



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Lauri Ristolainen

# Kirjallisuusselvitys teollisuus 4.0 -konseptista ja Smart Factory -laitteiston käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

22.5.2019

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tekijä<br>Otsikko<br><br>Sivumäärä<br>Aika                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Lauri Ristolainen<br>Kirjallisuusselvitys teollisuus 4.0 -konseptista ja Smart Factory -laitteiston käyttöönotto<br>41 sivua + 2 liitettä<br>22.05.2019 |
| Tutkinto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Insinööri (AMK)                                                                                                                                         |
| Tutkinto-ohjelma                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Konetekniikka                                                                                                                                           |
| Ammatillinen pääaine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Koneautomaatio                                                                                                                                          |
| Ohjaaja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Lehtori Antti Liljaniemi                                                                                                                                |
| <p>Insinööriyön tilaaja on Metropolia Ammattikorkeakoulu ja se toteutettiin Metropolian koneautomaatiolaboratorioon. Työn tarkoituksena on kirjallisuusselvityksen kautta tutustua teollisuus 4.0 –konseptin mahdollisuuksiin ja vaatimuksiin sekä saattaa ohjelmoitava kokoonpanolinjasto Smart Factory käyttökuntoon ja laatia dokumentaatio käyttöönotosta.</p> <p>Teollisuus 4.0 tarkoittaa neljättä teollista vallankumousta. Tälle aikakaudelle ominaiset tekniset innovaatiot perustuvat hyvin pitkälle teollisen internetin ja esineiden internetin tuleminen myötä syntyneisiin ratkaisuihin. Nämä ratkaisut omaksumalla teollisuusyritys pystyy parhaiten säilyttämään kilpailukykynsä alati nopeammin muuttuvien markkinoiden paineissa.</p> <p>Saksalaisen Lucas-Nüllen valmistama ohjelmoitava kokoonpanolinjasto Smart Factory on täydellinen esimerkki ilmentämään teollisuus 4.0 –aikakauden tuotantolaitosta. Työssä perehdytään laitteiston toimintaan niin fyysisellä toimilaittepuolella kuin virtuaalisella ohjelmistopuolellakin. Tätä kautta syntyy kattava kuva modernin tuotantolaitoksen toimintaperiaatteista. Linjasto oli ollut käyttämättömänä laboratorion muuton jäljiltä ja yhtenä tämän työn tavoitteena oli suoritta investointina mittavalle ja hyvin opetuskäyttöön soveltuvalle laitteistolle käyttöönotto.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena on teollisuus 4.0 -konseptista kattava kirjallisuusselvitys, josta lukijalle muodostuu selkeä kuva tämän modernin aikakauden tarjoamista mahdollisuuksista ja haasteista. Tämän viitekehyksen puitteissa suoritettun käyttöönoton perusteella voidaan jatkossa saman tyyppinen laitteisto saattaa käyttökuntoon huomattavasti pienemmällä vaivalla. Laitteisto on suunniteltu didaktiikka edellä, joten sen saaminen opetuskäyttöön on erittäin edullista koneautomaatiolaboratorion toiminnan kannalta.</p> |                                                                                                                                                         |
| Avainsanat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Teollisuus 4.0, älytehdas, teollinen internet, IoT                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Author<br>Title<br>Number of Pages<br>Date                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Lauri Ristolainen<br>Industry 4.0 Concept and the Commissioning of Smart Factory Equipment<br>41 pages + 2 appendices<br>22 May 2019 |
| Degree                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bachelor of Engineering                                                                                                              |
| Degree Programme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Mechanical Engineering                                                                                                               |
| Professional Major                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Machine Automation                                                                                                                   |
| Instructor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Antti Liljaniemi, Senior Lecturer                                                                                                    |
| <p>The project was commissioned by Metropolia University of Applied Sciences and was carried out at the Metropolia Machine Automation Laboratory. The purpose of the thesis is to familiarize the reader with the possibilities and the requirements of the industry 4.0 concept through a literature review, and to set up a programmable assembly line Smart Factory and to prepare documentation for commissioning of the device.</p> <p>Industry 4.0 stands for the fourth industrial revolution. The technical innovations characteristic of this era are very much based on solutions created by the emergence of the Industrial Internet and the Internet of Things. By adopting these solutions, an industrial company is able to maintain its competitive edge in the pressure of ever faster changing markets.</p> <p>The Smart Factory, a programmable assembly line manufactured by the German company Lucas-Nülle, is a perfect example of an industry 4.0 production facility. In this thesis the reader will learn about the operation of the device on both the physical actuator level and on the virtual software level. Through this, a comprehensive picture of the operating principles of a modern production facility is created. The assembly line had been idle after the laboratory's move to new premises, and one of the goals of this thesis was to implement the device which was a large investment for the university and works well as educational equipment.</p> <p>As a result, literature review covering the industry 4.0 concept was created, which gives the reader a clear picture of the opportunities and challenges of this modern era. The commissioning of the assembly line within this framework is a solid base for a similar task in the future. The equipment has been designed with didactics in mind, and therefore getting it ready to use is very beneficial for the operation of the machine automation laboratory.</p> |                                                                                                                                      |
| Keywords                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Industry 4.0, Smart Factory, Industrial Internet, IoT                                                                                |

# Sisällys

## Lyhenteet

|       |                                                  |    |
|-------|--------------------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                                         | 1  |
| 2     | Teollisuus 4.0                                   | 2  |
| 2.1   | Teollistumisen lyhyt historia                    | 2  |
| 2.2   | Teollisuus 4.0 konseptina                        | 3  |
| 2.2.1 | Tuotteiden yksilöllisyys                         | 3  |
| 2.2.2 | Epävakaustekijät                                 | 4  |
| 2.2.3 | Resurssien kulutuksen optimointi                 | 5  |
| 2.3   | Uusia teknologisia mahdollisuuksia teollisuuteen | 6  |
| 2.3.1 | Kyberfysiset järjestelmät (CPS)                  | 6  |
| 2.3.2 | Esineiden ja palvelujen internet                 | 10 |
| 2.3.3 | Sulautetut järjestelmät                          | 11 |
| 2.3.4 | Ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus          | 11 |
| 2.3.5 | Pilvilaskenta ja massadata                       | 13 |
| 2.3.6 | IT-turvallisuus                                  | 15 |
| 3     | Lucas-Nüllen Smart Factory                       | 20 |
| 3.1   | Älytehdaskonsepti                                | 20 |
| 3.2   | Smart Factory -laitteisto                        | 23 |
| 3.2.1 | Tuotteet                                         | 24 |
| 3.2.2 | Laitteiston toiminta                             | 24 |
| 3.2.3 | Topologia                                        | 31 |
| 3.2.4 | Profinet-standardi                               | 31 |
| 3.2.5 | ERP-lab -toiminnanohjausjärjestelmä              | 32 |
| 3.3   | Käyttöönotto                                     | 34 |
| 3.3.1 | Hardware                                         | 34 |
| 3.3.2 | Software                                         | 36 |
| 3.4   | Huomioitavaa                                     | 37 |

|     |                                            |    |
|-----|--------------------------------------------|----|
| 4   | Yhteenveto                                 | 38 |
| 4.1 | Tavoitteiden saavuttaminen                 | 38 |
| 4.2 | Jatkokehitysvisio                          | 39 |
|     | Lähteet                                    | 41 |
|     | Liitteet                                   |    |
|     | Liite 1. Smart Factoryn käyttöönotto.      |    |
|     | Liite 2. Tuotteen tilaus Smart Factoryltä. |    |

## Lyhenteet

|       |                                                                                      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| CBM   | <i>Condition Based Monitoring.</i> Tilan valvonta.                                   |
| CPS   | <i>Cyber Physical System.</i> Kyberfyysinen järjestelmä.                             |
| DSS   | <i>Decision Support System.</i> Päätöksentekoa tukeva järjestelmä.                   |
| ERP   | <i>Enterprise Resource Planning.</i> Toiminnanohjausjärjestelmä.                     |
| GUI   | <i>Graphic User Interface.</i> Graafinen käyttöliittymä.                             |
| LAN   | <i>Local Area Network.</i> Paikallinen verkko.                                       |
| I/O   | <i>Inputs/Outputs.</i> Tulot/lähdöt.                                                 |
| IoT   | <i>Internet of Things.</i> Esineiden internet.                                       |
| IoTS  | <i>Internet of Things and Services.</i> Esineiden ja palveluiden internet.           |
| PHM   | <i>Prognostic and Health Management.</i> Ennustaminen ja kunnan tarkkailun hallinta. |
| P&K   | Pienet ja keskisuuret (yritykset).                                                   |
| PLC   | <i>Programmable logic controller.</i> Ohjelmoitava logiikka.                         |
| RFID  | <i>Radio Frequency Identification.</i> Radiotaajuus tunnistaminen.                   |
| ROM   | <i>Read Only Memory.</i> Lukumuisti.                                                 |
| SAAS  | <i>Software as a Service.</i> Palveluohjelmisto.                                     |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition.</i> Valvomo-ohjaus ja datan hankinta.   |

|           |                                                                                               |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| SSH-avain | <i>Secure-Shell-avain</i> . Salattuun tietoliikenteeseen tarkoitettu protokolla.              |
| TCP/IP    | <i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i> . Tietoliikenneprotokolla yhdistelmä |
| TIA       | <i>Totally Integrated Automation</i> . Ohjelmointiympäristö.                                  |
| WAN       | <i>Wide Area Network</i> . Laajaverkko.                                                       |

## 1 Johdanto

Teollisuuden ja teknologian kehitys on tuonut mukanaan paljon mahdollisuuksia ja vaatimuksia ja näihin pyritään vastaamaan teollisuus 4.0 –konseptilla. Konseptin keskeisiä ratkaisuja ovat muun muassa ohjelmistot, virtuaalimaailman hyödyntäminen suunnittelussa ja valmistuksessa, eri laitteiden ja järjestelmien integrointi sekä dataan perustuvat palvelut ja liiketoimintamallit. Nykypäivän teollisuusmaailmassa entistä nopeammat vastaajat prosessien ja arvoketjujen hallinnassa sekä entistä haastavammat operointiolosuhteet, muun muassa sähkömagneettisen säteilyn takia, luovat omat vaatimuksensa teollisuuden neljännen aikakauden toimijoille. (Raunio 2014.)

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutustua teollisuus 4.0 -konseptin kautta teollisuuden tulevaisuuteen, saattaa ohjelmitava kokoonpanolinjasto Smart Factory käyttökuntoon ja tämän viitekehyksen puitteissa dokumentoida käyttöönotto kyseiselle laitteistolle sekä laatia sille käyttöohje.

Työn tavoitteina ovat luoda kirjallisuusselvityksen kautta lukijalle kattava kuva teollisuus 4.0 -konseptin tarjoamista mahdollisuuksista, käyttöönoton suorittaminen Smart Factory -laitteistolle ja näiden perusteella laatia käyttöönottodokumentaatio sekä käyttöohje tälle laitteistolle.

Työn ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan teollisuus 4.0 -konseptiin, sen käsitteisiin ja sen mahdollisuuksia hyödyntäviin teknologioihin. Toisessa vaiheessa esitellään Smart Factory -laitteisto teollisuus 4.0 -konseptin näkökulmasta ja perehdytään laitteen käyttöönottoon.

Tämä insinööriyö toteutettiin Metropolian koneautomaatiolaboratorioon. Metropolia on pääkaupunkiseudulla toimiva ammattikorkeakoulu. Sen toimialoja ovat kulttuuri, liiketalous, sosiaali- ja terveysala sekä tekniikan ala. Tekniikan ala on näistä opiskelijamääräisesti suurin.



## 2 Teollisuus 4.0

Teollisuus 4.0:lla tarkoitetaan teollisuuden konseptia, jossa kokonaisten varastojen ja tehtaiden tiedonsiirto, kokoonpanolinjaston anturilta saadusta datasta toimitusjohtajan lähettämään sähköpostiin, välittyy samoja ethernet-standardiin pohjautuvia tiedonsiirtoväyliä pitkin. Tämä ethernet-pohjainen kommunikointi mahdollistaa hyvin joustavan tiedonsiirron esimerkiksi tuotannon, tuotannonohjauksen ja markkinoinnin välillä. Näin kerätty ja käsitelty informaatio on suoraan yrityksen liiketoiminnasta vastaavan sektorin käytössä.

Teollisuus 4.0 on synonyymi neljännelle teolliselle vallankumoukselle. Alan yhteisön sisällä ei kuitenkaan olla täysin yhtä mieltä siitä, onko termi vallankumous täysin oikea. Eriävän näkemyksen mukaan ei tulisi puhua vallankumouksesta (*revolution*) vaan kehityksestä (*evolution*). Tämä näkemys johtuu siitä, että nyt käynnissä oleva muutos on tapahtumassa hitaammin kuin aikaisemmat vallankumoukset sekä siitä, että muutosta vauhdittava teknologia on jo olemassa ja sitä vain kehitetään pidemmälle. Kuitenkin vallankumous termin puolesta puhuu teollisuuden ajattelutavan muutos. Ratkaiseva ajattelutavan muutos on yhteistä myös aikaisemmille teollisen vallankumouksen vaiheille. (Bartodziej 2017: 32–33.)

### 2.1 Teollistumisen lyhyt historia

Ensimmäisen teollisen vallankumouksen voidaan ajatella käynnistyneen höyrykoneen ja Kehruu-Jennyn keksimisestä 1760-luvun lopulla. Toista teollista vallankumousta taas määrittää sähkö- ja polttomoottorin keksiminen 1850-luvun tienoilla. Mikropiirin keksiminen sekä kansainvälisten markkinoiden synty ovat toimineet kolmannen teollisen vallankumouksen vauhdittajina. Neljäs teollinen vallankumous on parhaillaan käynnissä ja sitä määrittävät muun muassa internetin kehittyminen, virtuaalisen maailman hyödyntäminen tuotannossa ja suunnittelussa sekä dataan perustuvien palvelujen ja liiketoimintamallien kehittyminen. (Bartodziej 2017: 32-33.)

## 2.2 Teollisuus 4.0 konseptina

Teollisuus 4.0 on Saksan valtion vuonna 2012 lanseeraama hanke maan valmistavan teollisuuden kilpailukyvyyn säilyttämiseksi ja vahvistamiseksi. Hankkeesta on kuitenkin kehittynyt kansainvälinen termi Teollisuus 4.0 -konsepti (Collin 2016: 37). Sillä pyritään vastaamaan nykypäivänä aina vain nopeammin muuttuvan teollisuusmaailman haasteisiin. Näistä haasteista keskeisimpiä ovat järjestelmien joustavuus, tuotteiden yksilöllisyys, epävakausta aiheuttavien tekijöiden ennustaminen sekä energian ja resurssien kulutuksen optimointi. Näihin haasteisiin vastaamalla teollisuusyritykset pystyvät parhaiten turvaamaan kilpailukykyänsä säilyttämisen, sillä näin pystytään nopeasti reagoimaan markkinoiden alati muuttuviin tarpeisiin. Kuitenkaan ei voida puhua yhdestä teollisuus 4.0 -teknologiasta tai -innovaatiosta, joka määrittäisi jo meneillään olevaa sekä tulevaa kehitystä. Kyseessä on enemmänkin informaatio- ja kommunikaatioteknologioiden jatkuva kehitys yhdistettynä laskentatehon eksponentiaaliseen kasvuun. Tämä kehitys on mahdollistanut nykypäivän yhä tehokkaampien teollisuusjärjestelmien synnyn. (Bartodziej 2017: 27–30, 33–34.)

### 2.2.1 Tuotteiden yksilöllisyys

Tämän päivän valmistavassa teollisuudessa on nähtävissä selvä yksilöityjen tuotteiden kysynnän kasvu. Tämä asiakkaan toiveet entistä paremmin huomioiva trendi on nähtävissä useilla teollisuuden aloilla, muun muassa tekstiili-, huonekalu-, pc-, auto- ja koneteollisuudessa. Automaatioon, tietotaitoon ja liiketoiminnan laajuuteen perustuva perinteinen teollinen massatuotanto, joka on pitkään ollut kansainvälisesti toimivien suuryrityksien toiminnan perustana, on hiljalleen katoamassa. Nykypäivänä siis kiinnitetään yhä enemmän huomioita asiakkaan toiveisiin ja yksilöllisiin tarpeisiin, mikä on johtanut kustomoitujen tuotteiden määrän merkittävään kasvuun. Teollisuudessa ollaan siis omaksu- massa uutta ajatusmallia, jossa asiakas on sekä lyhyellä että pitkällä aikajänteellä lähes täysin integroitu valmistusprosesseihin. Tämä tarkoittaa, että myös asiakkaan rooli tässä suuntauksessa on radikaalisti muuttunut: asiakas toimii samanaikaisesti sekä asiakkaana että tuottajana. Tässä avoimen innovoinnin mallissa myös asiakas antaa kehitysideoita tuotteelle ja on aktiivisesti mukana valmistus- ja suunnitteluprosesseissa. (Bartodziej 2017: 27–28.)

Asiakkaiden toiveet ja tarpeet kuitenkin muuttuvat ja kehittyvät jatkuvasti, joten on äärimmäisen tärkeää sisällyttää teollisuusprosessit ja -teknologiat osaksi tätä kehityskulkua. Teollisuuden jo omaksumat käsitteet kuten massakustomointi ja mukautuva massatuotanto ovat konsepteja, joilla modulaarisuutensa vuoksi on yhä mahdollista tässäkin kehityssuuntauksessa säilyttää standardisoidun tuotannon edut. Kuitenkin muuttuviin asiakkaiden tarpeisiin ja ailahteleviin markkinoihin pystytään parhaiten vastaamaan suunnittelemalla tuotantojärjestelmät ja -prosessit mahdollisimman joustaviksi.

Joustavuudella (*flexibility*) tarkoitetaan järjestelmien kykyä mukautua muutoksiin. Näitä muutoksia voivat olla esimerkiksi volyymit, tuotteen ominaisuudet kuten koko tai väri, sekä raaka-aineiden toimitusten katkokset ja muutokset. Perinteisessä valmistusteollisuudessa yhdeltä tuotantolinjastolta on tullut vain yhdenlaista tuotetta, ja jos tuotteen ominaisuuksia on haluttu muokata, on linjastoa pitänyt fyysisesti ja/tai ohjelmallisesti modifioida. Tämä taas on erittäin aika vievää ja kallista. Teollisuus 4.0 -konseptin mukaisessa järjestelmässä koko tuotantoprosessi on suunniteltu mahdollisimman yksinkertaiseksi mukauttaa erilaisia tuotteita varten. Tämä voidaan saavuttaa suunnittelemalla prosessi niin, että siihen osallistuvat laitteet ovat mahdollisimman helppo ohjelmoida ja/tai konfiguroida uutta tuotetta varten. Esimerkiksi jos prosessiin osallistuu robotti, tulee robotin valinnassa huomioida muun muassa sen maksimiliikenopeus, ulottuvuus ja kantokyky, jotta nämä tekniset ominaisuudet eivät aiheuta rajoitteita uuden tuotteen valmistukselle. (Bartodziej 2017: 27, 39–41.)

Toinen lähestymistapa asiaan on tuotantoprosessin suunnittelu niin, että asiakas pääsee mahdollisimman aikaisessa vaiheessa vaikuttamaan tuotteen ominaisuuksiin. Tämä on järjestettävissä siten, että asiakas valitsee katalogista raaka-aineet ja/tai komponentit, joista lopputuote syntyy, kun taas nykypäivänä usein asiakas valitsee katalogista valmiin tuotteen. Tämän tyyppisestä järjestelmästä on tarkempi kuvaus kappaleissa 3.1 ja 3.2. (Bartodziej 2017: 27, 39–41.)

### 2.2.2 Epävakaustekijät

Globaalin talouskriisin jälkeinen kehitys on osoittanut, että ratkaisevin tekijä yrityksen pyrkiessä säilyttämään kilpailukykyänsä on yrityksen kyky reagoida entistä nopeampisykkelisten markkinoiden heilahteluihin. Mikro- ja makrotalouksien näkökulmasta epävakaas

kuvaa hintojen, osakkaiden hintojen, vaihto- ja korkokurssien ja rajatulla aikavälillä koko markkinoiden suhteellista heittelehtimistä. Nämä tekijät siis synnyttävät markkinoille epävakautta (*volatility*).

Markkinoiden epävakauden johtuessa kysynnän vaihtelusta, vaikuttaa se merkittävimmän valmistavaan teollisuuteen, sillä kysynnän vaihtelusta aiheutuu useita epävakaustekijöitä. Muun muassa lyhyen aikavälin yrityskohtaiset vaikutukset, kausiluontoiset heilahdellut ja tuotteen elinkaari ovat määrittäviä tekijöitä valmistavan teollisuuden epävakaustekijöitä tarkastellessa. Koska epävakaustekijöihin varautuminen vaatii teollisuudelta yhä joustavampia rakenteita, prosesseja, tuotteita ja systeemeitä, nähdään markkinoiden epävakauden olevan pääasiallinen syy ajattelutavan kehittämisessä kohti teollisuuden neljättä aikakautta. Tämä vaatii yrityksiltä investointeja, sillä nykyisin käytössä olevilla laitteilla ja tekniikoilla ei enää ole mahdollista riittävästi hallita nykyisiä epävakaustekijöitä. (Bartodziej 2017: 28.)

