiinnostuneita kehittämään tuotannon toimintaa parempaa tuottavuutta kohti. (Inside+ ABB 2019.)

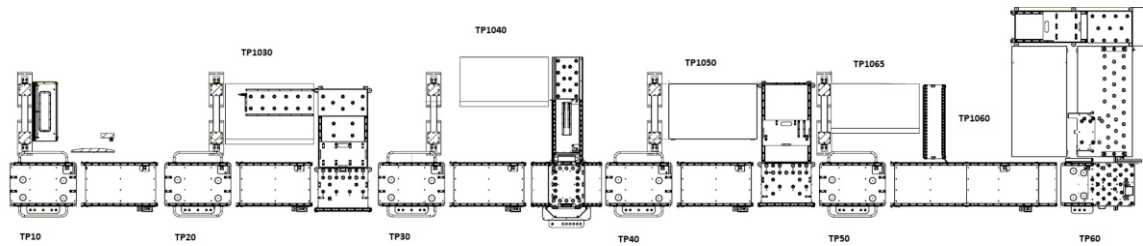
2.2 Nykyinen linjasto

Insinööri työssä käsiteltävällä valmistuslinjalla on yksitoista työpistettä, joista jokaisella on yksi työntekijä. Linjastoja on kaksi identtistä, ja moduulien asennustyö jakautuu näiden kesken. Linjastojen toimittaja on toimittanut osastolle useita linjastoja, joista tässä työssä käsitellään yhtä.

Linjaston rakennekuva (kuva 1) ja esittely löytyy kappaleesta 2.2.1 sekä tarkempi layout-piirustus liitteestä 1. Linjaston tavoitteellinen tahtiaika on 20 minuuttia, sekä valmistettavien taajuusmuuttajamoduulien määrä 18 yhdessä vuorossa. Tällä hetkellä tahtiaika hitaimmassa työvaiheessa on linjastolla tehtyjen kellotusten mukaan 22 minuuttia ja 11 sekuntia (Kilgast 2019), jonka mukaan laskettuna moduuleita pitäisi valmistua linjastolta noin 18 yhden vuoron aikana. Todellinen luku valmistetuille moduuleille on kuitenkin keskimäärin 15 moduulia yhden vuoron aikana yhdeltä linjastolta (Osaston Power BI 2019).

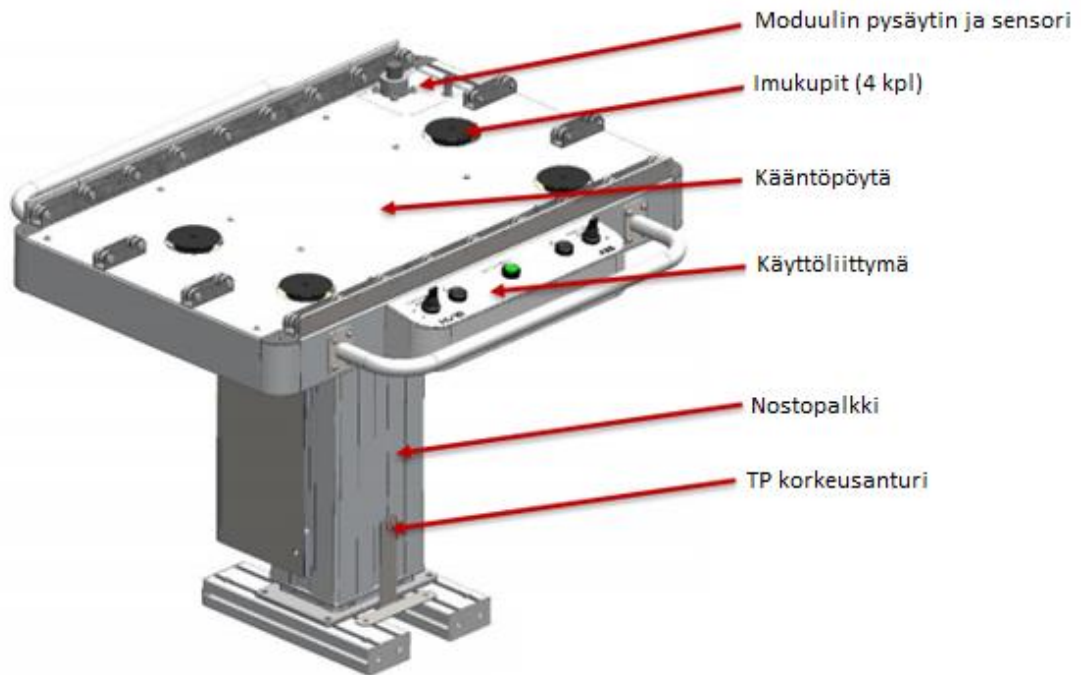
Moduulien keskimääräinen läpimenoaika linjastolta on 222 minuuttia viimeisen kuuden kuukauden aikana (Osaston Power BI 2019). Läpimenoaika tarkoittaa moduulin linjastolla viettämää aikaa, ennen kuin se on valmis ja toimitetaan koestamon eteen odottamaan koestuksen aloitusta.

2.2.1 Linjaston rakenne



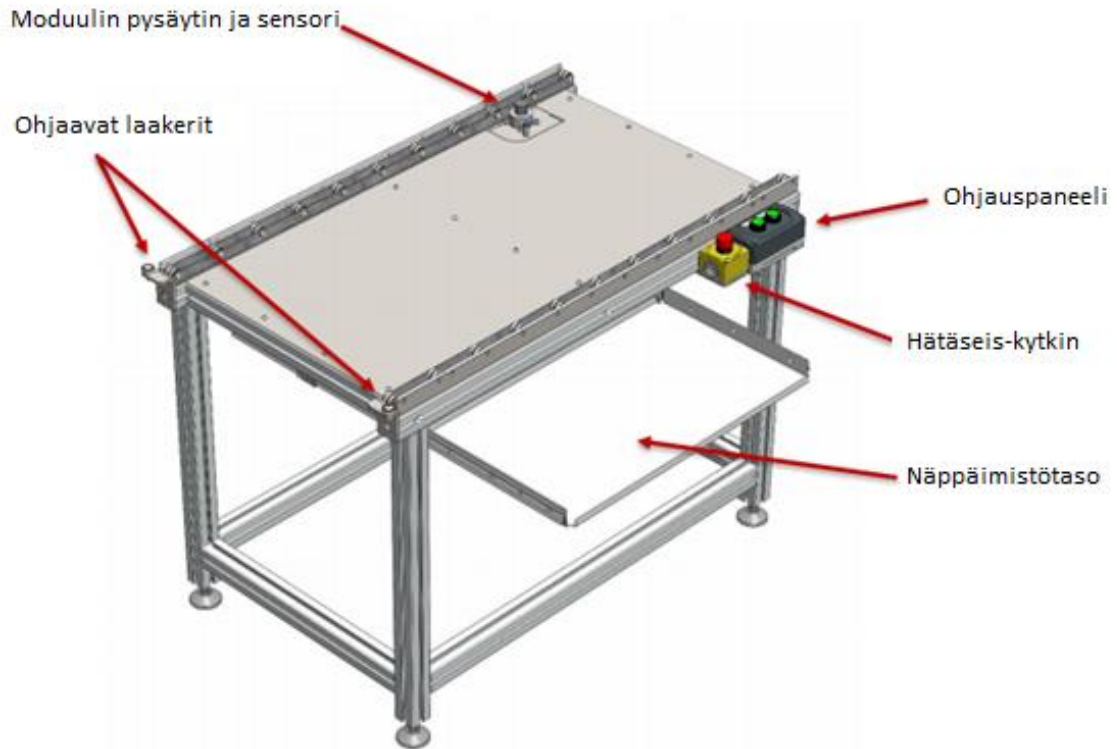
Kuva 1. Valmistuslinjan rakennekuva, johon on merkitty linjaston työpisteet (Linjaston toimittaja 2019, 5).

Linjastolla on viisi korkeussäädettävää ja käännettävää loppukokoonpanotyöpistettä (kuva 2). Työpisteillä oleva induktiivinen anturi löytyy linjaston kulkusuuntaan nähden oikeasta reunasta. Anturi ohjaa näillä työpisteillä taajuusmuuttajamoduulien pysäytintä, imukuppitarraimia ja pöydän pyörimisliikettä. Pöydän pyörimisliikkeen ohjaaminen on tärkeää, jotta pöytää ei voi turvallisuussyistä kääntää taajuusmuuttajamoduulin ollessa pöydällä lukitsemattomana.



Kuva 2. Loppukokoonpanotyöpisteiden (TP10 – TP50) pöydän rakenne sekä sensorin sijainti näillä työpisteillä (Linjaston toimittaja 2019, 8).

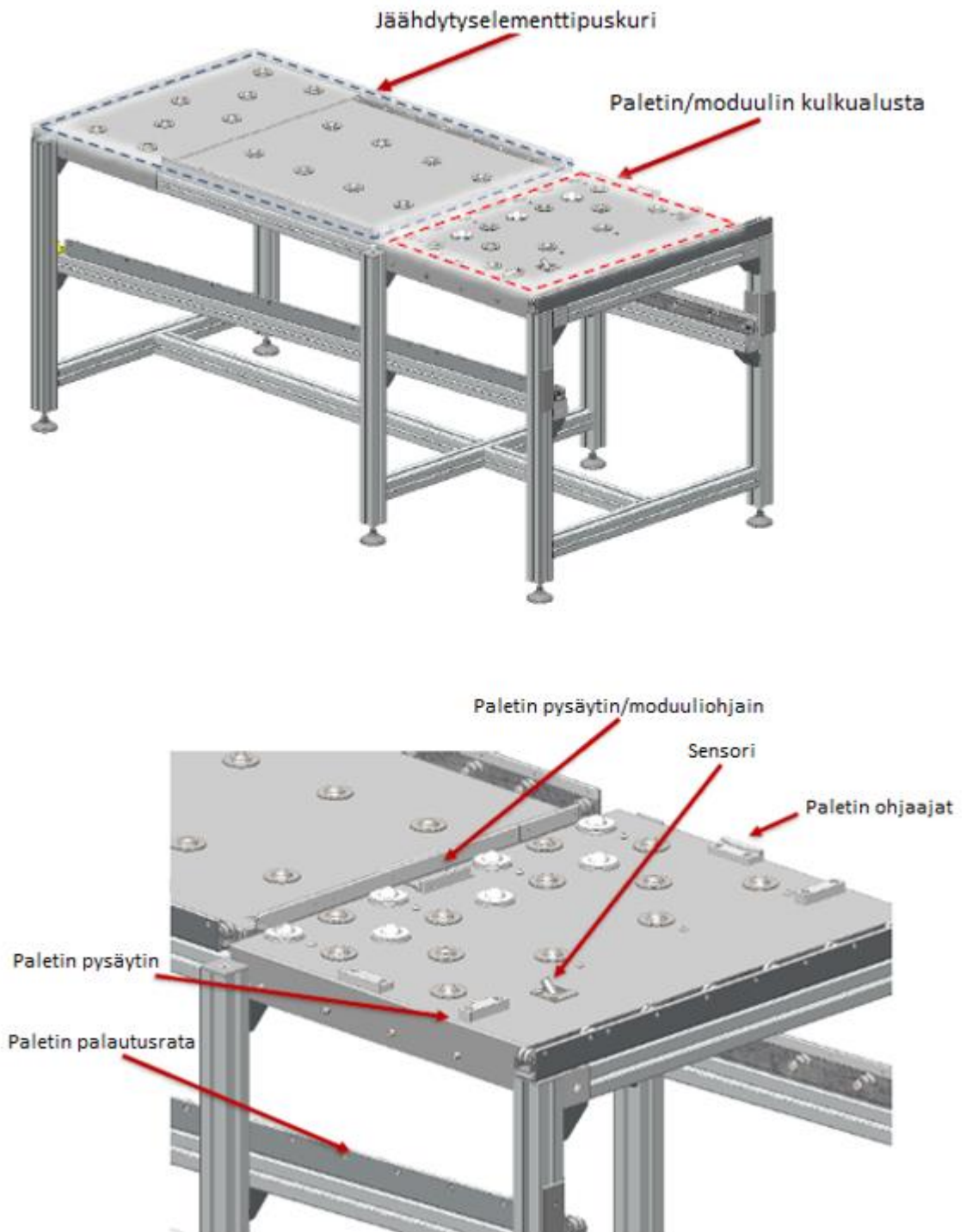
Loppukokoonpanotyöpisteiden välillä on myös moduulipuskurit (kuva 3), joihin edellisellä työpisteellä valmistunut taajuusmuuttajamoduuli työnnetään odottamaan seuraavan työvaiheen aloitusta. Anturit toimivat moduulipuskureissa ainoastaan moduulinpysäyttimen ohjauksessa. Loppukokoonpanon työvaiheiden pituus vaihtelee työpisteillä tehtyjen kelloitusten mukaan noin 16,5 minuutin ja hieman yli 22 minuutin välillä työpisteen TP10 ollessa hitain ja TP30 nopein (Kilgast 2019).



Kuva 3. Loppukokoonpanotyöpisteiden välillä oleva puskuritila valmistettaville moduuleille ja sensorin sijainti näillä työpisteillä (Linjaston toimittaja 2019, 11).

