



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Pasi Skantsi

Teollisuus 4.0:n ja digitalisaation vaikutus kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon opetukseen

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka

Tekijä: Pasi Skantsi

Työn nimi: Teollisuus 4.0:n ja digitalisaation vaikutus kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon opetukseen

Ohjaaja: Pia-Mari Riihilahti

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 92

Työn tavoitteena oli selvittää teollisuus 4.0:n ja digitalisaation mahdollinen vaikutus kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon opetukseen. Digitalisaation aiheuttaman murroksen oletettiin alkaneen metalli- ja kunnossapitoaloilla. Toisaalta voidaan selkeästi havaita alan koulutuksen olevan jäljessä suhteessa digitalisaatioon. Tavoitteena oli selvittää, kuinka opetusta tulisi kehittää, jotta työelämän tarpeisiin voitaisiin vastata kehittyvässä toimintaympäristössä. Mallia haluttiin hakea erityisesti Saksasta, jossa digitalisaation opetuksen metalli- ja kunnossapitoaloilla oletettiin olevan pidemmällä kuin Suomessa

Työ toteutettiin selvittämällä ensin, mitä digitalisaatio ja teollisuus 4.0 tarkoittavat kone- ja metallialoilla. Tämä toteutettiin pääosin kirjallisuustutkimuksena. Työelämän tarpeita selvitettiin kirjallisuustutkimuksena, vieraillemalla yrityksissä sekä osallistumalla seminaareihin ja messuille. Lisäksi tehtiin tutustumismatka Saksaan.

Työssä tuli ilmi, että digitalisaatio ja teollisuus 4.0:n taustateknologiat tarkoittavat kone- ja metallialalla pitkälti samaa asiaa. Opetuksen todettiin olevan jäljessä tarpeesta, ja siihen ehdotettiin muutoksia. Erityisesti robotiikan, lisätyn todellisuuden ja tietojärjestelmien opetuksen lisäämisen havaittiin tuovan jo tällä hetkellä tarpeellisia taitoja alan opiskelijoille. Myös IoT:n merkityksen arvioitiin kasvavan ja sen opetuksen olevan siten hyödyllistä. Kaikenlainen digiosaaminen, mukaan luettuna kyberturvallisuus, tulee olemaan entistä tärkeämpää. Kädentaitojen nähtiin olevan tärkeitä myös tulevaisuudessa, mutta tärkeää on taito käyttää ja tehdä asetuksia automaattisiin koneisiin.

¹ Asiasanat: teollisuus 4.0, teollisuus 5.0, digitalisaatio, koulutus, metalliala

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Master of Engineering, Automation Engineering

Author: Pasi Skantsi

Title of thesis: Impact of Industry 4.0 and digitalization on the basic degree education of mechanical and production engineering

Supervisor: Pia-Mari Riihilahti

Year: 2025

Number of pages: 92

The aim of the study was to investigate the potential impact of Industry 4.0 and digitalization on the basic degree education of mechanical and production engineering. The disruption caused by digitalization was assumed to have started in the metal and maintenance industries. On the other hand, it could clearly be seen that education in the field was lagging in relation to digitalization. The goal was to determine how education should be developed to meet the needs of working life in an evolving operational environment. The model was particularly sought from Germany, where the teaching of digitalization in the metal and maintenance industries was assumed to be more advanced than in Finland.

The study was carried out by first investigating what digitalization and Industry 4.0 mean in the mechanical and metal industries. This was mainly done through a literature review. The needs of working life were investigated through a literature review, visits to companies, and by participating in seminars and fairs.

It was found that the background technologies of digitalization and Industry 4.0 mean the same thing in the mechanical and metal industries. Education was found to have fallen behind, and changes were suggested. Increasing the teaching of robotics, augmented reality, and information systems were found to provide skills that are already necessary for students in the field. The importance of IoT was also assessed to be growing, and its teaching was thus considered useful. In general, all kinds of digital skills, including cybersecurity, were seen to become increasingly important. Manual skills were seen as important in the future as well, but in addition, the ability to use and set up automatic machines was considered crucial. It was concluded that digital skills should be taught more.

¹ Keywords: industry 4.0, industry 5.0, digitalization, education, metal industry

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkuuettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
2 DIGITALISAATIO	10
3 TEOLLISUUS 4.0	12
3.1 IOT	14
3.2 Massadata.....	14
3.3 Tekoäly.....	15
3.4 Koneoppiminen	17
3.5 Autonomiset robotit	18
3.6 Kyberfyysiset järjestelmät.....	18
3.7 Pilvi, pilvilaskenta	19
3.8 Lisäävä valmistus	21
3.9 Lisätty todellisuus	22
3.10 Digitaalinen kaksonen	24
3.11 Vaaka- ja pystysuuntainen järjestelmien integraatio.....	27
3.12 Simulaatio	32
3.13 Kyberturvallisuus	36
4 TEOLLISUUS 5.0	38
5 OSAAMISTAVOITTEET KONE- JA METALLIALALLA	40
5.1 Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto Suomessa.....	40
5.2 Teollisuus 4.0 ja digitalisaatio ammatillisessa koulutuksessa Saksassa	42
5.3 Teollisuus 4.0:n taustateknologiat kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnossa ..	50
5.4 Teollisuus 4.0:n ja digitalisaation määrä tulevaisuudessa kone- ja tuotantotekniikan aloilla	51

5.5	Opetushallituksen kehittämisprojekti	53
5.6	Tulevaisuuden ammattitaitovaatimukset	60
5.7	Automaation kehitys valmistavassa metalliteollisuudessa	63
5.8	Oppimistehtaat	64
5.9	Osaamisen ennakointifoorumi	65
5.10	Jatkuvan oppimisen ja työllisyyden palvelukeskus	66
5.11	Vipunen	71
6	POHDINTA.....	73
7	YHTEENVETO	80
	LÄHTEET	81

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Feston oppimistehdas.....	64
Kuvio 1. Tilanne 1, Tuotekehitys ja tuotannosuunnittelu	45
Kuvio 2. Tilanne 2, joustava valmistus	46
Kuvio 3. Tilanne 3, tuotannonohjausjärjestelmä MES	47
Kuvio 4. Tilanne 4, huolto/ylläpito ja älykäs kunnossapito	48
Kuvio 5. Ammatillisen koulutuksen digiverkoston määrittelemiä teollisen vallankumouksen ja digitalisaation kannalta tarpeellisia sisältöjä ammatillisessa koulutuksessa	56
Kuvio 6. Poiminta metallityöntekijöiden osaamisista työpaikkailmoituksissa.....	68
Kuvio 7. Poiminta kaikkien alojen työpaikkailmoitusten osaamista.....	69
Kuvio 8. Metallityöntekijän yleisimmät osaamiset.	70
Kuvio 9. Metallityöntekijöiden vuoteen 2030 kasvavat osaamiset.....	72
Taulukko 1. Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon muodostuminen.	41
Taulukko 2. Ammatit	44
Taulukko 3. Toiminta digitaalisessa ympäristössä, pakollinen tutkinnon osa.....	57
Taulukko 4. Paanasen työryhmän ehdotuksia ammatillisten tutkinnonosien sisällöiksi eri aloilla	58

Käytetyt termit ja lyhenteet

ERP	Enterprise resource planning, toiminnanohjausjärjestelmä.
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonseurantajärjestelmä.
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta.
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta.
CNC	Computerized Numerical Control, työstökoneiden numeerinen ohjaus.
COBOT	Collateral Robot, yhteistyörobotti.
S3	Symbiotic Simulation System, symbioottinen simulointijärjestelmä.
CPS	Cyber Physical System, kyberfyysinen järjestelmä.
AM	Additive Manufacturing, lisäävä valmistus.
AR	Augmented Reality, lisätty todellisuus.
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus.
ER, XR	Extended Reality, laajennettu todellisuus.
MR	Mixed Reality, sekoitettu todellisuus.
DT	Digital Twin, digitaalinen kaksonen.
IoT	Internet of Things, esineiden internet.
ML	Machine Learning, koneoppiminen.
AI	Artificial Intelligence, tekoäly.
PLC	Programmable Logic Controllers, ohjelmoitava logiikka.
DCS	Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä.

1 JOHDANTO

Digitalisaatio ja robotiikka ovat olleet osa yhteiskuntaa jo 40 vuoden ajan. Niiden mahdollisuudet tehostaa liike-elämää tunnustetaan laajasti myös valmistavan tuotannon yrityksissä. Aiheesta on kirjoitettu paljon, ja meneillään sanotaan olevan neljäs teollinen vallankumous (World Economic Forum, i.a.). Aikaisemmat kolme teollista vallankumousta olivat koneellistuminen, sähköistyminen ja automatisointi. Neljäs teollinen vallankumous on nimetty joissakin yhteyksissä teollisuus 4.0:ksi.

On ollut mahdollista nähdä kuvataallenteita roboteista, jotka valmistavat auton koreja. Auto-teollisuus onkin ollut edelläkävijä robotiikassa (Automation Advancement Association, 2017). Robotit ovat tärkeä osa autovalmistajien kilpailukykyä. Nykyaikaiset robotit ovat paljon edistyneempiä kuin edeltäjänsä. Metalliteollisuudessa automaatio on tarkoittanut perinteisesti CNC-ohjattuja työstökoneita ja myöhemmin CNC-ohjattuja levytyökoneita. Molemmat ovatkin tärkeitä tekijöitä tuotannon tehokkuudelle. Robottien merkitys on hiljalleen kasvamassa ja niitä saattaakin nykyään nähdä myös yrityksissä, joiden julkisivusta asiaa ei koskaan pystyisi päättelemään.

Tekoäly on kehittynyt huimasti aivan parin viimeisen vuoden aikana. Myös esineiden internetistä puhutaan paljon, monet laitteet ovatkin yhteydessä verkkoon ja asiasta on tulossa arkipäiväinen. Miten nämä ja muut teollisuus 4.0:n taustateknologiat vaikuttavat valmistavaan metalliteollisuuteen ja kunnossapitoon tänään ja lähitulevaisuudessa? Asiaa tutkitaan tässä työssä.

Pääpaino tässä työssä on kuitenkin alan opetuksen tarpeiden kartoittamisella digitalisaation näkökulmasta. Tällä hetkellä ammatillisesta oppilaitoksesta valmistunut opiskelija pystyy hyvin toimimaan, vaikka hänellä ei ole tietoa digitalisaatiosta, teollisuus 4.0:sta ja sen taustateknologioista. Tämä aiheuttaa kiusauksen jatkaa opetusta aikaisemmin totutulla tavalla. Kone- ja tuotantotekniikan koulutus on osittain hyvin konservatiivista. Alan opetussuunnitelma ei sisällä paljoakaan digitalisaation osa-alueita. Konservatiivisuus johtuu osittain menneistä hyvistä kokemuksista. On onnistuttu kouluttamaan ammattilaisia, jotka osaavat työuran aloittamiseen tarvittavat taidot, monet enemmänkin. Jos ja kun metalliteollisuus ja kunnossapito ovat muuttumassa entistä digitaalisemmiksi, tulisiko koulutusta

muuttaa? Kuinka Saksassa, termin teollisuus 4.0:n kotimaassa on toimittu? Näihinkin asioihin tämä työ tarjoaa näkökulman.

Tutkimus toteutettiin selvittämällä aluksi teknologioiden sisältö. Mitä tarkoittavat digitalisaatio, teollisuus 4.0 ja teollisuus 5.0 yleisesti ja metalliteollisuudessa. Tämä osio suoritettiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksen toinen osio alkaa luvusta 5. Siinä tutkitaan erilaisia koulutuksen tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä. Tällaisia ovat työvoiman osaa- mistarpeet nyt ja lähitulevaisuudessa, työpaikoilla käytössä olevat ja lähitulevaisuudessa käyttöön otettavat teknologiat, koulutuksen sisältö tällä hetkellä ja Saksan Liittovaltion näkemys alan opetuksesta. Tässäkin osiossa tehtiin kirjallisuustutkimusta, mutta käytiin myös vierailuilla ja osallistuttiin seminaareihin.

Luvun 6 pohdintaosiossa on kerrottu näkökulma siitä, mitä opetuksessa ja opetussuunnitelmassa tulisi muuttaa. Samassa luvussa on myös keinoja, kuinka opetus voitaisiin toteuttaa.