### 2.2.3 Resurssien kulutuksen optimointi

Teollisuusyrityksen kilpailukykyyn kannalta elintärkeää on varmistaa kestävä ja varma raaka-aineiden ja energian toimitus. Energiantuotantosektorin tulevaisuutta tulevat vahvasti määrittämään kunnianhimoiset ilmastotavoitteet, globaali väestönkasvu sekä hyvinvoinnin keskimääräinen kasvu maailmanlaajuisesti. Pitkän tähtäimen tarkastelussa näiden tekijöiden nähdään johtavan energian ja mineraaliraaka-aineiden kulutuksen eksponentiaaliseen kasvuun. Alan asiantuntijoiden mukaan nykyinen kokonaiskulutus tulee kaksinkertaistumaan vuoteen 2050 mennessä.

Tämän kehityskulun tulee pysähtyä mahdollisimman nopeasti, sillä muuten fossiiliset polttoaineet alkavat ehtyä. Tämä tarkoittaa, että ihmisten tulee radikaalisti muuttaa tapaa, jolla luonnonvaroja tällä hetkellä käytetään. Selvästikin valmistavalla teollisuudella on tässä energiatehokkuuden kasvattamisessa ja luonnonvarojen säilyttämisessä erityinen rooli, sillä se vastaa suurimmasta osasta energian ja raaka-aineiden kulutuksesta verrattuna muihin teollisuuden aloihin. Jokaisen valmistavan teollisuuden yrityksen tulisi sisällyttää strategiaansa resurssien tuottamisen ja kulutuksen optimointi. Kaikki

hukka tuotannossa, jota voi aiheutua esimerkiksi ylituotannosta, laatuongelmista tai huonosti optimoidusta prosessista, aiheuttaa taloudellisia sekä sosiaalisia seuraamuksia. (Bartodziej 2017: 28–29.)

### 2.3 Uusia teknologisia mahdollisuuksia teollisuuteen

Teollisuuden kehitykseen vaikuttaa aina muiden alojen ja tieteen kehitys. Teollisuus 4.0 -konseptin näkökulmasta tiettyjen modernien teknologia-alojen tutkimus- ja kehitystyö nousee avainasemaan, kun mietitään, kuinka lunastetaan näiden teknologioiden tarjoamat mahdollisuudet teollisuudessa. Tällaisia mahdollistavia teknologioita (*enabling technologies*) voidaan ajatella olevan modernit valmistustekniikat, optiset teknologiat, mikrosysteemiteknologiat, nanoteknologia, biotekniikka, elektroniikka, materiaalitekniikka ja geoteknologiat. Yksityiskohtaisemmassa tarkastelussa voidaan vielä nimetä kahdeksan teollisuus 4.0 -konseptille ominaista innovaatiota ja kehityssuuntaa, jotka näyttelevät merkittävää roolia näiden alojen kehitystä vauhdittavina tekijöinä. Näitä ovat sulautetut järjestelmät, älykomponentit ja kyberfyysiset järjestelmät (*CPS*), esineiden ja palveluiden internet (*IoTS*), ihmisen ja koneen väliset rajapinta -teknologiat (*Human-Machine Interface*, *HMI*), älytehdas-konsepti, pilvilaskenta, massadata (*Big Data*) ja IT-turvallisuus. Nämä käsitteet avataan tarkemmin myöhemmässä vaiheessa.

Alan asiantuntijat nostavat erityisen merkittäviksi kehityssuunniksi kyberfyysiset järjestelmät sekä esineiden ja palvelujen internetin. Niiden nähdään olevan teknologisenä perustana siirtymiselle kolmannen teollisen vallankumouksen aikakaudesta kohti teollisuus 4.0:n murrosta. Erityisesti *IoTS*:n tuleminen myötä nähdään nykyisen sosiaalisen median kehityksen muuttavan teollisuusmaailmaa samaan tapaan kuin se muutti kotitalouksia-kin. (Bartodziej 2017: 40.)

#### 2.3.1 Kyberfyysiset järjestelmät (*CPS*)

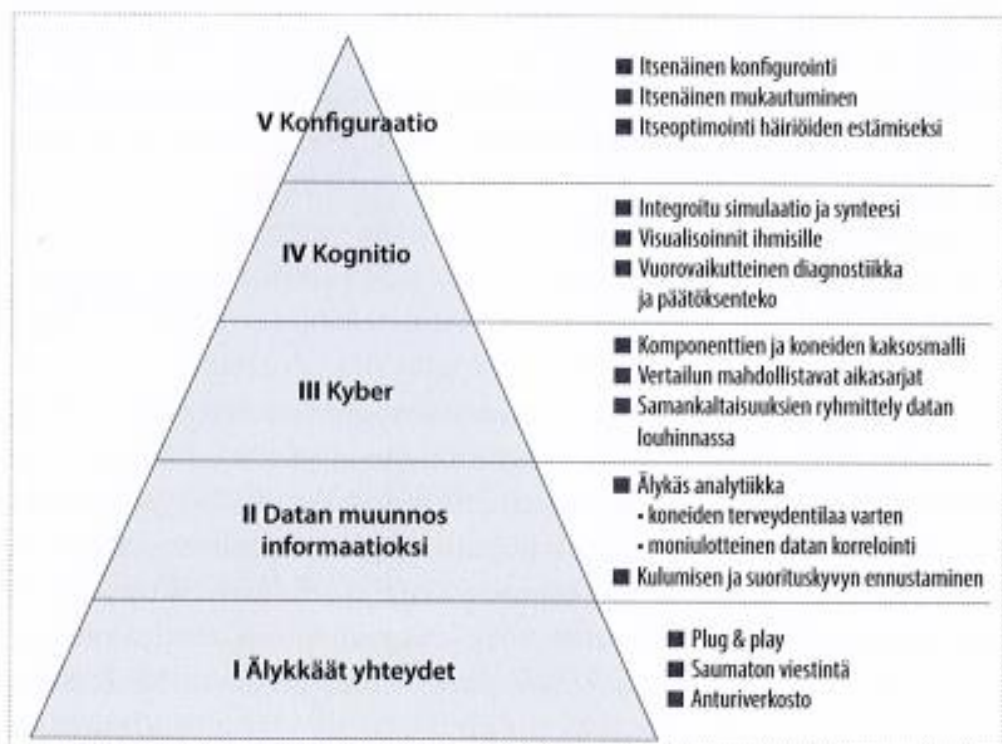
Saksan teollisuus 4.0 -asiantuntijakomitea määrittelee *CPS*:n seuraavasti: ”Järjestelmä, joka suoraan yhdistää fyysiset komponentit ja prosessit virtuaalisiin tiedonkäsittelykomponentteihin ja prosesseihin osittain globaalin ja aina yhteisen tietoliikenneverkon

kautta.” Kuitenkaan ei ole vielä olemassa yksiselitteistä määritelmää siitä, mikä muodostaa CPS:n, mutta yksinkertaistettuna sen voidaan kuvata olevan suora linkki fyysisen ja virtuaalisen maailman välillä. Tämä tietoa käsittelevien virtuaalisten komponenttien ja fyysisten toimilaitteiden välinen suora yhteys ei kuitenkaan ole uusi keksintö. Tämä teknologia on ollut teollisuusautomaatiossa käytössä jo 1970-luvulta saakka. Olennainen innovaatio CPS:n tulemisen taustalla on virtuaalisen ja fyysisen maailman yhdistäminen avoimen ja globaalin tietoverkon, eli internetin kautta. Teollisuudessa käytössä olevasta internetistä käytetään usein nimitystä teollisuus-internet tai -ethernet. Internet- ja ethernet-termejä ei tulisi kuitenkaan sekoittaa toisiinsa, sillä ethernet tarkoittaa tekniikkaa ja internet alustaa, jolla tätä tekniikkaa hyväksikäytetään. Toinen tapa määrittää näiden käsitteiden ero on kuvata ethernetia paikalliseksi verkoksi eli lähiverkoksi (*Local Area Network*, LAN). Lähiverkko toimii vain yhdellä rajatulla alueella kuten tehtaassa. Internet taas on yksi laajaverkko (*Wide Area Network*, WAN), jonka kautta tietokoneet ympäri maailman voivat olla yhteydessä toisiinsa. Internetiä voidaankin kutsua verkostojen verkostoksi. On siis olemassa vain yksi internet ja lukuisia etherneteteja. Usein puhekielessä sekoitetaan myös termit esineiden internet ja teollisuus-internet. Teollisuus-internet on kuitenkin nimensä mukaisesti käytössä teollisuusmaailmassa ja siihen on kytkeytyneenä teollisuuden laitteita, kun taas esineiden internet on käytössä myös kotitalouksissa ja siihen on kytkeytyneenä muun muassa kahvinkeitin ja pesukoneita. Tietyllä tapaa esineiden internet on isompi käsite, jonka alle teollisuus-internet kuuluu (kuva 2). (Bartodziej 2017: 52–54, 56–58.)

Fyysistä maailmaa järjestelmässä edustavat älykkäät komponentit (*smart objects*) ja kyber- eli virtuaalimaailmaa edustavat näitä älykomponentteja ohjaavat ohjelmistot, jotka myös keräävät ja käsittelevät fyysisestä maailmasta saatavaa dataa. CPS voi yksinkertaisimmillaan olla vain mikrosiru, jossa on erinäisiä antureita ja mikroprosessori datan käsittelyä varten. Monimutkaisempi CPS voidaan jo saattaa työkoneen muotoon, ja työkoneet yhdessä voivat muodostaa massiivisen kokonaisuuden – tehtaan. (Bartodziej 2017: 52–54, 56–58.)

CPS on kuitenkin paljon muutakin kuin vain yhteys eri maailmojen välillä. Sen voidaan ajatella koostuvan viidestä eri tasosta, ja näitä tasoja kuvataan niin sanotulla 5C-arkkitehtuuripyramidimallilla (kuva 1). Pyramidin tarkoituksena on selventää sovelluskehityk-

sen vaiheita ja näiden vaiheiden toimeenpanoa. Mallista nähdään, kuinka verkkoon liitettyjen laitteiden fyysinen maailma kohtaa virtuaalimaailman eli massadatan ja analytiikan maailman. Jokaisella tasolla tämä kyberavaruuden ja laitteiden kohtaaminen tuottaa systeemin prosesseista dataa, jota hyödyntämällä systeemin optimointi paranee ja arvo kasvaa. Mallissa pyramidin alimmalla tasolla kerätään dataa fyysisestä ympäristöstä anturien avulla. Seuraavalla tasolla dataa aletaan käsitellä. Kun yrityksen teollisen internetin infrastruktuuri ja ratkaisut ovat tarpeeksi kehittyneitä, voidaan nousta pyramidin tasolta toiselle ja kuitenkin samaan aikaan jatkaa jo saavutettujen tasojen kehitystä (Collin 2016: 146.)



Kuva 1. Kyberfyysisen järjestelmän 5C-arkkitehtuuri pyramidi. (Collin 2016: 146).

Mallin ensimmäisellä tasolla kerätään dataa tarkasti ja luotettavasti. Tällä tasolla on erityisesti keskityttävä datan hankinta- ja välitysprosesseihin: on pyrittävä kuluttajapuolelta tututtuun *plug&play* -periaatteeseen. Tällä varmistetaan sensoriverkon saumaton rakentaminen ja yhdistäminen. Dataa voidaan hakea suoraan antureilta tai toiminnanohjausjärjestelmästä kuten ERP:stä. Käytännössä tällä saavutetaan tilanne, jossa laitteiden tilan valvonta on mahdollista (*Condition based monitoring*, CBM). (Collin 2016: 147.)

Toisella tasolla kerätty data muunnetaan käyttökelpoiseksi informaatioksi. Tätä varten on jo kehitetty lukuisia työkaluja ja menetelmiä. Viime aikoina niiden kehittämisessä on keskitytty älykkään analytiikan algoritmeihin, joiden tuottamaa dataa voidaan käyttää koneiden kunnon tarkkailuun ja ennustamiseen. Tällä tasolla siirrytään ensimmäisen tason anturimaailmasta kokonaisten koneiden maailmaan, jossa laitteet ja systeemit alkavat saada ensimmäisiä itsetietoisuuden piirteitä. Ihmisen kannalta tämä näyttäytyy ennustamisen ja kunnon tarkkailun valvontana (*Prognostic and Health Management, PHM*). (Collin 2016: 147.)

Kolmas eli kybertaso toimii tässä arkkitehtuurissa kaiken informaation solmukohtana. Toisiinsa linkittyneet laitteet muodostavat laiteverkoston, jossa jokainen laite lähettää dataa käsiteltäväksi. Yksi tapa käsitellä ja hyödyntää tätä dataa on tehdä vertailuja laitekohtaisesta datasta analytiikan avulla. Samojen laitetyyppien dataa vertailemalla saadaan kuva yhden laitteen tilasta ja kunnosta suhteessa muuhun laitekantaan. Tämän analytiikan avulla koneet pystyvät myös itse diagnosoimaan itseään vertailemalla anturidataansa ja suorituskykyään muihin vastaaviin laitteisiin. Lisäksi uusinta dataa ja historiaa vertailemalla voidaan ennustaa laitteiden tulevaa käyttäytymistä. Varsinaiset kyberfyysiset järjestelmät syntyvät tällä tasolla. (Collin 2016: 148.)

Neljännellä eli kognitiotasolla ihmisen ymmärrys järjestelmän toiminnasta syventyy ihmisen ja koneen välisen kommunikaation mahdollistavan rajapinnan, HMI:n kautta. Yksinkertaisimmillaan tämä rajapinta voi olla vain nappi tai ohjaussauva, jolla laitteen toimintaa ohjataan. HMI:ssä ratkaisevaa on informaation esitystapa. Tehokas ja selkeä esitystapa on graafinen käyttöliittymä (*Graphic User Interface, GUI*). GUI:ssa tarkoituksena on visualisoida informaatio ihmisen helposti ymmärtämään muotoon esimerkiksi kojelaudoille tai kosketusnäytöille, jotta organisaation työntekijät ja asiantuntijat pystyvät päätöksenteossaan hyödyntämään tätä informaatiota. Tällä tasolla ihmisen lisäksi myös koneet pystyvät priorisoimaan ja optimoimaan toimintaansa itsenäisesti. Kognitiotasolle ominaista onkin päätöksentekoa tukeva järjestelmä (*Decision Support System, DSS*). (Collin 2016: 148.)

Pyramidin viimeisellä tasolla muodostetaan palaute kybertasolta fyysiselle tasolle. Samalla tämä on myös järjestelmän ylin valvontakerros, jossa laitteille annetaan kyky autonomisesti muokata omia asetuksiaan ja mukauttaa toimintaansa ympäristöön. Tämä



taso muodostaa eräänlaisen kestävyyn takaavan valvontajärjestelmän, jossa kognitio-  
tasolla tehdyt korjaavat ja ennaltaehkäisevät päätökset toimeenpannaan. Laitteet pysty-  
vät kuitenkin itsenäiseen päätöksentekoon ja osaavat välttää riskejä aiheuttavia tilan-  
teita. (Collin 2016: 149.)

### 2.3.2 Esineiden ja palvelujen internet

Esineiden ja palveluiden internetiä (IoTS) tarkastellessa voidaan todeta, ettei kyseessä  
varsinaisesti ole itsenäinen teknologia, vaan pikemminkin konsepti. Asiantuntijat kokevat  
konseptin koostuvan useasta toisiaan tukevasta teknologiasta. Tämä konsepti tarjoaa  
yläkäsitteen, jonka alle menevät edellä mainitut heterogeeniset älykomponentit tai tässä  
asiayhteydessä ennemminkin älylaitteet, joista on tullut aktiivinen osa meidän jokapäi-  
väistä elämäämme. (Bartodziej, 2017: 54–55.)

Yrittäessä ymmärtää tätä laajaa käsitettä IoTS, on hyvä tehdä ero esineiden ja palvelui-  
den internetille. Esineiden internet (IoT) voidaan määritellä linkiksi fyysisten esineiden ja  
internetin virtuaalisen ilmentymän tai vastaavan rakenteen kanssa. Automaattisella kap-  
paleen identifiointilla, esimerkiksi RFID (*Radio Frequency Identification*) -teknologialla,  
voidaan antureiden ja toimilaitteiden toiminnallisuutta parantaa tarkkailemalla laitteiden  
tilaa ja toimintaa. Palveluiden internet (IoS) taas voidaan määrittää osaksi internetiä, joka  
tarjoaa palveluja ja toimintoja erinäisiä web-pohjaisia ohjelmistokomponentteja käyttäen.  
Palveluntarjoaja varmistaa saatavuuden internetissä ja tarjoaa palveluitaan todelliseen  
kysyntään perustuen. Palveluntarjoaja pystyy näistä yksittäisistä komponenteista raken-  
tamaan monimutkaisia, mutta joustavia ratkaisuja. (Bartodziej 2017: 54–55.)

Siirtyminen ihmiskeskeisestä internetistä esinekeskeiseen internetiin on käynnissä ja vir-  
tuaalisen ja fyysisen maailman erottava raja on heikentymässä. IoTS:n nähdään olevan  
elementti, joka tulevaisuudessa yhdistää useita teknologia-aloja toimimaan yhdessä.  
Kappaleiden (vaatteiden, lentolippujen, kodinkoneiden, kasvien, eläimien, ihmisten jne.)  
paikallistaminen ja identifiointi riippumatta niiden sijainnista, tulee avaamaan täysin uusia  
liiketoimintamahdollisuuksia. Tässä vaiheessa on kuitenkin vielä mahdotonta pitkällä  
tähtäimellä ennustaa IoTS:n täyttä potentiaalia, kuten nähtiin internetin tuleamisen kanssa  
1960-luvulla. Lähitulevaisuuden ennustuksissa kuitenkin povataan henkilökohtaisten

älylaitteiden määrän nousevan seitsemään henkilöä kohden ja sidosryhmien arvon kasvavan 1,9 triljoonaan dollariin (USD) vuoteen 2020 mennessä. Tämän seurauksena laaja joukko asiantuntijoita, niin teollisuudessa kuin akateemisessa maailmassa ja niin liike-elämässä kuin valtion virastoissakin, ovat osoittaneet kiinnostusta tätä suuntausta kohtaan. (Bartodziej 2017: 54–55.)

### 2.3.3 Sulautetut järjestelmät

Sulautetut järjestelmät ovat laitteita, jotka on suunniteltu jotain hyvin spesifiä tehtävää varten. Niiden elektroniikkaa ohjaa aina mikrotietokone. Näiden laitteiden muisti jaetaan kahteen osaan: ohjelmamuistiin ja käyttömuistiin. Laitteen toiminnan määräävä ohjelma on tallennettu ROM-muistiin (*Read Only Memory*), johon ei jälkikäteen voida tehdä enää muutoksia, sillä laite on suunniteltu suorittamaan vain yhtä ennalta määrättyä tehtävää. ROM-muistille ominaista on, että se säilyttää tietonsa virran katkaisun jälkeen. Tämä on elintärkeää laitteen toiminnan kannalta, koska muuten muistiin tallennettu ohjelma katoaisi. Käyttömuisti taas on haihtuvaa muistia, joka katoaa laitteen käyttöjännitteen katkessa. Edellä mainittujen muistien lisäksi useat laitteet tarvitsevat myös haihtumatonta käyttömuistia. Esimerkkinä päivittäiskaupan hedelmävaaka, jonka haihtumattomaan käyttömuistiin tulee tallentaa punnittavien tuotteiden tiedot viivakoodin tulostamista varten. (Koskinen 2004: 8.)

Verrattuna tavallisten yleiskäyttöisten mikrotietokoneiden valmistukseen, sulautettujen järjestelmien valmistuserät ovat luonnollisesti huomattavasti pienempiä. Yleiskäyttöisten laitteiden valmistuserien vaihdellessa tuhansista satoihin tuhansiin kappaleisiin, sulautettujen järjestelmien erät vaihtelevat kymmenistä satoihin kappaleisiin. Tämän takia sulautettujen järjestelmien hinnat ovat suhteellisen korkeita ja niitä pyritäänkin lähtökohtaisesti huoltamaan ja korjaamaan kuin vaihtamaan uusiin. Tämän tyyppisissä laitteissa pyritään yhä käyttämään läpijuotettuja komponentteja, jotta niiden toimintakunnon toteaminen ja uusiin vaihtaminen olisi mahdollisimman yksinkertaista. (Koskinen 2004: 8.)