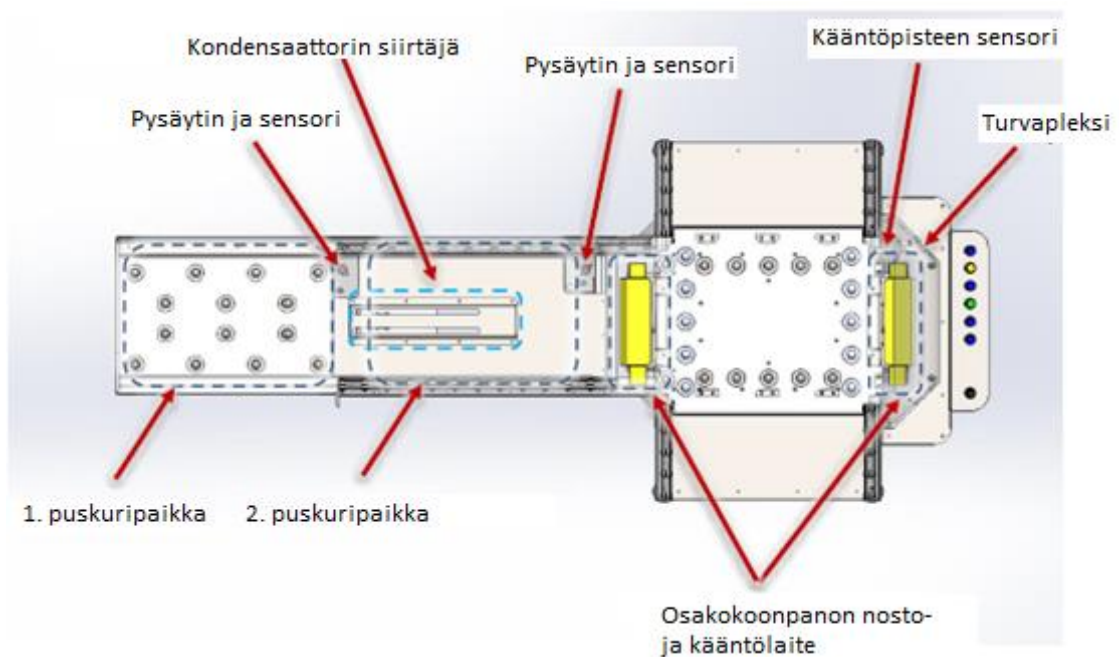
Osakokoonpanojen puskuureissa on myös sensoreita, jotka ohjaavat osakokoonpanojen siirtämistä loppukokoonpanolinjastolle, sekä esimerkiksi kondensaattoripakettien kääntämistä asennusta varten.

Osakokoonpanoista ensimmäinen vasemmalta on jäähdytinelementin kokoonpano. Jäähdytinelementti tulee työpisteeltä kuljettimelle (kuva 4), josta elementti nostetaan loppukokoonpanolinjastolla kulkevan taajuusmuuttajamoduulin päälle kyseisen elementin nostoon tarkoitetulla nosturilla. Jäähdytinelementin asennustyöpisteen tahtiaika on noin 18 minuuttia (Kilgast 2019).



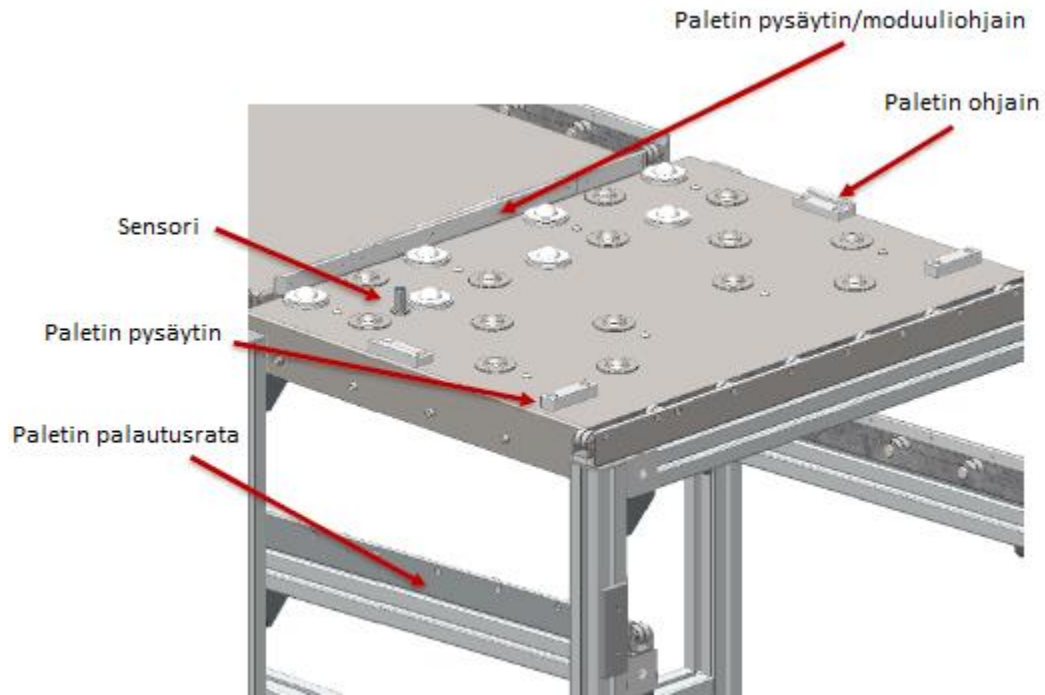
Kuva 4. Jäähdytyslementin osakokoonpanon kuljettimen rakenne ja lähikuva pöydästä (Linjaston toimittaja 2018, 14).

Jäähdytinelementistä seuraava osakokoonpano on kondensaattoripaketin kokoonpano, josta valmis kondensaattoripaketti tulee kääntopisteelle (kuva 5). Kääntopisteellä kondensaattoripaketti käännetään ylösalaisin asennusta varten ja nostetaan kokoonpantavan taajuusmuuttajamoduulin päälle työvaihetta varten suunnitellulla nosturilla. Kondensaattoripaketti on osakokoonpanon työpisteistä selvästi hitain hieman alle 21 minuutin tahtiajalla (Kilgast 2019). Tällä työpisteellä on sensoreita kahdella puskuripaikalla sekä kääntopisteellä. Sensorit puskurialueella ohjaavat kondensaattoripatterin liikuttamista ja sensorit kääntopisteellä ohjaavat kääntolaitteen toimintaa.



Kuva 5. Kondensaattoripaketin osakokoonpanopuskuri ja kääntopiste sekä niistä löytyvät sensorit (Linjaston toimittaja 2018, 24).

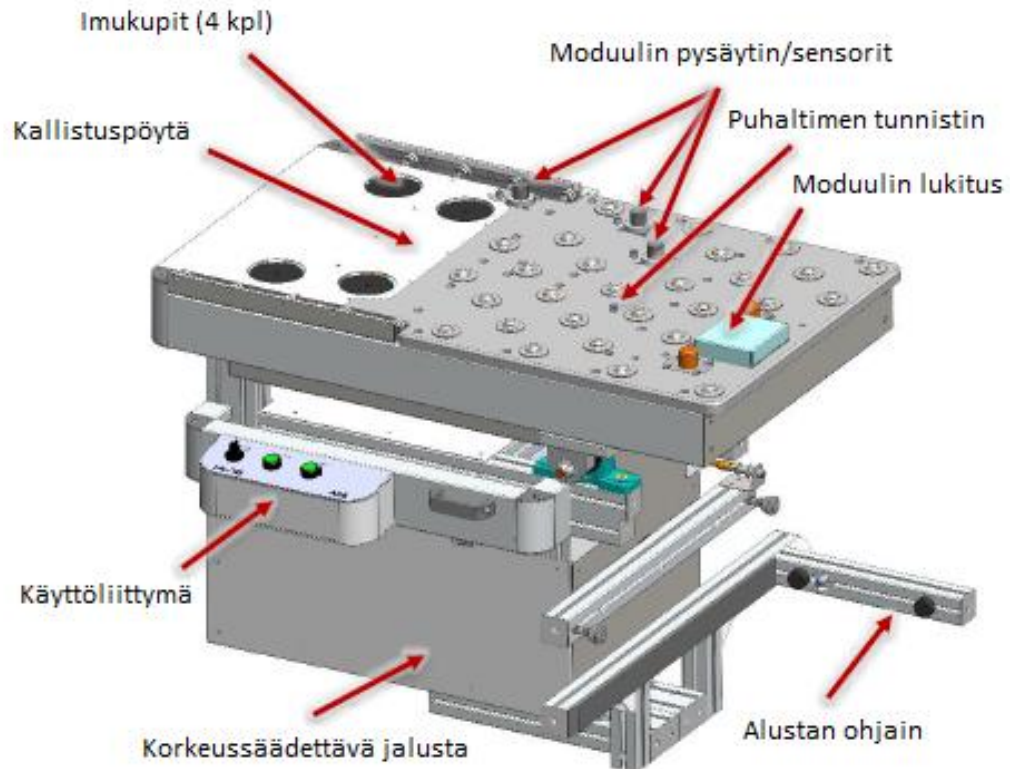
Korttisalkku-osakokoonpanossa valmistettava ohjausyksikkö työnnetään kokoonpanon jälkeen lähes samanlaiselle puskurikuljettimelle kuin jäähdytinelementin pöydällä (kuva 6). Erona työpisteiden välillä ovat erilaiset kuljetuspaletit ja hieman eri tavalla sijoitetut paletinohjaimet sekä sensorit. Korttisalkku on huomattavasti kevyempi kuin jäähdytinelementin ja kondensaattoripaketin osakokoonpanot, joten se voidaan nostaa käsin asennettavaksi taajuusmuuttajamoduulin päälle. Keveä ja yksinkertainen osakokoonpano on myös nopea tehdä noin 16 minuutin tahtiajalla (Kilgast 2019).



Kuva 6. Korttisalkun osakokoonpanon nostopiste ja siinä olevat sensorit (Linjaston toimittaja 2018, 15).

Puhaltimen ohjausyksikkö ja puhallin tehdään työpisteillä, joihin ei ole asennettu antureita. Molemmat työvaiheet ovat huomattavasti nopeampia, kuin muut työvaiheet puhaltimen ohjausyksikön 7 minuutin tahtiajalla ja puhaltimen 14 minuutin tahtiajalla (Kilgast 2019). Näiden työvaiheiden valmistumista voidaan seurata SAPissa, mutta antureiden puuttumisen takia paikkatietoa näiltä osakokoonpanoilta ei suoraan saada.

Viimeisenä vaiheena on puhaltimen osakokoonpanon kiinnittäminen jalustaan ja jalustan asennus moduuliin. Asennus tapahtuu kääntöpöydällä (kuva 7), jossa ensimmäinen vaihe on, kun moduuli tulee pöydälle ja imukupitarraimet tarttuvat kiinni moduulista ja jalusta asennetaan mekaanisen kiinnittimen ollessa ala-asennossa pois tieltä. Tämän jälkeen moduuli vapautetaan seuraavaan pisteeseen, noin 10 cm eteenpäin linjastolla, josta mekaaninen tarttuja tarttuu kiinni moduulin alareunasta imukupitarrainten lisäksi ennen kääntöä. Lopuksi moduuli nostetaan pystyasentoon, koska moduulia kuljetetaan linjastoasennuksen jälkeen pystyasennossa koestukseen sekä sieltä eteenpäin pakkaukseen tai jälkiasennuslinjoille. Työvaiheen kesto on noin 22 minuuttia (Kilgast 2019).



Kuva 7. Moduulin kääntöpiste, jossa asennetaan jalusta ja puhallin moduuliin ja nostetaan moduuli pystyasentoon (Linjaston toimittaja 2018, 28).

2.2.2 Linjaston ohjausjärjestelmä

Linjaston ohjaus toimii ABB:n PM554-T -PLC:llä, joka ohjaa linjaston toimintaa. Tähän on yhdistetty neljä ABB:n DI524 digitaalista inputmoduulia sekä kolme DO524 digitaalista outputmoduulia sekä Omronin S8VK-C48024-virtalähde. Tuotantolinjalla moduulien paikkatieto tunnistetaan Sickin NP1822 induktiivisilla antureilla. Tämän lisäksi kondensaattoripakettien ja jäähdytinelementtien nostoon käytettävissä nostureiden ohjauksessa käytetään etäisyyttä mittaavia valoantureita.

3 Esineiden internet ja sensorit

Tässä luvussa käsitellään teollisen esineiden internetin, massadatalle ja työssä käsiteltävällä linjastolla olevien tai linjastolle mahdollisesti tulevien antureiden teoriataustaa. Teollisuus 4.0 tarkoittaa teollisuuden uutta aikakautta. Termit teollisuus 4.0 ja teollinen esineiden internet ovat hyvin lähellä toisiaan eikä niillä todellisuudessa ole suurta eroa. Teollinen internet yhdistää lukuisia ohjelmia ja toimii pienemmässä mittakaavassa, kun teollisuus 4.0 -konseptiin kuuluu suuremman mittakaavan automaatio-ovellukset, jotka pohjautuvat teollisen internetin sovelluksiin.

3.1 Esineiden internet

Termi IoT, eli Internet of Things tai suomeksi esineiden internet, tarkoittaa konseptia, jossa erilaiset laitteet kommunikoivat toistensa kanssa automaattisesti esimerkiksi ethernet-verkon kautta tai langattomasti. Näitä laitteita pystytään myös seuraamaan ja ohjaamaan verkon kautta, jolloin jokapäiväinen kommunikaatio laitteiden kanssa muuttuu informatiiviseksi. Esineiden internetiin kuuluvat esimerkiksi sydämen sykettä seuraavat implantit, eläimet, joilla on tunnistesiru, auto, joka seuraa rengaspainetta sensoreilla tai mikä tahansa muu ihmisen tekemä objekti, jolle voidaan antaa IP-osoite ja jonka on mahdollista lähettää dataa verkkoon. (Internet of Things 2017.)

Industrial Internet of Things (IIoT), teollinen esineiden internet, tarkoittaa pohjimmiltaan samaa asiaa kuin esineiden internet. Nimensä mukaisesti se kuitenkin on erityisesti teollisuuden laitteiston toisiinsa yhdistävää internetiä ja näin ollen se on kuitenkin yleensä tarkoitettu isommille esineille kuin esimerkiksi älypuhelimet. (Helmiö 2017: 21.)

Teollisessa internetissä laitteet kommunikoivat yhdessä ja tekevät itsenäisesti päätöksiä ja toimintoja perustuen toisilta laitteilta saatuun tietoon. Teollisen internetin tarjoaman datan avulla voidaan myös tarjota työntekijälle reaaliaikaista tietoa mobiililaitteiden välityksellä esimerkiksi valmistuslaitteiston toiminnasta tai vikatiloiista. (Gierej 2017: 207.)