Tämän työn tutkimuskysymykset ovat:3–3

- Mitä digitalisaatio ja teollisuus 4.0 ovat?
- Mikä niiden merkitys on ja tulee olemaan valmistavassa metalliteollisuudessa ja teollisuuden kunnossapidossa?
- Millaisia taitoja ne vaativat työelämässä nyt ja tulevaisuudessa?
- Kuinka tähän tulisi reagoida kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon sisällöissä?

2 DIGITALISAATIO

Digitalisaatio on digitoidun datan käyttämistä digitaalisilla työkaluilla yhteiskunnan eri osa-alueilla (Eurofound, i.a.). Tuote voi olla kokonaan digitaalinen tai digitaalisuus voi toimia muun tuotannon tukena (Pohjola, 2015). Digitalisaatiolla voidaan saavuttaa tuottavuuden kasvua. Monet tutkijat katsovat digitalisaation olevan tärkein keksintö sitten höyrykoneen, ja se onkin laskenut hintoja merkittävästi.

Rooman digipäivä (Digital Day) järjestettiin Roomassa 23. maaliskuuta 2017 osana Rooman sopimusten 60-vuotisjuhlaa (Euroopan komissio, 2017b). Tapahtuman järjesti Euroopan komissio yhteistyössä Italian hallituksen ja Maltan EU-puheenjohtajakauden kanssa. Tapahtuman tarkoituksena oli edistää Euroopan teollisuuden digitalisointia ja vahvistaa yhteistyötä eri maiden välillä (Euroopan komissio, 2017a). Tapahtumaan osallistui ministereitä, valtiosihteereitä ja teollisuusjohtajia 13 maasta, mukaan lukien Itävalta, Belgia, Tšekki, Tanska, Ranska, Saksa, Unkari, Italia, Luxemburg, Alankomaat, Portugali, Espanja ja Ruotsi.

Tapahtuman keskeisiä teemoja olivat Euroopan rooli huipputehokkaassa tietojenkäsittelyssä, Euroopan teollisuuden digitalisointi, yhdistetty ja automatisoitu liikkuvuus sekä digitaalisen muutoksen vaikutus työpaikkoihin ja taitoihin (Euroopan komissio, 2017a). Tavoitteena oli korostaa digitaalisten teknologioiden merkitystä Euroopan taloudelle ja yhteiskunnalle sekä edistää yhteistyötä ja innovaatioita.

Rooman digipäivä oli merkittävä askel kohti Euroopan teollisuuden digitalisointia ja digitaalisten teknologioiden laajempaa hyödyntämistä (Euroopan komissio, 2017a). Digipäivän aikana keskusteltiin muun muassa parhaiden käytäntöjen jakamisesta, toimenpiteiden täydentävyydestä ja yhteistyön vahvistamisesta. Osanottajat sitoutuivat yhteiseen foorumiin digitalisaation kehittämiseksi. Euroopan komissio ilmoitti myös investoivansa yli 5 miljardia euroa digitaalisiin innovaatiokeskittyymiin ja teollisuusteknologioiden johtoaseman vahvistamiseen.

Osanottajamaat olivat tehneet kansallisia aloitteita digitalisaation eteenpäin viemiseksi. Osa näistä aloitteista oli nimetty teollisuus 4.0:ksi (Euroopan komissio, 2017a). Foorumin tarkoituksena on tukea kansallisia aloitteita. Uusia kansallisia aloitteita oli tuolloin

valmisteilla yhdeksässä muussa maassa, joita olivat Bulgaria, Kroatia, Suomi, Puola, Romania, Slovakia, Slovenia ja Iso-Britannia.

Koska kyseessä on digitalisaation vaikutus teollisuusalan opetukseen, tässä työssä digitalisaatio tarkoittaa teollisuus 4.0:a, teollisuus 5.0:a ja opetuksen digitalisaatiota.

3 TEOLLISUUS 4.0

Saksan liittohallitus on linjannut uudelleen tutkimus- ja innovaatiopolitiikkaansa vuonna 2024 (Stark-Watzinger, 2023, s. 3–4, 12). Linjaus pyrkii turvaamaan Euroopan ja Saksan teknologisen suvereniteetin innovaatiojärjestelmän avulla 3. Tämän innovaatiojärjestelmän tarkoituksena on auttaa suojelemaan luonnonvaroja, turvaamaan Saksan kansainvälinen kilpailukyky, vahvistamaan yhteiskunnan sietokykyä ja kasvattamaan sen taloudellista voimaa. Tavoitteen saavuttamisessa käytetään kolmea perusajatusta: Tutkimuksesta on pysyttävä kehittämään käytännön sovellus aiempaa helpommin. Avoimuutta teknologioille on lisättävä kaikilla aloilla, jotta ongelmien ratkaisu teknologian avulla helpottuu. Saksan ja Euroopan unionin on kyettävä ymmärtämään avainteknologioita itse sekä kehittämään ja tuottamaan niitä teknologisen johtajuuden saavuttamiseksi kaikilla aloilla.

Tämän linjauksen voidaan nähdä olevan jatkumo Saksan hallituksen aiemmille linjauksille. Kehittämislle on myös tarvetta, koska Yle- uutisten 4.9.2024 (Karismo, 2024) mukaan Saksan autoteollisuus ei ole enää kilpailukykyinen. Syynä on halvan venäläisen energian tuonnin loppuminen. Autoteollisuutta heikentää koronan pienentämä autojen myynti, joka ei ole palannut ennalleen. Eurooppalaiset autot ovat liian kalliita, ja kiinalaiset valmistajat valtaavat markkinaosuutta.

Saksan liittovaltion talous- ja tiedeyhteistyön tutkimusliitto ehdotti 25. tammikuuta 2011 toimintasuosituksissaan tulevaisuusprojektia teollisuus 4.0 (Kagerman & Wahlster, 2022, s. 1–2). Se hyväksyttiin, ja Münchenissä Saksassa sijaitseva National Academy of Science and Engineering julkaisi saksaksi 1. huhtikuuta 2011 yhteistyössä Wolf-Dieter Lukasin kanssa artikkelin *Industrie 4.0: With the Internet of Things Towards the 4th Industrial Revolution*. Kaksi päivää myöhemmin Saksan liittokansleri Angela Merkel tarttui spontaanisti uuteen tuotemerkkiin "Industrie 4.0" avajaispuheessaan Hannoverin messuilla. Myös liike-elämä, ammattiliitot ja muiden teollisuusmaiden edustajat tunnistivat tämän käsitteen avaamat mahdollisuudet. Aluksi valmistusteollisuus oli keskiössä, koska Saksan kaltaiset taloudet, joilla on vahva teollinen selkäranka, toipuivat nopeammin ja paremmin maailmanlaajuisesta rahoitus- ja talouskriisistä. Valmistavan teollisuuden kilpailukyvyyn säilymistä halettiin edistää. Termi "Industrie 4.0" on sittemmin muodostunut käsitteeksi aivan kuten sanat "kindergarten" ja "autobahn".

Teollisuus 4.0 lähtee ajatuksesta, jonka mukaan fyysisen ja virtuaalisen maailman välille on luotava yhteys, toisin sanoen luodaan kyberfyysisiä järjestelmiä (Kagerman ym., 2015, s. 2). Tämä tapahtuu sulautettujen järjestelmien avulla ja liittämällä tuoteaihiin muisti- ja viestintäominaisuudet. Tuote ja sen aihio ohjaavat valmistustaan ja logistiikkaa. Tuotteiden ja tuotantolaitteiden verkottuminen lyhentävät reaktioaikaa parantaen siten laatua ja tehokkuutta. Tällä saadaan myös aikaan uudenlaisia liiketoimintamalleja. Tuotteet voivat kerätä aktiivisesti tietoa ja tallentaa sen internetin välityksellä. Näin käyttäjille voidaan tuottaa lisäarvoa. Teollisuus 4.0:n mukaiset älykkäät tuotteet voivat toimia siten myös älykkäinä palveluina.

Uusia megatrendejä, jotka auttavat teollisuus 4.0:n kehittämisessä, ovat teollinen tekoäly, reunalaskenta reunapilveen asti, 5G tehtaassa, tiimirobotiikka, autonomiset sisälogistiikka-järjestelmät ja luotettavat datainfrastruktuurit (Kagerman & Wahlster, 2022, s. 4–5). Voidaan siis päätellä, että teollisuus 4.0 kehittyy, kun uusia teknologioita tulee käyttöön. Ei ole mahdollista tehdä listaa, joka määrittelee tarkasti käytettävät teknologiat. Kaikki teknologiat, jotka edesauttavat teollisuus 4.0 saavuttamista, ovat käyttökelpoisia. Tässä työssä on käsitelty yleisesti tunnustettuja teollisuus 4.0:n taustateknologioita.

On nähtävissä, että esimerkiksi Kiinassa on otettu käyttöön teknologioita, jotka auttavat tuotantoa sopeutumaan kysyntään ja etsimään nopeasti kuluttajia miellyttäviä trendejä. Kaupan liiton ekonomisti Jaana Kurjenoja toteaa MOT haastattelussa kiinalaisen Sheinin valmistavan pieniä eriä vaatteita, joiden menekki välittyy suoraan tehtaalle (Knus-Galán, 2024). Kun tuote myy hyvin, tieto välittyy suoraan tehtaalle, joka lisää kyseisen tuotteen tuotantoa. Kapasiteetti on jopa tuhansia uusia tuotteita tai tuotevariaatioita päivässä. Suurin osa näistä tuotteista kuolee nopeasti, mutta osan elinkaari on pidempi. Vaikka kiinalaisten tuotteiden valmistukseen liittyy paljon epäeettisiä toimintatapoja ja tuotteet saattavat olla vaarallisia käyttäjilleen, kiinalaisyrietykset pystyvät silti kasvattamaan markkinaosuksiinsa tuottamalla kuluttajien haluamia tuotteita hyvin edullisesti ja toisaalta käyttämällä sosiaalista mediaa markkinoinnissa hyvin tehokkaasti. Voidaan havaita, että kiinalaiset valmistajat ovat pystyneet lisäämään kuluttajatuotteiden haluttavuutta ja tuotannon tehokkuutta. Tämä on tapahtunut osittain käyttämällä teollisuus 4.0:n kaltaista toimintafilosofiaa. Tämä haastaa eurooppalaisia valmistajia siirtymään teollisuus 4.0 –ajatteluun.

3.1 IOT

Lyhenne IoT tulee sanoista internet of things, suomeksi esineiden internet. Sillä tarkoitetaan fyysisten esineiden kytkeytymistä internetiin (Saari, 2024, s. 2). Internetin tiedonvälityskykyä käytetään hyväksi datan keräämiseen ja välittämiseen. Laitteet voivat kommunikoida toistensa kanssa yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi.

IoT on kattokäsite, joka voi tarkoittaa monenlaisia asioita (Gynther, 2021). Järjestelmän kokoluokka voi vaihdella. Hyötyinä saavutetaan manuaalisen työn ja virheiden vähentämistä, fyysisten konesalien simuloiminen pilvessä, etähallinnan ja -käytön mahdollistuminen, tiedon saatavuuden paraneminen ja liiketoiminnan digitaalistuminen. IoT:n rakenne voi olla monimutkainen. Se voi sisältää useita erilaisia portaita, joissa dataa siirretään ja käsitellään. Toisaalta yksinkertaisimmillaan se on fyysinen laite, esimerkiksi älysovrus, joka on yhteydessä 4G- tai 5G-verkkoon, joka siirtää tiedon internetiin käsiteltäväksi tai varastoitavaksi.

3.2 Massadata

Massadatatista käytetään usein englanninkielistä nimitystä big data. Muita nimityksiä ovat suuraineistot tai erittäin suuret tietoaaineistot (Tuomisto, 2015, s. 2179). Massadatalta tarkoitetaan suurta ja monimutkaista datakokonaisuutta (Euroopan parlamentti, 2021). Tämä data kerätään monista lähteistä, ja se sisältää ihmisten toimintaa ja koneiden antamia anturitietoja. Tiedon kerääminen on hyvin nopeaa. Kerätty tieto siirretään datavarastoon, joka sijaitsee useimmiten pilvipalvelussa. Massadatan hyödyntäminen mahdollistaa monia asioita yksityisellä ja julkisella sektorilla. Tällaisia asioita ovat energiatehokkuus, laatu, tehokkuus, vaikuttavuus, päästöjen vähentäminen, uudet innovaatiot ja resurssien hyödyntäminen. Toimialoja, joilla massadataa voidaan käyttää, ovat teollisuus, terveydenhuolto, liikenne, ympäristö, maatalous, turvallisuus ja julkinen sektori.