### 2.3.4 Ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus

Vaikkakin älylaitteiden ja -komponenttien määrä teollisuusmaailmassa on kovassa kasvussa, silti prosessien ja järjestelmien ohjaamisessa tarvitaan edelleen lukuisia ihmisen

tekemiä päätöksiä. Siispä vaikka kaikki järjestelmän laitteet olisivat älykkäitä, ei riitä, että ne kommunikoivat vain keskenään. Laitteet kommunikoivat ihmisen kanssa ihminen-kone-rajapinnan kautta. HMI -tekniikoissa tulokojeet (*input devices*) kääntävät käyttäjän komennot digitaaliseen eli laitteiden ymmärtämään muotoon, ja taas vastakkaiseen suuntaan lähtökojeet (*output devices*) kääntävät laitteiden lähettämät viestit ihmisen ymmärtämään muotoon, esimerkiksi tekstiksi näytölle. HMI on ohjelmistot ja laitteet integroiva teknologia, jonka myötä informaatio- ja ohjauselementtien on mahdollista tukea työntekijän suorittamia toimintoja. (Bartodziej 2017: 69–70.)

Nykypäivänä valittavissa on useita erilaisia ja eri tekniikoihin perustuvia HMI -ratkaisuja, joista osa jo kerennyt toteennäyttää etunsa. Esimerkiksi puheohjauksessa selväksi hyödyksi nousee työntekijän näkö- ja tuntoaistin häiriintymättömyys. Älypuhelimien puheohjausominaisuudet ovat hyvä esimerkki puheohjatusta HMI:stä.

Toinen mullistava teknologia on eleiden tunnistukseen perustuva HMI. Siinä ihminen välittää ohjaukomentoja laitteille kehon liikkeillä, esimerkiksi käsien eleillä. Eleet voidaan lukea kahta eri tekniikkaa hyväksikäyttäen. Ensimmäinen vaihtoehto on kuvaperustainen tunnistus, jossa kameran avulla tunnistetaan liikkeitä. Toinen vaihtoehto on laiteperustainen tunnistus, joka on toteutettavissa kehoon kiinnitettävillä antureilla tai datakäsineillä. Tämän toisen vaihtoehdon etuina nähdään sen intuitiivisuus ja välittömyys. Paras esimerkki tämän tekniikan käytöstä ei kuitenkaan vielä löydy teollisuudesta vaan pelimaailmasta, sillä Microsoft Kinect -pelikonsoli käyttää tätä tekniikkaa. (Bartodziej 2017: 69–70.)

Tulevaisuudessa vallitsevimman HMI -tekniikan nähdään olevan kosketusnäytöt. Kosketusnäytöt toki eivät ole tänä päivänä enää lainkaan uusi keksintö ja lieneekin hankalaa löytää ihmistä, joka ei olisi kosketusnäyttöä edes joskus käyttänyt. Teollisuusmaailma kuitenkin asettaa uusia vaatimuksia tälle tekniikalle. Tehdas- ja varastoympäristöt ovat herkkien näyttöjen kannalta kovin ”karkeita” ympäristöjä. Näin ollen muun muassa pöly- ja vesitiiveydelle syntyy uusia vaatimuksia. Näihin pyritään vastaamaan uudella hajaantuva signaali -teknologialla (*Dispersive Signal Technology*). Hyvin vähän asiaa kuvaava nimitys ”hajaantuva signaali -teknologia” tarkoittaa tekniikkaa, jolla kosketusnäytön pintaan kosketuksesta syntyvä impulssi aiheuttaa näytön pintaan aaltoliikkeen, samaan

tapaan kuin akvaarioon tiputtaisi kiven. Näytön neljässä kulmassa jokaisessa on sijoitettuna anturi, joka mittaa näytön pinnalla kulkevaa aaltoliikettä. Näiden kaikkien neljän anturin datasta näyttöä ohjaava tietokone laskee kosketuksen sijainnin näytöllä. Tällä tavalla kosketuksen paikannusta eivät esimerkiksi pöly ja vesi häiritse. (Bartodziej 2017: 69–70.)

Kaikilla edellä mainituilla HMI-tekniikoilla on merkittävä vaikutus teollisuuteen. Kun ajatusta ihmisen ja koneen välisestä vuorovaikutuksesta viedään vielä hieman pidemmälle, kone ei enää vain vastaakaan käyttäjän komentoihin ja anna palautetta virtuaalisen ja fyysisen maailman tapahtumista, vaan itsenäisesti datahistoriaan ja kokemuksiin perustuen tarjoaa ihmiselle neuvoja ja opastusta. Tällaisesta hyvä esimerkki on navigaattori, joka aktiivisesti tutkii, onko reitin varrelle syntynyt esteitä tai hidastavia tekijöitä ja sitä kautta neuvoo kuljettajalle uuden reitin. Kun viedään ajatusta HMI-tekniikasta vielä pidemmälle ja pyritään yhä ylemmälle tehokkuuden tasolle, laitteiden tulisi pystyä ennakoimaan ihmisen aikomuksia ja suunnitelmia ja sitä kautta ennustamaan ihmisen käyttäytymistä. Laitteet siis osoittaisivat ihmismäistä tietoisuutta. Mallintamalla ihminen tai käyttäjä virtuaaliseen muotoon, mahdollistetaan ihmisen toiminnan tukeminen, diagnoosi, simulointi ja ennustaminen. Tämänhetkinen kyseisen tekniikan kehitystyö keskittyy kahteen sovellutukseen: virtuaaliseen testikuljettajaan ja empaattiseen virtuaaliseen matkustajaan. (Bartodziej 2017: 69–70.)

### 2.3.5 Pilvilaskenta ja massadata

Pilvilaskennalla tarkoitetaan datan varastointia etädatakeskuksiin sekä tietoteknisten ohjelmistojen käyttöä etänä. Etäkäytöllä tarkoitetaan sitä, ettei käytettävä ohjelmisto ole asennettu paikalliselle tietokoneelle vaan sitä käytetään etänä pilven välityksellä. Pilvilaskennan tavoitteena on luoda laskentatehosta, datan varastoinnista ja ohjelmistoista abstrakti it-infrastrukturi, joka mukautuu esimerkiksi tuotannon tarpeisiin automaattisesti tietoverkon välityksellä. (Lucas-Nülle Labsoft-manuaali 2019.)

Palveluohjelmistot (*Software as a Service*, SAAS) on tälle päivälle ominainen termi. Se saatetaan usein sekoittaa pilvilaskenta-termin kanssa. SAAS on kuitenkin vain verkon yli käytettävä ohjelmisto, kun taas pilvilaskennan voidaan kokea käsittävän kokonaiset it-

palvelut. Pilvilaskennan oleellisimpia ominaisuuksia on ohjelmistojen konfiguroitavuus ja yhteensovittaminen muihin sovelluksiin. (Pentikäinen 2008.)

Etenkin pienille ja keskisuurille yrityksille pilvilaskennasta voi olla erityistä hyötyä. P&k -yrityksillä ei aina ole resursseja itse tuottaa ja ylläpitää it-palveluitaan, joten voi olla hyvä ulkoistaa ne jollekin pilvipalveluita tarjoavalle yritykselle. Tässä kohtaa täytyy kuitenkin kaiken kokoisten yritysten miettiä, mitä dataa yrityksestä kannattaa luovuttaa pilvipalveluiden hoidettavaksi, sillä siihen liittyy aina omat tietoturvariskinsä. Henkilöstöhallintaa tai toimistosovelluksia voi olla hyvä ostaa pilvipalveluiden kautta, mutta kirjanpito tulee pitää omissa tiloissa. (Pentikäinen 2008.)

Massadata (*Big Data*) -analytiikka on käsite, joka on ollut kovassa nosteessa vuodesta 2010 eteenpäin. Termi on siis varsin uusi, eikä sen määritelmästä olla vielä alan yhteisön sisällä täysin yhtä mieltä. Sitä pyritään selittämään kolmen V:n mallilla: *volume* (massa), *variety* (heterogeenisyys eli monimuotoisuus) ja *velocity* (nopeus eli liikkuvuus). Tiukimassa määrittämissä kaikkien näiden tekijöiden tulee toteutua, mutta usein riittää yhden tekijän toteutuminen. (Aunimo 2017.)

Kolmen V:n -mallista nähdään, ettei massadatalle tarkoiteta kaikissa tilanteissa valtavia määriä dataa. Se voi yhtä hyvin olla eri muodoissa kuten tekstinä, kuvina tai äänenä, eli heterogeenisessä muodossa. Data voi myös olla liikkeessä. Sillä tarkoitetaan antureilta ja mittalaitteilta tai esimerkiksi sosiaalisen median kanavien uutisvirrasta saatavaa jatkuvaa datavirtaa. Big Data -analytiikalla tavoitellaankin massiivisten, heterogeenisten ja liikkeessä olevien datavirtojen hallintaa. (Aunimo 2017.)

Toinen tapa määrittää Big Data -analyysiä, on sen vertaaminen perinteisiin tilastollisen analyysin menetelmiin. Tilastollisessa analyysissä ensin määritetään selittävät ja selitettävät muuttujat. Sen jälkeen valittua analyysiä lähdetään sovittamaan kerättyyn dataan. Big Data -analyysissä taas kaikki saatavilla oleva data kerätään käsiteltäväksi ja käsitelyä tehdään paljon laajemmasta näkökulmasta kuin perinteistä analyysiä. Näkökulman laajuus vaikuttaa suoraan datajoukon määrittämiseen. Tilastollisessa tarkastelussa datajoukko määritetään tarkasti jollekin alueelle analyysin muodostamista varten, esimerkiksi väestötutkimuksessa määritetään kriteerit sille, millaista osaa väestöstä tutkitaan. Big Data -analyysissä taas datajoukko muodostuisi koko väestöstä. (Aunimo 2017.)

Tilastollisessa analyysissä ei tarvita datan esikäsittelyä, toisin kuin Big Data -analyysissä. Tilastollisen analyysin tiedonkäsittely alkaa vasta, kun data on saatettu hyvin strukturoituun muotoon, esimerkiksi taulukkoon. Big Data -analyysissä datan esikäsittely on keskeisessä roolissa. Big Data on myös nopeasti päivittyvää, ja sitä kerätään jatkuvasti lisää. Sen päivityssykli on myös suhteellisen nopea, esimerkiksi kerran kymmenessä minuutissa. Tilastollisessa analyysissä taas datajoukko on staattinen, eli se ei muutu tarkastelun aikana. Analyysin valmistumisen suhteen ei usein ole kiirettä ja se suoritetaan vain kerran. (Aunimo 2017.)

### 2.3.6 IT-turvallisuus

”Jos ottaa esiin teollisen internetin valtavat tietoturva-asteet, saa äkkiä otsaansa juhlien pilaajan leiman.” Toteamus on Langner Communications -yrityksen omistajan Ralph Langnerin suusta. Langner on teollisten ohjausjärjestelmien huippuasiantuntija. Hän ensimmäisenä maailmassa ymmärsi Iranin uraanirikastamoissa tuhoa aiheuttaneen Stuxnet-haittaohjelman liittyvän teollisuusautomaatiojärjestelmiin, ja tätä kautta hän nousi alalla maailmankuuluksi. Langner on äärimmäisen huolissaan teollisen internetin tietoturvasta ja hänen mukaansa kyse ei ole vain riskeistä vaan uhat ovat todellisia. Langner kärkeä yrityksen teolliseen internetiin liittymisen kypsyysasteen, että jos yrityksen laitteita löytyy Sohan -hakupalvelusta, yritys ei ole valmis teollisen internetin käyttöön. (Collin 2016: 241–242.)

Sohan -hakukoneella voi kuka tahansa missä päin maailmaa tahansa hakea kaikenlaisia huonosti konfiguroituja, internetiin päin auki olevia laitteita kuten reitittimiä, printtereitä, valvontakameroita ja teollisuuden SCADA-laitteistoja. SCADA on ohjelmistotyyppi, jolla toteutetaan graafisia käyttöliittymiä teollisuuden automaatiojärjestelmiin. Sohan löytää myös suomalaisia IP-osoitteita, joiden takana on haavoittuva laite. Vuonna 2013 Aalto-yliopiston tutkimuksessa Suomesta näitä IP-osoitteita löytyi noin 3 000. Määrä ei vaikuta suurelta verrattuna asennettujen järjestelmien määrään, mutta osoittaa sen, ettei Suomessa ole asian suhteen virheettömiä. Teollisen internetin jarruttavia tekijöitä kartoittavista kyselyistä, useissa suurimmaksi huolen aiheeksi on noussut tietoturva. Hyvää tässä on se, että pelko ei ole aiheetonta, mutta se saattaa usein estää ratkaisevien päätösten synnyn kohti teollisen internetin käyttöönottoa. Kuitenkin asian suhteen pessimistisen Langnerinkin mielestä tietoturvaan liittyvät riskit ja ongelmat eivät olisi liian suuria

selätettäväksi. Toisaalta kuullaan myös puheenvuoroja, joiden mukaan tietoturvariskeillä pelotellaan turhaan ja niistä olisi suotta luotu kehitystä jarruttava mörkö. Totuus löytyneekin jostain välimaastosta. Joka tapauksessa voidaan todeta, että jos pelko olisi määrittävä tekijä internetmaailman kehityksessä, tuskin olisimme verkkopankkeja onnistuneet ottamaan käyttöön. (Collin 2016: 241-242.)

Kun mietitään, kuinka sitten järjestää teollisten hallintajärjestelmien tietoturva, on hyvä ensin miettiä tämän päivän ajatusmaailmallisia kompastuskiviä asian suhteen. Usein yrityksen kannalta merkittävä uhan aiheuttaja tulee sisältä päin: yrityksen johto on liian harvoin perillä tietoturvaan liittyvistä seikoista ja sen tähden asialle ei suoda riittäviä resursseja. Collin (2016: 243) listaakin viisi myyttiä teollisten hallintajärjestelmien tietoturvasta:

- Järjestelmät ovat turvallisia, koska niitä ei ole liitetty internetiin.
- Meillä on palomuurit, joten olemme turvassa ulkopuolisilta uhkilta.
- Verkkohyökkääjät eivät ymmärrä teollisuusjärjestelmien päälle.
- Meidän laitoksemme eivät ole kenenkään kohde.
- Turvajärjestelmämme suojaavat meitä vahingoilta.

Perinteisesti siis on ajateltu, ettei teollisia ohjausjärjestelmiä tarvitse erikseen suojata, koska niitä ei ole liitetty internetiin. Ne muodostavat ikään kuin oman kuplansa, johon ei ulkopuolelta ole pääsyä. Perinteisten ohjausjärjestelmien kanssa näin on ollutkin ennen teollisen internetin tuleamista. Tämän ajattelun seurauksena näiden järjestelmien tietoturva on hyvin heikolla tasolla tai puuttuu kokonaan. Tämä huomattiin Sohan -tutkimuksessa, kun tarkasteltiin CMD-komentorivikäyttöliittymää, jota käytetään Windows CE - pohjaisten automaatiojärjestelmien hallintaan telnet-yhteyden välityksellä. Jos tällainen järjestelmä sitten liitetään internetiin ilman turvallisuutta lisääviä toimenpiteitä, aukeaa hyökkääjille avoimet ovet järjestelmään tunkeutumiselle. (Collin 2016: 242–243.)

Todellisuudessa hallinta- ja ohjausjärjestelmät ovat nykypäivänä aina liitetty internetiin. Yhteys ei aina vain näyttäydy niin selvästi, sen ollessa epäsuora. Yrityksen kenttätason, eli esimerkiksi tehtaan toimilaite- ja anturitason, tiedonsiirto tapahtuu paikallisia yhteyksiä pitkin, mutta tieto kerätään ja käsitellään jossain toiminnanohjausjärjestelmässä kuten ERP:ssä, ja tämä järjestelmä on aina liitettynä internetiin. Seuraavaksi tutustutaan muutamiin varoittaviin esimerkkeihin maailmalta, ennen kuin pureudutaan toimivan tietoturvan järjestämisen periaatteisiin. (Collin 2016: 242-243.)

Nykytiedon mukaan maailman ensimmäinen hyökkäys teollisuuden hallintajärjestelmiin tehtiin Ukrainassa vuonna 2015. Aluksi hyökkäys rampautti sähköverkoja, mutta myöhemmin huomattiin sen kohteena olevan maan teollisuus laajemminkin. Hyökkääjien työkaluna oli haittaohjelma, joka pyrki luomaan järjestelmiin tunkeutumisen mahdollistavia reittejä kovalevyjen formatointia varten. (Collin 2016: 244.)

Hyvin tunnettu miljoonien eurojen vahingot aiheuttanut tapaus sattui Saksassa, josta Saksan tietoturvaviranomainen BSI julkisti raportin vuonna 2014, kuitenkin nimeämättä yritystä tai tapauksen ajankohtaa. Hyökkäyksestä pystyttiin päättelemään hyökkääjien olevan hyvin perillä sekä it- että teollisuusautomaation maailmasta. Hyökkäysvälineenä toimi kohdennettu sähköposti, jonka avulla tunkeutuminen yrityksen järjestelmiin mahdollistui. (Collin 2016: 244.)

Erityisen uhan aiheuttaa yleisesti alalla käytettyjen valmistajien hallintajärjestelmien tietoturva. Esimerkiksi Siemensin ja Schneiderin järjestelmiin tunkeutumalla hyökkääjät voivat aiheuttaa globaalit hyökkäykset. Vuonna 2012 Yhdysvalloissa paljastuikin hyökkäys, jossa Schneiderin tytäryhtiö Televentin järjestelmiin oli päässyt tunkeutumaan haittaohjelma. Ohjelman ei havaittu pystyvän leviämään muihin järjestelmiin, mutta tapaus osoittaa SCADA -järjestelmien haavoittuvaisuuden. (Collin 2016: 244.)

Kun yritys alkaa pohtia tuotannon tietoturvan järjestämistä, ensimmäiseksi tulisi suorittaa kaikkien tuotantoon osallistuvien laitteiden ja verkkojen kartoitus ja tältä pohjalta saattaa yritykseen käyttöön tarvittava verkkotopologinen dokumentointi. Langnerin mukaan tällainen dokumentointi lähes poikkeuksetta puuttuu yrityksiltä kokonaan. Sisäisen dokumentoinnin lisäksi olisi hyvä teettää tai kehittää laatu- ja tietoturva-vaatimukset niin tietoturvan kuin tietoverkkojen suhteen. Tämän dokumentoinnin perusteella yritykselle syntyy kokonaiskäsitys tuotantolaitteiden käyttämisestä yhteyksistä. Monesti huomataan hyvin epätoivottava tilanne, jossa ajan saatossa tuotantoon osallistuvien eri toimittajien laitteiden kirjo on kasvanut hyvin suureksi. Tätä myöten erilaisia käytössä olevia yhteyksiäkin on lukuisia, muun muassa: adsl-, vdsl-, 2G-, 3G- ja 4G-yhteys. Tällaiset rakenteet ovat verkkoarkkitehtuurin kannalta monimutkaistavia tekijöitä, ja ratkaisuihin onkin pyrittävä yhteyksien keskittämiseen. (Collin 2016: 245.)



Teollisen internetin tietoturvaa määrittävät samat periaatteet kuin toimistointernetinkin. Tarvitaan palomureja, monen kerroksen suojausta, päivitysten hallintaa ja tietoturvapoliittikkaa. Siispä on äärimmäisen tärkeää varmistaa, että vain tunnistautuneet ja valtuutetut käyttäjät pääsevät järjestelmään. Tämä aiheuttaa kuitenkin nopeasti ongelmia, sillä tuotantoympäristön ”käyttäjistä” useat ovat antureita ja mittalaitteita. Näillekin käyttäjille pitää olla mahdollista välittää viestejä ohjausjärjestelmään, joten tarvitaan jokin automaattinen ratkaisu hallitsemaan laitteiden sisäänkäyntiä järjestelmään. Tähän toimivia ratkaisuja ovat esimerkiksi SSH (*Secure-Shell*) -avainten hallintatyökalut. SSH-avaintekniikka on salattuun tietoliikenteeseen tarkoitettu protokolla. (Collin 2016: 246.)

Merkittävä vedenjakaja teollisuuden tietoverkkoja suunnitellessa on kohteen tarve kaksisuuntaiselle tietoliikenteelle. Kaksisuuntaisen liikenteen mahdollistava verkko aiheuttaa aina suuremman tietoturvariskin kuin yksisuuntainen, sillä sitä kautta tunkeutuja pääsee helpommin vaikuttamaan järjestelmän toimintaan. Useissa tuotannon tietoverkon solmukohdissa dataa vain kerätään ja lähetetään edelleen toiminnanohjausjärjestelmään, mutta silti turhaan käytössä on kaksisuuntainen liikenne. Kentätasolla kaksisuuntaista yhteyttä tulisi käyttää vain silloin, kun se on välttämätöntä, kuten valvomoyhteyksissä. Yhteyden suunnan lisäksi tulee huomioida, että tietoliikenteen kannalta vain välttämättömät yhteysportit ovat auki liikennettä varten. Yhteyspyynnöt tulee sallia vain tunnetuista osoitteista, eikä laitteiden välillä saa olla valtuuttamattomia yhteyksiä. (Collin 2016: 246–247.)