Teolliseen esineiden internetiin kuuluu useita työkaluja. Sensoreilla kerätään tietoa prosessien kulusta. Kerätty data kulkee niin sanottuna massadatana (Big Data) pilvipalvelimeen tai yrityksen omaan intranettiin. Kerättyä dataa voidaan hyödyntää esimerkiksi

tuotannon tai palveluiden kehittämiseen käyttämällä analysointi- ja optimointiohjelmia ja näistä saatua tietoa. Teollinen esineiden internet mahdollistaa tuotannossa käytettävien ohjelmien yhdistämisen ERP- ja CRM-ohjelmiin. Tuotannosta saatavaa dataa voidaan hyödyntää tuotannon kustannuslaskelmia tehdessä ja ostajilta saatavaa dataa taas kokonpanoprosessin hetkellisessä optimoinnissa. (Giery 2017: 207.)

3.2 Massadata

Big Data, suomeksi massadata, tarkoittaa erittäin suurta, kasvavaa tietomäärää, jossa on jäsenneyä, jäsennelemätöntä ja osittain jäsenneyä dataa. Massadata on monimutkaista, ja sen käsittelyyn tarvitaan tehokasta teknologiaa ja kehittyneitä algoritmeja. Tämän takia liiketoimintatiedon hallintatyökalut, *Business Intelligence* -työkalut, eivät toimi tehokkaasti massadataan liittyvissä sovelluksissa. (Oussous et al. 2018: 433.)

Datatutkijat sekä -ekspertit määrittelevät yleisesti massadatan kolmella V:llä. Ensimmäinen V tulee englannin sanasta *volume*, datan massa. Miljoonat laitteet ja sovellukset, kuten älypuhelimet, sensorit ja tuotekoodit, tuottavat jatkuvasti suuren määrän dataa jatkuvasti kasvavalla nopeudella, ja tätä datan määrää mitataan datan massana. Toinen V on *velocity*, nopeus ja liikkuvuus. Uutta dataa luodaan jatkuvasti todella nopeaa tahtia, ja tästä datasta on pystyttävä erottamaan käyttökelpoinen ja oleellinen nopeasti. Kolmantena V:nä tulee *variety*, monimuotoisuus. Massadataa tuotetaan monissa eri lähteissä monissa eri muodoissa. Datan muotoja ovat esimerkiksi videot, dokumentit ja kommentit. Suuret datakokonaisuudet muodostuvat monimuotoisesta, niin jäsenneyä, kuin jäsenneämättömästäkin tiedosta, yksityisestä tai julkisesta datasta, valmiista tai keskeneräisestä datasta. (Oussous et al. 2018: 433.)

Massadatan määrittämiseen esitetään käytettäväksi myös muita työkaluja kuin kolmea V:tä. Näitä ovat esimerkiksi *veracity*, eli datan todenmukaisuus, *variability*, eli datan liikkeen vaihtelu, sekä *value*, eli datan analysoinnin määrä ja sen hyödyntäminen. (Gandomi & Haider 2014: 138.)

3.3 Sensorit

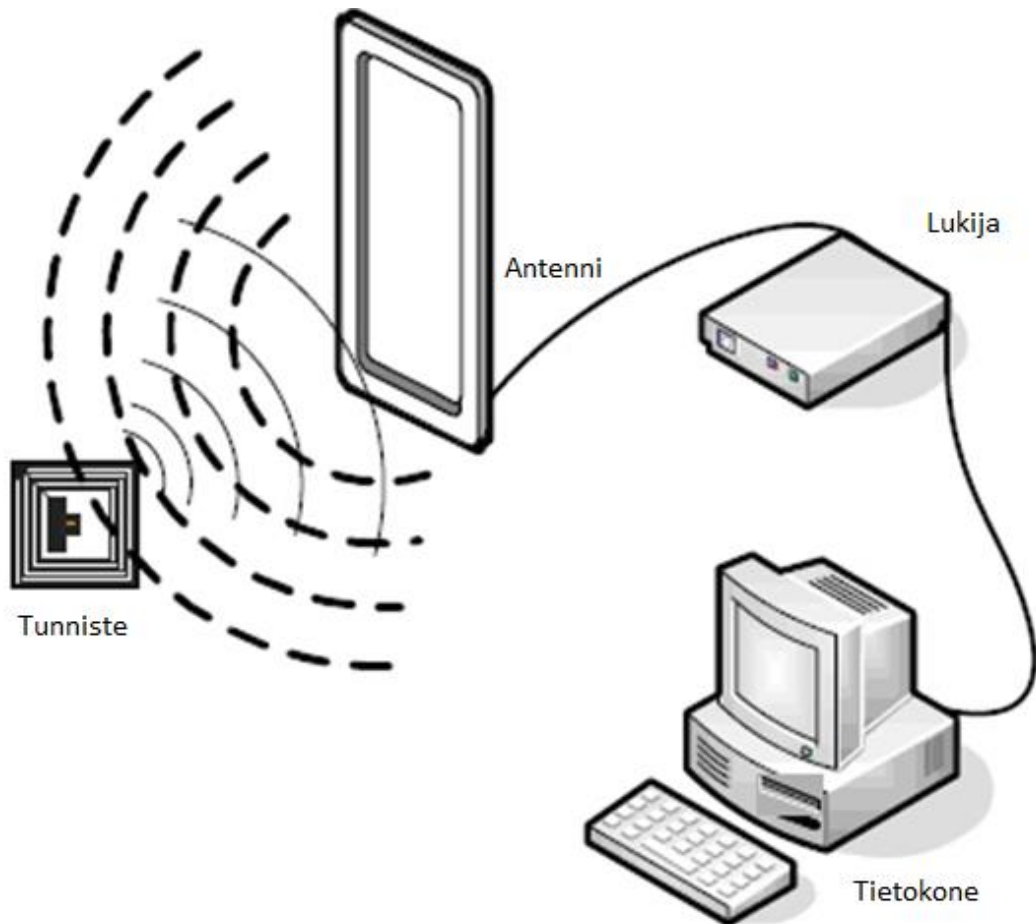
Kasvava datankeräys- ja analysointitarve kasvavalle datamäärälle tehtailla johtaa teollisuuden esineiden internetin ja siinä hyödynnettävien työkalujen kehitykseen, Nykyään nähtävillä on, että eri tyyppiset sensorit ovat muuttumassa entistä pienemmiksi ja niiden keräämä data muuttuu jatkuvasti monimutkaisemmaksi ja helpommin hyödynnettäväksi. (Dhanani, 2016.)

Yhtenä esimerkkinä kehityksestä toimivat ABB:n Smart Sensorit. Smart Sensoreita ovat sensorit, jotka keräävät dataa ympäristöstään ja käsittelevät sitä. ABB:llä on oma ABB Ability Smart Sensor -konsepti, jota käytetään keräämään tietoa asiakkaalle toimitetuista laitteista. Esimerkiksi Motors & Generators käyttää Smart Sensoreita mittaamaan sähkömoottoreiden käyttöikä ja huoltotarvetta. Huolto on mahdollista ajoittaa tarpeen mukaan, eikä aiemmin päätetyn huoltoaikataulun mukaan. (Inside+ ABB 2019.)

3.3.1 Elektromagneettiset sensorit

Elektromagneettiset sensorit käsittävät esimerkiksi radiotaajuiset etätunnisteet (Radio Frequency Identification), eli lyhyemmin RFID-tunnisteet. RFID-tunnisteet ovat langattomia muistilaitteita, joihin tallennetaan tietoa. Tunniste voidaan kiinnittää kohteeseen, johon tieto liittyy, jolloin tieto saadaan pysymään kohteen mukana halutun ajan. Tieto luetaan RFID-lukijalla langattomasti radioaaltoja hyödyntäen. Lukijalla voidaan myös kirjoittaa tunnisteeseen uutta tietoa tai päivittää vanhaa. (RFIDLab 2019; Espacenet 2007.)

Lukulaitteistoon tarvittavia laitteita ovat tietokone, joka hallinnoi dataa, RFID-lukija sekä antenni, joka kommunikoi RFID-tunnisteen kanssa radioaalloilla (kuva 8). RFID-tunniste on mikrosiru, johon on tallennettu esimerkiksi sarjanumero. Antenni toimii kaksisuuntaisesti, eli se lähettää antennista signaalin tunnisteele. Signaalin vastaanotettuaan tunniste lähettää vastaukseksi antennille sisältämänsä tiedon esimerkiksi sarjanumerosta. Lukija lähettää tämän tiedon tietokoneelle, jossa ohjelma lukee vastauksen. Radioaalloilla toiminta mahdollistaa tunnisteen lukemisen ilman suoraa näkyvyyttä tunnisteen ja antennin välillä tai kosketusetäisyyttä suuremmalta etäisyydeltä. (EPC-RFID Info 2019.)



Kuva 8. RFID-laitteiston toiminta (EPC-RFID Info, 2019).

3.3.2 Konenäkö

Konenäkö tarkoittaa kameran tai useiden kameroiden käyttöä tuotteiden tunnistamiseen tai analysointiin esimerkiksi teollisessa tuotantoympäristössä. Kameroiden tarjoamaa informaatiota voidaan hyödyntää prosessien ohjauksessa. Konenäköä voidaan hyödyntää esimerkiksi laadunvalvonnassa, robottien ja laitteiden ohjauksessa ja seurannassa, testaamisessa tai kalibroinnissa, prosessinohjauksessa, datan keräyksessä tai laskennassa. (Lamb 2018.)

Yksi yleinen sovellus konenäkölle on kokoonpanolinjasto, jossa operaattorin työvaiheen jälkeen kamera ottaa kuvan ja voi esimerkiksi tarkastaa komponentin sijainnin, koon, muodon tai muun laadullisesti kriittisen työvaiheen. Kameran tarkastettua tuotteen, kamera ilmoittaa, onko tuote hyväksytty. Tuote voi mennä esimerkiksi seuraavaan

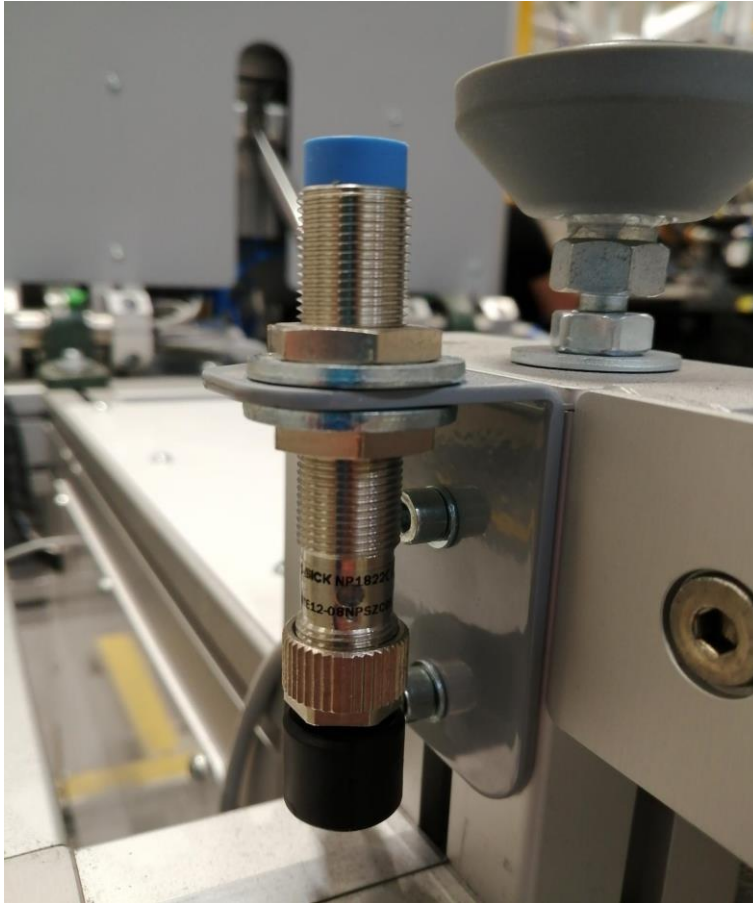
työvaiheeseen tai palautua korjattavaksi. Konenäkö toimii paremmin toistuvissa työvaiheiden tarkastuksissa toimien tasalaatuisesti ja jatkuvasti ilman taukoja. Lisäksi konenäkö on ihmissilmää nopeampi tutkimalla jopa tuhansia tuotteita minuutissa. (Lamb 2018.) Ihmissilmään verrattuna konenäkökamerat voivat toimia valon eri aaltopituuksilla tehokkaammin ja ovat hyödynnettävissä ihmiselle hankalissa olosuhteissa. Tämän lisäksi konenäön etuina voidaan pitää mahdollisuutta käyttää infrapuna-, ultravioletti- tai röntgenkameraa tuotteiden tutkimiseen. (Rouse 2016.)

Konenäkökameralla voidaan tutkia esimerkiksi kohteen kokoa pikseleitä laskemalla tai kohteen laatua etsimällä eri värisiä pikseleitä. Kohteen reunoja konenäöllä voidaan etsiä kontrastierojen perusteella. Usein tausta on eri värinen kuin tarkasteltava tuote. Muotoja ja erilaisia muutoksia materiaalissa voidaan seurata esimerkiksi värin tai pikseleiden muutosten perusteella. Konenäköä voidaan käyttää myös erilaisten viivakoodien ja datamatriisien lukemiseen ja niiden sisältämän informaation hyödyntämiseen. (Lamb 2018.)

3.3.3 Läheisyysanturit

Läheisyysantureita on usean tyyppisiä. Näitä yhdistää kuitenkin se, että ne pystyvät havaitsemaan halutun kappaleen tai materiaalin kauempaa kuin kosketusetäisyydeltä. Läheisyysantureita käytetään teollisuudessa ja tuotannossa todella laajasti erilaisissa sovelluksissa. Läheisyysanturityyppejä on useanlaisia, joten niiden käyttötarkoituksia ja niihin perustuvia sovelluksia on lukematon määrä. Kapasitiiviset anturit mittaavat materiaalin kapasitanssia, induktiiviset anturit induktanssia, valoanturi toimii valon määrän muutoksien perusteella ja ultraäänianturi äänen perusteella (Budimir 2019).