Massadatan hyödyntäminen on vaikeaa ilman tekoälyä (Euroopan parlamentti, 2021). EU:n huolenaiheita ovat massadatan käyttämättä jättäminen, jolloin siitä koituisi kielteisiä vaikutuksia vihreälle kehitykselle, kuluttajille, yrityksille ja taloudelle. Tärkeää on myös yksilön oikeuksien suojeleminen. Yksilön oikeuksille voisi aiheutua haittaa siinä tapauksessa, että massadataa käytettäisiin jonkun toimijan taloudellisten tai poliittisten tavoitteiden edistämiseksi tai automaatio rajaisi henkilön oikeuksia saada joku hänelle kuuluva palvelu.

Euroopan komission vuonna 2020 (Euroopan parlamentti, 2021) tekemän arvion mukaan vuonna 2025 datatalouden arvo, joka mittaa kaiken datan tuottaman taloudellisen hyödyn, on EU:ssa 829 miljardia euroa, data-ammattilaisten määrä on 10,9 miljoonaa ja perustason digitaaliset taidot 65 prosentilla väestöstä. Datatalouden arvo ylitti 544 miljardin euron rajan vuonna 2023 EU27-maissa kasvun ollessa 9,3 % edelliseen vuoteen verrattuna (European Commission, 2024). Jos kasvuvauhti pysyy samana, arvio ei toteudu. Datatalouden arvo on silti merkittävä ja kasvuvauhti ylittää BKT:n kasvun.

3.3 Tekoäly

Standardi ISO/IEC 22989:2022 määrittelee tekoälyn käsitteet ja terminologian (International Organization for Standardization (ISO), 2022, s. 1). Koska kyseinen standardi määrittelee tekoälyn vain tieteenalana, sen mukaan tekoäly on tekniikan ja tieteen ala, joka pyrkii suunnittelemaan järjestelmiä, jotka pystyvät toteuttamaan ihmisen antamia tavoitteita tuottamalla sisältöä, tekemällä päätöksiä ja antamalla ennusteita ja ohjeita. Tekoälyä ei tule antropomorfoida, vaikka sen yhteydessä käytetään termejä ”älykkyys”, ”oppiminen”, ”ymmärtäminen” ja niin edelleen. Se vain simuloi kyseisiä ominaisuuksia.

Tekoälyn kehittämiseen käytetään monia eri tieteenaloja (ISO, 2022, s. 1). Paitsi luonnontieteitä ja matematiikkaa, myös humanistisia ja yhteiskuntatieteitä tarvitaan laajasti. Käytössä on myös erilaisia tekniikoita riippuen käsiteltävästä aiheesta ja halutusta tuloksesta. Jotkut tekoälysovellukset ovat vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa, jolloin niiden tulee toimia mahdollisimman ihmismäisesti. Tällöin puhutaan kognitiivisesta tietojenkäsittelystä, jonka osa-alueita ovat koneoppiminen, luonnollinen kielen käsittely, tietokonenäkö sekä ihmisen ja koneen väliset rajapinnat.

Tekoälyssä pyritään usein autonomiaan, jotta toiminta saataisiin automatisoitua (ISO, 2022, s. 2). Autonomialla tarkoitetaan tekoälyn yhteydessä sen kykyä mukautua joustavasti ilman ulkoista ohjausta, kerätä tietoa ja oppia keräämästään tiedosta. Tekoälyllä ei kuitenkaan ole kognitiivista tietoa, vaan sen tieto perustuu algoritmeihin. Tieto on kontekstualisoitu, jotta sitä voidaan tulkita. Tekoäly jäljittelee siis ihmisen älykkyyden kaltaisia toimia tekemällä laskutoimituksia. Tekoäly saattaa tehdä kuvissa ja videoissa esiintyvillä ihmisillä ylimääräisiä sormia ja jopa raajoja. Tällaisesta on esimerkki Yle uutisten (Koskela & Kurkela, 2024) artikkelissa, jossa Tuntemattoman sotilaan alikersantti Lehdolle ilmestyy kivääriä pitelevän kyynärvarren lisäksi pistoolia pitelevä kyynärvarsi saman olkavarren jatkeeksi. Tämän voidaan tulkita olevan osoitus kognition puutteesta. Tekoäly kykenee tekemään laadukkaan videon, mutta ei huomaa ristiriitaa raajojen määrässä.

Tulevaisuudessa saatetaan pystyä ottamaan käyttöön niin sanottu vahva tekoäly, joka pystyisi suorittamaan samanlaisia älyllisiä tehtäviä kuin ihminenkin (Skycode, i.a.). Tämä teknologia on kuitenkin vasta konseptiasteella, koska ihmisen kognition laajuutta ja mukautuvuutta ei ole pystytty jäljittelemään.

Erinomainen osoitus tekoälyn mahdollisuuksista saatiin SeAMKin järjestämässä Tekoälyn teollisuussovellukset -tapahtumassa (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, 2023). Siinä Siemens Oy:n edustajat Joonas Isoketo ja Samuli Metsälä esittelivät kalanruokatehtaan optimoinnin tekoälyn avulla. Kalanruoan ominaispainon olisi pysyttävä sellaisena, että se ei kellu eikä painu pohjaan. Muun muassa tätä ominaisuutta säädetään lisätyn öljyn määrällä ja säätämällä lämpötila- ja painearvoja prosessin eri vaiheissa. Kalanruokatehtaassa oli paljon hävikkiä, joista yksi syy oli kalanruuan liiallinen kuumeneminen. Ongelmana prosessin säätämisessä oli mittausdatan suuri määrä ja epätietoisuus siitä, miten mittaus- ja säätöparametrien tulisi muuttua toisten parametrien muuttuessa. Tekoäly opetettiin toimimaan ihmisen apuna siten, että se neuvoi kulloisessakin vaiheessa tarvittavat prosessiparametrit. Alku- ja lopputilanteen hävikin määrä on asiakasyrityksen liikesalaisuus, mutta toimitusjohtajan mukaan tavoite saavutettiin.

Voidaan todeta, että tämänhetkinen tekoälyn kehitysaste toimii teollisuudessa apuna, kun tiedon määrä on suuri tai tiedon käsitteleminen vaatii suurta keskittymistä tai pitkäjänteisyyttä. Tekoäly pystyy toimimaan tehokkaasti silloin, kun data on helposti

parametroitavissa. Tekoäly pysyy tehtävässään, koska sillä ei ole kognitiivisia kykyjä, ”mielikuvitusta”. Tekoäly säästää ihmisen työtehon arvokkaampiin asioihin kuin rutiininomainen, mutta kuormittava päättely. Tekoälyn järkevällä käytöllä voidaan saada aikaan työn tuottavuuden lisääntymistä.

3.4 Koneoppiminen

Koneoppiminen (engl. Machine Learning, ML) on yksi tekoälyn osa-alueista (Numminen, 2023). Koneoppiminen käyttää algoritmeja ja sillä voidaan löytää datasta säännönmukaisuuksia (Columbia engineering, i.a.). Koneoppiminen on tietojenkäsittelyn kehittynyt muoto, joka mahdollistaa suurten datamäärien analysoinnin ja prosessoinnin automaattisesti erilaisiin käyttötarkoituksiin (Google Cloud, i.a). Se on tekoälyn osa-alue, joka antaa tietokoneille kyvyn oppia ja tehdä päätöksiä itsenäisesti käyttäen dataa ilman nimenomaista ohjelmointia. Koneoppiminen keskittyy tietokoneiden kykyyn oppia tiedoista ilman tarkoin kuvailtuja ohjeita tai ohjelmointia, tunnistuen kaavoja ja soveltaen niitä uusiin tietoihin.

Neuroverkot ovat tärkeä osa koneoppimista (Google Cloud, i.a.). Ne pyrkivät jäljittelemään ihmisen aivojen toimintaa. Niissä on kerroksittain solmuja. Kun dataa syötetään ensimmäisen kerroksen solmuille, ne ryhmittelevät saamaansa dataa ja syöttävät sitä useille seuraavan kerroksen solmuille. Yksinkertaisessa koneoppimisessa on korkeintaan kolme neuronikerrosta ja sille täytyy luoda malli. Kun neuronikerroksia on enemmän, järjestelmä pystyy luomaan mallin itse ja tällöin puhutaan syväoppimisestä. Modernissa neuroverkossa voi olla satoja tai jopa tuhansia kerroksia. Järjestelmä oppii saamastaan palautteesta ja muuttaa neuronikerrosten välisten yhteyksien painoarvoa päästen näin parempaan tulokseen.

Koneoppimisen menetelmät voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan (Numminen, 2023). Valvotussa oppimisessä (supervised learning) malli opetetaan historiallisella datalla, joka sisältää sekä syöttö- että tavoitetietoja. Valvomattomassa oppimisessä (unsupervised learning) malli oppii itsestään ilman ennakkoon luokiteltua dataa. Vahvistusoppimisessä (reinforcement learning) malli oppii tekemään päätöksiä kokemuksen perusteella saadessaan palkinnon tai rangaistuksen (McFarland, 2022).

3.5 Autonomiset robotit

Sana robotti on esiintynyt ensimmäisen kerran vuonna 1920 Karel Čapekin näytelmässä Rossumovi Univerzální Roboti (Hilksa-Keinänen, 2018). Siinä koneet olivat korvanneet ihmiset työnteossa. Robotti on mekaaninen laite tai kone, joka pystyy suorittamaan erilaisia tehtäviä fyysisessä maailmassa. Robotit voivat olla ohjelmoituja suorittamaan toistuvia tehtäviä, kuten teollisuusrobotit, tai ne voivat olla suunniteltuja toimimaan ihmisten kanssa yhteistyössä, kuten palvelurobotit ja yhteistyörobotit eli cobotit.

Autonomiset robotit toimivat ilman suoraa ihmisen valvontaa (Wahde 2016). Ne eivät pelkästään suorita määrättyä toimintasekvenssiä, vaan ne toimivat monimutkaisissa, jäsenty-mättömissä ympäristöissä ja tekevän omat päätöksensä siitä, mitä toimintaa kussakin tilanteessa tulisi tehdä. Klassiseen säätöteoriaan perustuvat järjestelmät eivät riitä autonomisille roboteille. Autonomisella robotilla on tekoäly, joka mahdollistaa sille kyvyn käsitellä tietoa ja päättää, mitä toimia suorittaa. Koska autonominen robotti voi olla mitä tahansa robotti-imurista metsäkoneeseen (Hyyti, 2023), tekoälyn taso vaihtelee sovelluskohteen mukaan.

Robotit käyttävät antureita saadakseen tietoa ympäristöstään ja prosessoreita käsitelläkseen tätä tietoa (Hyyti, 2023, s. 24–26, 70). Tämän jälkeen ne lähettävät moottorisignaaleja toimilaitteilleen, kuten moottoreille, suorittaakseen tarvittavat toiminnot. Robotit voivat toimia täysin autonomisesti tai ihmisen valvonnassa, ja niitä käytetään laajasti eri aloilla, kuten teollisuudessa, terveydenhuollossa ja kotitalouksissa.

3.6 Kyberfyysiset järjestelmät

Kyberfyysinen maailma koostuu ihmisen luomista sähköisistä ja digitaalisista verkoista sekä fyysisen maailman laitteista, järjestelmistä, ihmisistä, tiedosta ja toiminnoista (Frilander ym., i.a.). Tässä ympäristössä digitaalisilla toimenpiteillä voidaan vaikuttaa fyysiseen maailmaan ja päinvastoin. Verkottuminen tekee fyysisestä sijainnista ja ajasta lähes merkityksettömiä, ja toimintoja voidaan kohdistaa lähes reaaliajassa eri puolille maapalloa. Kyberfyysiset järjestelmät (eng. CPS, Cyber physical systems) ovat sulautettuja järjestelmiä, joilla on sekä fyysinen että digitaalinen ulottuvuus (Oks ym., 2022, s. 1732–1733). Anturit tallentavat dataa, jota arvioidaan kyberulottuvuudessa paikallisen laskentatehon avulla.