Vaikkakin teollisen internetin myötä on saavutettu kiistattomia etuja tuotannossa, on silti tarpeen miettiä, tulisiko jokin järjestelmä tai sen osa jättää kokonaan ilman internetyhteyttä. Tätä tapaa pidetään vanhanaikaisena, mutta kriittisissä kohteissa se voi osoittautua kannattavaksi. Tässäkin tilanteessa tunkeutujilla on mahdollista päästä järjestelmään sisään, mutta se edellyttäisi kyseessä olevan merkittävän teollisuusvakoilullisen hyödyn ja hyökkääjillä tulisi olla valtiolliset resurssit. (Collin 2016: 247.)

Modernit standardit, protokollat ja arkkitehtuurit tarjoavat paljon mahdollisuuksia turvallisen yhteyden järjestämiseksi. Niiden suunnittelussa on jo otettu huomioon tietoturva-asteet. Esimerkkinä voidaan mainita OPC-UA -protokolla, jonka välityksellä laitteet kommunikoivat keskenään. Protokollassa on laitekohtainen sertifioitu lista muista laitteista, joiden kanssa yhteys voidaan muodostaa. (Collin 2016: 247.)

Uusia ratkaisuja teollisen internetin tietoturvan haasteisiin voidaan saada lohkoketjuteknologiasta. Tällä hetkellä se on yleisimmin käytössä virtuaalivaluuttojen louhinnassa, mutta pankkisektori tutkii kuumeisesti sen mahdollisuuksia maksutapahtumien varmentamisessa sekä asiakkaiden suojaamisessa maksuvälinepetoksilta. Teknologian turvallisuus perustuu tietopakettien aukottomaan identifiointiin – kaiken valuutan alkuperä on siis aina selvillä. Toistaiseksi ei ole vielä varmuutta, miten teknologiaa voidaan hyödyntää teollisen internetin tietoturvan parantamiseksi. (Collin 2016: 247.)

### 3 Lucas-Nülles Smart Factory

Lucas-Nülle -säätio on saksalainen maailmanlaajuisesti eri tieteen ja tekniikan alojen instituutioita ja projekteja tukeva säätio. Sen tavoitteena on olla mukana kehittämässä teollista ja teknistä koulutusta. Sillä on yli 45 vuoden kokemus opetuslaitteistojen valmistuksesta sähkö-, automaatio-, kone-, auto- ja tietotekniikan aloille. Maailmanlaajuisesti sillä on yli 60 myyntikumppania. Säätioillä on oma osastonsa opetuslaitteiden valmistukseen ja myyntiin.

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin teollisuus 4.0:n etuja ja mahdollisuuksia ilmentävään älytehdaskonseptiin. Konseptiin syvennyttään Empower-yrityksen älytehtaaseen tutustumalla sekä Lucas-Nülles Smart Factory -laitteiston teknisen kuvauksen ja käytönnoton kautta.

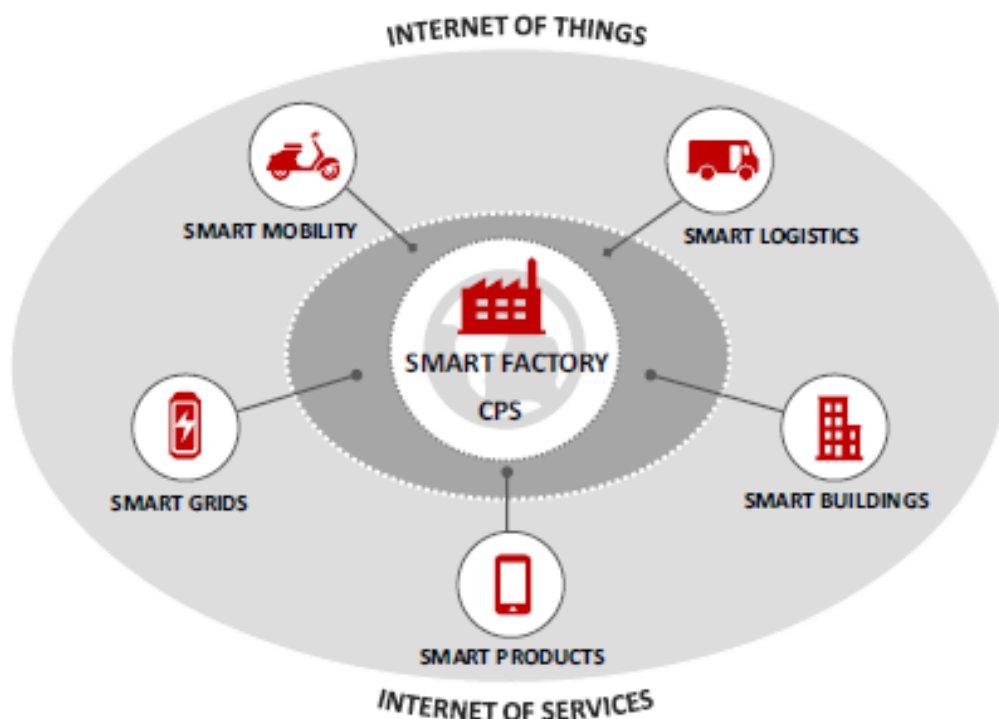
#### 3.1 Älytehdaskonsepti

Yksilöllisten tuotteiden kysyntä, epävakaa markkinat ja resurssien kulutuksen optimointi ovat aiheuttaneet kysynnän vaihtelun ja tuotantojärjestelmien monimutkaisuuden kasvun. Näiden tekijöiden tuottamiin haasteisiin vastaaminen edellyttää uuden lähestymistavan omaksumista valmistusteollisuuden suhteen. Tähän teollisuus 4.0 tarjoaa ratkaisuksi älytehdaskonseptin. Älytehtaalla (*smart factory*) tarkoitetaan modernia tuotantolaitosta, jonka ratkaisussa on hyödynnetty uusimpia teknisiä innovaatioita kuten kyberfyyssisiä järjestelmiä, älykomponentteja, HMI:tä, pilvilaskentaa, sulautettuja järjestelmiä ja esineiden internetiä. (Bartodziej 2017: 27–28, 39–40.)

Joustavuus ja mukautuvuus ovat tärkeimpiä termejä älytehdasta kuvatessa. Aikaisemmin tuotteiden yksilöllisyys -kappaleessa kuvattiin, miksi ja miten joustavuutta tuotantolaitoksissa tavoitellaan. Mukautuminen on ikään kuin älykästä joustavuutta. Mukautuva järjestelmä kykenee itsenäisesti, esimerkiksi prosessidataan perustuen, muokkaamaan ja optimoimaan toimintaansa. Tästä aiheutuu merkittäviä hyötyjä muun muassa materiaalivirtojen ja arvoketjujen hallinnassa. Bartodziej (2017: 40) listaa kuusi tekijää, joilla mukautuvuuden astetta voidaan nostaa:

- skaalautuvuus
- mobiliteetti eli liikkuvuus
- modulaarisuus
- universaalisuus
- yhteensopivuus
- neutraalisuus.

Ottamalla haltuun nämä tekijät, teollisuusyritys merkittävästi parantaa kilpailukykyään tässä asiakkaiden erityistoiveet vahvasti huomioivassa kehityskulussa. Kuvasta 2 nähdään älytehdaskonseptin rakenteen periaate. (Bartodziej 2017: 27–28, 39–40.)



Kuva 2. Älytehdaskonseptin rakenteen periaate (Bartodziej 2017: 35).

Empower on kansainvälinen yritys, jonka liiketoiminta perustuu voimalaitosten ja tehtaiden kunnossapitoon sekä älykkäiden tieto- ja sähköverkkojen rakentamiseen. Yritys on rakentanut käyttöönsä uuden älytehtaan Haminaan. Yrityksen johtaja Vesa Ikonen (2019) avaa kirjoittamassaan artikkelissa yrityksen kotisivuilla tehtaan perustamisen ja

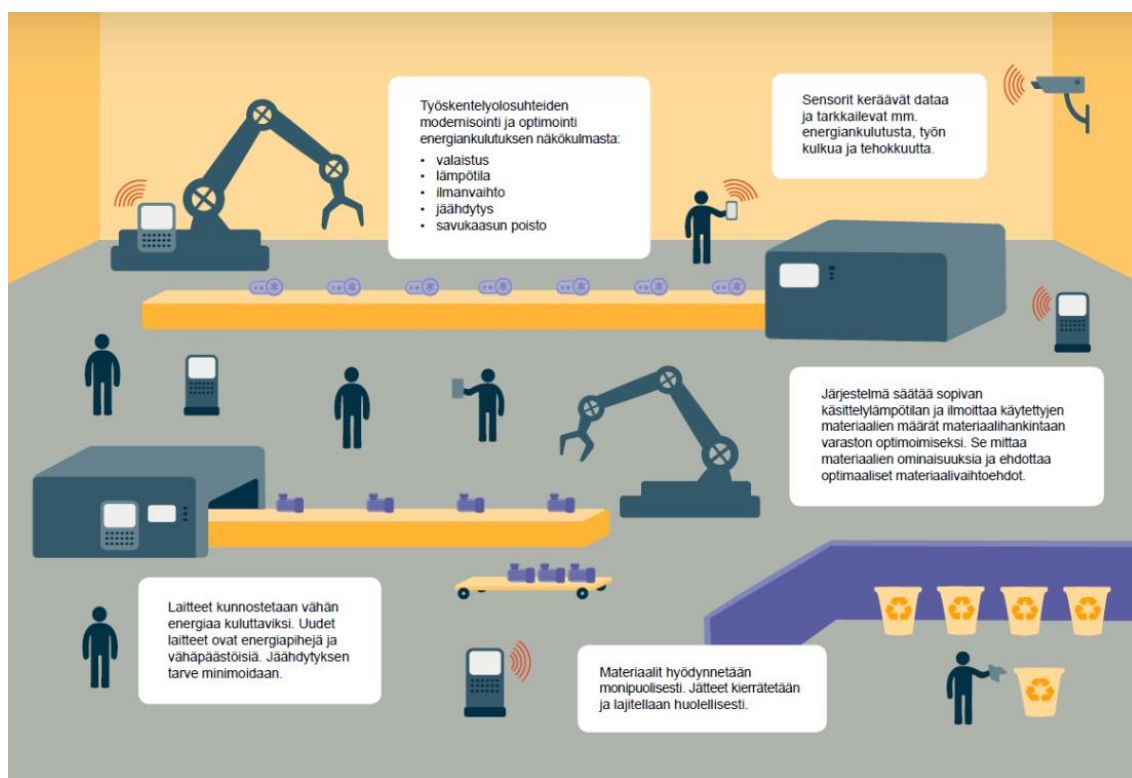
toiminnan taustoja kestäväen kehityksen näkökulmasta. Tässä työssä tehtaan ominaisuuksia ja ratkaisuja käsitellään pääsääntöisesti teollisuus 4.0 -konseptin näkökulmasta. Ympäristöasioista voidaan kuitenkin lyhyesti todeta se, että teollisuudessa on tultu pisteeseen, jossa kestäväen kehityksen ja taloudellisuuden ei enää nähdä sulkevan toisiaan pois. Ikonen (2019) toteaa kestäväen kehityksen kulkevan käsi kädessä taloudellisuuden ja kilpailukyvyyn kanssa.

Ikonen (2019) kertoo tehtaan noudattavan jatkuvan toiminnan kehittämisen periaatetta. Käytössä olevat järjestelmät reaaliaikaisesti mittaavat sekä analysoivat prosesseja. Ajan kuluessa ne oppivat tarjoamaan parannuksia tähän mitattuun dataan perustuen. Mittauksilla löydetään prosessien eniten aikaa ja energiaa kuluttavat osat. Tällä optimoinnilla parannetaan myös työntekijöiden olosuhteita ja tarkistetaan työkuormaa sopivammaksi. Nämä älykkäät järjestelmät saavat prosessien lisäksi dataa myös trukeilta sekä tehtaan valaistus- ja ilmanvaihtojärjestelmältä. Trukkien toimintaa seuraamalla voidaan optimoida niiden työreittejä ja polttoaineen kulutusta ja näin säästää polttoainekustannuksissa sekä kasvattaa trukkien elinkaarta. Valaistusta säädetään siten, että valoa on saatavilla vain siellä, missä sitä milloinkin tarvitaan. Tehtaan pimeät, käyttämättömät nurkat saavat pysyä pimeinä. Ilmanvaihtojärjestelmä taas huomioi kulloisetkin toimintaympäristön tarpeet yhdistettynä ulkotilan vaikutukseen ja näin säättää lämpötilan ja ilmankosteuden optimaaliselle tasolle. Tilannetta voidaankin luonnehtia niin, että älytehdas ei ole koskaan täysin valmis, vaan tuotannon vaiheita mitataan jatkuvasti ja prosesseja kehitetään kerätyn datan perusteella. (Ikonen 2019.)

Ajatellessa tuotannon siirtämistä älytehdasympäristöön, voidaan helposti olettaa, ettei vanhaa laitekantaa voida enää hyödyntää modernien teknologioiden hyödyntämisen asettamien vaatimuksien takia. Ikonen (2019) kertoo yrityksen älytehdasratkaisuun siirtymisestä, ettei prosessia tarvinnut aloittaa tyhjästä. 1970-luvulla rakennetuista tiloista uusiin tiloihin siirrettyjä laitteita voitiin edelleen käyttää älytehdasympäristössä. Varosilla ja uusilla teknisiä innovaatioita hyödyntämällä laitteet saivat jatkaa elinkaartaan.

Kuten edellä mainittiin, nykypäivänä tuotannon suunnittelu ympäristöarvot edellä, ei tarkoita taloudellisista tavoitteista tinkimistä. Tuotannon energiatehokkuudesta vastaavat järjestelmät pystyvät myös ottamaan hartioilleen älytehdaskonseptin asettamat muut

vaatimukset. Kuvasta 3 nähdään Haminan älytehtaan energiatehokkuuden toimintaperiaate.



Kuva 3. Empowerin Haminan tehtaan energiatehokkuuden toimintaperiaate (Ikonen 2019).

### 3.2 Smart Factory -laitteisto

Smart Factory on ohjelmoitava kokoonpanolinjasto. Se on hieno esimerkki teollisuus 4.0 -aikakauden laitteistosta, sillä se ilmentää älytehdas-konseptia loistavasti. Linjasto koostuu tuotteen asiakkaan toiveiden mukaan. Asiakas tilaa tuotteen verkkokaupasta ja tilauksen yhteydessä valitsee komponenttilistasta osat, joista lopputuote kootaan. Verkkokaupasta tilaus välitetään ERP-toiminnanohjausjärjestelmään, josta tilaus välitetään konfigurointitietona linjastolle. Ainoa käyttäjä prosessissa on asiakas. Kaikki muu, varastosaldojen hallinnasta valmiin tuotteen linjastolta ulos siirtämiseen, on automatisoitu.

### 3.2.1 Tuotteet

Smart Factory kokoaa kahdesta tai kolmesta osasta koostuvia kappaleita. Kappale rakentuu rungosta sekä kannesta ja vaihtoehtoisesti valittavasta rungosta ja kannen läpi menevästä pultista. Kaikkia kolmea osaa on valittavana kahtena värinä. Erilaisia konfiguraatioita valmiille kappaleelle on siis 12.

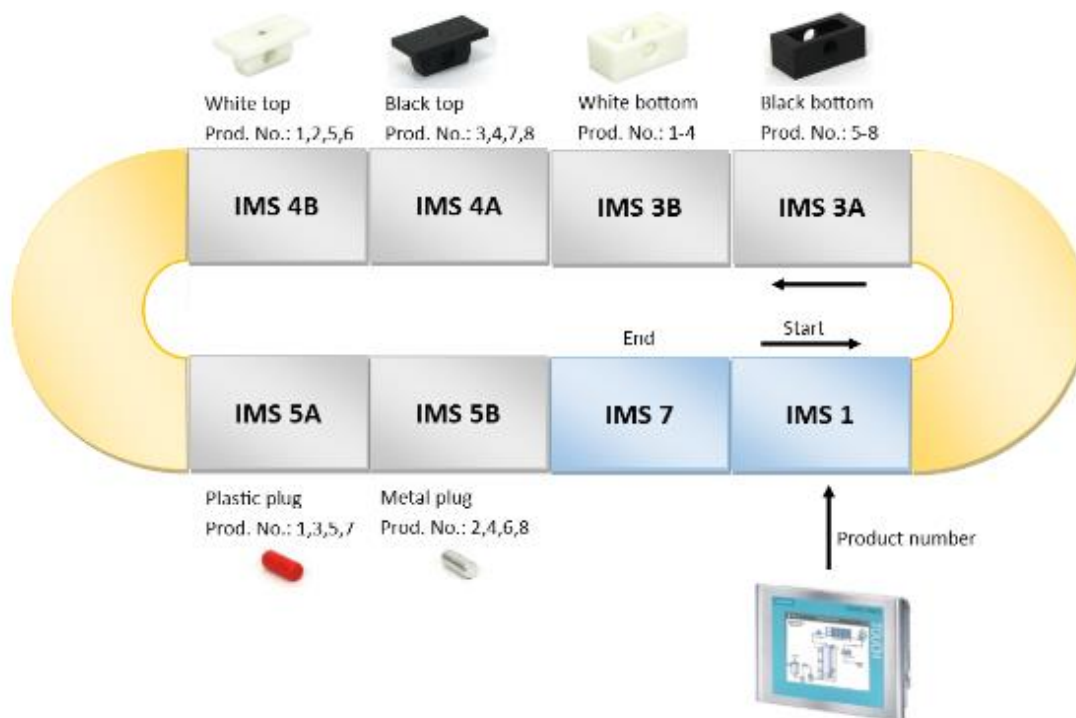
### 3.2.2 Laitteiston toiminta

Smart Factory -kokoonpanolinjasto koostuu kahdeksasta toisiinsa liitettävästä kuljetinmoduulista. Moduulit on nimetty tunnuksella IMS, jota seuraa juokseva numerointi (kuva 4). Moduulit muodostavat ellipsimäisen radan, ja radalla kiertää kolme kelkkaa, joille tilattu tuote kootaan. Jokaisella moduulilla on oma Siemens S7-1200 -ohjelmoitava logiikka (PLC), jolle moduulin anturit ja toimilaitteet on kytketty riviliittintä hyväksikäyttäen. Anturit ja toimilaitteet on ensin yhdistetty riviliittimelle ja riviliitin on yhdistetty logiikalle 25-pinnisellä d-liittimellä, jonka jokainen pinni vastaa joko logiikan tuloa tai lähtöä.

Nämä kahdeksan logiikkaa toimivat systeemissä slave-tason, eli alemman tason, laitteina. Ne eivät siis itsenäisesti lähetä järjestelmään viestejä, vaan niitä ohjaa ylemmän tason master-komponentti. Master-laitteena järjestelmässä toimii Siemens S7-1500 -ohjelmoitava logiikka. Jokaisella slave-logiikalla on kuitenkin oma yksilöllinen ohjelma, jolla moduulin toimintaa ohjataan.

Alemman tason slave-komponentit on liitetty master-laitteeseen erinäisiä ethernet-tiedonsiirtoon tarkoitettuja komponentteja käyttäen: linjaston seitsemän ensimmäistä alilogiikkaa on ensin yhdistetty tähteen Siemens Scalance x208 ethernet-kytkimelle. Kytkin on yhdistetty reitittimelle, johon on myös yhdistetty linjaston viimeinen alilogiikka. Lopuksi reititin on yhdistetty master-logiikkaan. Näin masterilla on yhteys kaikkiin alilogiikkoihin. Master- ja slave-logiikat kommunikoivat profinet-standardiin perustuvia tiedonsiirtoväyliä pitkin. Kaikki järjestelmässä käytetyt kaapelit ja liittimet vastaavat standardin vaatimuksia. Profinet-standardista on tarkempi kuvaus kappaleessa 3.2.3.

Näin konfiguroitu ja kytketty laitteisto skaalautuu oikean tehtaan kokoonpanolinjastoksi täysin samoilla periaatteilla.



Kuva 4. Smart Factory –laitteiston kuljetinmoduulit. (Lucas-Nülle Labsoft -manuaali 2019.)

Smart Factory siis kokoaa kappaleen verkkokaupan tilauksen mukaan. ERP:n välittämä tieto valmistettavan kappaleen konfiguraatiosta tallennetaan linjastolla kiertävän kelkan RFID-tunnisteeseen. RFID-tekniikalla voidaan radioaaltoja hyödyntäen etänä lukea ja kirjoittaa informaatiota tunnisteeseen. ERP keskustelee PLC-maailman kanssa TCP/IP-yhteyden välityksellä. Kelkka kiertää linjastolla ja vaiheittain eri IMS-aseilla suoritetaan kappaleen kokoaminen kelkan päälle. Viimeisellä asemalla pneumaattinen tarttuja nostaa valmiin kappaleen ulos radalta. ERP-järjestelmää voidaan kutsua laitteiston aivoiksi, sillä lopulta se ohjaa linjaston toimintaa. Tiedonsiirrostä vastaavia komponentteja taas voidaan luonnehtia linjaston selkärangaksi, antureita aisteiksi ja toimilaitteita lihaksiksi.