Kapasitiivinen anturi mittaa anturin tunnistusalueella olevaa magneettikenttää ja reagoi sen muutoksiin. Kapasitiivisia antureita käytetään tunnistamaan ei-metallisia kappaleita, kuten muovia tai puuta. Induktiivisen anturin (kuva 9) toiminta perustuu mitattavan kappaleen induktanssiin. Kappaleen lähestyessä anturia, anturi havaitsee muutoksen magneettikentän sitä ympäröivässä magneettikentässä. (Budimir 2019.)



Kuva 9. Linjastolla käytettävä induktiivinen anturi.

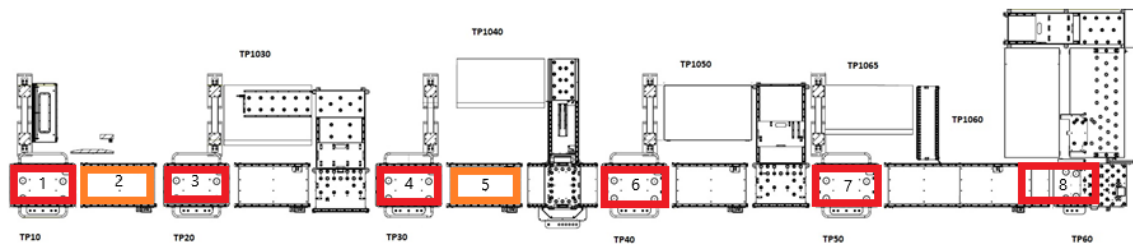
Ultraäänianturit käyttävät ääniaaltoja tunnistamaan kappaleen. Ultraäänianturi muodostaa korkeataajuisen ääniaallon, joka kappaleeseen osuessaan heijastuu takaisin. Äänen paluuajan perusteella voidaan laskea kappaleen etäisyys anturista. Ultraääniantureita käytetään mittaamaan esimerkiksi autojen etäisyyttä toisistaan autojen parkkitutkissa tai automaattisesti parkeeraavissa autoissa. Teollisuudessa ultraääniantureita käytetään usein pullotussovelluksissa mittaamaan nesteen tasoa pullon sisällä. (Budimir 2019.)

Valokennoanturit toimivat nimensä mukaisesti valon avulla. Valokennoantureita on kahdenlaisia. Heijastavat anturit lähettävät valonsäteen, jonka heijastuessa kappaleesta takaisin, reagoi anturin vastaanotin valoon. Toinen valokennoanturityyppi seuraa valonsäteen jatkuvuutta. Lähetin lähettää valonsäteen erilliselle vastaanottimelle tai joissain tapauksissa heijastinpinnan kautta takaisin lähettimeen yhdistetylle vastaanottimelle. Kun kappale katkaisee säteen, anturi lähettää tiedon kappaleesta valonsäteen alueella. (Budinir 2019.)

4 Taajuusmuuttajamoduulien seuranta linjastolla

Tällä hetkellä moduuleiden seuraaminen linjastolla tapahtuu joko SAP-näkymän perusteella tai menemällä katsomaan linjastolla olevien moduuleiden tunnistetarroja. Tässä luvussa selvitetään mahdollisuuksia moduuleiden seurannan parantamiseen yhdistämällä erilaisia jo käytössä olevia seurantamenetelmiä sekä lisäämällä vaadittavia elementtejä seurantaprosessia varten.

Kuvassa 10 on esitetty mahdollinen tilanne, jossa moduuleita on sekä työn alla työpisteillä, että puskuritilassa odottamassa. Tämän hetkiselällä järjestelmällä tiedetään esimerkiksi, että työpisteeltä TP10 on valmistunut moduulit numeroilla 2 ja 3. Tästä eteenpäin tieto näiden etenemisestä katoaa siihen asti, kunnes moduulit kuitataan työpisteeltä TP20 valmiiksi. Yhdistämällä sensoreiden dataa ja SAP-dataa moduulien etenemistä voidaan seurata entistä tarkemmin ja tehostaa tällä esimerkiksi tuotannosuunnittelijoiden työskentelyä ja vähentää eri SAP-transaktioiden käyttöä.



Kuva 10. Visualisoitu tilanne, jossa punaiset suorakulmiot ovat työpisteillä olevia moduuleita ja oranssit ovat puskurissa odottavia moduuleita.

4.1 Nykyisten sensorien tarjoama data linjaston toiminnasta

Nykyisellä linjastolla olevien sensoreiden signaalit menevät tällä hetkellä linjastoa ohjauvalle logiikalle, mutta logiikan ohjauksen lisäksi signaaleita ei hyödynnetä mitenkään, eikä niitä esimerkiksi tallenneta. Linjaston toimittajan puolelta ei myöskään ole suunnitelmia sensoridatan keräämisestä, mutta heidän puolelta ollaan valmiita jatkamaan linjaston kehitystä, jos se koetaan tarpeelliseksi (Raid 2019). Jotta dataa pääsisi hyödyntämään, olisi tärkeää tallentaa data esimerkiksi sql-tietokantaan, josta kyseisen datan

saa käyttöön tarvittaviin sovelluksiin. Sensorien data sisältää tällä hetkellä työpisteet sekä puskuripaikat, joissa on moduuli. Myös osakokoonpanojen siirtymisestä puskuriin ja puskurista loppukokoonpanoon tulee logiikalle signaali.

4.2 SAP-data

Työpisteillä asennustyöntekijöiden tehtävä on asennustyön lisäksi tehdä tarvittavat jäljitykset taajuusmuuttajamoduuliin asennettavista komponenteista SAP-tietokantaan myöhempää tarkastelua ja tiedonkeruuta varten. Tämän lisäksi SAPiin kirjataan tieto työvaiheen tehneestä asentajasta tämän henkilönumerolla ja työvaihe kuitataan valmiiksi. Työvaiheet on aluksi merkitty punaisella, kunnes merkintä muuttuu vihreäksi, kun vaihe on kuitattu valmiiksi.

SAPista on mahdollisuus saada useanlaista tietoa linjaston moduuleista ja niiden liikkeestä työpisteeltä toiselle. Tällä hetkellä tuotannonsuunnittelijat ja työnjohtajat joutuvat seuraamaan SAP-tietokantoja manuaalisesti. SAP-tietokantoja on useita, mikä aiheuttaa suurta työmäärää ja hidastaa työntekoa.

SAPista moduulien data saadaan sarjanumerotasolla, mutta datan hyödyntämiseen ennistä paremmin vaadittaisiin eri tasoisia apuvälineitä, sillä SAPista saatavasta datasta ei kuitenkaan nähdä esimerkiksi työpisteiden välissä olevissa puskureissa olevia moduuleita tai sitä miksi jokin moduuli ei etene linjastolla odotettua tahtia.

4.3 Linjastolta haluttava informaatio

Taulukko 1 esitetään toiminnot, joita työnjohtajien ja tuotannonsuunnittelijoiden työssä voitaisiin hyödyntää. Taulukossa on hyödynnetty pohjana aiemmin tehtyä taulukkoa, joka on tehty samaan tarkoitukseen toiselle valmistuslinjastolle (Haapalahti 2019). Ensimmäisessä sarakkeessa esitetään toiminnon peruskuvaus. Toisessa sarakkeessa kerrotaan tarkempi selite toiminnolle.

Kolmannessa sarakkeessa nähdään datan lähde. Neljäs sarake kertoo toiminnosta hyötyvät toimihenkilöt. Suurin osa informaatiosta on saatavilla suoraan SAPista tai SAP-

dataa ja sensoridataa yhdistämällä. Kuitenkin tällä hetkellä tuotannossa käytetään häiriötilanteissa Espectoria, josta tieto häiriöistä on saatavilla reaaliaikaisesti. Myös RFID-tunnisteiden ja henkilökorttien käyttäminen on mahdollista SAP-datan sijaan riippuen tarpeista ja kustannuksista. Työnjohdolle hyötyä on kaikista toiminnoista linjaston toiminnan välittömässä johtamisessa. Tuotannonsuunnittelijat hyötyvät vain osasta toimintoja johtuen vähäisemmästä suorasta tarpeesta vaikuttaa linjaston työntekoon. Kolmas sarake kertoo informaationlähteen, josta kyseinen tieto on haettavissa. Viimeisessä sarakkeessa kerrotaan informaatiosta hyötyvät henkilöt. Taulukon sisältöön perehdytään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 1. Toiminnot työnjohtajien ja tuotannosuunnittelijoiden työn helpottamiseen. Taulukon lyhenteistä *tj* tarkoittaa työnjohtajaa ja *tusu* tuotannosuunnittelijaa.

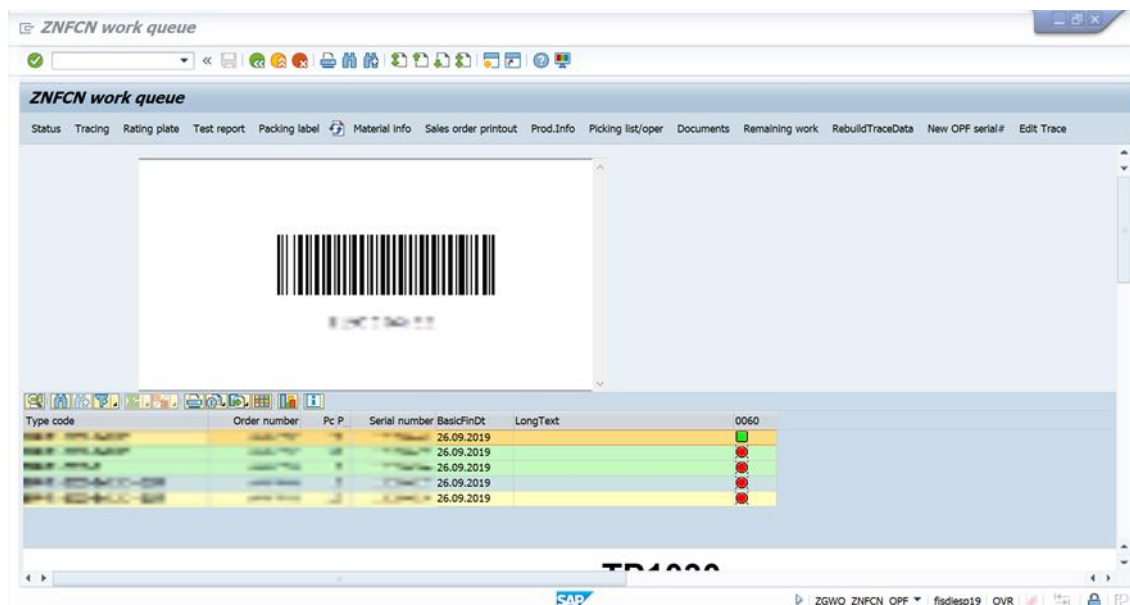
Mitä	Miksi	Mistä	Ke-nelle
Sarjanumerotason seuranta	Tieto yksittäisen moduulin valmistumisesta	SAP/sensori	Tusu/Tj
Työpisteen tila	Onko työpisteellä moduuli	SAP/sensori	Tj
Moduulin tila	Kiireelliset/myöhässä olevat moduulit	SAP	Tusu/Tj
Moduulien tahtiaika	Tuotannon arvioinnin parantaminen	SAP/sensori	Tusu/Tj
Työpisteen tila	Onko työpisteellä työntekijä	SAP/henkilökortti	Tj
Häiriötilanteet	Osapuutteita, linjastossa vikaa	Espector	Tj
Laaturaportti	Moduulien korjaus, vikakuvaus jne	Vikatietokanta	Tj
Moduulien sijainti linjaston jälkeen	Moduulin sijainti koestamossa, korjauspajalla	RFID/SAP	Tusu

4.3.1 Datan hallinnointi

Tällä hetkellä data on hajallaan eri SAP-transaktioiden takana, sitä ei tallenneta ollenkaan käyttöä varten, kuten sensoridataa, tai dataa ei kerätä tai hyödynnetä, kuten työpistekohtainen data työntekijöistä. Seuraavissa kappaleissa esiteltä data kerätään yhteiseen SQL-tietokantaan, josta data haetaan ja hyödynnetään esimerkiksi visuaaliseen näkymään, johon on yhdistetty tarpeellisten tietojen näkymä ja josta voidaan helposti pienellä työmäärällä hakea tarkempaa tietoa, jota ei näytetä päänäkymässä.

4.3.2 Seuranta SAP-dataa ja sensoridataa yhdistämällä

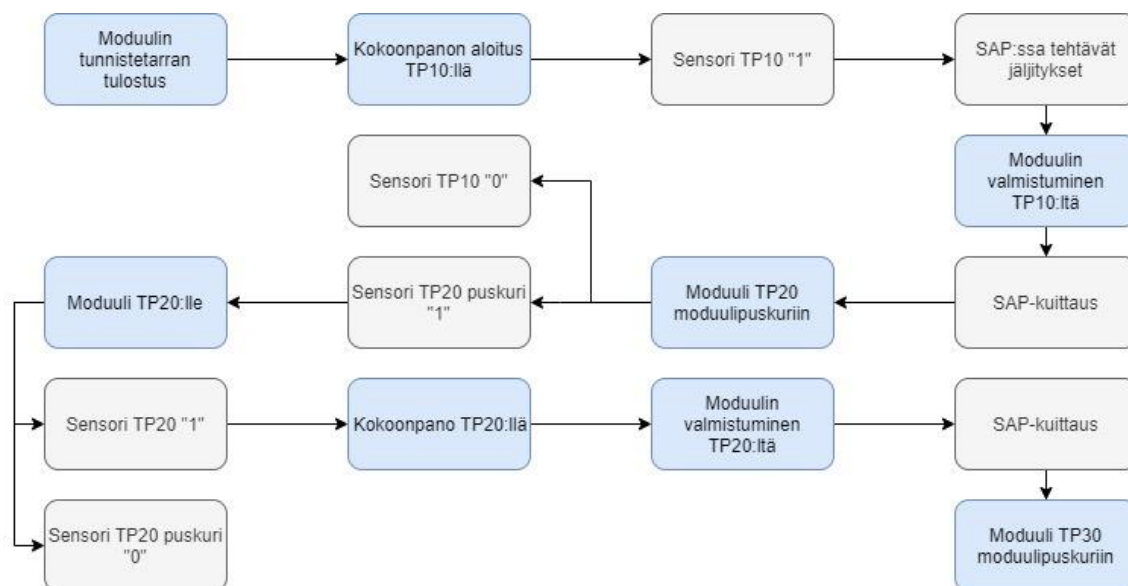
Tuotannosuunnittelijoilla on usein tarve tietää moduulin eteneminen valmistuslinjastolla, jotta voidaan antaa arvio moduulin valmistumisajankohdasta esimerkiksi kiireellisissä tilauksissa. Työnjohdolla on tarve seurata sarjanumerotasolla linjaston työtahtia ja tarvittaessa ohjata kiireelliset moduulit nopeasti koestettaviksi. Jotta sarjanumerotason seurannan voi toteuttaa, tarvitaan työpisteillä ja puskureissa useita datalähteitä, joita yhdistelemällä saadaan moduulien tarkka sijainti selville. Tässä kappaleessa esitellään tarvittava informaatio moduulin seuranta varten.