Saatuja tietoja voidaan vaihtaa muiden tahojen kanssa tai sitten ohjata paikallisia toimilaitteita. Laitteistot pienenevät ja halpenevat koko ajan, joten myös mahdollisuudet käyttää näitä järjestelmiä paranevat koko ajan. CPS integroidaan fyysiseen ja digitaaliseen maailmaan sekä organisaatioihin. Ihminen voi myös olla integroitu CPS:n tai hän voi olla vuorovaikutuksessa sen kanssa. Tässä ulottuvuudessa turvallisuus ja eettiset näkökohdat on otettava huomioon.

CPS:n koko voi vaihdella pienestä, yhden henkilön käsittävästä järjestelmästä suureen kansantalouden tai isomman yksikön kattavaan järjestelmään (Oks ym., 2022, s. 1733–1734). Teollisessa tuotannossa CPS on ymmärrettävä laajemmin kuin vain tuotannonohjausjärjestelmänä. Dataa kerätään koko tuotanto- ja tuotesyklin aikana. Järjestelmän edistyneimmäksi kehitetty käyttö vaatii siten älykkäitä materiaaleja ja tuotteita. Kerättyä dataa käytetään ensimmäisessä vaiheessa prosessien valvontaan ja ohjaukseen. Virheet tuotannossa pyritään ehkäisemään etukäteen. Kerättyä tietoa käsitellään ja kootaan tuotantolaitosten ja tuotteiden digitaalisille kaksosille pitkällä aikavälillä. Valtavia, jatkuvasti kasvavia tietojoukkoja analysoidaan massadata-analytiikan avulla. Näin saadut oivallukset käytetään sitten reaaliaikaisten valvonta- ja ohjausmenetelmien optimoimiseen, mikä parantaa jatkuvasti teollisten CPS:ien suorituskykyä. Tämän järjestelmän perusteella teolliset CPS:t muodostavat perustan suurelle määrälle teollisuus 4.0:n käyttötapauksia, mukaan lukien ennakoiva kunnossapito, tilausten ja eräkokojen suunnittelu, energianhallinta, katastrofien ehkäisy ja laadunvalvonta, muiden muassa.

3.7 Pilvi, pilvilaskenta

Pilvipalvelut ovat internetin yli tarjottavia laitteistoja ja ohjelmistoja, joihin on pääsy eri puolilta maailmaa (Kyberturvallisuuskeskus, 2014, s. 5–6). Ne tarjoavat tallennustilaa, laskentatehoa, sovellusalustoja ja valmiita sovelluksia. Pilvipalvelut voidaan luokitella palvelumallien mukaan: infrastruktuuripalveluna (IaaS), sovellusalustapalveluna (PaaS) ja ohjelmistopalveluna (SaaS). Lisäksi pilvipalvelut voidaan luokitella käyttöönoton mukaan. Pilvipalvelut tarjoavat aina tarvittaessa saatavilla olevan palvelun, jota asiakas voi käyttää itsenäisesti. Ne ovat laajasti saatavilla internetin kautta eri laitteille. Resurssit on hajautettu eri paikkoihin ja ovat yhteiskäytössä, tarvittava kapasiteetti voidaan varata tai vapauttaa nopeasti ja joustavasti. Pilvilaskentajärjestelmät kontrolloivat ja mittaavat resurssien käyttöä

automaattisesti. Pilvipalvelut parantavat yhteistyötä ja tietojen saatavuutta sekä tarjoavat kustannustehokkuutta ja muita etuja. Niitä voivat hyödyntää sekä yksityishenkilöt että organisaatiot. Pilvipalvelut voidaan ottaa käyttöön eri käyttöönottomallien mukaan niiden ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten perusteella. Käyttöönottomalleihin kuuluvat yksityinen, julkinen, yhteisöllinen ja hybridipilvi.

- **Yksityinen pilvi:** Suunniteltu yhden organisaation käyttöön, tarjoaa paremman hallinnan ja turvallisuuden, mutta vaatii suuret kustannukset ja ammattitaitoisen IT-henkilökunnan (IBM, i.a.-a).
- **Julkinen pilvi:** Avoin kaikille, tarjoaa skaalautuvia ja edullisia palveluja, mutta tiedot ovat monien saatavilla (IBM, i.a.-b).
- **Yhteisöllinen pilvi:** Jaettu ennalta määrättyjen organisaatioiden kesken, hyödyntää suurtuotannon etuja ja minimoi kustannuksia (Spiceworks, i.a.).
- **Hybridipilvi:** Yhdistelmä eri malleista, sopii yrityksille, joilla on sekä arkaluonteista että julkista dataa, ja tarjoaa joustavuutta kapasiteetin hallinnassa (IBM, i.a.-c).

Pilvilaskennalla on monia määritelmiä, riippuen tarkastelijan näkökulmasta. Yhden näemyksen mukaan se määritellään laskentapalvelujen välittämiseksi internetissä mahdollisten ohjelmistojen ja laitteistojen käytön etäyhteyden avulla (BasuMallick, 2021). Pilvilaskenta tarjoaa suuren laskentatehon, jatkuvan käytettävyyden ja korkean suorituskyvyn, samalla vähentäen hallinnointikuluja. Sillä voidaan auttaa laitteiden rajallista kykyä käsitellä resursseja siirtämällä laskentatehtäviä pilveen. Pilvilaskennan hyötyjä ovat matala hinta, joustavuus, skaalautuvuus, hyvä tietoturva, helppo pääsy tietoon, nopea käyttöönotto, varmuuskopiointi ja automaattinen sovellusten integraatio. Pilvilaskenta mahdollistaa myös massadatan (Big data) hallinnan ja prosessoinnin.

Pilvipalvelujen haasteita ovat tietoturva ja hallinnointi (BasuMallick, 2021). Pilvipalveluiden hallinnointi vaatii tietoteknisiä resursseja (Tekniikan Ihme, 2024).

3.8 Lisäävä valmistus

Lisäävä valmistus (eng. additive manufacturing, AM) on prosessi, jossa materiaaleja yhdistetään kerros kerrokselta 3D-mallin geometrian perusteella osien ja esineiden valmistamiseksi (ISO, 2021, kohta 3.1.2). Tämä eroaa perinteisistä valmistusmenetelmistä, kuten vähentävästä ja muovaavasta valmistuksesta sekä valamisesta, joissa olemassa olevaa materiaaliahiota muokataan halutun tuotteen valmistamiseksi. Lisäävässä valmistuksessa käytettävä materiaali on jauhemaisessa muodossa, lankana, kalvona tai nesteenä.

AM tuo mukanaan merkittäviä etuja, kuten toimitusketjujen muutoksen ja kustannustehokkuuden koko tuotteen elinkaaren ajan (Bruun & Hokkanen, 2016, s. 5, 24). AM:n avulla voidaan valmistaa monimutkaisia rakenteita pienissä erissä ja optimoida tuotteet tapauskohtaisesti tarvittavien teknisten ominaisuuksien mukaan, joita voivat olla esimerkiksi lujuus- tai virtausominaisuudet, ilman perinteisten valmistusmenetelmien asettamia rajoituksia. Jos AM kasvaa, kuten on odotettu, tämä kasvu tukee teollisuus 4.0:n tavoitteita, kuten joustavuutta, tehokkuutta ja räätälöityjen ratkaisujen tarjoamista.

AM-teknologioilla on mahdollista valmistaa tuotteita erilaisista materiaaleista. Näitä ovat ainakin suurin osa metalleista, keraamit, polymeerit ja jopa suklaa (Bourrell ym., 2017, s. 660, 665). Teknologioilla voidaan valmistaa myös komposiittirakenteita metalleista ja ei metalleista.

AM-teknologian (additiivinen valmistus) hyvä integrointi tuotantotekniikkaan ei riipu pelkästään sen eduista ja rajoituksista (Karevska ym., 2019, s. 42). Tehokkaampi käyttö edellyttää yrityksiltä kykyä soveltaa AM-suunnittelun etuja tuotesuunnitteluun, tunnistaa teknologisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoiset käyttötapaukset sekä käyttää ja ylläpitää 3D-tulostuslaitteita.

Tietämättömyys AM-suunnittelusta oli merkittävä este puolella Ernst & Young Global Limitedin (Karevska ym., 2019, s. 42) tekemään kyselyyn vastanneista yrityksistä, ja lähes puolelle tuotantoprosessien rajallinen ymmärrys on lisähaaste. Teknologian hyötyjen ymmärtäminen sekä tuotesuunnitteluun ja valmiisiin tuotteisiin siirtäminen vaatii asiantuntemusta. AM:n tehokkaan integroinnin varmistaminen vaatii siten suunnittelijoiden kouluttamista. Yritysten kysynnän ja asiantuntijoiden uudelleen koulutuksen välillä on edelleen

kuilu. Kansainvälisesti jotkut yliopistot ja instituutit ovat ottaneet AM:n osaksi opetussuunnitelmaansa, mutta ne olivat vielä 2019 vähemmistössä. Lisäksi AM:n integroiminen yliopistojen opetussuunnitelmaan on vasta ensimmäinen askel. Seuraavan sukupolven tulisi oppia teknologiasta jo peruskoulussa, jotta heistä kasvaisi AM-natiiveja.

40 % yrityksistä piti myös toteuttamiskelpoisten AM-käyttötapausten tunnistamista merkittävänä haasteena (Karevska ym., 2019, s. 42). Koska monilla näistä organisaatioista ei ole kokemusta AM:stä tai ne ovat vasta kokeilemassa teknologiaa, oikeiden käyttötapausten löytäminen ja hyötyjen kvantifiointi on olennaista sen käyttöönotolle. Teknologioiden hyötyjen nopeaksi saavuttamiseksi tämän tulisi olla rakenteellinen ja automatisoitu prosessi, eikä aikaa vievä manuaalinen tehtävä.

3.9 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus (eng. augmented reality, AR) on teknologia, joka mahdollistaa digitaalisten elementtien lisäämisen reaali maailman ympäristöön (Interaction Design Foundation, i.a.). AR-kokemuksessa nähdään yhdistetty näkymä fyysisistä ja digitaalisista elementeistä. AR on käytössä monilla aloilla, kuten peliteollisuudessa, koulutuksessa, terveydenhuollossa ja valmistuksessa.

Tutkijat Paul Milgram ja Fumio Kishino esittelivät todellisuus-virtuaalisuus-jatkumon käsitteen vuonna 1994 (Interaction Design Foundation, i.a.). Siinä oli muodostettu jana, jonka vasempaan päähän sijoittui fyysinen maailma. Oikeassa päässä puolestaan sijaitti täysin virtuaalinen, digitaalisesti luotu maailma (eng. virtual reality, VR). Nämä kaksi maailmaa voidaan yhdistää, jolloin saadaan todellisuus, johon on lisätty digitaalisia elementtejä (lisätty todellisuus) tai virtuaalisuus, johon on lisätty todellisen maailman elementtejä (lisätty virtuaalisuus).

Todellisuutta, jossa on mukana virtuaalisia elementtejä, kutsutaan laajennetuksi todellisuudeksi (eng. extended reality, ER) (Interaction Design Foundation, i.a.). Sen ääripäitä ovat aiemmin mainitut lisätty todellisuus AR ja virtuaalinen todellisuus VR. Virtuaalisessa todellisuudessa pyritään kokemukseen, jossa henkilö on täysin osana virtuaalista maailmaa ilman yhteyttä fyysiseen maailmaan. Lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden välissä

on sekoitettu todellisuus (eng. mixed reality MR), jossa fyysiset ja virtuaaliset elementit voivat olla vuorovaikutuksessa keskenään.

AR:n käyttöliittymä on usein toteutettu suoja- tai silmälaseja ulkoisesti muistuttavalla laitteella (Salonen ym., 2009, s. 13–14). Toinen mahdollisuus on käyttää mobiililaitetta (puhelinta tai tablettia). Tällainen ratkaisu on Pokemon Go -pelissä. Nykyteknologia mahdollistaa myös kuvioden heijastamisen pinnoille. Esimerkiksi AccuVein käyttää AR-teknologiaa ja laserpohjaista skanneria muuntaakseen potilaan laskimoiden lämpöjäljen iholle projisoiduksi kuvaksi, mikä helpottaa laskimoiden löytämistä (Interaction Design Foundation, i.a.).