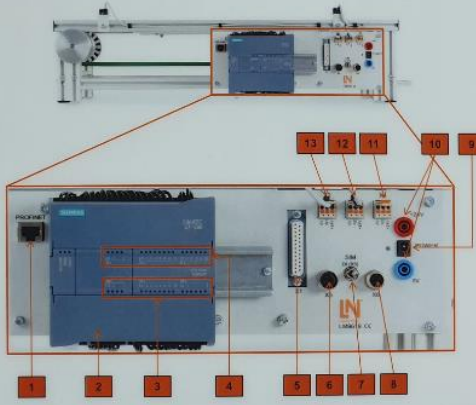
Kaikilla moduuleilla on joitakin yhteisiä teknisiä ominaisuuksia: kuljetinhihnaa pyörittää samanlainen tasavirtamoottori, kelkan paikannukseen käytetään induktiivisia antureita,



pneumaattinen pysäytin paikoittaa kelkan ja kokoonpanoon osallistuvat toimilaitteet käyttävät paineilmaa voimanlähteenä. Kuitenkin kaikilla asemilla on oma toiminnallinen tehtävänsä.

Ensimmäisellä asemalla kelkan RFID-tunnisteeseen kirjoitetaan valmistettavan tuotteen konfiguraatitiedot. Näiden tietojen perusteella linjasto kuljettaa kelkan seuraavalle konfigurointitietojä vastaavalle asemalle. Kun konfiguraatitiedot on kirjattu ja järjestelmä on tarkistanut olevansa toimintakunnossa, master-logiikka käskää asemaa lähettämään kelkan liikkeelle. Kuvasta 5 nähdään IMS1-aseman I/O-listaus (tulo/lähtö-listaus) ja rakenne (muun muassa anturien sijainti).

**QuickChart IMS1.4 – Conveyor Belt System with Programmable Logic Control**



| Item | Description                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Profnet interface for connection to a computer or interconnection with other control systems        |
| 2    | Siemens S7-1214C DC/DC/DC PLC                                                                       |
| 3    | Status LEDs for digital outputs                                                                     |
| 4    | Status LEDs for digital inputs                                                                      |
| 5    | D-SUB 25-pin socket for connection to IMS sub-system                                                |
| 6    | Digital input/output X5 (M12 socket) for connecting additional sensors, actuators or conveyor belts |
| 7    | Simulation switch DI (X5) for simulating an activation signal at socket X5                          |
| 8    | Digital input/output X6 (M12 plug) for connecting additional sensors, actuators or conveyor belts   |
| 9    | Coaxial power connector for power supply to board (24 V)                                            |
| 10   | Sockets for power supply to board (24 V), 4-mm safety sockets                                       |
| 11   | Terminal X4 for connecting a sensor                                                                 |
| 12   | Terminal X3 for digital input from end-position sensor –B2                                          |
| 13   | Terminal X2 for digital input from end-position sensor –B1                                          |

| SUB-D25 (X1), Item 10 in figure |            |
|---------------------------------|------------|
| Pin                             | Assignment |
| 1                               | I (X+0).0  |
| 2                               | I (X+0).1  |
| 3                               | I (X+0).2  |
| 4                               | I (X+0).3  |
| 5                               | I (X+0).4  |
| 6                               | I (X+0).5  |
| 7                               | I (X+0).6  |
| 8                               | I (X+0).7  |
| 9                               | I (X+1).0  |
| 10                              | I (X+1).1  |
| 11                              | I (X+1).2  |
| 12                              | Reserved   |
| 13                              | Reserved   |

| M12 socket (X5), Item 5 in figure |            | M12 plug (X6), Item 8 in figure |            |
|-----------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| Pin                               | Assignment | Pin                             | Assignment |
| 1                                 | +24 V DC   | 1                               | +24 V DC   |
| 2                                 | Q (Y+0).0  | 2                               | I (Y+0).1  |
| 3                                 | 0 V        | 3                               | 0 V        |
| 4                                 | I (Y+0).0  | 4                               | Q (Y+0).1  |

**LN**  
LUCAS-NÜLLE

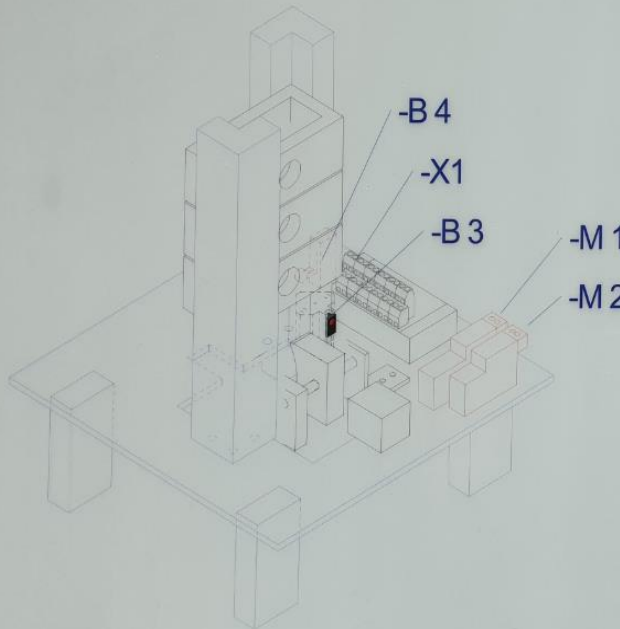
www.lucas-nuelle.com

Kuva 5. IMS1-aseman tekniset tiedot (Lucas-Nülle Labsoft-manuaali 2019).

Seuraavalla asemalla kerkalle asennetaan tuotteen runko. Asema on joko IMS3a tai IMS3b, riippuen siitä, onko rungon väriksi valittu musta vai valkoinen. Asema-a tarjoaa mustan ja asema-b valkoisen rungon. Kelkan saapuessa asemalle induktiivinen anturi havaitsee sen ja pneumaattinen sylinteri työntyy ulos pysäyttäen kelkan oikeaan kohtaan

asema. Toinen pneumaattinen toimilaite pudottaa kelkalle tuotteen rungon. Rungon pudottua paikalleen, järjestelmä saa mekaaniselta anturilta vahvistuksen, että näin on käynyt ja kelkka saa luvan jatkaa kokoonpanon seuraavaan vaiheeseen. Kuvasta 6 nähdään aseman rakenne, I/O-listaus ja muita teknisiä tietoja.

**QuickChart** IMS 3 – Mechatronics Selection subsystem




| Description                      | ID  | Pin | I/O      |
|----------------------------------|-----|-----|----------|
| Magnetic sensor - stopper at top | -B3 | 3   | I(X+0).2 |
| Sensor - magazine occupancy      | -B4 | 4   | I(X+0).3 |
| Lower stopper                    | -M1 | 14  | Q(X+0).0 |
| Sort                             | -M2 | 16  | Q(X+0).2 |
| Connection PLC (SUB-D 25-pin)    | -X1 |     |          |

X: PLC address

**LN**<sup>®</sup>  
LUCAS-NÜLLE

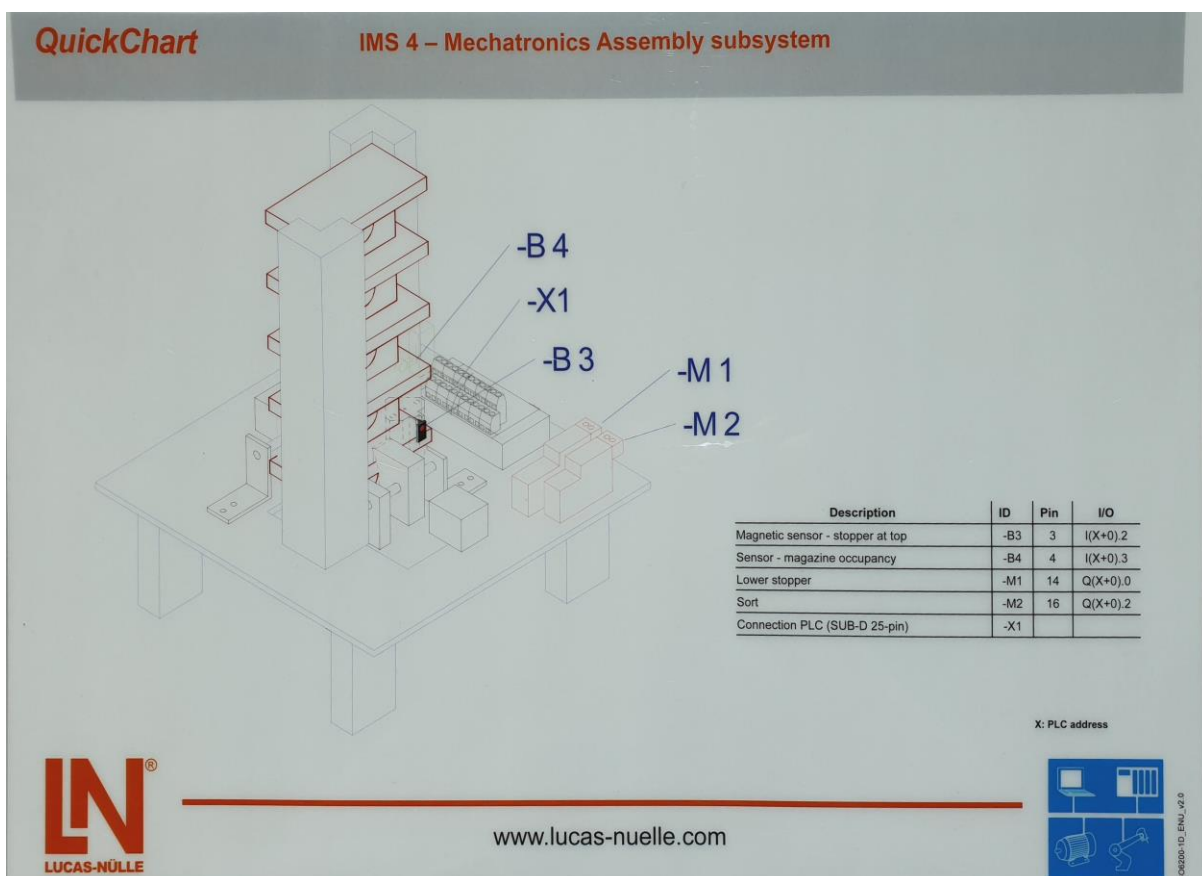
[www.lucas-nuelle.com](http://www.lucas-nuelle.com)



SC0005-1C\_E1HU\_v2.0

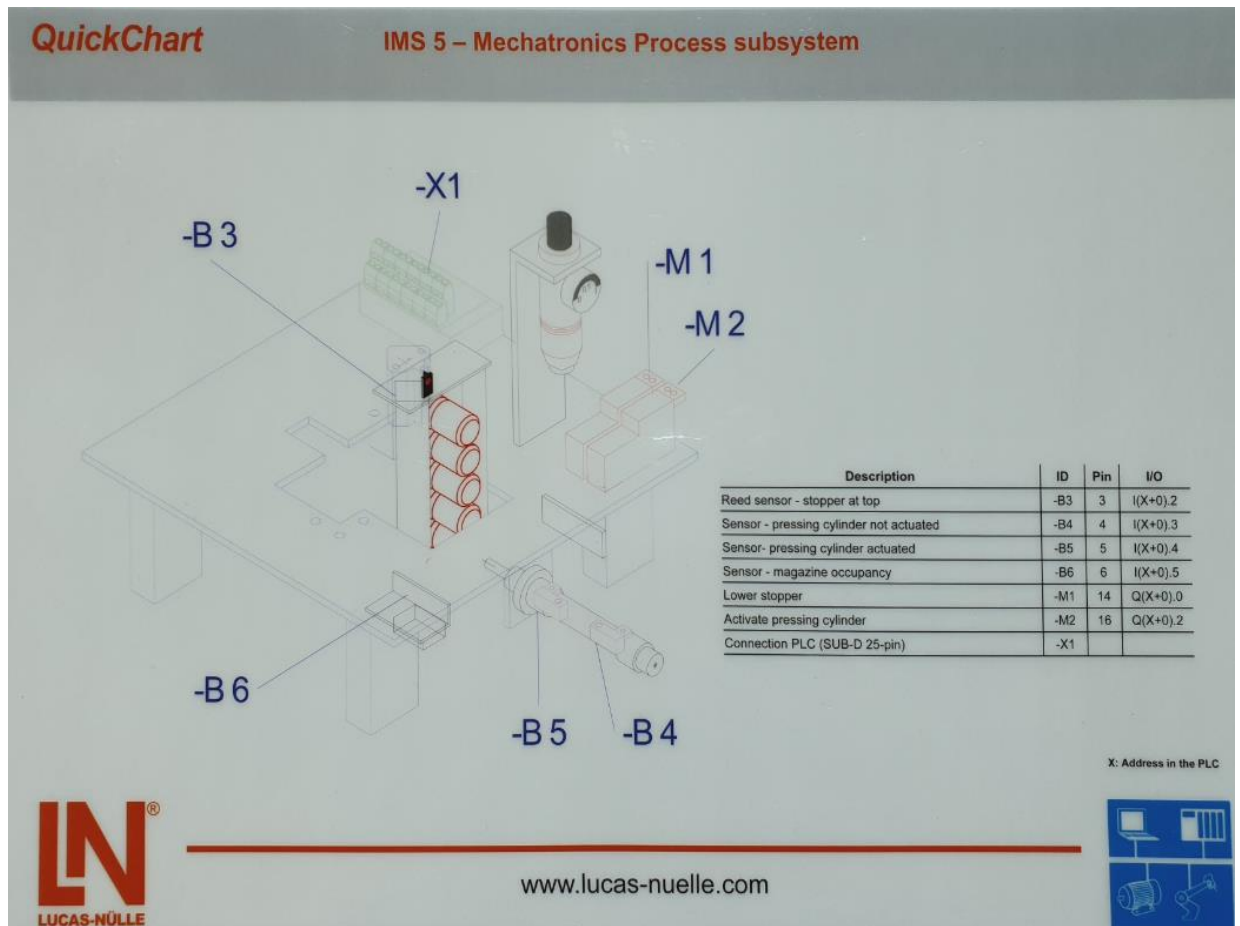
Kuva 6. IMS3-aseman rakenne ja I/O-listaus (Lucas-Nülle Labsoft -manuaali 2019).

Kolmannella asemalla tuotteeseen asennetaan kansi. Asema on joko IMS4a tai IMS4b riippuen jälleen halutusta väristä. Kelkan havaitseminen, paikoitus ja liikkeelle lähtö tapahtuvat samoin tavoin ja samanlaisilla toimilaitteilla kuin edelliselläkin asemalla. Sama pätee myös seuraavan aseman toimintaan. Kuvasta 7 nähdään IMS4-aseman rakenne ja I/O-listaus.



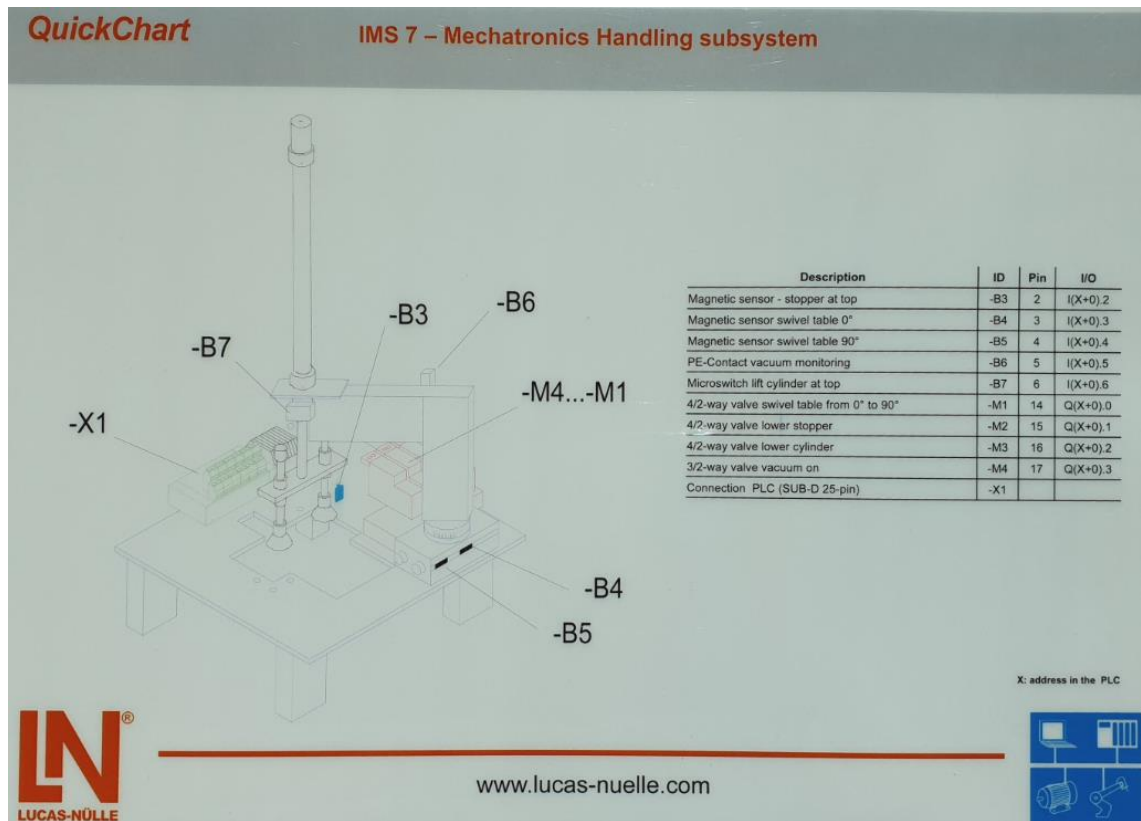
Kuva 7. IMS4-aseman rakenne ja I/O-listaus (Lucas-Nülle Labsoft -manuaali 2019).

Neljännelle asemalle kelkka pysäytetään, mikäli asiakas tai käyttäjä on valinnut tuotteeseen rungon ja kannen läpimenevän tapin. Aseman tunnus on joko IMS5a tai IMS5b jälleen osan väristä riippuvaisesti. A-asemalta saadaan punainen tappi ja b-asemalta metallin värinen. Kuvasta 8 nähdään IMS5-aseman I/O-listaus ja rakenne.



Kuva 8. IMS5-aseman rakenne ja I/O-listaus (Lucas-Nülle Labsoft -manuaali 2019).

Viidennellä ja samalla viimeisellä asemalla (IMS7) valmis kappale nostetaan ulos linjastolta. Induktiivinen anturi havaitsee kelkan saapuneen asemalle, pneumaattinen pysäytin paikoittaa kelkan ja pneumaattinen tarttuja nostaa valmiin tuotteen ulos linjastolta. Kuvasta 9 nähdään IMS5-aseman I/O-listaus ja rakenne.

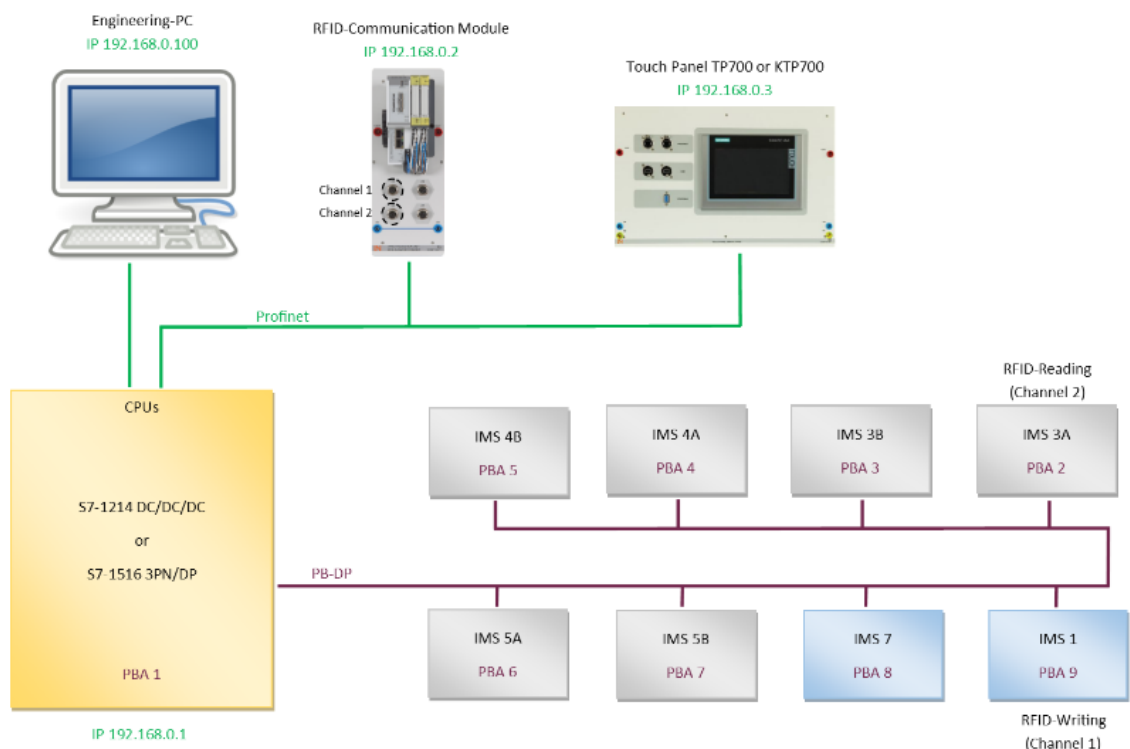


Kuva 9. IMS7-aseman rakenne ja I/O-listaus (Lucas-Nülle Labsoft-manuaali 2019).