Kuva 11. OPF-työjono SAPissa.

Moduulin matka linjastolla alkaa, kun sille luodaan sarjanumero. Numero luodaan viidelle moduulille kerrallaan. Samalla moduulille määräytyy linjasto, jolla se tullaan valmistamaan. Kun moduulille on luotu sarjanumero, moduuli tulee valmistuslinjaston ensimmäisellä työpisteellä, työpisteellä TP10 OPF-työjonoon (kuva 11). Moduulit valmistetaan työjonon määräämässä järjestyksessä, eikä linjaston työntekijöiden ole mahdollista esimerkiksi poistaa moduuleita työjonosta tai jättää moduulia välistä.

Kuvassa 12 esitetystä kaaviosta nähdään moduulille tehtävät työvaiheet työpisteillä TP10 ja TP20 sekä moduulin liike moduulipuskureihin. Moduulille fyysisesti tehtävät vaiheet on esitetty sinisellä taustalla ja SAPissa tapahtuvat kuittaukset sekä sensoreiden signaalien muutokset harmaalla taustalla.



Kuva 12. Flow chart -kaavio työpisteiden TP10 ja TP20 työvaiheista ja SAPIin tehtävistä työvaiheista sekä sensorien antamat signaalit moduulin liikkeen mukaan.

Työjonon ensimmäiseksi tulleen moduulin kokoonpano alkaa moduulin tunnistetarran (*rating plate*) tulostamisella. Tulostus tapahtuu SAP-työjonosta. Tarran tulostuksen jälkeen työpisteellä aloitetaan kokoonpanotyö. Työpisteellä olevan induktiivisen sensorin antamaa paikkatietoa valmistetulle moduulille käytetään tällä hetkellä, jotta moduulin sijainti työpisteellä voidaan havaita sekä siirtyminen seuraavan työpisteen moduulipuskuriin voidaan havaita. On kuitenkin huomioitava, että tällä hetkellä linjastoa ohjaavalta loogiikalta paikkatiedolle ei ole siirtoväylää tietokantaan, joten seurannassa käytettävät signaalit ovat saatavilla, mutta niitä ei tallenneta.

Kun moduulin sivupelti asetetaan sensorin päälle moduulin valmistusta aloitettaessa, anturin antama signaali on "1". Kun signaali on "1", voidaan SAP-työjonon perusteella päätellä, että moduulin valmistus on alkanut ja kyseisen moduulin sarjanumero on OPF-työjonossa ensimmäisenä oleva.

Työpisteellä TP10 tehdään myös SAP-tietokantaan komponenttien jäljityksiä. SAPissa tehtäviä jäljityksiä voidaan hyödyntää seurannassa, mutta tarran tulostus on tärkeämpi työvaihe seurannallisesti, koska sen perusteella nähdään työvaiheen aloitus. Lyhyen, hieman yli 20 minuutin, tahtiajan takia jäljitysten hyödyntäminen työvaiheen etenemisen

seurannassa ei ole tarpeellista, varsinkin koska jäljitykset tehdään työpisteistä riippuen useimmiten loppuvaiheessa työpisteen työvaihetta.

Moduulin valmistuttua työpisteeltä kuitataan se valmiiksi OPF-työjonossa. Tästä tiedetään, että seuraavassa puskurissa olevalle anturille tuleva moduuli tulee olemaan kyseinen valmistunut moduuli, koska moduulit etenevät aina järjestyksessä, eivätkä pääse ohittamaan toisiaan.

Puskurin ollessa tyhjä, anturin lähettämä signaali logiikalle on "0". Kun moduuli siirretään työpisteeltä TP10 TP20:en puskuriin, puskurin sensorilta lähtee logiikalle signaali "1". Samalla työpisteen TP10 anturi muuttaa tiedoksi "0", koska työpisteellä ei ole enää moduulia. Puskurissa olevan moduulin sarjanumeron voidaan olettaa olevan sama, kuin edellisellä työpisteellä olleen moduulin, koska linjastolla moduulit liikkuvat poikkeuksetta pisteeltä toiselle järjestyksessä. Kun työpisteellä TP20 työn alla oleva moduuli on kuitattu valmiiksi ja se siirretään linjastolla eteenpäin, on mahdollista siirtää TP20:en puskurissa odottamassa oleva moduuli työpisteelle TP20. Kun työpisteellä TP20 sijaitseva anturi lähettää signaalin moduulista työpisteellä, tiedetään puskurissa olleen moduulin siirtyneen kokonaan työpisteelle.

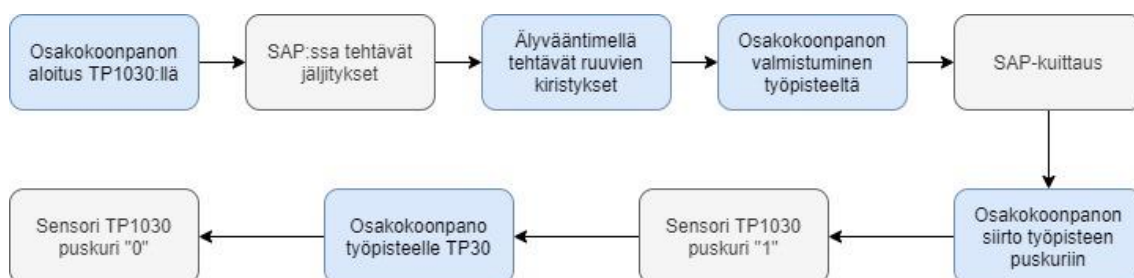
Työpisteellä TP20 tehdään moduulille tarvittavat työvaiheet, joiden valmistumisen jälkeen työpisteellä ei tehdä jäljityksiä, koska tarvittavat osat on jäljitetty jo työpisteellä TP10. Kun työpisteellä on tehty SAP-kuittaus työpisteen valmistumisesta, moduuli siirretään työpisteen TP30 moduulipuskuriin odottamaan seuraavaa työvaihetta. Työpisteeltä pois siirrettäessä työpisteen sensorit toimivat samoin kuin työpisteellä TP10, eli moduulin siirtyessä pois työpisteeltä TP20 sensori lähettää signaalin "0". Kun moduuli etenee työpisteen TP30 moduulipuskuriin, puskurin sensori lähettää logiikalle signaalin "1".

Loppukokoonpanon jokainen työpiste toimii samalla tavoin, kuin siirtyminen esimerkkinä esitettyjen työpisteiden TP10 ja TP20 välillä. Tämän perusteella moduulien seuraaminen on mahdollista linjastolla nykyisillä anturoinneilla. Vaaditaan kuitenkin, että antureilta tuleva data saadaan ensin tallennettua tietokantaan ja tämän lisäksi yhdistettyä linjaston SAP-dataan.

Osakokoonpanotyöpisteillä SAP-työjono toimii samalla tavalla, kuin loppukokoonpanotyöpisteilläkin. Sen perusteella voidaan selvittää työn alla olevien osakokoonpanojen sarjanumerot. Tämän lisäksi tiedetään puskurissa olevien osakokoonpanojen sarjanumerot vertaamalla valmistuneita osakokoonpanoja kyseisen osakokoonpanon asennustyöpisteeseen etenemiseen loppukokoonpanolinjastolla.

Kuvassa 13 on esitetty osakokoonpanotyöpisteeseen TP1030 toiminta. Kuten loppukokoonpanotyöpisteillä, työvaihetta ei merkitä SAPissa aloitetuksi, vaan työvaihe alkaa edellisen osakokoonpanon valmistuttua ja siirryttyä osakokoonpanopuskuriin. Työpisteellä TP1030 työ alkaa kokoamalla komponentit paletille, jonka päällä osakokoonpano kulkee puskuriin ja loppukokoonpanon työpisteelle TP30. Työpisteellä TP1030 tehdään myös komponenttien jäljityksiä. Tätä tietoa voidaan hyödyntää työpisteeseen etenemisen seurannassa, koska SAP-jäljitykset tulevat aina alkuvaiheessa työvaihetta. Älyvääntimellä tehtävä IGBT:n ruuvien kiristys tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää älykkäitä laadunvarmistusmenetelmiä ja älyvääntimen tekemä hyväksyntä ruuvien kiristyksestä olisi mahdollista ottaa mukaan esimerkiksi SAPIin tallentuviin kuittauksiin.

Osakokoonpanon valmistuttua työpisteeltä, kuitataan se valmiiksi SAPissa. SAP-kuitauksen avulla on mahdollista selvittää valmiina olevat osakokoonpanot ja loppukokoonpanotyöpisteiden valmistumiskuittauksien perusteella tiedetään puskurissa olevien osakokoonpanojen sarjanumero.



Kuva 13. Osakokoonpanotyöpisteillä tehtävät työvaiheet ja SAPIin tehtävät työvaiheet.

4.3.3 Moduulin tila

Moduuleista saadaan SAPista paljon tietoa, joka on erityisesti tuotannosuunnittelijoille ja työnjohtajille tärkeää. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi moduulin *loading date*, eli

päivämäärä, kun moduulin on lähdettävä tehtaalta asiakkaalle tai ns. *orange flag* -merkitty kiireellinen moduuli. Näitä tietoja käytetään ohjaamaan oikeat moduulit kiireellisinä koestukseen ja koestuksesta eteenpäin pakkaamoon tai jälkivalmistuslinjastoille. Moduulin tilatieto, esimerkiksi tilanteessa, jossa moduuli on valmistunut ja odottaa koestusta, on haettavissa SAP-transaktiosta. Tilatieto on kuitenkin hyvin epätarkka, koska se kertoo ainoastaan moduulin odottavan koestuksen päättymistä, eikä esimerkiksi tietoa mahdollisista korjaustoimenpiteistä tai viivytyksistä. Tämän takia moduulin valmistumisaikataulu on hyvin epävarma arvioitava. Koestamon toiminnan seuraamiseen tarvitaan uusia työkaluja, joista yhtenä esimerkkinä RFID-tunnisteita on esitelty kappaleessa 4.4.

4.3.4 Tahtiaika, puskuriaika ja läpimenoaika

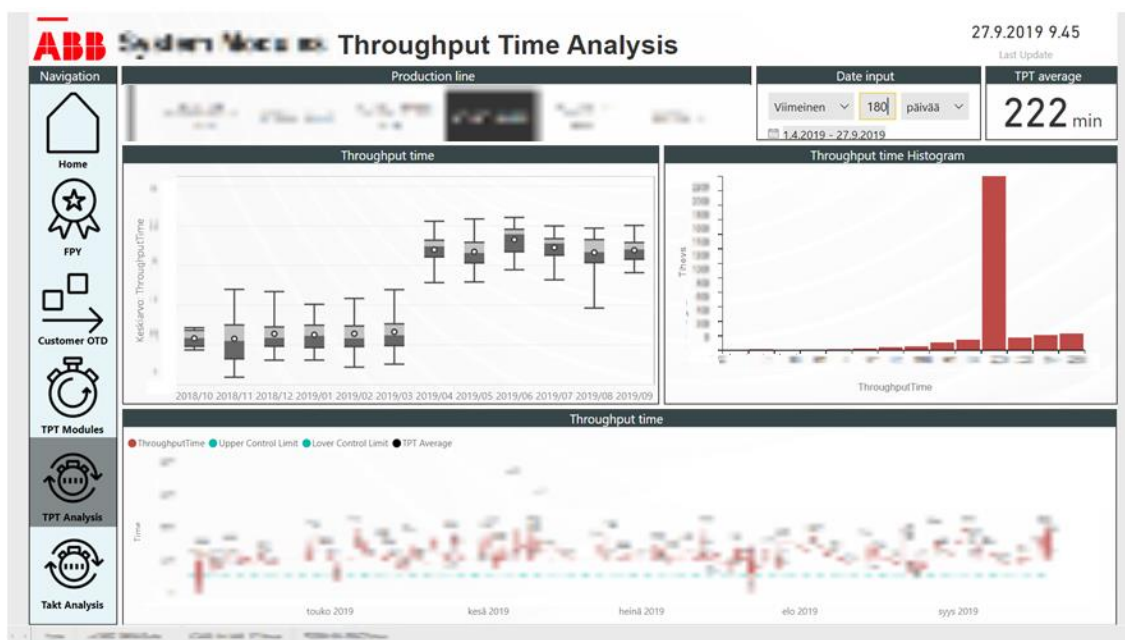
Linjaston toiminnan mittareita ovat erilaiset aikamittarit. Näistä tahtiaika ja puskuriaika ovat yksittäisiä työpisteitä koskettavia suureita ja läpimenoaika on koko linjaston läpi kulkemiseen kuluva aika. Työnjohdollisesta näkökulmasta moduulien tarkka työpisteillä viettämä aika auttaa kehittämään linjaston työvaiheita ja mahdollistaa linjaston toiminnan tarkkailun. Esimerkiksi työpisteen TP10 kestoaika on työpisteiden kellotustulosten mukaan pidempi, kuin TP20. Kuitenkin on huomattu, että työntekijöistä riippuen TP10 voi olla myös nopeampi, kuin TP20. Tahtiajan perusteella työntekijälle voidaan antaa signaali, että hänen tahtiaikansa ylittää keskimääräisen tahtiajan. Tämä signaali voidaan antaa esimerkiksi valolla, jonka syttyessä työntekijä tietää, että hänellä työn alla oleva moduuli tarvitaan seuraavalle työpisteelle. Tällä saadaan tehostettua linjaston toimintaa ja edistettyä niin sanottua *bucket brigade* -toimintaa, jossa valmistettava tuote siirretään seuraavalle työpisteelle mahdollisimman pian seuraavan työpisteen tyhjennyttyä.