Tuotantoteollisuus on siirtynyt palvelukeskeiseen logiikkaan, mikä on lisännyt tuotevariaatioiden määrää ja räätälöityjä tuotteita (Siltanen, 2015, s. 61). Tämä on puolestaan lisännyt kokoonpanotehtävien monimutkaisuutta ja komponenttien määrää. Jotta hinta ja laatu säilyisivät, tarvitaan innovatiivisia lähestymistapoja ja teknologioita. Kokoonpanoprosessin tehostaminen vähentää kokoonpanokustannuksia ja nopeuttaa tuotteen markkinoille pääsyä. Lisätty todellisuus (AR) voi yhdistää ihmisen älykkyyden ja taidot tietokoneen muistikapasiteettiin tehden kokoonpanosta tehokkaampaa ja vähemmän virheeltistä. Paitsi valmistusyritysten, myös huolto- ja korjausyritysten kilpailukykyä on mahdollista lisätä AR-teknologioiden avulla.

Sääsken ym. (2008, s. 10) mukaan väärin työkalujen käyttö ja osien virheellinen aseointi vähenivät AR:ää käytettäessä huomattavasti ja asennusnopeudessaakin saatiin selvä parannus traktorin hydraulilohkojen kokoonpanossa. Heidän mielestään tuotesuunnittelun ja kokoonpanon yhdistäminen loisi merkittävää lisäarvoa tuotantoon. Kokoonpanovaatimukset voitaisiin huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Konepajalla on paljon muitakin tehtäviä kuin kokoonpano, kuten esimerkiksi koneistus. AR-teknologiaa voitaisiin mahdollisesti käyttää hyödyksi laajasti valmistavassa metalliteollisuudessa.

AR-teknologia mahdollistaa sellaisten asioiden tutkimisen ja testaamisen, joihin muut virtuaalitekniikat eivät pysty kohtuullisin kustannuksin (Salonen ym., 2009, s. 15). Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi kokoonpanon ja kokoonpanopaikan yhteensovittamisessa. Kokoonpanomallin avulla voidaan tarkastella tuotetta todellisessa ympäristössä ja varmistaa yksittäisten osien asentaminen suoraan työpisteellä.

Opiskelijat pitivät VTT:n työryhmän mukaan digitaalisen maailman liittymisen fyysiseen maailmaan kiehtovana (Salonen ym., 2009, s. 26). Työtehtävien koettiin helpottuvan. Teknologian tullessa tutummaksi sen kiehtovuus todennäköisesti vähenee, koska digitaalisiin elementteihin totutaan. Toisaalta tuottavuus pysyy hyvänä, koska teknologia toimii erinomaisesti työkaluna, vaikka sen uutuudenviehätys on vähentynyt.

3.10 Digitaalinen kaksonen

Nasan Apollo-ohjelmassa käytettiin kaksoskonseptia rakentamalla vähintään kaksi identtistä avaruusalusta: yksi avaruuteen (avaruuskaksonen) ja toinen maahan (maapallokaksonen) (Enders, 2022, s. 26). Tehtävän aikana avaruuskaksonen lentotietoja käytettiin maapallokaksonen avulla vaihtoehtoisten toimintatapojen simuloimiseen, jotta astronautteja voitiin tukea kriittisissä tilanteissa.

Endersin (2022, s. 25) mukaan ”kirjallisuudessa on esitetty erilaisia ehdotuksia siitä, miten digitaalisia kaksosia voidaan luonnehtia”. Esimerkiksi Trauer ym. (2020, s. 761) tunnistivat kirjallisuuskatsauksen ja tapaustutkimuksen perusteella kolme keskeistä digitaalisten kaksosten (eng. digital twins, DT) ominaisuutta. Digitaaliset kaksokset ovat todellisten objektien, esineiden tai järjestelmien digitaalisia esityksiä. Dataa vaihdetaan digitaalisten ja fyysisten kaksosten välillä automaattisesti ja kaksisuuntaisesti. Digitaaliset kaksokset seuraavat fyysisiä vastineitaan koko niiden elinkaaren ajan keräten tietoja kaikista tuotteen elinkaaren vaiheista ja ollen yhteydessä niihin.

Nasan teknologiastrategian mukaan ”digitaalinen kaksonen on integroitu monifysiikka- ja monitasosimulaatio ajoneuvosta tai järjestelmästä” (Shafto ym., 2010, s. 18). Digitaalinen kaksonen voi olla erittäin realistinen. Fyysinen mallinnus suoritetaan tarkasti valmistuspoikkeamat huomioiden. Digitaalinen kaksonen ennustaa jatkuvasti ajoneuvon tai järjestelmän kuntoa, jäljellä olevaa käyttöikää ja tehtävän onnistumisen todennäköisyyttä hyödyntämällä anturitietoja sekä huolto- ja historiatietoja datan ja tekstin louhinnan avulla. Digitaalisen kaksosen järjestelmät voivat myös lieventää vaurioita tai heikentymistä suosittamalla muutoksia tehtäväprofiiliin, mikä lisää sekä elinikää että tehtävän onnistumisen todennäköisyyttä. Digitaalisella kaksosella voidaan myös simuloida fyysisen kaksosensa tehtäviä etukäteen, ja se voi toimia alustana, jossa voidaan tutkia tehtäväparametrien

muutosten vaikutuksia, joita ei ole otettu huomioon fyysisen kaksosen suunnitteluvaiheessa. Digitaalisen kaksosen algoritmit ovat modulaarisia, joten yksittäisten järjestelmien tai alijärjestelmien parhaat fysiikan mallit voidaan päivittää ajoneuvon elinkaaren aikana.

Autoteollisuus on kehittynyt merkittävästi, ja nykyään autot on varustettu automatisoiduilla ohjausjärjestelmillä, kuten kaistavahtijärjestelmillä ja läheisyysantureilla (Madubuike ym., 2022, s. 157). Tesla on esimerkki automerkistä, joka hyödyntää digitaalisen kaksosen (DT) lähestymistapaa, käyttäen teknologioita kuten IoT, AI ja ML (machine learning) autojensa suunnittelussa ja mallintamisessa. DT on tärkeä tekijä autonomisten ajoneuvojen menestyksessä. Tesla käyttää DT-lähestymistapaa erityisesti Model S -sarjan autojen suunnittelussa, jotka on varustettu mobiilisovelluksilla auton ominaisuuksien valvontaan ja ohjaukseen. Tesla-autot ovat yhteydessä etäkeskukseen, joka kerää tietoja turvallisuusparametrien parantamiseksi ja uusien ominaisuuksien lisäämiseksi. Vuonna 2013 Tesla julkaisi päivityksiä parantaakseen Model S -sarjan autojen asetuksia palovaurioiden jälkeen.

Maininnan ansaitsee kahden italialaissyntyisen tutkijan tekemä tapaustutkimus, jossa tavoitteena oli kehittää digitaalinen kaksonen työstökoneelle käyttäen objektorientoitunutta mallinnusta (Scaglioni & Ferretti 2018). Työssä keskityttiin koneistuksen dynamiikan ja erityisesti värähtelyiden mallintamiseen. Koneistuksessa työskentelyn keskeyttävä tapahtuma on usein työkalun tai kappaleen värinä. Työstön tehokkuuden kannalta tärkeä suuri aineenpoisto aiheuttaa helposti värinää. Toisaalta miehittämätön tuotanto vaatii luotettavan, värinättömän lastuamisprosessin. Värinöihin vaikuttavat oleellisesti koneen rakenteiden jäykkyys, välykset, voimansiirto ja numeerisen ohjauksen parametrit. Työstötilanteesta, kuten esimerkiksi t-uran jyrinnästä, voidaan saada värinätöntä ainoastaan parametrejä muuttamalla. Tutkimuksessa kuvattiin FEM-pohjainen rakenteellisen joustavuuden kuvaus, työstöprosessin malli sekä voimansiirtoketjujen ja ohjausjärjestelmien malli. Malli validoitiin kokeellisesti liikedynamiikan osalta. Keskeisiin komponentteihin kuuluivat kinematiikkaketjujen ja akselien ohjausjärjestelmän malli, rakenteen malli ja kitkan tunnistus sekä leikkausvoimien mallinnus. Tulokset osoittivat, että malli vastasi hyvin todellisten koneen käyttäytymistä erityisesti dynaamisen käyttäytymisen osalta.

Valmistusteollisuus on ottanut tuotantoprosesseissaan käyttöön älykkäitä teknologioita, kuten IoT, big data, pilvipalvelut ja tekoäly (Madubuike ym., 2022, s. 160–161). Vuoteen

2020 mennessä ennustettiin, että yli 20 miljardia laitetta olisi yhteydessä internetiin, mikä johtaisi yli 40 zettatavun datan syntymiseen. Digitaalinen kaksonen (DT) edistää älykästä valmistusta hallitsemalla dataa ja tarjoamalla reaaliaikaista tietoa, mikä tekee valmistuksesta virtaviivaisempaa ja kilpailukykyisempää. DT:n myötä valmistuksen kybermaailman laajuus, aste, toiminnot ja integrointi fyysiseen maailmaan ovat vahvistuneet.

Madubuiken ym. (2022, s. 160–161) mukaan DT:n sovelluksia valmistusteollisuudessa ovat muun muassa tuotantolattian tehokkuuden parantaminen, tehtävien ja energiankulutuksen optimointi sekä tuotteen kokoonpanon ja geometrian varmistaminen. DT:tä käytetään myös suunnitteluvaiheessa poikkeuksellisten tuotteiden suunnitteluun ja toleranssien parantamiseen sekä tuotantovaiheessa tuotteiden valvontaan ja hallintaan syöttämällä virtuaalimalliin geometriatietoja.

Tuotesuunnitteluvaiheessa digitaalinen kaksonen (DT) tarjoaa alustan kehittää optimoituja ja personoituja suunnitelmia, jotka vastaavat suunnittelijoiden ja kuluttajien määrittelemiä ominaisuuksia ennen tuotantovaihetta (Madubuike ym., 2022, s.161). Se voi säästää aikaa ja kustannuksia tunnistamalla virheet, vahvistamalla ja ennustamalla tuotteen toimintoja, käyttäytymistä, rakenteita ja valmistettavuutta virtuaalisessa maailmassa ennen tuotantoa.

Älytehtaassa hyväksyty tuotesuunnitelma syötetään virtuaaliseen työpajaan tai tehtaan, jossa DT hallitsee ja optimoi valmistusprosessin raaka-aineista lopputuotteeksi (Madubuike ym., 2022, s.161–162). Virtuaalinen työpaja sisältää operaattoreiden, materiaalien, ympäristön, laitteiden ja työkalujen geometriset ja fyysiset mallit sekä käyttäytymismallit, säännöt ja dynaamiset mallit. DT mahdollistaa valmistusprosessien ja suunnitelmien arvioinnin ja simuloinnin, kunnes elinkelpoinen ja tyydyttävä valmistusprosessi on vahvistettu.

DT tarjoaa myös alustan fyysisen artefaktin virtuaaliseen valvontaan ja hallintaan. DT:n käyttöönotto tuotesuunnittelu- ja valmistusvaiheessa mahdollistaa tuotteen tehokkaan valvonnan käytön aikana ja varmistaa lisäarvopalvelut, kuten reaaliaikaisen valvonnan ja tuotetiedon päivittämisen (Madubuike ym., 2022, s.162). Tämä auttaa ennustamaan tuotteen jäljellä olevan käyttöiän ja viat sekä tarjoamaan palveluja.

DT toimii älykkään kunnossapidon mahdollistajana odottamattomien vikojen aiheuttamien seisokkien välttämiseksi (Madubuike ym., 2022, s.162). Ennakoiva kunnossapito toteutetaan valvomalla tuotteen kuntoa ja käyttömäärää reaaliajassa. Vian sattuessa DT:n avulla luodut virtuaalimallit voivat diagnosoida ja analysoida vikoja ja ilmoittaa niistä käyttäjille ja huoltohenkilöstölle.