Järjestelmään kuuluu myös kolme vaihtoehtoisesti käytettävää moduulia. Purkuasemalla valmistettu tuote voidaan purkaa takaisin osiin. Varastomodulilla valmiiden kappaleiden automaattista varastointia voidaan testata pienessä mittakaavassa. Testausasemalla taas voidaan tutustua eri anturien ja toimilaitteiden toimintaan sekä testata PLC-ohjelman toimivuutta. Tässä työssä ei kuitenkaan otettu käyttöön näitä moduuleita.

### 3.2.3 Topologia

Kaikki järjestelmän tieto siis kulkee master-logiikan kautta ja näin ollen verkon liikennetopologiaa eli liikennesrakennetta voidaan kutsua tähtitopologiaksi. Verkon fyysistä rakennetta eli verkkotopologiaa voidaan taas kuvata puuverkoksi. Sillä tarkoitetaan rakennetta, joka koostuu kahdesta tai useammasta haarasta, jotka kaikki on yhdistetty samaan päätevahvistimeen (kuva 10) (Pyyskänen 2007: 22–24). Päätevahvistimena tässä järjestelmässä toimii master-logiikka. Jokaisessa haarassa voi olla useita toimilaitteita tai aliohjausyksiköitä. Tässä järjestelmässä jokaisessa haarassa on yksi alilogiikka toimilaitteineen. Haaroja on kahdeksan alilogiikan lisäksi RFID-lukija/kirjoitin ja HMI-paneeli.



Kuva 10. Kaavio Smart Factory –laitteiston topologiasta (Lucas-Nülle Labsoft-manuaali 2019).

### 3.2.4 Profinet-standardi

Teollisuusautomaation tiedonsiirtoa ethernetin välityksellä ovat määrittäneet tarkat vaatimukset jo ennen teollisuus 4.0 -konseptin syntyä ja sen myötä tulleita lisävaatimuksia. Vaikka teollinen ethernet perustuu toimisto-ethernetin kanssa samoihin standardeihin, on sillä kuitenkin omat vaatimuksensa. Teollisuusautomaatiossa tiedonsiirron pitää olla

mahdollisimman determinististä eli ennustettavaa sekä reaaliaikaista. Toimistokäytössä vaadittavat vasteajat ovat sekunteja, kun taas automaatioissa ne ovat millisekunteja. Tavallisen ethernetin suurin heikkous on siis se, ettei sen avulla voida taata tiedon siirtyvän oikeaan osoitteeseen vaadittavassa ajassa. Profinet-standardissa tämä heikkous on paikattu. (Siemens 2019.)

Siemensin kehittämässä Profinet teollisuus-ethernet-standardissa aikakriittisten toimintojen suorittaminen on mahdollistettu reaaliaikaisilla protokollan lisäyksillä. Profinet mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonsiirron samassa väylässä ei-aikakriittisen TCP/IP-liikenteen kanssa. (Siemens 2019.)

Profinet on alaspäin yhteensopiva väylä, johon on mahdollista liittää käytössä olevia kenttäväyliä kuten Profibus tai AS-I. Tästä on suurta hyötyä tuotantolaitoksen tiedonsiirtoa suunnitellessa, sillä tiedonsiirto voi näin koostua useasta erilaisesta, mutta toistensa kanssa yhteensopivasta järjestelmästä. Profinet on standardisoitu IEC 61158- ja IEC 61784 -standardeissa. (Siemens 2019.)

### 3.2.5 ERP-lab -toiminnanohjausjärjestelmä

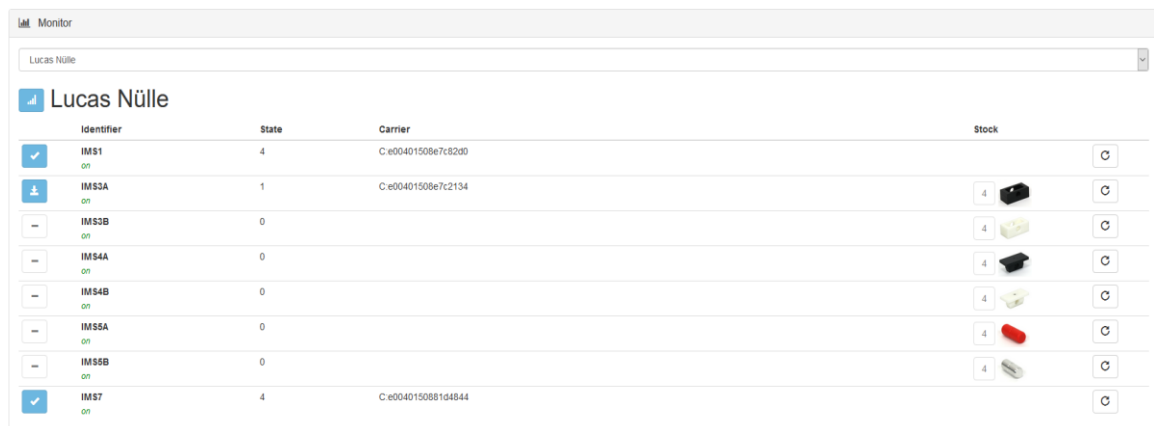
ERP-järjestelmillä (*Enterprise Resource Planning*, yrityksen resurssien suunnittelu), eli toiminnanohjausjärjestelmillä tarkoitetaan laajoja, usein eri moduuleista koostuvia tietojärjestelmiä. Järjestelmässä on yksi yhteinen tietokanta kaikelle yritystä koskevalle tiedolle. Eri yrityksen toiminnot kuten tilaustenhallinta, varaston- ja materiaalinhallinta sekä kirjanpito ja reskontra käyttävät tätä yhteistä tietokantaa hyödykseen. ERP-järjestelmät ovat siis kokonaisvaltaisia järjestelmiä, jotka pitävät sisällään useita tai jopa kaikki yrityksen keskeiset toiminnot. (Logistiikan maailma 2019.)

Toiminnanohjausjärjestelmillä pyritään parantamaan yrityksen toimintaa kokonaisvaltaisesti. Tehokkuutta pyritään parantamaan muun muassa päällekkäisen työn karsimisella ja esimerkiksi varaston käyttöasteen optimoinnilla. Tarkalla materiaalin ohjauksella ja resurssien käytön optimoinnilla pyritään vaikuttamaan taloudellisiin tekijöihin. Tietoon perustuvalla toimitusaikojen arvioinnilla ja hyvällä toimitusvarmuudella taas parannetaan asiakaskokemusta. Yrityksen eri toimintojen yhteisesti käytössä olevalla tietokannalla







vahvistetaan toiminnoista vastaavien osastojen välistä läpinäkyvyyttä. (Logistiikan maailma 2019.)

Vaikka markkinoilla on valittavissa useita eri ERP-järjestelmiä, yrityksen ei kuitenkaan järjestelmänsä valinnassa kannata tehdä niiden välillä vertailua yleisellä tasolla. Vertailun tueksi jokaisen yrityksen on ensin mietittävä, mitkä ovat sen vaatimukset järjestelmälle ja mitkä ovat yrityksen toiminnan kannalta järjestelmän kriittisimmät ominaisuudet. (Logistiikan maailma 2019.)

Smart Factory -laitteistossa toiminnanohjausjärjestelmänä toimii ERP-lab -ohjelmisto. ERP vastaa tilausten vastaanottamisesta verkkokaupasta, niiden välittämisestä kokoonpanolinjastolle ja tilaushistorian dokumentoinnista. Myös varastosaldojen sekä linjaston toiminnan ja tilan monitorointi tapahtuvat ERP-järjestelmässä (kuva 11). Käytännössä tämä tapahtuu niin, että asiakas tekee verkkokaupassa tilauksen, ERP muuttaa tilauksen tuotteen konfiguraatitiedoksi, konfiguraatitieto välitetään kokoonpanolinjaston PLC:lle IP-osoitteiden välityksellä ja tämän tiedon perusteella linjasto kokoonpanee tuotteen.



The screenshot shows a web interface titled 'Monitor' with a search bar containing 'Lucas Nülle'. Below the search bar, there is a table with columns for 'Identifier', 'State', 'Carrier', and 'Stock'. Each row represents a different device or component, with a small icon representing the stock item. The 'State' column shows 'on' for all items. The 'Carrier' column contains alphanumeric codes. The 'Stock' column shows the quantity of each item, with some rows also displaying a small icon of the item.

| Identifier  | State | Carrier            | Stock                                                                                   |
|-------------|-------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| IMS1<br>on  | 4     | C:e00401508e7c82d0 |                                                                                         |
| IMS3A<br>on | 1     | C:e00401508e7c2134 | 4  |
| IMS3B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS4A<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS4B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS5A<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS5B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS7<br>on  | 4     | C:e0040150881d4844 |                                                                                         |

Kuva 11. Näkymä laitteiston tilan ja varastosaldojen monitoroinnista ERP-järjestelmässä.



### 3.3 Käyttöönotto

Tässä työssä keskityttiin toimitusvalmiin laitteen käyttöönottoon, eikä esimerkiksi oteta kantaa siihen, kuinka esiasennetut toimilaitteet on kytketty alilogiikoille. Laitteiston käyttöönotto koostui kahdesta vaiheesta: fyysisen laitteiston asennuksesta (*hardware*) ja sen ohjaamiseen käytetyn ohjelmiston asennuksesta (*software*).

#### 3.3.1 Hardware

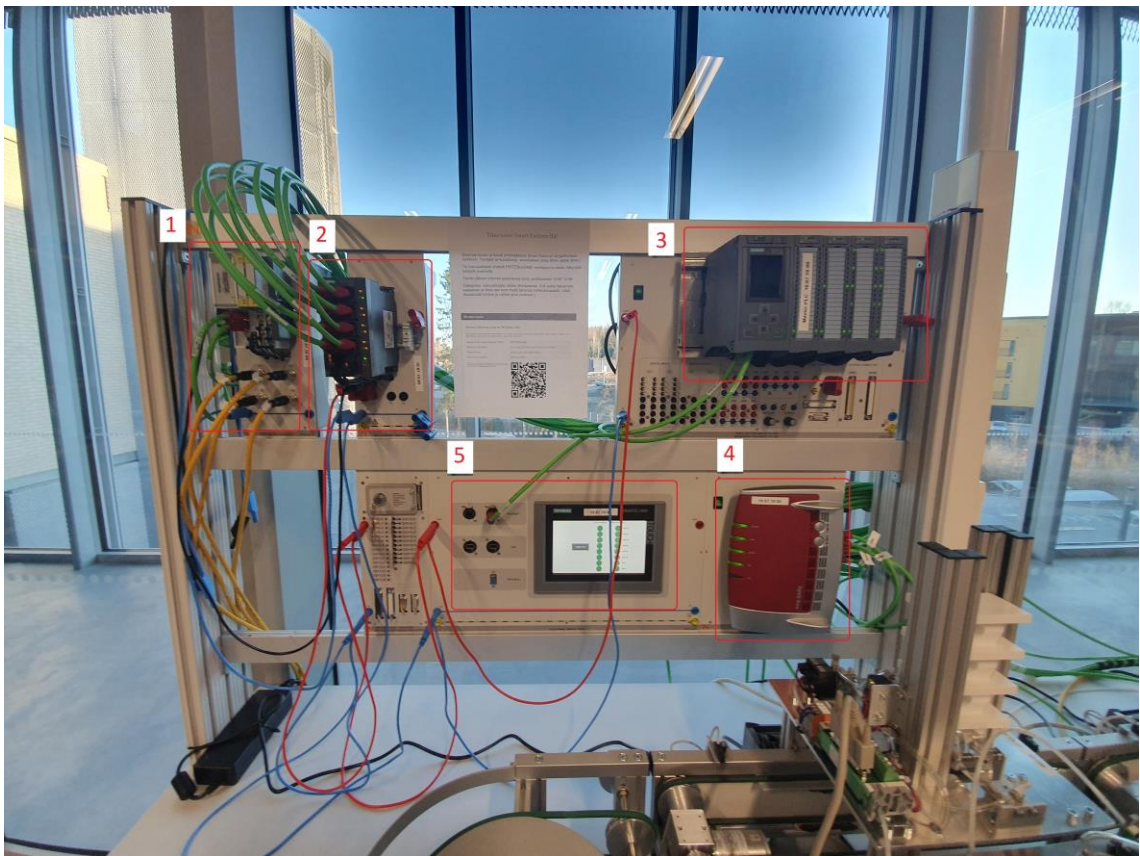
Laitteiston kuljetinmoduulit asennettiin niille tarkoitetulle fyysiselle alustalle. Alustana toimi valmistajan toimittama pöytäkokonaisuus (kuva 12). Moduulit seisoivat pöydällä tukevasti omilla jaloillaan, eikä niitä ollut tarvetta kiinnittää pöytään erikseen. Ne asennettiin kiinni toisiinsa yksinkertaisella tappi-reikä-liitoksella. Tappi estää moduulien liikkeen toisiinsa nähden vain sivuttaissuunnassa, mutta koska systeemissä ei esiinny häiritsevän voimakasta tärinää, eikä äkkinäisiä liikkeitä, riittää moduulien jalkojen ja pöydän välinen kitka pitämään ne paikallaan laitteiston ollessa käynnissä.



Kuva 12. Käyttövalmis Smart Factory -laitteisto.

Ohjauskomponentit saatiin siististi asennettua niille tarkoitettuun paneeliin (kuva 13). Kuvassa nähdään:

- kohdassa 1 RFID-kirjoitin/lukija Turck box
- kohdassa 2 kytkin Siemens Scalance x208
- kohdassa 3 master-logiikka Siemens S7-1500
- kohdassa 4 reititin FritzBox ja
- kohdassa 5 HMI-paneeli.



Kuva 13. Smart Factoryn ohjauskomponenttipaneeli.

Kaikki laitteiston moduulit olivat esiasennettuja, eli toimilaitteita ja antureita ei tarvinnut erikseen asentaa tai kytkeä paikoilleen. Anturit ja toimilaitteet oli asennettu omalle alustalleen ja alusta vain nostettiin moduulin kuljetinosan päälle. Kaikille kuljetinmoduuleille tuli kuitenkin järjestää oma virta- ja paineilmasyöttö ja kytkeä tiedonsiirtoyhteydet edellisen kappaleen kuvaamalla tavalla. Virransyöttö järjestyi helposti laitteen mukana tulleilla

tasavirtalähteillä, jotka kytkettiin suoraan kuljetinmoduulin liitäntäpaneeliin. Paineilmasyöttö moduuleille vedettiin suoraan laboratorion runkolinjasta. Runkolinjan 10 mm:n lähtö tyhistettiin matkalla 2 mm:n vaiheissa Smart Factoryn käyttämään 4 mm:n lähtöön. Laitteisto kuitenkin erotettiin runkolinjasta yksinkertaisella 3/2-on/off-venttiilillä, jotta paineilmasyöttö voidaan erikseen katkaista vain Smart Factoryltä. Käyttöpaineeksi määritettiin kokemusperäisesti seitsemän baria. Tätä pienemmällä paineella pneumaattinen tarttuja ei jaksa nostaa valmista tuotetta ulos linjastolta.

### 3.3.2 Software

Laitteiston käyttöä ja ohjaamista varten tarvittiin muutamia erilaisia ohjelmistoja. Ohjaus tapahtui yhdeltä PC:ltä, johon ohjelmistot on asennettu. Edellä mainitun ERP-lab -ohjelmiston käyttöä varten tarvittiin Virtual Player 13 -virtuaalikoneohjelmisto. Virtuaalikone luo ikään kuin virtuaalisen tietokoneen ohjaus-PC:n sisään. Tässä virtuaalisessa tietokoneessa on Windows-käyttöjärjestelmästä poikkeavat asetukset ja protokollat, joita ERP-lab -ohjelmisto tarvitsee toimiakseen.

ERP siis asennettiin toimimaan virtuaalikoneessa, jossa sen asetuksia päästiin konfiguroimaan. ERP kommunikoi ohjelmoitavien logiikkojen kanssa TCP/IP-tiedonsiirtoprotokollalla, joten sen IP-osoite tuli konfiguroida samalle osoitealueelle logiikkojen kanssa. Tieto ERP:stä logiikoille liikkuu siis IP-osoitteiden perusteella.

Logiikkojen konfigurointi tapahtui Siemensin TIA (*Totally Integrated Automation*) Portal V14 -ohjelmistolla. TIA Portal on ohjelmointityökalu, joka yhdistää logiikkaohjelmoinnin ja käyttöliittymäsuunnittelun. Logiikkaohjelmointi tapahtuu Simatic Step 7 Professional -ohjelmistolla ja käyttöliittymäsuunnittelu Simatic Win CC -ohjelmistolla. Nämä kolme ohjelmistoa yhdessä muodostavat logiikkojen ohjelmoinnin ja konfiguroinnin mahdollistavan kokonaisuuden.

TIA Portalissa jokaiselle järjestelmän ohjaus- ja tiedonsiirtoelementille ladattiin sen toimintaa ohjaava PLC-ohjelma. Jokaisella kuljetinmoduulilla on siis sille erikseen suunniteltu ohjelma, joka koostuu yhdestä pääohjelmasta ja useasta aliohjelmasta. Pääohjelma vastaa aliohjelmien suorittamisesta, ja aliohjelmat taas vastaavat jostain tietyistä moduulin toiminnosta kuten tiedonsiirrosta ERP:n kanssa tai toimilaitteiden ohjauksesta.

ERP:n ja logiikkojen välisestä kommunikaatiosta vastaa jokaisella logiikalla oma aliohjelmansa. Se koostuu datan lähettämiseen ja vastaanottamiseen tarkoitettuun toimilohkosta. Konfiguroimalla toimilohkoon ERP:n IP-osoitteen, pystyy ERP välittämään tiedon valmistettavan kappaleen konfiguraatiosta logiikoille.

Lopulta käyttövalmiille laitteistolle päästään tekemään tilauksia internet-selaimen välityksellä. Kirjoittamalla selaimen osoitekenttään ERP:n IP-osoitteen, pääsee siirtymään verkkokauppaan, josta tilauksia tehdään niin kuin mistä tahansa oikean yrityksen verkkokaupasta.

Selaimen välityksellä käytetään myös ERP:n monitorointi- ja virheenkuittausominaisuuksia. ERP:ssä määriteltynä salasanan ja käyttäjätunnuksen avulla kirjaututaan sivustolle, josta laitteiston tilaa, tilausten käsittelyä ja historiaa sekä varastosaldon voidaan monitoroida.

Ollessaan käynnissä ERP muodostaa ohjaus-PC:stä serverin, johon voidaan olla yhteydessä ERP:n IP-osoitteen avulla miltä tahansa PC:ltä, joka saa IP-osoitteensa samalta IP-osoitealueelta. Tämä tarkoittaa, että Smart Factoryltä voi tehdä tilauksia kaikilta saman IP-osoitealueen tietokoneilta.

### 3.4 Huomioitavaa

Yksityiskohtaiset, askel askeleelta etenevät ohjeet laitteiston käyttökuntoon saattamiseksi löytyvät tämän työn liitteestä 1. Hardwaren ja softwarin käyttöönotto ovat omissa kappaleissaan. Näitä ohjeita seuraamalla käyttöönotto pitäisi olla mahdollista suorittaa ilman tekniikan alan tutkintoa, mutta teknisten laitteiden tuntemuksesta on kuitenkin apua.

Tuotteen tilaamista varten esitellään askel askeleelta etenevät ohjeet liitteessä 2. Tuotteen tilaaminen ei vaadi minkäänlaista tekniikan alan tuntemusta. Tilauksen suunnittelu on suunniteltu niin, että sen voi suorittaa samaan tapaan kuin oikean yrityksen verkkokaupassa.