Tuotannosuunnitelmallisesta näkökulmasta tahtiaikaa voidaan hyödyntää valmistuvien moduulien ajankohdan ennustamiseen tarkemmalla ajanjaksolla. Tahtiajan perusteella voidaan ennustaa esimerkiksi kiireellisen moduulin valmistumisaika linjastolta ja sen perusteella arvioida myös toimitusaika jälkivalmistuslinjalle tai moduulipakkaamoon.

Työpisteellä TP10 tahtiaika lasketaan moduulin tunnistetarran tulostamisesta työpisteen työntekijän SAP-työjonossa tehtävään työpisteen valmistumiskuittaukseen. Työpisteillä TP20 – TP60 tahtiajan laskeminen alkaa moduulin saapumishetkestä työpisteen anturille

ja päättyy, kun työvaihe kuitataan valmiiksi SAPissa. Tämä ei kuitenkaan ole moduulin asennukseen käytetty aika, vaan moduulin työpisteellä viettämä aika. Moduuliin käytetyn tehokkaan työajan laskemiseen tarvitaan esimerkiksi SAP-toiminto, johon merkitään työvaiheen aloitus. Tämän avulla voidaan laskea moduulin työpisteellä viettämän ajan lisäksi moduuliin käytetty työpanos ja työpisteen tehokkuus. Kun tiedetään työpisteen tehokkuus, voidaan perehtyä keinoihin, joiden avulla voidaan tehostaa linjaston toimintaa.

Läpimenoaika tarkoittaa aikaa, joka moduulilla kuluu ensimmäisen työpisteen aloitushetkestä moduulin valmistumiseen linjastolta. Läpimenoaika löytyy osaston Power BI -näkyimestä (kuva 14). Datan tausta on SAPissa, josta työkalu hakee tiedon moduulin aloitushetkestä työpisteellä TP10. Läpimenoajan laskenta loppuu, kun moduuli valmistuu työpisteeltä TP60. Läpimenoajan laskennan ehtona on, että moduulin läpimenoaika ei voi ylittää 400 minuuttia, koska halutaan, että läpimenoajan laskentaan käytetään vain tehokasta työaikaa, eikä esimerkiksi yön yli seisahtuvan linjaston takia keskimääräiseen läpimenoaikaan tule ylimääräisiä minutteja. Tällä hetkellä keskimääräinen läpimenoaika on 222 minuuttia viimeisen kuuden kuukauden ajalta. Läpimenoaikojen kuukausittaisen keskiarvon muutos maaliskuun ja huhtikuun vaihteessa johtuu muutoksista aikojen viennissä tietokantaan eikä tämän takia aikoja ole huomioitu yli puolen vuoden ajalta.



Kuva 14. Läpimenoaika-analyysi Power BI -näkyimässä.

4.3.5 Työpisteen tila

Tällä hetkellä käytössä on järjestelmä, jossa työntekijät ilmoittavat työnjohtajalle olevansa poissa esimerkiksi sairaspöissaolon takia, mutta esimerkiksi ilmoittamatta jääneitä myöhästymisiä ei yleensä huomata heti aamusta, vaan esimerkiksi tunti työvuoron aloituksen jälkeen. Myös työntekijän lähtiessä töistä etuajassa voi työpiste jäädä tyhjäksi, jos työnjohtaja ei muista ohjeistaa ketään tuuraamaan työpisteellä. Tällaisia tilanteita varten tarvitaan tieto työpisteen työntekijästä.

Tieto olisi mahdollista saada SAP-kirjautumisesta, kuten esimerkiksi eräällä toisella osastolla tehdään, mutta nopeasta tahtiajasta johtuen uudelleenkirjautuminen SAPIin jokaisen SAPIssa tehtävän työvaiheen välillä on aiemmin todettu liikaa aikaa vieväksi ja tämän takia tietokoneissa käytetään ohjelmaa, joka ei anna näytön mennä virransäästötilaan ja lukita tietokonetta tai SAPIa. Samalla järjestelmä ei kirjaudu ulos SAPIsta, joten sen perusteella ei voida määrittää onko työpisteellä työntekijää.

Työpisteillä jokainen työvaihe, jossa tehdään komponenttien jäljityksiä tai moduulin valmiiksi kuittauksia, kuitataan työntekijän henkilönumerolla valmiiksi. Tämä data on käytävissä ja sitä voidaan hyödyntää työpistekohtaisen datan esittämisessä reaaliaikaisesti. SAPIsta saatavasta datasta voidaan kerätä myös tilastotietoa työntekijöistä. Työpisteillä kuitenkin on tilanteita, joissa esimerkiksi työpisteen puskuri on täynnä työntekijän aloittaessa vuoronsa, jolloin työpisteeltä ei tule SAP-dataa esimerkiksi ensimmäisen työtunnin aikana. Tämän takia työpistekohtaista seuranta on mahdollista tehostaa käyttämällä työntekijöiden henkilökortteja tunnistamaan työntekijä työpisteellä. Työntekijöiden henkilökorteissa on viivakoodi, jota käytetään tällä hetkellä esimerkiksi kenkien ESD-mittausta tehdessä. Työpisteillä on valmiina viivakoodinlukijat, joten tarvitaan vain tietokanta, johon tieto lisätään. Tällöin tieto työpisteellä olevasta työntekijästä saataisiin tietokannasta ja sitä päästäisiin hyödyntämään reaaliaikaisesti SAP-dataa apuna käyttäen.

Tällä hetkellä on työntekijän omalla vastuulla käydä mittaamassa kenkien ESD-johtavuus viikoittain. Työntekijäkohtaiseen seurantaan olisi mahdollista lisätä esimerkiksi työkenkien ESD-mittauspäivämäärä, joka on mahdollista hakea omasta tietokannastaan. Tämän avulla voitaisiin huolehtia entistä tarkemmin, että työntekijöiden varusteet ovat

työtehtävien vaatimalla tasolla, ja näin voidaan pienentää tuotteiden altistusta staattiselle sähkölle ja taata tasainen laatu.

4.3.6 Komponenttien ja valmistettujen tuotteiden laatu

Tällä hetkellä työnjohdolla ei ole tietokantaa taajuusmuuttajamoduulien laatudatasta. Moduulikoestamossa viallista moduuleista tehdään raportti omaan tietokantaan, mutta työnjohtajat eivät käytä tätä tietokantaa. Tietokannasta saadaan viallisten moduulien vikakuvaus osaston Power BI -näkömään, mutta esimerkiksi viallisen tai väärin asennetun komponentin asentajasta ei jää tietoa tietokantaan. Jos asentajakohtaista tietokantaa ylläpidettäisiin, voitaisiin tietoa asentajasta hyödyntää esimerkiksi työntekijän koulutuksessa ja virheiden vähentämisessä.

Valmistuslinjastolla on käytäntönä, että viallisen tai väärin asennetun komponentin työvaiheen tekijä käy itse korjaamassa tai vähintään toteamassa vian. Tällä pyritään vähentämään vikojen uusiutumista. Kuitenkin tietokanta vioista ja viallisen moduulin tehneestä asentajasta auttaisi työnjohtoa yksilöimään asentajat, joilla tapahtuu tiettyjä virheitä, jolloin päästään henkilökohtaisesti puuttumaan näihin ja tämän avulla parantamaan laatua ja linjaston tehokkuutta sekä vähentämään vikojen korjaukseen käytettyjä työtunteja.

4.3.7 Häiriötilanteet

Häiriötilanteissa, esimerkiksi osapuutteesta johtuen, moduuleita joudutaan joskus siirtämään pois linjastolta, jotta linjasto voi jatkaa toimintaa ilman suuria häiriöitä. Moduulit joudutaan myös poistamaan linjaston SAP-työjonosta. Näissä tapauksissa tuotannon-suunnittelijat tekevät SAP-työjonosta poistamisen ja moduulin siirtämisen linjaston korjauspisteelle. Korjauspisteelle siirretyt moduulit löytyvät SAP-transaktiosta ZGWQ_ZNFCN sarakkeesta ”long text” tekstillä ”repair station”. Näissä tilanteissa työnjohtajat joutuvat menemään erilliseen työjonoon, jotta he tietävät onko korjauspisteellä tehtäviä moduuleita työn alla. Jotta vältytään moduulien pitkältä odotukselta korjauspisteellä, tarvitaan ilmoitus korjauspisteellä olevista moduuleista työnjohtajille esimerkiksi linjaston visuaalisessa seurannassa.

Linjastolla käytettävä OPF-työjono priorisoi moduulit sarjanumeron perusteella, koska perustilanteessa sarjanumerot generoidaan aina suuremmaksi, kuin aiemmat. Harvoissa tapauksissa työjonosta ”tippuu” pois moduuleita, joille on generoitu sarjanumero. Nämä moduulit on mahdollista palauttaa takaisin työjonoon, mutta niiden sarjanumerot ovat pienempiä kuin työjonossa työn alla olevien moduulien. Näissä tapauksissa työjonon priorisoinnista johtuen ne tulevat ensimmäisiksi työpisteiden työjonoon, jolloin työjonon perusteella tehtävät komponenttien jäljitykset moduulille eivät mene oikeille sarjanumeroille.

Linjasto voi myös pysähtyä materiaalipuutteista johtuen. Tällöin työntekijöiden tehtävä on merkitä häiriötilanteita varten olevaan ohjelmaan, Espectoriin, työpisteellä olevan ongelman vikakuvaus ja alkamisaika ja takaisin työhön päästessä myös työhönpaluu-aika. Myös uusia työntekijöistä opastettaessa Espectoriin merkitään työpisteellä olevan käynnissä opetustilanne, jotta tiedetään linjaston toiminnan hidastumisen siitä, eikä esimerkiksi työntekijöistä. Espectorin kautta on saatavilla tietoa linjaston häiriöistä, mutta tieto tarvitaan ohjelmasta aktiivisesti linjaston työnjohtajille näkyville, jotta sitä voidaan hyödyntää linjaston toiminnan tehostamisessa.

4.4 RFID-seuranta

RFID-tekniikkaa on käytössä tällä hetkellä työssä käsiteltävällä osastolla materiaalitilauksissa ja tässä tarkoituksessa tunnistet on todettu toimivaksi ratkaisuksi vähentämään manuaalista työtä tilausprosessissa. Tunnisteita on irtonaisina materiaaliyhlyissä (kuva 15) sekä pienempien komponenttien kuljetukseen tarkoitetuissa kanban-laatikoissa. Moduulien valmistuksessa RFID-tunnisteita ei hyödynnetä, mutta niiden avulla olisi mahdollista esimerkiksi tehostaa moduulien seurantaan niin linjastolla, kuin linjaston jälkeenkin.

Vaihtoehtona moduulien seuraamiseen on RFID-tunnisteiden avulla tapahtuva seuranta. Tunniste kiinnitetään linjaston ensimmäisellä työpisteellä moduulin sivupeltiin, jossa se on linjastolla kulkemisen ajan piilossa moduulin alla, eikä näin ollen esimerkiksi tartu työntekijään tai komponentteihin ja irtoa. Moduuleissa käytetään myös sarjanumerotarroja, jotka tulostetaan ensimmäisellä työpisteellä, mutta kiinnitetään vasta työpisteellä TP50. RFID-tunnisteiden käyttö tulee helpommaksi, kuin valmiina olevan

sarjanumerotarran, koska RFID-tunniste pystytään lukemaan automaattisesti moduulin kylkipelistä. Sarjanumerotarra kulkee tällä hetkellä linjastolla moduulin tarkastuslistan mukana irtonaisena, joten viivakoodia on vaikea lukea automaattisesti.



Kuva 15. RFID-tunniste, joka on käytössä osastolla materiaalitulauksia varten.

RFID-lukijat sijoitettuna linjastolle pöydälle siten, että ne lukevat niiden ylitse kulkevan moduulin, toimivat samalla kuittauksena työpisteen valmistumisesta. Automaattinen kuittaus poistaa yhden työvaiheen työntekijältä, joka nopeuttaa hieman työpisteellä tehtävää työvaihetta ja poistaa kuittauksen unohtumisen mahdollisuuden. Lukijoita tarvitaan lopukokoonpanon jokaiselle työpisteelle sekä moduulin kääntöpisteelle, eli yhteensä kuusi kappaletta. Tämän lisäksi osakokoonpanoihin tarvitaan jokaiselle työpisteelle yksi kirjoitettava lukija ja puskuriin yksi lukija. Ainoastaan osakokoonpanotyöpisteille, joilla tehdään puhaltimen ohjauskortti ja puhallin, ei tarvita lukijaa, vaan näillä työpisteillä voidaan seurata osakokoonpanojen valmistumista SAP-työjonosta. Yhteensä lukijoita tarvitaan yksitoista kappaletta yhdelle linjalle.

Osakokoonpanoissa tarjottimiin kiinnitetään kiinteät RFID-tunnisteet, jotka ohjelmoidaan osakokoonpanoa tehdessä sisältämään tarvittava informaatio kyseisestä osakokoonpanosta. Lukija lukee osakokoonpanon siirtyessä asennusvaiheeseen

loppukokoonpanoon datan RFID-tunnisteesta ja lukijalta saatua tietoa verrataan työn alla olevaan moduuliin, jolloin saadaan eliminoitua väärin osakokoonpanojen asennus moduuleihin.

Sähköinen tarkastuslista on myös ollut suunnitelmissa linjastokäyttöön nykyisten paperisten tarkastuslistojen tilalle. Sarjanumeroon yhdistetyllä sähköisellä tarkastuslistalla saadaan lisättyä tarkastuslistan käyttö vaatimukseksi moduulin siirtämiseen työpisteeltä seuraavalle esimerkiksi työpisteen tietokoneen näytölle aukeavalla ilmoituksella. Tällä voidaan välttää tarkastuslistan täyttämisen unohtaminen tai keskeneräisen moduulin siirtäminen linjastolla eteenpäin.