Puolassa tehtiin vuonna 2020 teollisuus- ja tukisektorin yrityksissä kyselytutkimus, jonka tarkoituksena oli arvioida digitaalisten kaksosten hyödyllisyyttä tulevaisuudessa (Gulewicz, 2022, s. 70). Osanottajista 88 prosenttia oli korkeakoulutettuja, ja joukossa oli eri asemissa olevia työntekijöitä. 80 prosenttia kyselyyn osallistujista oli sitä mieltä, että digitaaliset kaksoset tulevat olemaan laajasti käytössä vuoteen 2030 mennessä. Tämä näkemys ei tule luultavasti käymään toteen, koska puolet vastaajista kuuli digitaalisesta kaksosesta ensimmäistä kertaa ja heidän asiantuntemuksensa oli siten oletettavasti riittämätöntä asian arviointiin. On kuitenkin selvää, että mielenkiinto teknologiaa kohtaan tässä pienehkössä 50 henkilön joukossa oli vahva. Jos teknologian käyttöönottoon keksitään riittävän kustannustehokkaita keinoja, se tulee yleistymään jollakin aikajänteellä myös Suomessa.

3.11 Vaaka- ja pystysuuntainen järjestelmien integraatio

Horisontaalinen ja vertikaalinen integraatio voivat tarkoittaa kontekstin mukaan erilaisia asioita (Schuldenfrei, 2019). Horisontaalisesti integroitunut yritys keskittää toimintansa ydinosamisensa ympärille ja luo kumppanuuksia rakentaakseen päästä päähän -arvoketjun. Chisel Labs (2021) selittää, että päästä päähän -tuotehallinta kattaa myös tuotteen kehittämisen. Michael Porter esitteli arvoketju-käsitteen vuonna 1985 (Porter, 1985, s. 3). Kirjassa arvoketju tarkoittaa samaa kuin Jenkinsin (2023) esittelemä toimitusketju (engl. end-to-end, E2E), joka integroi yrityksen toimitusketjun toiminnot yhdeksi jatkuvaksi työnkuluksi. Toimitusketju alkaa materiaalihankinnoista ja päättyy myynnin jälkitoimiin. Perinteinen toimitusketju on sarja toisiinsa löyhästi integroituneita toimenpiteitä.

Vertikaalisesti integroitunut yritys puolestaan pitää mahdollisimman suuren osan arvoketjustaan talon sisällä (Schuldenfrei 2019). Kaikki tuotekehityksestä valmistukseen, markkinointiin, myyntiin ja jakeluun tehdään yrityksen sisällä.

Liiketoiminnan kasvustrategiassa horisontaalinen integraatio tarkoittaa samaa asiakaskuntaa palvelevien yritysten ostamista, joilla on toisiaan täydentäviä tuotteita tai palveluita (Schuldenfrei, 2019). Tällä tavoin hankkiva yritys voi lisätä markkinaosuuttaan ja monipuolistaa tuotevalikoimaansa. Vertikaalinen kasvustrategia puolestaan sisältää sellaisten yritysten ostamisen, jotka voivat olla omia alihankkijoita tai tavarantoimittajia. Tällä tavoin saadaan alennettua valmistuskustannuksia, turvattua tärkeiden tarvikkeiden saatavuus ja hyödynnettyä uudet markkinamahdollisuudet nopeammin.

Tuotannossa horisontaalinen integraatio viittaa tuotantotason prosessien hyvään integraatioon, kun taas vertikaalinen integraatio tarkoittaa tuotantotason tiiviistä liittämistä korkeamman tason liiketoimintaprosesseihin, kuten hankintaan ja laadunvalvontaan (Schuldenfrei, 2019).

Tarkasteltaessa horisontaalista ja vertikaalista integraatiota teollisuus 4.0:n kannalta, Schuldenfrein (2019) mukaan ne ovat teollisuus 4.0:n selkäranka. Horisontaalinen integraatio tarkoittaa erilaisten tietotekniikkajärjestelmien integrointia tuotantoon ja automatisoituun laitteistoon tuotannon ja suunnitteluprosessin eri vaiheissa (Chukalov, 2017, s. 155). Horisontaalinen integraation näkökulmasta teollisuus 4.0 visioi kyberfyysisten ja yritysjärjestelmien yhdistettyjä verkkoja, jotka tuovat perinteisillä teknologioilla saavuttamattoman automaation, joustavuuden ja toiminnan tehokkuuden tuotantoprosesseihin. Tämä tapahtuu useilla tasoilla (Schuldenfrei, 2019):

- Tuotantokerroksessa: Koneet ja tuotantoyksiköt viestivät jatkuvasti suorituskyvystään ja vastaavat itsenäisesti tuotantovaatimuksiin. Älykkäät tuotantolattiat kykenevät tekemään yksittäisiä tuotantoeriä ja vähentämään seisakkeja ennakoivan kunnossapidon avulla.
- Useissa tuotantolaitoksissa: Hajautettujen tuotantolaitosten tiedot jaetaan saumattomasti koko yrityksen kesken integroitujen tuotannonohjausjärjestelmien (MES) välillä. Tuotanto-tehtäviä voidaan siirtää eri toimitilojen välillä esimerkiksi varastotilanteen ja häiriöiden niin vaatiessa. Verkkoteknologioiden ja valmistusjärjestelmien integroinnin kautta on luotava tiedon ja datan vaihto yritysten ja maantieteellisesti etäisten paikkojen välillä arvoketjun läpi (Chukalov, 2017, s. 155). Horisontaalisen integraation voidaan siten tulkita olevan ideaalitulanteessa täysin maantieteestä ja omistussuhteista riippumatonta.

- Koko toimitusketjussa: Tietojen läpinäkyvyys ja automatisoitu yhteistyö koko toimitusketjun alkupäässä ja loppupäässä (Schuldenfrei, 2019). Kolmannen osapuolen toimittajat ja palveluntarjoajat on liitettävä turvallisesti mutta tiiviisti horisontaalisesti yrityksen tuotannon ja logistiikan ohjausjärjestelmiin.

Tuotteiden ja palveluiden tuotannon tehostamiseksi organisaatioiden tulisi integroitua horisontaalisesti (Sony ym., 2020, luku 4.3). Organisaatiot hyötyvät yhteistyöstä, joustavasta tiedon, materiaalien ja jopa rahoituksen jakamisesta. Näin voi syntyä uusia arvoketjuja ja liiketoimintamalleja. Sonyn ym. mukaan ”Tuotekeskeisessä arvonluontiprosessissa on mukana useita toimintoja, kuten asiakastarpeet, tuotesuunnittelu ja -kehitys, tuotannonsuunnittelu, tuotantotekniikka, tuotanto, palvelut, kunnossapito ja kierrätys. Kaikkien tuotekeskeisten arvonluontitoimintojen integrointi on päästä päähän -integraatiota.”

Schuldenfrein (2019) mukaan teollisuus 4.0:n vertikaalinen integraatio pyrkii yhdistämään kaikki organisaation loogiset kerrokset kenttäkerroksesta (eli tuotantokerroksesta) tuotekehitykseen, laadunvarmistukseen, tuotehallintaan, IT:hen, myyntiin ja markkinointiin ja niin edelleen. Data kulkee vapaasti ja läpinäkyvästi ylös ja alas näitä kerroksia, jotta sekä strategiset että taktiset päätökset voivat olla datavetoisia. Vertikaalisesti integroitunut teollisuus 4.0-yritys saa ratkaisevan kilpailuedun pystymällä reagoimaan asianmukaisesti ja ketterästi muuttuviin markkinasignaaleihin ja uusiin mahdollisuuksiin. Tällaisesta toiminnasta kerrottakoon esimerkkinä aiemmin tässä opinnäytetyössä mainittu kiinalainen Shein, joka valmistaa pieniä pilottierä tunnistellakseen markkinoiden reaktiota ja mukauttaa tuotantoaan suoraan verkkokaupan menekin mukaan.

Horisontaalisen ja verikaalisen integraation tavoitteet ovat selviä, mutta toteuttamiseen liittyy haasteita (Schuldenfrei, 2019). Kerättävää tietoa on paljon ja se pyrkii siiloutumaan, jolloin oikean tiedon löytyminen on hankalaa. Tilannetta voidaan havainnollistaa muuton jälkeisellä tilanteella, joka on tuttu useimmille ihmisille. Tavarat ovat vielä pahvilaatikoissa, mutta kahvia tekisi mieli. Kahvinkeitin ja kahvikuppien löytäminen saattaa olla yllättävän hankalaa, etenkin jos ne eivät ole samassa laatikossa. IT-järjestelmät vaativat suuria muutoksia, kun integraatiota lähdetään toteuttamaan. Eri IT-järjestelmien orkesterointi on myös järjestettävä erillisellä alustalla.

ISA-95/ IEC 62264 on kansainvälinen standardisarja, joka kertoo, kuinka yritykset voivat integroida logistiikkajärjestelmät valmistuksen ohjausjärjestelmiin (The International Society of Automation (ISA), i.a.). Siinä teknologia ja liiketoimintaprosessit on järjestetty kerroksiksi, jotka määrittävät tapahtuvien toimintojen perusteella. Standardin avulla voidaan luoda rajapinta kerrosten väliseen viestintään.

ISA-95-standardikehitys on laajalti hyväksytty nykyaikaisessa valmistuksessa (ISA, i.a.). Se perustuu tunnettuun Purdue-viitemalliin tietokoneintegroidusta valmistuksesta kuvaamaan verkon segmentointia teollisuuden ohjausjärjestelmissä. ISA-95 luo arkkitehtuurin Purdue-mallin pohjalta, jota yritykset voivat soveltaa riippumatta käytetystä teknologiasta.

”ISA-95 jakaa teollisuusyrityksen toiminnot viiteen tasoon” (Harju, i.a.):

- Taso 4: Liiketoimintaan liittyvät toiminnot, joita tarvitaan valmistustoiminnan hallintaan, kuten yritysresurssien hallintajärjestelmät (ERP).
- Taso 3: Työnkulun toiminnot haluttujen lopputuotteiden tuottamiseksi, kuten valmistuksenohjausjärjestelmät (MES).
- Taso 2: Fyysisten prosessien valvontaan ja ohjaukseen liittyvät toiminnot, kuten ohjausjärjestelmät (esim. PLC:t ja DCS:t, Distributed Control System).
- Taso 1: Fyysisten prosessien havaitsemiseen ja manipulointiin liittyvät toiminnot, kuten älykkäät laitteet ja anturit.
- Taso 0: Fyysiset prosessit.

ISA 95 -standardin noudattaminen on tärkeää, koska se tukee teollisuus 4.0:aa ja mahdollistaa esineiden internetin (IoT), pilvipalvelujen ja data-analytiikan integroinnin valmistusautomaatioprosesseihin (JHFoster, i.a.). Se varmistaa, että laitos on valmis teollisuus 4.0:aan ja mahdollistaa tiedonvaihdon liiketoimintojen, kuten myynnin ja logistiikan, sekä valmistustoimintojen, kuten tuotannon, laadunvalvonnan ja kunnossapidon, välillä. Tämä integrointi parantaa valmistusautomaation tehokkuutta, mikä auttaa yritystä tuottamaan korkealaatuisia tuotteita nopeasti ja kustannustehokkaasti.

Valmistuksenohjausjärjestelmä MES:in (Manufacturing Execution System) pohjalta on kehitetty enemmän toimintoja sisältäviä MOM-järjestelmiä, jotka sisältävät useita helposti integroituvia ohjelmia (Ben-Assa, 2023). Käsite MOM on alun perin ISA-95 tasoa kolme kuvaava termi (Pinja i.a.). Teknologia on kehittynyt ja MOM-järjestelmät tukevat esimerkiksi digitaalisia kaksosia (Siemens i.a.-a), logistiikkaa, laatua, työvoiman seurantaa, kunnossapitoa, koneiden integrointia ja toimitusketjua (Bradford i.a.). Näitä ominaisuuksia voidaan hallita globaalien moniyritysten tasolla (Bradford i.a.). Eri Valmistajien MOM-järjestelmiä ovat esimerkiksi Siemens Opcenter (Siemens i.a.-a), Dassault Systemes Delmia (Bradford), ABB (ABB i.a.).