## 4 Yhteenveto

### 4.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Insinööriyön yhtenä tavoitteena oli kirjallisuusselvityksen kautta tutustua teollisuus 4.0-konseptiin. Työstä saa hyvän käsityksen konseptin syntymiseen johtaneista tekijöistä ja tekijöiden taustaa sekä vaikutusta konseptiin avataan kattavasti. Konseptille ominaisiin teknisiin ratkaisuihin ja innovaatioihin syvennytään hyvin laajasti, mutta ei kuitenkaan kovin yksityiskohtaisesti. Tämän tavoitteen täyttäminen on onnistunut erinomaisesti. Kyseisten ratkaisujen ja innovaatioiden mahdollisuuksista ja ominaisuuksista onkin hyvä olla tietoinen, vaikka ei teollisuuden parissa millään tasolla toimisikaan, sillä samat teknologiat tulevat muuttamaan maailmaa monitasoisesti kaikilla muillakin elämän osa-alueilla.

Toisena tavoitteena työssä oli suorittaa Smart Factory -laitteiston käyttöönotto. Laitteisto onnistuttiin käyttöönottamaan juuri niin kuin oli tarkoituskin, joten tämänkin tavoitteen voi arvioida täyttyneen mallikkaasti. Käyttöönoton suorittaminen oli loistava tapa tutustua moderneja automaatiotekniikan ratkaisuja hyödyntävään kokonaisuuteen. Laitteisto on täydellinen esimerkki niin kyberfyyysisestä järjestelmästä kuin älytehdaskonseptistakin. Sen ratkaisuja ja ominaisuuksia suuremmaksi skaalaamalla on mahdollista suunnitella aivan oikean tehtaan kokoonpanolinjasto.

Työn kolmantena tavoitteena oli laatia käyttöönottodokumentaatio sekä käyttöohje Smart Factorylle. Dokumentaation perusteella teknistä alaa hieman tuntevan henkilön on mahdollista saattaa laitteisto toimintakuntoon. Käyttöohjeen perusteella kuka tahansa kykenee tilaamaan tuotteen linjastolta. Tämäkin tavoite on täyttynyt hienosti.

Työ on kokonaisuudessaan hyvin kattava katsaus tämän päivän teollisuuden haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Erityisesti automaatioteknisten ratkaisujen tuottamista mahdollisuuksista syntyy tarkka kuva. Kirjoittajan on ollut upeaa huomata, kuinka työn edetessä on aina vain tarkemmin ja tarkemmin pystynyt liittämään opintojaan teollisuuteen ja työelämään yleensäkin.

## 4.2 Jatkokehitysvisio

Smart Factory -laitteistoa on mahdollista kehittää kohti oikean älytehtaan toimintaa ottamalla käyttöön laitteiston lisämoduulit. Tästä työstä muuten ulkopuolelle jääneet lisämoduulit tarjoavat mahdollisuuden tuotteiden automaattiseen varastointiin ja purkuun takaisin osiin. Varastomodulissa on kuusi hyllytasoa, joista jokaisella on kuusi varastopaikkaa. Moduuli kykenee itsenäisesti viemään tuotteen varastopaikalle, mutta laitteistossa kokonaisuudessaan ei ole missään ominaisuutta, jolla valmis kappale voitaisiin siirtää linjastolta varastomodulin käsiteltäväksi. Purkuasema taas toimii vieläkin manuaalisemmin. Se kykenee vain pitämään tuotteen paikallaan pneumaattisen sylinterin avulla ja toisella sylinterillä työntämään pultin pois tuotteen rungon ja kannen välistä. Tarvittaisiin siis työntekijä, joka syöttäisi tuotteita varastomodulille ja käyttäisi purkuasemaa. Tämä taas sotii älytehdas-konseptin periaatteita vastaan. Ongelma on ratkaistavissa integroimalla järjestelmään robotti.

Ruotsalais-sveitsiläisen ABB Oy:n valmistama YuMi-robotti sopisi tähän tehtävään täydellisesti. Se on kaksikäsinen yhteistyörobotti, jolla on seitsemän akselia yhdessä käsivarressa. Molemmissa käsissä on työkaluina tarttujat, joissa on myös konenäkökamerat. Yhteistyörobotilla tarkoitetaan mekaanista ja ohjelmoitavaa laitetta, joka ei tarvitse ympärilleen mekaanisia turvalaitteita ja pystyy siis toimimaan yhteistyössä ihmisen kanssa samalla työasemalla. Turvaominaisuudet on toteutettu niin, että jokaisella akselilla on hyvin tarkka vastamomentin tunnistus, ja jos vastamomenttia havaitaan hiemankin, laite pysäyttää kaikki akselinsa välittömästi. Käsivarret on myös hyvin pehmustettu sen varalta, että robotti osuisikin ihmiseen.

Integroimalla YuMi osaksi järjestelmää, otetaan iso askel kohti oikean älytehtaan toimintaa. Käytännössä tämä toteutettaisiin niin, että YuMi ohjelmoitaisiin konenäön avulla tarkastamaan tuotteen laatu ja tämän perusteella se lajittelisi valmistetun tuotteen joko purkuasemalla tai varastoon, riippuen siitä onko kappale hyväksytty vai hylätty. YuMi myös konenäön avulla poimisi valmiin kappaleen linjastolta. Laadun tarkastukseen ja kappaleen poimintaan onkin hyvä olla käytössä kaksi kameraa. Molemmille kameroille ohjelmoidaan kuvauspositio. Näihin positioihin kamerat kalibroidaan, jotta ne ymmärtävät asemansa suhteessa fyysiseen maailmaan.

Oletetaan tässä tilanteessa, että pultillinen tuote on hyväksytty ja pultiton hylätty. Näin ollen laaduntarkastus onnistuu esimerkiksi tutkimalla konenäkötyökaluilla pultin paikkaa tuotteessa. Kameralle annetaan referenssiarvo esimerkiksi pultillisen tuotteen kirkkausarvosta siitä kohtaa tuotetta, jossa pultin pitäisi olla. Jos kuvattu arvo vastaa referenssiarvoa, pultti on paikallaan ja tuote on hyväksytty.

Tuotteen poimimiseksi toinen kamera kuvaa tasoa, johon Smart Factory nostaa valmiin tuotteen. Sen konenäkötyökalut ohjelmoidaan tunnistamaan kuvasta nelikulmio ja määrittämään sen keskikohta poimimista varten.

Kun tuotteen poiminta ja laaduntarkastus on järjestetty, ohjelmoidaan YuMi käsittelemään hyväksytty tai hylätty kappale. Luonnollisesti hyväksytty kappale lajitellaan varastoon eteenpäin lähettämistä varten ja hylätty tuote toimitaan purkuasemalle purettavaksi. Varastomodulille riittää, että YuMi toimittaa tuotteen sen lastausasemalle. Lastausasemalla moduuli tunnistaa kappaleen saapuneen sille ja toimittaa sen tyhjälle varastopaikalle. Toki varastomodulin toimintaa ohjaa myös PLC, joka on ohjelmoitava näitä toimintoja varten.

Purkuasemalla taas ei ole omaa PLC:tä, joka ohjaisi sen toimilaitteita. Sen toimilaitteet täytyykin liittää YuMin I/O:hon. Näin pelkästään YuMia ohjelmoimalla saadaan purkuasema käyttöön.

Smart Factoryn ja YuMin välille pitää vielä muodostaa yhteys, jotta laitteet osaavat toimia oikea-aikaisesti toisiinsa nähden. Yhteys olisi helpoiten muodostettavissa profinet-kenttäväylän yli, sillä YuMilla on käytössä teollisuus-ethernet-standardin vaatimat ethernet-portit ja Smart Factoryssa logiikkojen tiedonsiirto tapahtuu yksin profinet-väylää pitkin. YuMissa ei kuitenkaan ole vakiovarusteena profinet-väylän käytön mahdollistavaa tiedonsiirtoprotokollaa, joten ilman sen lisäämistä tämä ei ole mahdollista.

Toinen, hieman ”kankeampi” tapa on muodostaa yhteys YuMin I/O:n ja linjaston viimeisen logiikan välille yksinkertaisesti kytkentälankaa käyttäen. Tämä toimii siten, että linjaston viimeisen logiikan (IMS7) I/O:sta lähetetään digitaalinen signaali YuMin I/O:hon. Tämä signaali laittaa YuMin ohjelmasta muuttujan päälle, joka kertoo olevan sen vuoro työskennellä. Sama toteutetaan molempiin suuntiin.

## Lähteet

Aunimo, Lili. 2017. Big data –analytiikka – uusi tapa analysoida dataa vai synonyymi tilastolliselle analyysille?. Verkkoaineisto. <https://esignals.haaga-helia.fi/2017/11/29/big-data-analytiikka-uusi-tapa-analysoida-dataa-vai-synonyymi-tilastolliselle-analyysille/>. Luettu: 3.5.2019.

Bartodziej, Christoph Jan. 2017. The Concept Industry 4.0. Berlin, BestMasters.

Collin, Jari. 2016. Teollinen internet. Liettua, BALTO print.

Empower. 2019. Tarinamme. Verkkoaineisto. <https://www.empower.fi/fi/empower/tarinamme.html>. Luettu: 29.4.2019.

Ikonen, Vesa. 2019. Moderni älytehdas mahdollistaa kestäväen kehityksen ja kiertotalouden. Verkkoaineisto. <https://www.empower.fi/aineistot/blogit/moderni-alytehdas-mahdollistaa-kestavan-kehityksen-ja-kiertotalouden.html>. Luettu: 29.4.2019.

Koskinen, Jari. 2004. Mikrotietokonetekniikka, sulautetut järjestelmät. Keuruu: Otava.

Logistiikan maailma. 2019. Toiminnanohjausjärjestelmä. Verkkoaineisto. <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/toiminnanohjausjarjestelma/>. Luettu: 3.5.2019.

Lucas-Nülle. 2019. About us. Verkkoaineisto. <https://www.lucas-nuelle.us/3453/Company/About-us.htm>. Luettu 29.4.2019.

Lucas-Nülle Labsoft - manuaali. 2019.

Pentikäinen, Juho. 2008. Pilvilaskenta - uusi nimi vanhalle ilmiölle? Verkkoaineisto. <https://www.tivi.fi/uutiset/pilvilaskenta-uusi-nimi-vanhalle-ilmiolle/a6a8dddf-9ef0-3cfeb7c2-63be59aeb8b7>. Luettu: 3.5.2019.

Pyyskänen, Seppo. 2007. Teollisuuden laiteverkot. Helsinki: Picaset Oy.

Raunio, Helena. 2014. Teollisuus 4.0 - Suomen oltava kilpailukykyinen vaihtoehto, kun teollisuuden paluumuutto Aasiasta Eurooppaan alkaa. Verkkoaineisto. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/2014-09-27/Teollisuus-4.0---Suomen-oltava-kilpailukykyinen-vaihtoehto-kun-teollisuuden-paluumuutto-Aasiasta-Eurooppaan-alkaa-3255926.html>. Luettu: 18.4.2019.

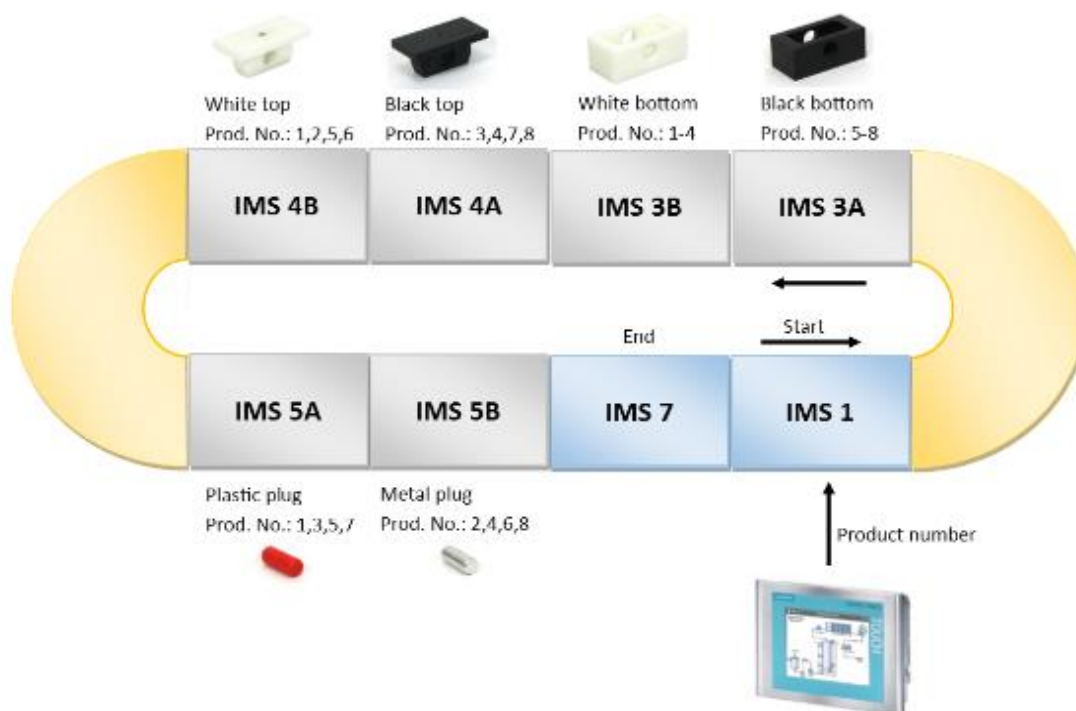
Siemens. 2019. Profinet. Verkkoaineisto. [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedon\\_siirto\\_esim\\_profinet/profinet.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedon_siirto_esim_profinet/profinet.htm). Luettu: 3.5.2019.



## Smart Factory -laitteiston käyttöönotto

### Hardware

Laitteiston moduulit asennetaan kuvan 1 mukaiseen järjestykseen.



Kuva 1. Smart Factoryn kuljetinmoduulien asennusjärjestys.

Linjaston seitsemän ensimmäistä alilogiikkaa (IMS1-IMS5b) yhdistetään ensin tähteen Siemens Scalance x208 ethernet-kytkimelle. Kytkin yhdistetään reitittimelle, johon myös yhdistetään linjaston viimeinen alilogiikka. Lopuksi reititin kytketään master-logiikan toiseen X1-porteista. Reitittimen neljästä portista ensimmäinen (1.) on varattu internet-yhteydelle. Muiden porttien kytkennällä ei ole merkitystä.

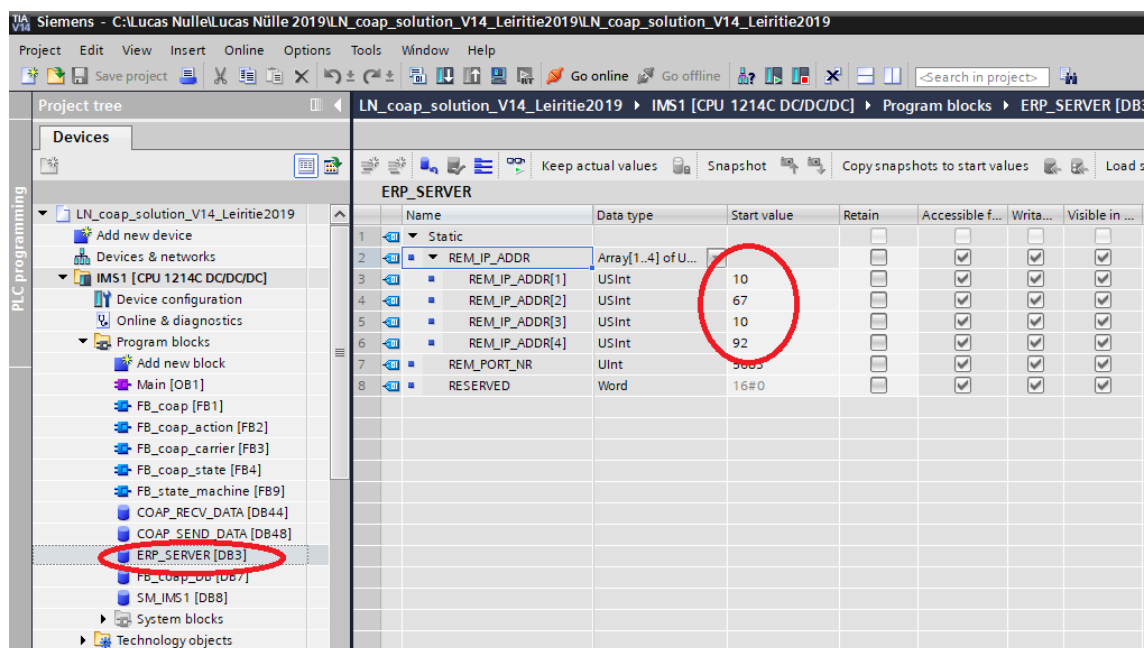
Linjaston kaikki neljä RFID-kirjoitinta yhdistetään Turck Boxiin m-liittimillä. Linjaston ensimmäinen kirjoitin kytketään Turck boxin ykkösporttiin, toinen toiseen jne. HMI-paneeli yhdistetään Turck Boxiin ethernet-kaapelilla ja samalla liitännällä Turck Box kytketään master-logiikan vapaaseen X1-porttiin.

Jokainen kuljetinmoduuli, lukuun ottamatta IMS1-moduulia, tarvitsee paineilmasyötön. Moduuleissa on käytössä 4 mm:n halkaisijan pikaliittimet. Minimi käyttöpaino on 7 bar pneumaattisen tarttujan voimantarpeen takia. Paineilmasyöttö voidaan vetää yhdestä lähdestä jakamalla se jokaiselle moduulille.

## Software

TIA Portalissa avataan:

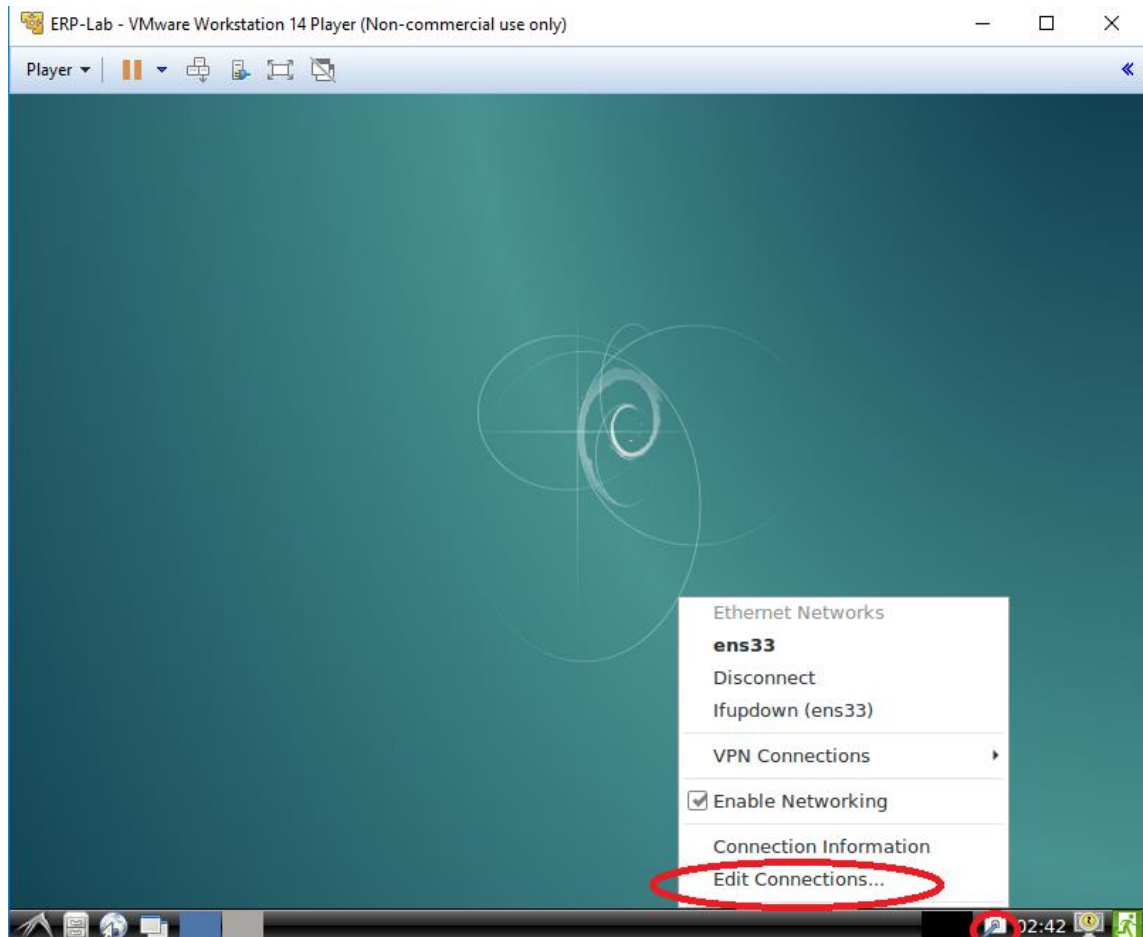
C:\Lucas Nulle\Lucas Nulle 2019\LN\_coap\_solution\_V14\_Leiritie2019. Projektin nimi siis: LN\_coap\_solution\_V14\_Leiritie2019. Jokaisen moduulin ohjelmaan tehdään muutoksia ERP:n kanssa kommunikoivaan datan lähetys ja vastaanotto toimilohkoon. Lohkoon konfiguroidaan ERP:n IP-osoite (kuva 2).