RFID-tunnisteiden hyötynä moduulien edetessä linjastolta koestamoon ja sieltä edelleen pakkaamoon tai jälkivalmistuslinjoille on seurattavuus. Kun moduuli menee moduulikoestamoon, ei sen sijainnista tiedetä, kuin moduulin olevan koestamossa tai korjauspisteellä. RFID-tunnistimella moduuli voitaisiin tunnistaa heti moduulikoestamoon saapuessa, jolloin tiedon mennessä tietokantaan moduulin tiedetään olevan koestamolu-eella. Tämän lisäksi koestamon sisällä olisi mahdollista seurata moduulin matkaa sijoitamalla RFID-lukijoita koestuskaappeihin. Moduulin mennessä korkeajännitetesta-kaappiin RFID-lukija lukisi tiedon moduulista ja tieto menisi sekä paikannustietokantaan, että koestamon laitteiden tietokantaan automaattisesti. Tämä poistaisi myös moduulikoestajilta moduulien viivakoodien lukemistyön. Tällä hetkellä moduulien viivakoodin luvussa on tarkka paikoitus johtuen koestuskaapin ovessa olevan viivakoodinlukijan pie-nestä lukualueesta. Tämä aiheuttaa usein ylimääräistä työtä, kun koestajat joutuvat siir-tämään kaapissa olevaa moduulia tai moduuliin kiinnitetyn tarran paikkaa. RFID-seuran-nan avulla esimerkiksi kadonneet moduulit voitaisiin paikantaa viimeisimpään työvaihee-seen. Lisäämällä RFID-lukija myös moduulikoestamon ovelle, nähdään reaaliajassa, kun moduuli lähtee esimerkiksi pakkaamoon tai loppukokoonpantavaksi toiselle osastolle tehtaan sisällä.

Asentajat tekevät tällä hetkellä työpisteillä osien jäljityksen ja työpisteen valmiiksi kuit-tauksen kirjoittamalla oman henkilönumeronsa käsin. RFID-tekniikan hyödyntämisellä voidaan nopeuttaa tätä työvaihetta lisäämällä työpisteelle lukija henkilökorttia varten. Esimerkiksi on mahdollista, että kuitatessaan työvaiheen työntekijä näyttää henkilökort-tia lukijalle, jolloin työvaihe kuittautuu valmiiksi. Henkilökortissa on valmiiksi toiminto

etäluvulle, jota hyödynnetään ovien avauksessa sekä kellokorttitoiminnossa, joten tämä toiminto ei aiheuta lisätoimenpiteitä uusien lukijoiden lisäksi. Toinen mahdollinen lukija on myös viivakoodinlukija, joita työpisteillä on käytössä, mutta asentajat ovat todenneet nopeammaksi kirjoittaa henkilönumeron käsin.

RFID-tekniikan hyödyntäminen on tehokas vaihtoehto linjaston toiminnan seurantaan, jonka lisäksi suurimman vaikutuksen työnjohtajien ja tuotannonsuunnittelijoiden työskentelyyn se tekee linjaston jälkeisen moduuliliikenteen seurannan parannuksella. RFID-tunnisteista tulee kuitenkin pieni, mutta jatkuva menoerä, jos niitä aletaan laittaa jokaiseen laitteeseen. Tämän lisäksi myös RFID-järjestelmä tulee maksamaan joitain tuhansia euroja riippuen kokoonpanosta. Tarkempaan hintaan ei kuitenkaan tässä työssä ole perehdytty. Tehokkuuden kasvulla ja automaation lisäämisellä voidaan lisätä työntekijöiden tuottavuutta ja tämän lisäksi vähentää työvirheitä ja hukattua aikaa työtä tehdessä, jolloin RFID-tekniikka maksaisi itsensä luultavasti takaisin kohtalaisen nopeasti.

5 Älykkäät laadunvarmistusjärjestelmät

Älykkäillä laadunvarmistusjärjestelmillä tulee olemaan tulevaisuudessa suurempi vaikutus tuotannossa myös ABB:llä. Tehtaalla on tällä hetkellä käynnissä pilottiprojekti esimerkiksi kondensaattoripakettien laadunvarmistuksesta konenäön avulla sekä älyvääntimiä käytössä työpisteillä. Laadunvarmistusjärjestelmien tarjoama informaatio ollaan halukkaita myös keräämään talteen, jotta voidaan jälkeenpäin varmistaa valmistettujen tuotteiden laatu sekä tarvittaessa esittää valmistusprosessista laatu dataa esimerkiksi asiakkaalle.

Tällä hetkellä käytössä olevat älyvääntimet (kuva 16) valmistuslinjastolla ovat Atlas Copcon valmistamia PF 4000 -sarjan väänninyksikköjä, jotka tarkkailevat ruuvaimen paikoitusta jäähdytinelementin päällä, ruuvien momenttia sekä korkeutta (Atlas Copco, 2007). Älyvääntin mittaa väärän momentin ja huomaa sen perusteella esimerkiksi väärille kier-teille menneen ruuvin ja ilmoittaa virheellisyydestä. Älyväännindataa kerätään tällä hetkellä Atlas Copcon tietokantoihin. Kerätyn datan analysointia ei kuitenkaan vielä tehdä, mutta tulevaisuudessa on tahtotila kerätä entistä enemmän dataa älyvääntimistä sekä hyödyntää kerättyä dataa laadunvalvonnassa.

Älyvääntimillä varmistetaan tällä hetkellä valmistuslinjastolla käytössä jäähdytinelementtien IGBT-ruuvien kiristysvaiheessa. Ruuvit kiristetään ensin esikiristysmomenttiin 0,7 Nm, jonka jälkeen ne kiristetään kireyteen 5 Nm. Tästä tieto menee älyvääntimien tietokantaan, johon on mahdollista hankkia lisenssi. Tietokannasta tiedon hakeminen jälkitarkastelua varten on mahdollista. Älyväännindatan hyödyntämistä ja sen lisäämistä linjaston toimintaan on hyvä tutkia lisää meneillään olevissa projekteissa.



Kuva 16. Valmistuslinjastolla käytössä oleva älyväännin.

Konenäön hyödyntämistä tutkitaan tällä hetkellä tehtaalla kondensaattoripakettien valmistuksessa. Konenäkämateriaali tarkkailee kondensaattoripakettiin asetettavien kondensaattorien määrää ja älyväännin seuraa kondensaattorien naparuuvien määrää. Älyväännin kiristää naparuuvit sekä muut tarvittavat ruuvit oikealle kireydelle älyvääntimessä käytössä olevan kärjen perusteella. Tulevaisuudessa konenäköä voidaan

hyödyntää jokaisen kondensaattoripakettiin lisättävän komponentin seuraamiseen, jotta komponentteja ei voi unohtaa asentaa eikä komponentteja voi asentaa väärin.

Älyvääntimen tai konenäön tarkastettua työvaiheiden etenemisen ja niiden hyväksymisen olisi myös mahdollista yhdistää esimerkiksi työohje tähän ja tehdä siitä automaattinen. Kun laadunvarmistusjärjestelmä on hyväksynyt työvaiheen, työohjeessa siirrytään seuraavaan osioon. Samalla myös tarkastuslista jää turhaksi, sillä älykäs tarkastus tekee saman automaattisesti. Tämän avulla saataisiin tuotannossa tapahtuvia virheitä vähennettyä ja laatua parannettua. Tämän lisäksi myös tuottavuus paranee, koska työohjeen selaamiseen tai manuaalisiin tarkastuksiin käytettävä aika vähenee. Joitain työvaiheita, kuten liittimien kiinnitykset tai jotkin muoviliitokset voidaan joutua tarkastamaan manuaalisesti, jotta vältetään tarkastuksista läpi meneviltä virheiltä, mutta pääosin kaikki on tarkastettavissa automaattisesti.

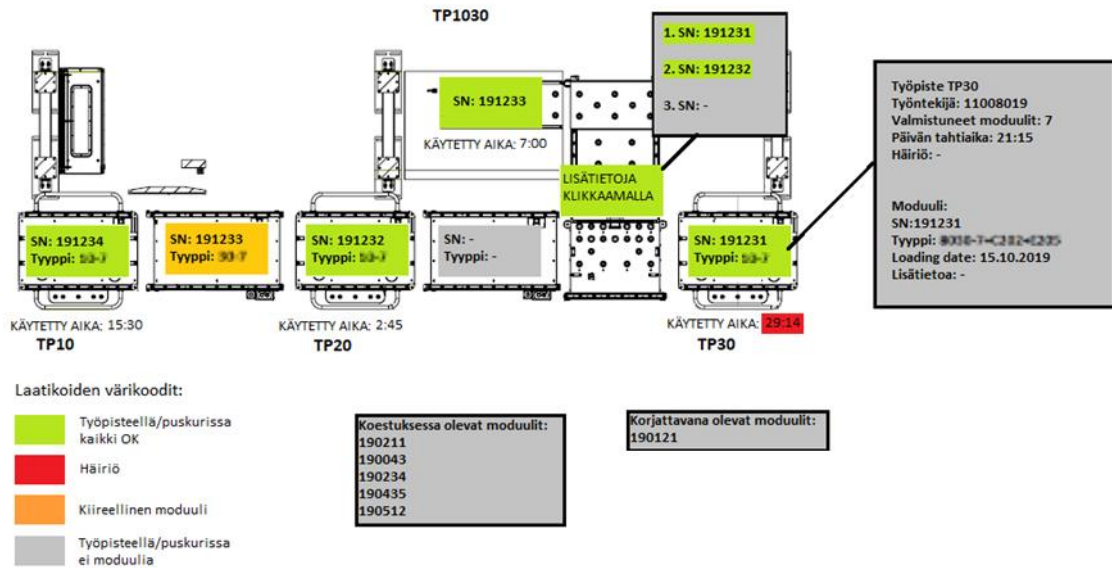
6 Visuaalinen seuranta ja ohjaus

6.1 Linjaston seuranta

Tässä kappaleessa esitellään valmistuslinjaston visuaaliseen seurantaan suunniteltu näkymä, josta tuotannosuunnittelijat sekä työnjohto pääsevät seuraamaan linjastolla kulkevia moduuleita reaaliajassa. Seurantanäkymä on pohjimmiltaan samanlainen, kuin Haapalahden esittelemä seurantanäkymä toiselle osastolle tehtaan sisällä (Haapalahti 2019). Esitellyssä näkymässä nähtävillä ovat sarjanumero, sekä lisätietona moduulin tyyppikoodi esimerkiksi erilaisia materiaalipuutetilanteita, kuten rasvattujen kivien loppumista, varten, työpiste-aika sekä työpisteestä ja moduulista tarkempia tietoja avaamalla lisätietonäkymän.

Seurantanäkymämahdollisuuksia ovat digital twin (DT), linjastosta tehty tarkka malli, jossa näkyvät linjastolla kulkevat moduulit sekä työvaiheiden eteneminen. Etuina tarkassa DT:ssä ovat linjaston toiminnan tai moduulin kokoamisen simuloinnin mahdollisuus. Toinen seurantanäkymämahdollisuus on yksinkertaistettu näkymä, jossa käytetään pohjana linjaston rakennekuvaa (kuva 17). Koko linjaston kattava näkymä löytyy liitteestä 2. Näkymässä nähdään työpisteillä ja puskureissa olevat moduulit sarjanumerolla tunnistettuna. Tämän lisäksi ilmoitetaan moduulin tyyppi. Tyyppikoodilla nähdään moduuliin tarvittavat IGBT-kivet sekä moduuliin tarvittavat erikoisosia, kuten esimerkiksi kuparikuristimet tai erikoisjalusta.

Viemällä hiiren työpisteellä olevan laatikon päälle avautuu lisätietonäkymä, jossa nähdään kyseisen työpisteen työntekijän tiedot, tahti-aika ja mahdolliset häiriöt. Tämän lisäksi moduulista nähdään tarkempia tietoja, kuten tarkka tyyppikoodi, loading date, eli milloin moduuli on tarkoitus lähettää tehtaalta ja muita mahdollisia lisätietoja, kuten SA-Pista löytyvä selite.



Kuva 17. Linjaston työpisteiden seurantanäkymä tarkennettuna työpisteille TP10 – TP30.

Visuaalisessa seurannassa työnjohdon näkökulmasta hyödyllinen työkalu on työpiste-kohtainen aika, jonka moduulin on ollut työpisteellä asennettavana tai esimerkiksi osaputteen takia odottamassa jatkotoimenpiteitä. Visualisoinnissa nähtävillä oleva aika voidaan tarvittaessa lisätä myös työpisteelle työntekijän näkyville, jotta asentajan on mahdollista seurata omaa tahtiaikaansa ja halutessaan esimerkiksi verrata eri työpisteiden tahtiaikoja ja sen perusteella vaikuttaa omaan työtahtiinsa.

Toinen hyödyllinen työkalu visuaalisessa näkymässä on värikoodit, joista näkee esimerkiksi myöhässä olevan moduulin, kiireellistä toimitusta vaativan moduulin tai yleisesti moduulin tilan sekä työpisteen tilan. Työpisteiden värinä vihreä tarkoittaa työpisteen toimivan normaalisti ilman häiriöitä tai huomattavia myöhästymisiä. Parhaassa tapauksessa koko linjaston näkymä on vihreä, jolloin työnjohto tietää kaiken toimivan mallikkaasti.

Erilaiset erikoistilanteet, kuten myöhässä olevat moduulit näkyvät visuaalisessa seurannassa oranssilla pohjalla, jotta ne näkyvät selvästi, ja työnjohtajat osaavat ottaa kyseisen moduulin nopeasti työn alle esimerkiksi koestukseen. Punaisella merkitty työpisteen pysähtyminen voi johtua materiaali- tai puutteesta tai esimerkiksi sairaustapauksesta tai muusta poissaolosta. Lisäksi työnjohtajan on hyvä tietää poissaolijat tai päivällä

materiaalipuutteet. Visuaalisessa näkymässä työpisteet, joilla on työntekijä ja työ sujuu normaalisti, työpiste näkyy vihreällä, mutta jos työntekijä ei esimerkiksi aamulla ole saapunut töihin, näkyy työpiste punaisella. Tällöin työnjohtaja tietää tehdä muutoksia työntekijöiden työpisteisiin, jotta linjasto saadaan toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Työpisteellä käytetyn ajan ylittäessä keskimääräisen työpisteen tahtiajan muuttuu tekstin tausta punaiseksi. Tällä huomataan, jos työpiste jostain syystä toimii hitaasti esimerkiksi koko vuoron ajan.