International Electrotechnical Commission (IEC) (2015, s. 17) on visioinut tulevaisuuden tehdasta ja sen avointa arvoketjua. Siinä integraatio on viety äärimmilleen ja arvoketju on modulaarinen. Asiakkaat pystyvät tilaamaan markkinoilta valmistusta edulliseen hintaan järjestelmän joustavuuden takia. Joustavuus johtuu sekä valmistuksen että logistiikan korkeasta automaatioasteesta. IEC toteaa, että ”valmistusprosessit, tuotantoreitit ja resurssien hallinta eivät enää vaadi ihmisten käsittelyä, sillä koneet ja IT-järjestelmät itse määrittävät parhaan etenemistavan: arvoketju hallitsee itseään”. Markkinoille on helppo tulla, koska pääomaa ei tarvita paljon ja valmistustekniikan omaa osaamista ei tarvita. Tehokas arvoketju jakaa investoinnit laajalle asiakaskunnalle. Visio on hyvin futuristinen, mutta sen uskottavuutta lisää julkaisun laatijoiden lista, jossa on mukana edustus eturivin yrityksistä, jotka ovat muun muassa SAP, Hitachi, Mitsubishi, Huawei, Schneider, Siemens ja Fraunhofer.

Suuret automaatio ja ohjelmistoyhtiöt ovat lähteneet vahvasti tukemaan teollisuus 4.0:aa (Imarc Group i.a.). Niiden ohjelmistot tukevat teollisuus 4.0:n teknologioita. Vaikka ohjelmistoissa on varmasti puutteita, on erittäin todennäköistä, että ne kehittyvät jatkuvasti toimivammiksi. On myös todennäköistä, että ohjelmistojättien valmiudet palvella eri toimialoja paranevat. Pienillä ja keskisuurilla yrityksillä on vähemmän resursseja käytettävissä tietojärjestelmiin. Tämä koskee sekä tuotantolaitoksia että niille laitteita valmistavia yrityksiä. Euroopan unionin pk-yritysten liikevaihto oli vuonna 2022 18,8 biljoonaa euroa, mikä vastaa 49 % koko liikevaihdosta (Eurostat, 2024). Tämä huomattava summa houkuttelee todennäköisesti ohjelmistoyrityksiä kehittämään kustannustehokkaita ratkaisuja pk-

yriyksille. Ohjelmistojen tulisi olla helppokäyttöisiä, hyödyllisiä sekä edullisia hankkia ja ylläpitää, jotta pk-yritykset investoisivat niihin.

On mahdollista, että asiakasyritykset tai laatu järjestelmät tulevat tulevaisuudessa vaatimaan pienempienkin teollisuusyritysten integroitumista ja tuotannon läpinäkyvyyttä. Pk-yritykset työllistävät merkittävän osan suomalaisista levysepistä, hitsaajista, koneistajista ja koneasentajista. On ilmeistä, että järjestelmien horisontaalinen ja vertikaalinen integroituminen tulevat näkymään heidän työssään viimeistään 10–15 vuoden sisällä.

3.12 Simulaatio

Cambridgen englannin kielen sanakirjan (i.a.) mukaan simulaatio tarkoittaa mallia ongelmista tai tapahtumista, joita voidaan käyttää opettamaan jotakuta tekemään jotain tai ongelmien ratkaisemiseen. Simulaatioita käytetään laajasti eri aloilla, kuten astronauttien koulutuksessa avaruuslentojen simulaatioiden avulla tai suunnitteluvaihtoehtojen arvioinnissa simulaation kautta. Ne auttavat ihmisiä käsittelemään todellisia tilanteita tarjoamalla realistisen, mutta hallitun ympäristön.

Tietokonesimulaatio on erityisen hyödyllinen, koska sen käyttösovellutukset ovat laajat aina mekaniikasta ja lääketieteestä talousanalyysiin asti (Gunal, 2019, s. 3–4). Ohjelmistoperustaiset simulaatiotyökalut mahdollistavat erilaisten prosessien mallintamisen ja optimoinnin, mikä auttaa tekemään nopeita ja luotettavia päätöksiä tuotannon suunnittelun alkuvaiheissa (Sturrock, 2019, s. 45–46).

Teollisuus 4.0:n yhteydessä tietokonesimulaatio on keskeinen teknologia. (Gunal, 2019, s. 3) selittää, että simulaatio tulee latinan sanasta simulāre, joka on verbin simulō infinitiivi-muoto ja tarkoittaa teen kuin tai käyttäydyn ikään kuin. Ennen tietokoneiden aikakautta komentajat simuloivat sotataktiikoitaan ja -strategioitaan käyttämällä fyysisiä esineitä, kuten taistelukentän varusteita, ja sijoittamalla ne karttoihin. Tietokoneiden myötä tällaiset fyysiset simulaatiot ovat vähentyneet, mutta niitä käytetään edelleen muilla aloilla, kuten lääketieteellisessä koulutuksessa.

Gunalin (2019, s. 4) mukaan simulaatioilla on merkittävä rooli neljännessä teollisessa valankumouksessa, erityisesti teollisuus 4.0:n tukemisessa ja valmistusteknologioiden kehittämisessä. Simulaatio liittyy suoraan kyberfyysisiin järjestelmiin (CPS), digitaalisiin kaksoisiin, vertikaaliseen ja horisontaaliseen järjestelmäintegraatioon, lisättyyn ja virtuaalitodellisuuteen (AR/VR), pilvipalveluihin, big data -analytiikkaan, esineiden internetiin (IoT) ja lisäainevalmistukseen. Simulaatio on teollisuus 4.0:n ytimessä.

Teollisuus 4.0:n tavoitteena on yhdistää fyysiset ja digitaaliset järjestelmät saumattomasti, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonkeruun ja analysoinnin (Sturrock, 2019, s. 194–196). Tämä parantaa tuotantoprosessien tehokkuutta ja joustavuutta, mikä puolestaan lisää yritysten kilpailukykyä. Simulaatiot tarjoavat turvallisen ja kustannustehokkaan tavan testata uusia innovaatioita ja optimoida olemassa olevia prosesseja ennen niiden käyttöönottoa todellisessa ympäristössä.

Alastin ym. (2019, s. 112) mukaan järjestelmäsuunnittelun ja robottiohjelmoinnin simuloituvien työkalujen yhdistäminen virtuaalitodellisuuteen perustuvalla simulointimallilla tarjoaa tehokkaan ratkaisun valmistusjärjestelmän simulointiin. Teollisuus 4.0:ssa robotit ja laitteet ovat verkottuneita, mikä mahdollistaa tehokkaamman toiminnan. Älykkäät upotetut anturit roboteissa ovat vuorovaikutuksessa fyysisen ympäristön kanssa havaitakseen ja ennustakseen vaaroja, kuten törmäyksiä, ikääntymisestä johtuvia vikoja sekä tarkkuuden ja täsmällisyyden heikkenemistä. Antureiden keräämät tiedot jaetaan älykkääseen työympäristöön, jotta työkuorma ja ajoitus voidaan sovittaa kaikkien koneiden ja järjestelmäelementtien

VR parantaa valmistusjärjestelmän suunnittelua tarjoamalla visuaalisen ympäristön, joka auttaa valvomaan suunnittelun tehokkuutta (Alasti ym., 2019, s. 115). VR-työkalujen integrointi reaaliaikaisiin simulaatioihin on tehokasta ja auttaa robottien ohjauksessa. Joustava materiaalinkäsittely virtuaalisten työkalujen avulla mahdollistaa robottien opettamisen. Tämä tapahtuu manipuloimalla virtuaalisia tarttuvia instrumentoidun käsineen avulla. Lisäksi prosessivoimien tuntemuksen ja aksiaalisten arvojen avulla työkalun taipuma ja koneen staattinen joustavuus voidaan laskea käyttämällä monirunkosimulointia.

Kun valmistus- ja rakennuslaitteet, kuten robottikäsivarret ja kuljetushihnat, yhdistetään VR-ohjelmistoon, joka on yhteydessä oikeaan tuotantolaitokseen, voidaan vähentää työtäpaturmia ja niihin liittyviä kustannuksia sekä parantaa tuottavuutta ja nopeutta (Alasti ym., 2019, s. 118, 126). Jos valmistusjärjestelmässä on viestintäteknologiaa, anturivarustetut robotit voivat välittää tietoa oikeaan aikaan ja havaita tarvittavan huollon. Esimerkiksi anturit voivat ennakoita robottivarsien kulumista ja vikoja. Malliin voidaan lisätä älykkäitä tekniikoita, kuten neuroverkkoja ja geneettisiä algoritmeja, parantamaan ja nopeuttamaan optimointia.

Addurin (2019, s. 138) mukaan reaaliaikaisten ohjeiden lähettäminen roboteille on mahdollista simuloinnin avulla. Mallintaja voi lähettää HTTP-pyynnön mikro-ohjaimella varustetulle robotille, joka vastaa tehtävän suorittamisen jälkeen. Keskitetty simulointi mahdollistaa robottien vuorovaikutuksen tarkan hallinnan ja putkilinjan helpon muokkauksen. Esimerkiksi lääketieteessä robotti voi kuljettaa putkilinjan ensimmäisen vaiheen tuotoksen toiseen vaiheeseen tietyssä ajassa. Jos aika ylittyy, tuotos voi muuttua kelvottomaksi, ja robotti voi hävittää sen ja palata alkuperäiseen sijaintiinsa, ilmoittaen samalla simuloinnille onnistumisesta tai epäonnistumisesta.

Simulointi voi myös optimoida eri parametreja reaaliajassa robottien lähettämien vastausten perusteella (Adduri, 2019, s. 139). Jos putkilinja hidastuu, simulointi voi ilmoittaa vapaana oleville roboteille auttamaan viivästyneessä vaiheessa. IoT:n käyttöönotto voi kuitenkin lisätä vikatilanteita, kuten verkon katkokset, jotka voivat haitata tuotantoputkea. Ratkaisuna robotit voidaan ohjelmoida muistamaan aiemmat toimet ja toimimaan niiden mukaisesti verkon katkoksen aikana.

Vaikka näitä tekniikoita ei ole vielä otettu käyttöön useimmilla tuotantolinjoilla, IoT:hen liittyvien analyttisten lähestymistapojen tarkoituksenmukaisuus ja tehokkuus on heti havaittavissa (Adduri, 2019, s. 138–139). Tulevaisuudessa, kun integroidut laitteet ovat yleisempiä ja edullisempia, reaaliaikaisten simulaatioiden ajaminen tuotantoprosessien rinnalla voi olla hyödyllistä hidastumisten havaitsemiseksi. Diskreetti (useita samanaikaisia tapahtumia) tapahtumasimulointi mahdollistaa robottien ohjauksen uudella tavalla, ja reaaliaikainen data voidaan hyödyntää globaalisti. Simulointiohjelmiston ja internetin yhdistäminen tarjoaa rajattomia mahdollisuuksia, ja tulevaisuudessa kehitetään varmasti uusia ja

edistyneitä tekniikoita, jotka perustuvat näihin teknologioihin. Nämä tekniikat voivat täydentää perinteisiä diskreetin tapahtumasimuloinnin malleja ja auttaa mallintajaa tekemään keskeisiä suunnittelupäätöksiä.

Symbioottinen simulointijärjestelmä (S3) on erityinen kyberfyysinen järjestelmä, joka muodostuu fyysisestä järjestelmästä ja sitä edustavasta symbioottisesta simulointijärjestelmästä (Onggo, 2019, s. 156). S3 koostuu symbioottisesta simulointimallista (S2M, symbiotic simulation model) ja muista komponenteista, kuten tiedonkeruusta, optimoinnista ja koneoppimisesta. S2M:n suorittamista kutsutaan symbioottiseksi simuloinniksi.

Yksi symbioottisen simuloinnin erityispiirteistä on sen kyky reagoida dataan simuloinnin aikana ja ohjata fyysistä prosessia kerätyn datan perusteella (Onggo, 2019, s. 158). Data voi tulla eri määrissä, nopeuksissa, muodoissa ja luotettavuuksissa, joten tarvitaan analytiikkamenetelmiä, jotka määrittävät parhaan tavan käyttää erilaisia tietolähteitä S3:n päivittämiseen. Tyypillisesti S3:ssa käytetyt data-analytiikkamenetelmät kuuluvat aikasarjamalleihin tai datanlouhintamalleihin.