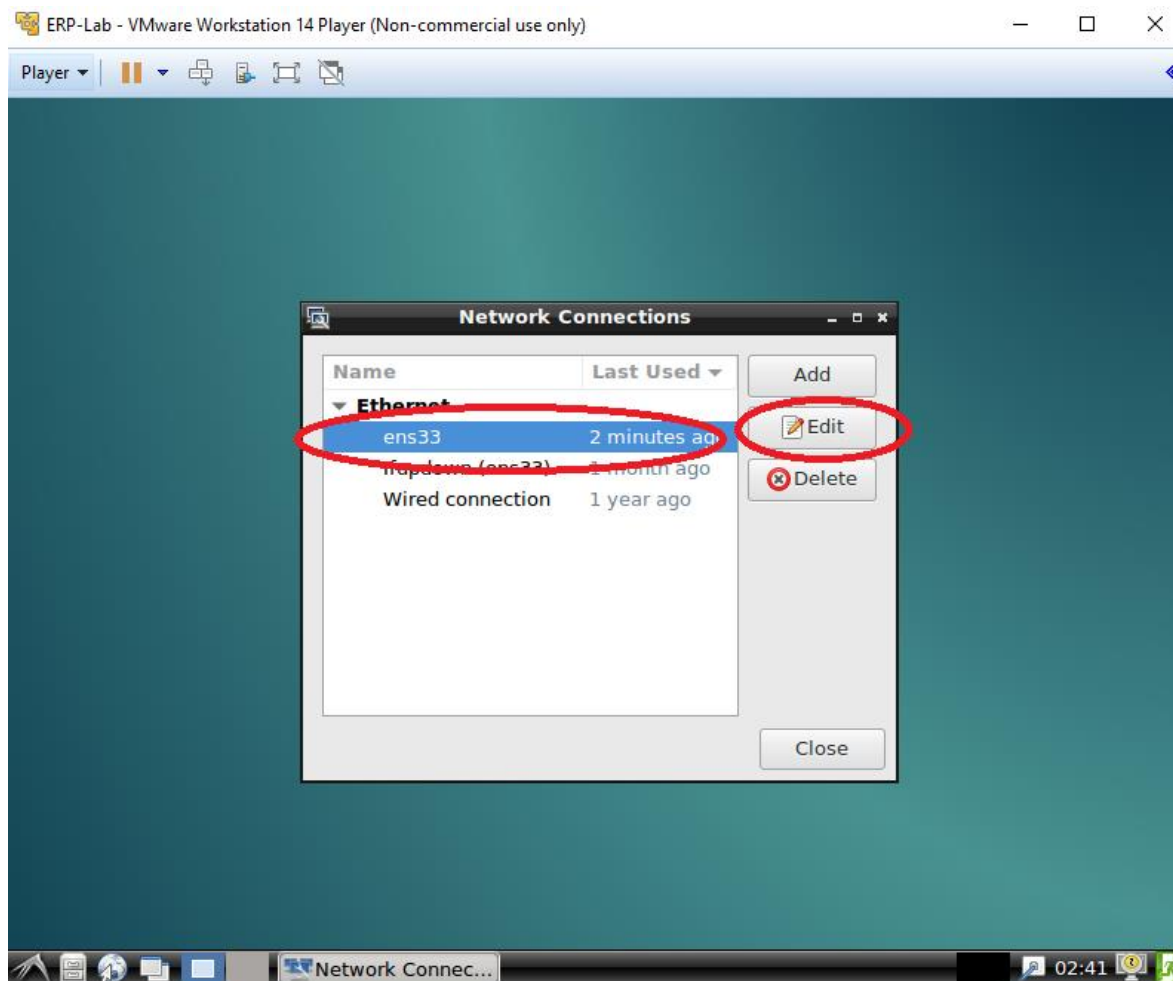
Kuva 2. IP-osoitteen asettaminen TIA portalissa.

Tämä tulee tehdä jokaisen moduulin ohjelmaan erikseen. Projekti myös ladataan jokaiselle logiikalle erikseen. Projekti tulee ladata myös Turck Boxille ja HMI:lle.

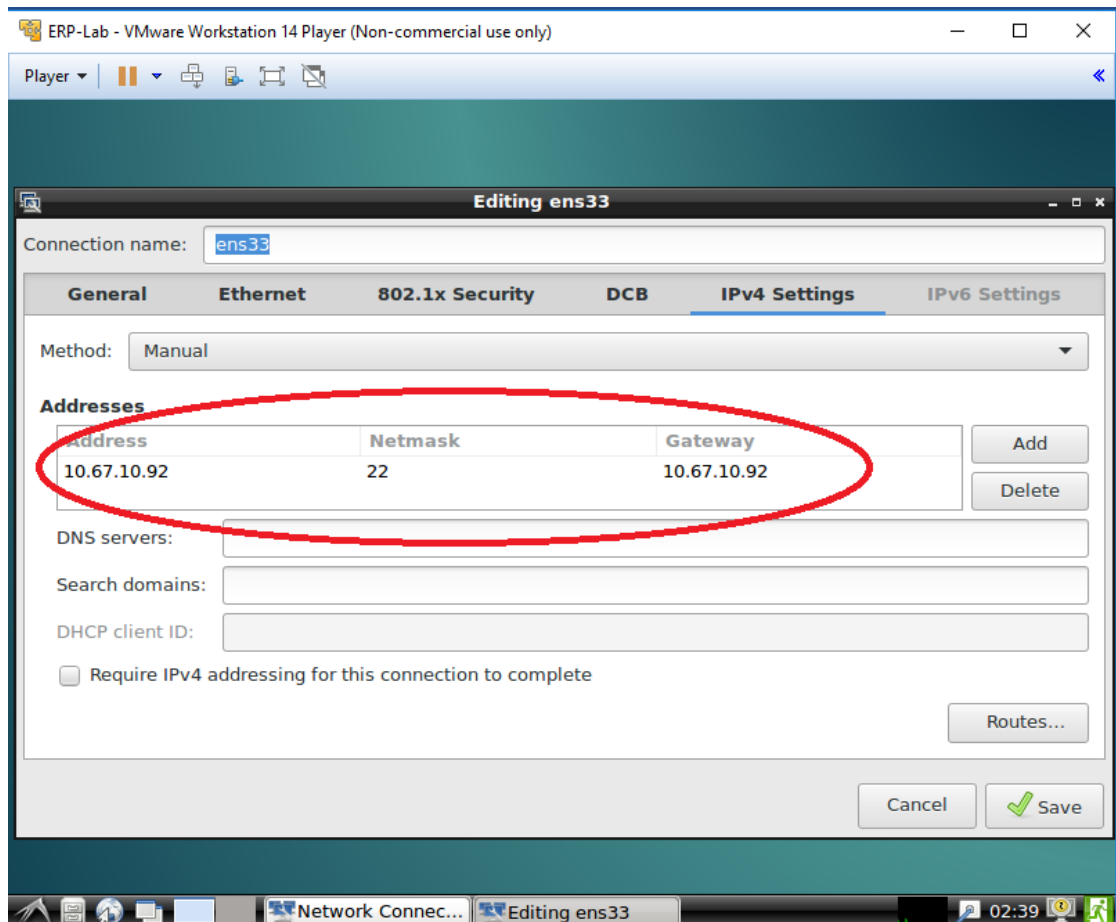
Seuraavaksi avataan Virtual Player 13 -virtuaalikone ja käynnistetään ERP-lab. ERP:n asetuksiin käydään asettamassa sama IP-osoite kuin TIA Portalissakin (kuvat 3, 4 ja 5).



Kuva 3. ERP:n IP-osoitteen asettaminen virtuaalikoneessa.



Kuva 4. ERP:n IP-osoitteen asettaminen virtuaalikoneessa.

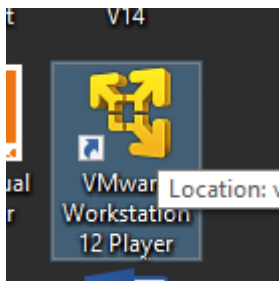


Kuva 5. ERP:n IP-osoitteen asettaminen virtuaalikoneessa.

## Tuotteen tilaus Smart Factoryltä

Käynnistä VMware Workstation 12 Player (kuva 1).

→ **Älä päivitä mitään missään vaiheessa!!!**



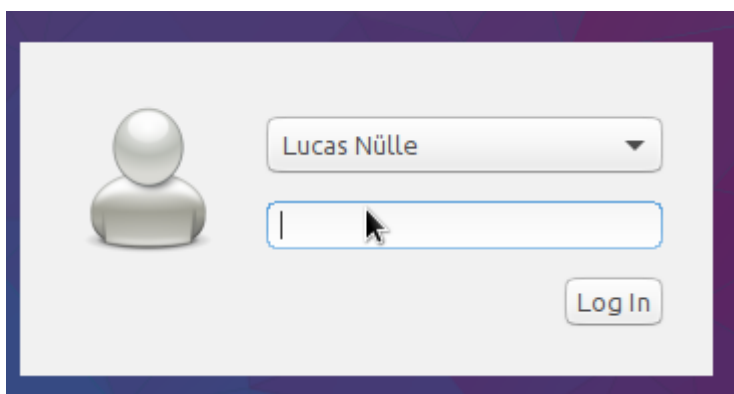
Kuva 1. Virtuaalikoneen pikakuvake työpöydällä.

Valitse ERP\_Lab (C:\E-112-02\_PC\Smart Factory for YuMi\ERP-Lab)

Pitäisi olla valittavissa ilman tiedostopolkua.

→ Käynnistä ERP-lab virtuaalikoneessa.

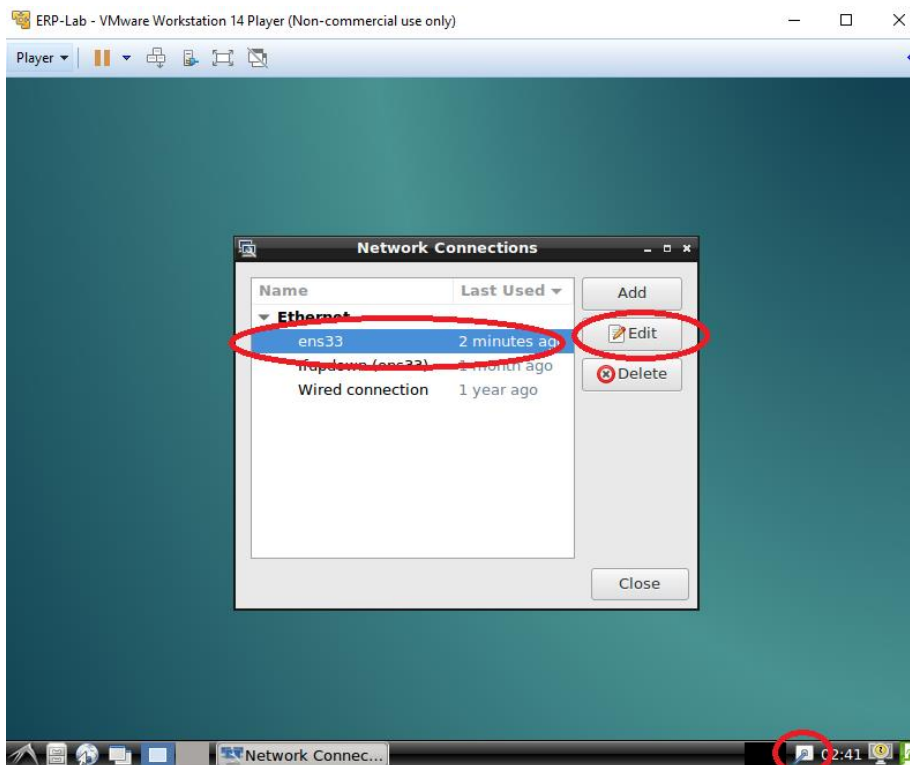
→ Ohjelma kysyy salasanaa (kuva 2).



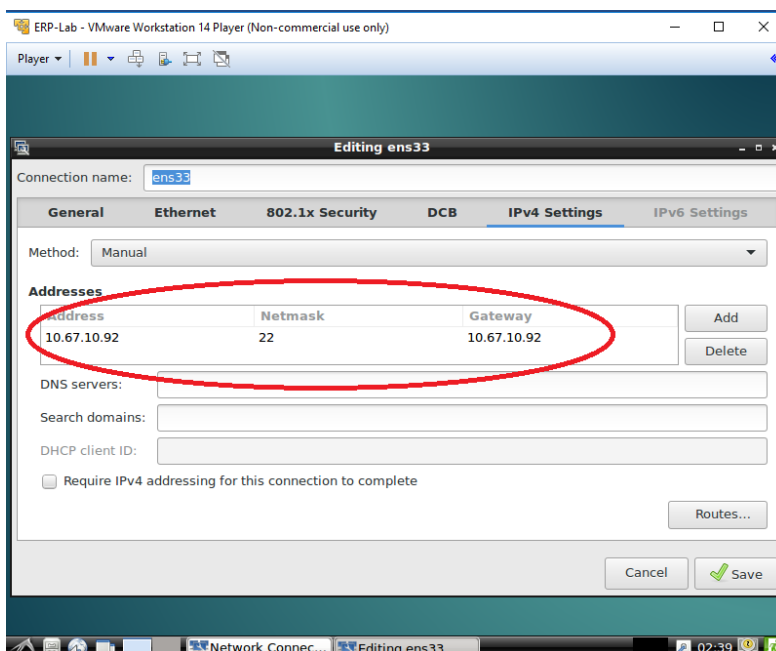
Kuva 2. ERP-lab käyttäjätunnus ja salasana.

→ Salasana 123456789

Tarkista, että ens33 osoite 10.67.10.92 (kuva 3 ja 4).

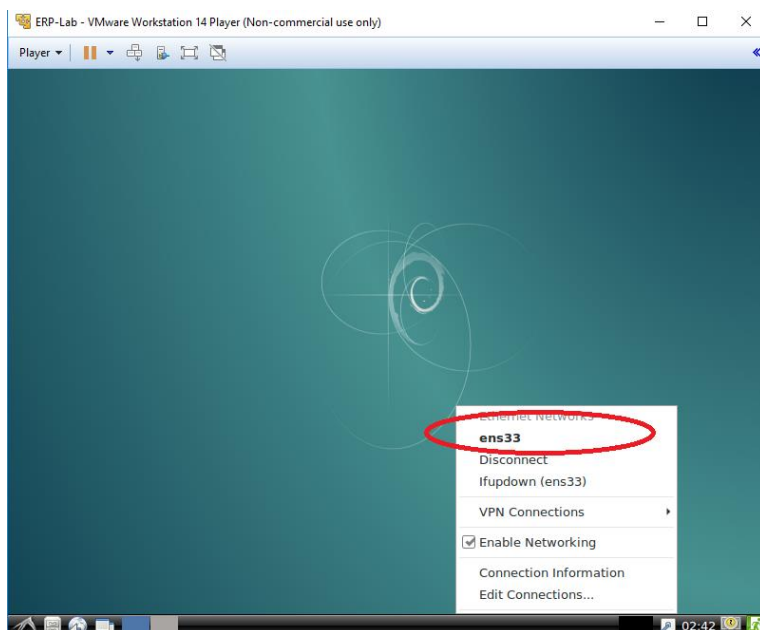


Kuva 3. Ens33 IP-osoitteen asettaminen.



Kuva 4. Ens33 IP-osoitteen asettaminen.

Tarkista, että ens33 on aktiivinen (kuva 5).



Kuva 5. Ens33 aktiivisena.

Aukaise Mozilla ja siirry osoitteisiin:

<http://10.67.10.92/index.php?route=product/category&path=1>

<http://10.67.10.92:8000/login/?next=/>

<http://10.67.10.92/admin/>

Jos sivustoihin ei saa heti yhteyttä, aktivoi ens33-yhteyden alta disconnect-yhteys ja sen jälkeen valitse uudelleen ens33.

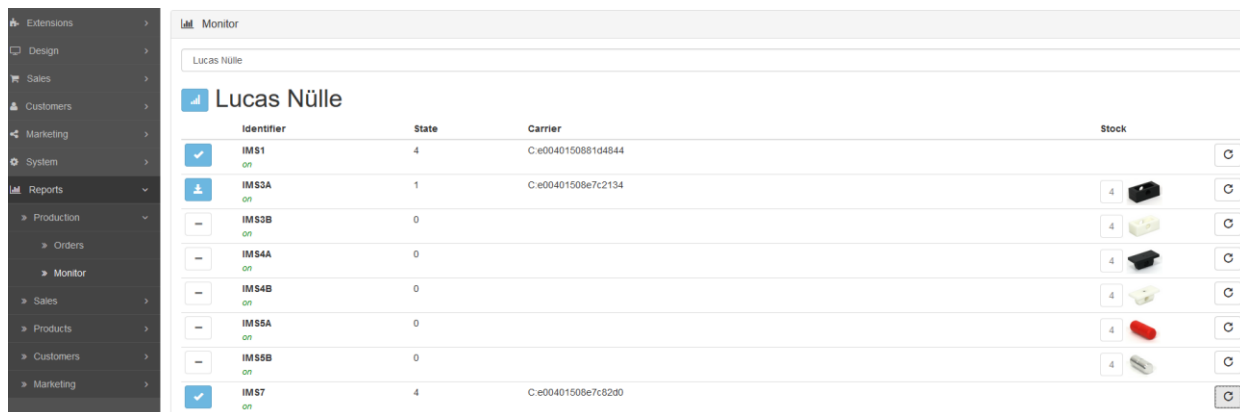
-> Täällä Monitor -> varastosaldot ja resetoinnit tms.

Käyttäjätunnus/salasana: admin / admin







Admin puolella mene kohtaan Reports / Production / Monitor (kuva 6).

Tuotteen pääsee tilaamaa listalla ensimmäisenä olevan osoitteen takaa.





The screenshot shows the 'Monitor' page in an ERP system. The left sidebar contains a navigation menu with categories like Extensions, Design, Sales, Customers, Marketing, System, and Reports. The main content area is titled 'Lucas Nülle' and displays a table with columns for Identifier, State, Carrier, and Stock. The table lists several components, each with a status icon (checkmark or minus sign) and a refresh button (circular arrow icon).

| Identifier  | State | Carrier            | Stock                                                                                 |
|-------------|-------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| IMS1<br>on  | 4     | C:e0040150881d4844 |                                                                                       |
| IMS3A<br>on | 1     | C:e00401508e7c2134 | 4  |
| IMS3B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS4A<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS4B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS5A<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS5B<br>on | 0     |                    | 4  |
| IMS7<br>on  | 4     | C:e00401508e7c8280 |                                                                                       |

Kuva 6. Näkymä ERP:n monitorointi-ikkunasta.

### Ongelmatilanteessa:

1. Ota paletit pois
2. Tupla klikkaa kaikkien asemien päivitys nappia (kuva 7)
3. Odota, että kaikkien asemien alla lukee vihreällä "ON" (kuva 6)
4. Syötä paletit yksi kerrallaan IMS5b-aseman päädystä
5. Kun kaikki paletit paikallaan päivitys varastosaldot
6. Nyt voit tehdä tilauksia

Jos tilaukset eivät toimi varmista, että PLC:t näkyvät verkossa!!!



Kuva 7. Päivitysnappi

## Tilaa tuote Smart Factoryltä!

Skannaa kuvan 8 qr-koodi yhdistääksesi Smart Factoryn langattomaan verkkoon. Tarvitset qr-koodilukija -sovelluksen (play store, apple store).

Tai manuaalisesti yhdistä FRITZ!Box3490 -verkkoon kuvassa näkyvällä network avaimella.

Tämän jälkeen internetselaimessa siirry osoitteeseen 10.67.10.92.

Categories -vetovalikosta valitse Workpieces. Voit valita haluamasi kappaleen ja tilata sen kuin mistä tahansa verkkokaupasta. (Jätä tilauskentät tyhjiksi ja valitse aina continue.)


### Wireless access

#### Wireless LAN Access Data for FRITZ!Box 3490

For access to the internet over wireless LAN, users must log in with the name of the radio network (SSID) and the network key. For more information, see <http://fritz.box>

|                                  |                                        |
|----------------------------------|----------------------------------------|
| Name of the radio network (SSID) | FRITZ!Box3490                          |
| Wireless standard                | 11n+11g (2,4 GHz) and 11ac+11n (5 GHz) |
| Network key                      | 8385 4124 1131 8607 5920               |
| Kind of encryption               | WPA2 (CCMP)                            |

This QR code simplifies the configuration of wireless access in smartphones. For particularly convenient use of the QR code we recommend the "[FRITZ!App WLAN](#)" (Android).



Kuva 8. QR-koodi Smart Factoryn langattomaan verkkoon liittymistä varten.