Työpisteillä on mahdollista tällä hetkellä seurata työntekijän paikallaoloa SAP-kuittauksista, jotka tehdään työpisteen valmistuessa. Tätä ei kuitenkaan hyödynnetä, koska ei ole olemassa työkalua tätä varten, eikä SAP-kuittauksista saada reaaliaikaista dataa puskureista ja linjaston rakenteesta johtuen. Seurantanäkymän reaaliaikaiseen seuraamiseen hyvä työkalu voisi olla esimerkiksi viivakoodinlukija, jolla voitaisiin lukea työpisteelle saapuminen työntekijän henkilökortista. Viivakoodinlukijoita käytetään tällä hetkellä komponenttien jäljityksissä, joten ne ovat valmiina työpisteillä eikä ole tarvetta investoida uusiin laitteisiin. Tämä tieto yhdistetään visuaaliseen näkymään ja työpisteen tiedoista löytyy lisätiedoista työpisteellä sillä hetkellä oleva työntekijä. Kesken päivän sairastuessa tai lääkärikäynnin aikana merkitään työpisteellä olevassa työkalussa esimerkiksi ”muu poissaolo”, joka nähdään työnjohtajien osalta linjaston visuaalisesta näkymästä.

6.2 Linjaston ohjaus

Aiemmissa kappaleissa käsitellyn linjastosta saatavaa informaatiota voidaan hyödyntää myös linjaston liikkeen ja työntekijöiden reaaliaikaisessa ohjauksessa. Työntekijöiden ohjaus voi olla esimerkiksi visuaalista tai audiovisuaalista. Visuaaliseen ohjaukseen voidaan käyttää muun muassa valoja, tietokoneen näytöllä olevaa tekstiä tai kelloa.

Linjaston ohjaamisella pyritään tehostamaan linjaston toimintaa ja vähentämään työntekijöiden odottamiseen käytettyä aikaa. Tähän päästään hyödyntämällä työpisteiden tahtiaikaa ja tilaa sekä moduulipuskurien tilaa. Työpisteen tahtiajan perusteella voidaan työntekijälle asettaa tavoiteaika, jonka ylityttyä työpisteellä oleva valo ilmoittaa työntekijälle, että moduuli pitäisi luovuttaa eteenpäin sen edettyä sovittuun työvaiheeseen asti.

Jatkotutkimuksen kannalta hyödyllistä linjastolta saatavaa informaatiota voidaan hyödyntää erilaisissa sovelluksissa. Esimerkiksi automaattinen pelipaikkalista, sovellus, joka määrittää työntekijöille päivän työpisteen, on työn alla, ja tavoitteena on, että tulevaisuudessa sen avulla työnjohtajan työtaakka vähenee. Automaattiseen pelipaikkalistaan on syötetty tiedot työntekijöistä, työntekijöiden osaamismatriisi sekä mahdollisesti työntekijöiden omia toivomuksia tai mieltymyksiä työpisteisiin liittyen. Näiden tietojen perusteella ohjelma määrittää työntekijöille työpisteet. Linjastolta saatavaa dataa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi työpisteitä täytettäessä. Kiireiselle työpisteelle voitaisiin asettaa nopea työntekijä, jotta linjaston tuottavuus saadaan pidettyä mahdollisimman hyvin yllä. Jos jollakin työpisteellä on osakoonpanoja hyvin puskurissa, voidaan työntekijöistä valita työpisteelle tarkkaa, hitaammalla tahdilla työtä tekevä työntekijä.

7 Yhteenveto

7.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Työssä käsiteltiin erään ABB:n Pitäjänmäen tehtaalla sijaitsevan valmistuslinjaston toimintaa ja toiminnan kehittämistä linjastolta saatavaa sensoridataa sekä SAP-dataa hyödyntämällä. Työssä tutkittiin teoriaa esineiden internetin toiminnasta ja sensoreiden hyödyntämisestä esineiden internetin yhteydessä sekä selvitettiin, ovatko esimerkiksi Teollisuus 4.0 ja IoT hyödyllisiä konsepteja linjaston toiminnan parantamisessa.

Tavoitteena oli selvittää mahdollisuudet kerätä linjastolta tarvittava määrä dataa ja hyödyntää saatua dataa ja esimerkiksi SAP-dataa linjaston toiminnan seurannassa. Tämän lisäksi tavoitteena oli kartoittaa mahdollisuudet hyödyntää kerättyä dataa myös linjaston työntekijöiden visuaalisessa ohjauksessa. Työn alussa selvitettiin saatavilla olevat datalähteet ja sekä perehdyttiin linjaston toimintaan. Seuranta lähdettiin kehittämään linjastolta tällä hetkellä saatavan datan sekä SAPista saatavan datan perusteella. Tästä saadun lopputuloksen perusteella linjastolla on mahdollista seurata sarjanumerotasolla moduulien etenemistä.

Työssä lopputulokseksi saatiin suunnitelma seurantatoiminnolle ja selvitettiin, mitä dataa linjastolta halutaan kerätä seurannan mahdollistamiseksi. Tämän lisäksi työssä suunniteltiin visuaalinen seurantanäkymä. Näkymässä päädyttiin keräämään työnjohtajien ja tuotannonsuunnittelijoiden kannalta oleellimmat tiedot moduuleista, eli sarjanumero ja tyyppikoodi jatkuvasti näkyville. Tämän lisäksi hiirellä avautuvaan lisänäkymään valittiin esitettäväksi tarkempia tietoja työpisteestä sekä työpisteellä olevasta moduulista. Työn tulosten perusteella on toimeksiantajalla hyvät perusteet jatkaa linjaston toiminnan kehittämistä.

Lähteet

Ashton, Kevin. 2009. That 'Internet of Things' Thing. Verkkoaineisto. <https://www.rfid-journal.com/articles/view?4986>. Luettu 14.10.2019.

Atlas Copco. 2007. Control and Drive unit for TENSOR Electric Nutrunners. Verkkoaineisto. <http://www.e-pneumatic.com/media/pdf/atlas-copco-power-focus-4000-manual.pdf>. Luettu 16.9.2019.

Budimir, Miles. 2019. What are proximity sensors? Verkkoaineisto. <https://www.motion-controltips.com/what-are-proximity-sensors/>. Luettu 15.10.2019.

Chen, Min; Mao, Shiven; Zhang, Yin & Leung, Victor C.M. Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects. 2014. E-kirja. <https://www.springer.com/gp/book/9783319062440>.

Dhanani, Suhel. 2016. Intelligent, IO-Link connected sensors underpin the Industrial Internet of Things. Verkkoaineisto. https://www.edn.com/design/analog/4442434/Intelligent--IO-Link-connected-sensors-underpin-the-Industrial-Internet-of-Things?utm_source=AspenCore&utm_medium=ELECTRONICPRODUCTS. Luettu 15.10.2019.

EPC-RFID Info. What is RFID? Verkkoaineisto. <https://www.epc-rfid.info/rfid>. Luettu 28.9.2019.

Espacenet. RFID reader. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/description?CC=EP&NR=1770591A2&KC=A2&FT=D&ND=3&date=20070404&DB=&locale=en_EP#. Patentti. Luettu 27.9.2019.

Gandomi, Amir & Haider, Murtaza. 2014. Beyond the hype: Big data concepts, methods and analytics. Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401214001066>.

Gierej, Sylvia. 2017. Procedia Engineering: "The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things". Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817313024>.

Haapalahti, Pekka. GWQ – Production Real Time Reporting. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Helmiö, Petra. 2017. Open source in Industrial Internet of Things: A systematic literature review. Diplomityö. Tietojenkäsittelytiede. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/135297>.

Linjaston toimittaja. 2018. ABB assembly line layout. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Linjaston toimittaja. 2018. ASSEMBLY LINE FA10016 USER MANUAL. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Linjaston toimittaja. 2018. Schematic. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Inside+ ABB. 2019. Yrityksen sisäinen intranet.

Internet of Things. 2016. Verkkoaineisto. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. Luettu: 14.10.2019.

Kilgast, Mika. Kellotus. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Lamb, Frank. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.controleng.com/articles/what-is-machine-vision-and-how-can-it-help/>. Luettu 19.10.2019.

Mladineo, Marko; Veza Ivica; Gjeldum, Nikola; Crnjac, Marina; Aljinovic, Amanda & Basic, Andrej. 2019. Procedia Manufacturing: "Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning Factory". Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197891930424X>.

Oussous, Ahmed; Benjelloun Fatima-Zahra; Ait Lahcen Ayoub & Belfkih Samir. 2018. Big Data technologies: A survey. Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157817300034>. Luettu 16.10.2019.

Raid, Priit. Development Manager. Linjaston toimittaja. Sähköpostikeskustelu. 20.9.2019.

Raunio, Helena. 2014. Teollisuus 4.0 - "Suomen oltava kilpailukykyinen vaihtoehto, kun teollisuuden paluumuutto Aasiasta Eurooppaan alkaa". Verkkoaineisto. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/teollisuus-40-suomen-oltava-kilpailukykyinen-vaihtoehto-kun-teollisuuden-paluumuutto-aasiasta-eurooppaan-alkaa/73193f56-c36f-372c-b61e-40ad27b80144>. Luettu: 24.9.2019.

RFIDLab. 2019. Mitä on RFID? Verkkoaineisto. <http://www.rfidlab.fi/rfid-teknologia/mita-on-rfid/>. Luettu 18.9.2019.

Rouse, Margaret. Machine vision (computer vision). Verkkoaineisto. <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/machine-vision-computer-vision>. Luettu 19.10.2019.

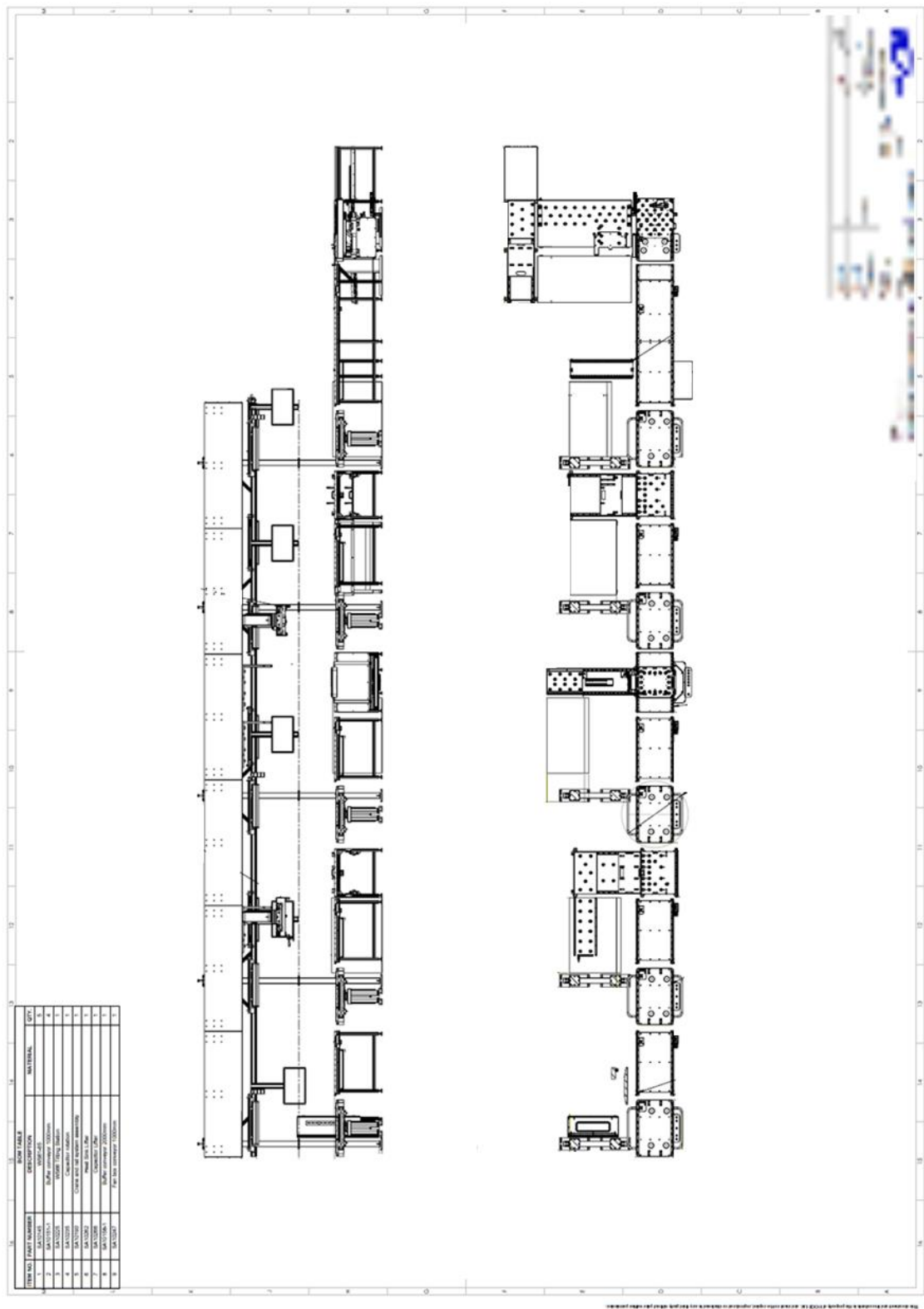
Layout 200619. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Singh, Ishwar; Centea, Dan & Elbestawi, Mo. 2019. Procedia Manufacturing: "IoT, IIoT and Cyber-Physical Systems Integration in the SEPT Learning Factory". Luettu 21.10.2019.

Osaston Power BI 26.9.2019. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Vaakkuri, Matti. 2013. Verkkoaineisto. <https://www.talouselama.fi/kumppaniblogit/big-data-muuttaa-maailmaa/6e3988d0-e07e-35ea-b52c-dc3e31a91394>. Luettu: 14.10.2019.

Linjaston layout



Linjaston seurantanäkymä