Teollisuus 4.0:ssa S3-järjestelmää voidaan käyttää kolmella johtamiskapasiteetin tasolla: ohjaus, optimointi ja autonomia (Onggo, 2019, s. 160, 163). IoT mahdollistaa fyysisen järjestelmän eri osien valvonnan ja tarjoaa tarvittavan datan ylemmille tasoille. Valvontadatan perusteella voidaan määrittää fyysisen järjestelmän standardikäyttäytyminen, jota käytetään järjestelmän ohjaamiseen. Optimointitaso käyttää valvontadataa ja käyttäytymisdataa löytääkseen optimaalisimman tavan toimia. Lopuksi koneoppimista voidaan käyttää autonomian luomiseen, missä järjestelmä oppii käyttäytymisestään ja aiemmasta suorituskyvystään.

Teollisuus 4.0:n keskeisiä piirteitä ovat IoT-laitteet, big data ja pilvipalvelut, jotka vaativat aikataulutussuunnittelun yhdistämään fyysisen ja digitaalisen maailman (Sturrock, 2019, s. 194). Simulointipohjainen aikataulutus erottuu parhaana ratkaisuna teollisuus 4.0-sovelluksissa. Seuraavassa on kolme keskeistä käyttökohdetta:

Aikataulutus ja optimointi: Simulointimallit voivat luoda lyhyen aikavälin aikatauluja ja jakaa ne takaisin alajärjestelmiin (Sturrock, 2019, s. 194). Tämä mahdollistaa tehokkaan tuotannonohjauksen ja vähentää prosessien välistä viivettä ja varastointitarvetta.

Työvoiman tehokkuuden parantaminen: Simulointimallien tuottamat yksityiskohtaiset tiedot mahdollistavat teknologioiden, kuten älylasien, käytön (Sturrock, 2019, s. 195). Älylasit tarjoavat työntekijöille ajantasaisia ja yksityiskohtaisia ohjeita, mikä parantaa työvoiman tehokkuutta ja ohjaa työntekijöitä seuraaviin tehtäviin.

Digitaalinen kaksonen: Simulointimallit voivat toimia digitaalisen kaksonen roolissa keräten suunnittelu- ja reaaliaikaista tietoa, luoden automaattisesti aikatauluja ja jakamalla tulokset takaisin alajärjestelmiin (Sturrock, 2019, s. 196). Tämä mahdollistaa älytehtaan kokonaisvaltaisen hallinnan ja optimoinnin.

Tuotetoimitus on alue, jossa simulointi voi auttaa arvioimaan koordinoitua ja suorituskyvyn arviointia (Cruz-Mejía ym., 2019, s. 93–94). Jakeluhetken hallinta on tärkeää paitsi asiakastyytyvyyden, myös koko logistiikkaketjun hallinnassa. Toimituspäivän arviointi on kriittistä, koska siihen liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Monimutkaisten tuotteiden konfiguraatiot, joissa on paljon yhdistelmiä, ovat hyötäneet big data -analytiikasta, joka pystyy lajittelemaan suuria määriä yhdistelmiä. Valmistusoperaatioiden ja suunnittelun integrointi tuotetoimituksen arvonlisäysoimintoihin oli vuonna 2019 kehitteillä oleva alue yritysresurssien suunnittelun (ERP) tarjoajille. Voidaan olettaa, että tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa voidaan jo simuloida valmistus- ja logistiikkaketjuja dynaamisesti.

3.13 Kyberturvallisuus

Kyberturvallisuus tarkoittaa toimia, jotka suojelevat verkko- ja tietojärjestelmiä ja niiden käyttäjiä kyberuhilta (Eurooppa-neuvosto, i.a.). Kyberympäristön epäystävälliset toimijat voidaan luokitella neljään ryhmään: kyberrikolliset, aktivistit, valtiolliset toimijat ja kyberrikkoksia palveluna tarjoavat tahot (Lella ym., 2022, s. 5). Valtiolliset toimijat käyttävät kyberriskuja osana konventionaalista tai hybridisotaa. Internetin saatavuuden estämisen ja disinformaation ohella vakavia uhkia, etenkin yhteisötoimijoille, muodostavat palvelun estäminen, kiristys- ja haittaohjelmat, tietoihin kohdistuvat uhat ja toimitusketjuun kohdistuvat hyökkäykset.

Teollisuus 4.0:n kyberfyysiset tuotantojärjestelmät tuovat mukanaan runsaasti mahdollisuuksia (Lella ym., 2022 s. 1–3). Samalla ne ovat digitaalisina ja internetin välityksellä

toisiinsa voimakkaasti integroituneina alttiita kyberuhille. Hyökkääjät voivat pyrkiä saamaan tietoa yrityksestä tai sitten tekemään häiriötä tuotannolle ja jopa pyrkiä vahingoittamaan järjestelmiä ja tuotantolaitteita. Hyökkääjät pyrkivät tunkeutumaan järjestelmiin joko ulkopuolelta esimerkiksi reunalaitteiden kautta tai sitten käyttämällä yrityksen työntekijöitä hyväkseen. Rikolliset voivat käyttää hyväkseen auttamishalua, uteliaisuutta tai pelkoa. Sähköpostin kautta lähetettävät liitetiedostot tai huijauspyynnöt ovat yleisiä. Kun toimija on päässyt haavoittuvuuden kautta sisään, sen on mahdollista lukea tietoja mikrofoneilta, näppäimistöiltä ja näytöiltä. Haittaohjelman hyödyntäessä tietoturva-aukkoja, palomuurit ja verkonvalvontaohjelmistot eivät havaitse sitä.

Kyberturvallisuus on keskeinen asia digitalisaatiossa. Asiaa on tutkittu paljon ja myös EU on pyrkinyt luomaan lainsäädännön sen kaltaiseksi, että riskit ovat hallittavissa (Eur-Lex 2024). Ongelmana on tietysti epäystävällisten tahojen kekseliäisyys. Kuten niin monessa muussakin asiassa, tässäkin ihminen on sekä suurin mahdollisuus että riski. On tärkeää, että yksilöt tunnistavat tilanteet, joissa he voivat olla väärinkäytöksen uhreja. Teollisuus 4.0:n pitkissä arvoketjuissa olisi erittäin tärkeää, että yksi virhe ei riittäisi tietomurtoon. Jos ja kun teollisuus 4.0:n taustateknologiat yleistyvät, yhteiskunnat tulevat erittäin haavoittuviksi kyberhyökkäyksen onnistuessa.

4 TEOLLISUUS 5.0

Kone on hyvä ratkaisemaan ongelmia, mutta huono valitsemaan ongelmia, joita ratkaista (Pohjola, 2015, s. 17). Ihmisen luovuudelle, ideointikyvyille, aisteille ja muille vastaaville ominaisuuksille on siten kysyntää. Toyota Motor Corporationin perustajalla Kiichiro Toyodalla oli ihmiskeskeinen lähestymistapa, joka siirtyi Toyota Production System (TPS) -järjestelmään (Metrology News, 2023). TPS:n periaatteet ovat vaikuttaneet merkittävästi nykyaikaisiin tuotantojärjestelmiin ja Lean-ajatteluun, ja niitä sovelletaan laajasti eri teollisuudenaloilla ympäri maailmaa. Toyota uskoo, että ihmisen jatkuvasti kehittyvät taidot yhdistettynä digitalisaatioon johtavat parhaaseen kehitykseen. Toyotalla on korkeasti koulutettuja työntekijöitä (takumi), jotka pystyvät viimeistelemään autoja paremmin kuin robotit. Heidän osaamistaan digitoidaan, jotta se pystytään siirtämään uusille työntekijöille. Toyota käyttää vielä vahvasti ihmistä auton kokoonpanossa ja laadunvalvonnassa (Toyota Motor Corporation, 2024). Digitaaliset työkalut, kuten 3D-mallit ja digitaaliset kaksoset, ovat keskeisessä roolissa Toyotan tuotantolinjojen suunnittelussa ja valmistelussa (Metrology News, 2023).

Käsite teollisuus 5.0 löytyy ensimmäisen kerran kirjallisista lähteistä vuonna 2018 (Barataa & Kayserb, 2023, s. 781). Ihmisen osuus on vahvistunut teollisuus 4.0:n konseptissa vähitellen, eikä teollisuus 5.0:lle määritellä keksijää. Ohjelmistoyritys Inboltin mukaan aiheesta on kuitenkin keskusteltu jo vuonna 2015 (Inbolt, 2024). Heidän mukaansa teollisuus 5.0:ssa on kysymys ihmisen voimaantumisesta ja ympäristön suojelusta. Joidenkin asiantuntijoiden mukaan erot näiden kahden konseptin välillä ovat niin pieniä, ettei niitä kannata jakaa kahdeksi eri asiaksi.

Xinyi Tu on tutkinut väitöskirjassaan siltanosturin ohjaamista virtuaalitodellisuudessa (Tu, 2024, s. 16). Nosturista, joka kuuluu Konecranes CXT -perheeseen, oli tehty digitaalinen kaksonen (mts. 33–34). Järjestelmään kuuluivat Microsoft Hololens VR-lasit, joiden avulla voidaan katsoa virtuaalisia kohteita ja liikuttaa niitä manuaalisesti (Microsoft, 2024). Lasien ohjelmisto oli liitetty nosturin logiikkaan rajapintojen välityksellä (Tu, 2024, s. 33–34). Nosturia pystyttiin liikuttamaan käsin ja operaattorille avautui lisätyn todellisuuden (AR) näkymä (mts. 59). Järjestelmä mittasi nosturin sijaintia todellista sijaintia verraten sitä virtuaaliseen sijaintiin (mts. 35–37). Tutkimuksessa tultiin siihen lopputulokseen, että

monimutkaisia teollisuuskoneita voidaan hallita virtuaalitodellisuudessa (mts. 71). Näin voidaan edetä teollisuus 4.0:sta uuteen paradigmaan teollisuus 5.0:n, jossa teknologia ja ihmisen kekseliäisyys yhdistyvät.

On selvästi havaittavissa, että teollisuus 5.0 tuo esille teknologiota, jotka ovat käyttökelpoisia. Kun teollisuus 4.0 korostaa vahvasti integraatiota, teollisuus 5.0:n sovellukset tulevat lattiatasolle. Voidaan kuitenkin todeta, että molempien paradigmojen taustateknologiat ovat samoja ja itsessään käyttökelpoisia. Ne tulevat yleistymään, kun investointi- ja käyttökustannukset sekä saatavuus asettuvat houkuttelevalle tasolle. Tämän työn yhteydessä ei ole tarpeen erotella paradigmoja toisistaan, vaan taustateknologioiden kautta tapahtuva asioiden käsittely on mielekkäämpää.

5 OSAAMISTAVOITTEET KONE- JA METALLIALALLA

Ammatillisen koulutuksen tutkinnot on ryhmitelty eri perustutkintojen alle. Metallialan tutkinnot on ryhmitelty siten, että koneistajan ja levyseppähitsaajan koulutus on kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon sisällä ja valimotekniikka sekä metallien jalostus ovat puolestaan prosessitekniikan perustutkinnon sisällä. Tämä opinnäytetyö keskittyy kone- ja tuotantotekniikan perustutkintoon siten, että muovi- ja kumitekniikan osaamisalat on jätetty työn ulkopuolelle. Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon sisällä ovat myös koneautomaatioasentaja ja koneasentaja, jotka on sisällytetty tähän opinnäytetyöhön.

5.1 Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto Suomessa

Ammatillinen koulutus suoritetaan Opetushallituksen ammatillisten tutkintojen perusteiden mukaan (Opetushallitus (OPH), i.a.-b). Opetushallitus kehittää tutkinnon perusteet yhdessä jonkin koulutuksen järjestäjän kanssa. Tuoreimpien kone- ja tuotantotekniikan tutkinnon perusteiden perustetyön valmistelussa on ollut mukana Seinäjoen koulutuskuntayhtymä. Tutkinnon perusteet sisältävät tarkat ohjeet siitä, mitä tulee opettaa ja kuinka ammattiosaamisen näytöt tulee arvioida. Tässä työssä keskitytään ammatillisiin perustutkintoihin, vaikka syvällisempiin ja kapea-alaisempiin ammatti- ja erikoisammattitutkintoihin on myös olemassa tutkinnon perusteet.

Kone ja tuotantotekniikan tämänhetkinen perustutkinto on tullut voimaan 01.08.2024. Sen, samoin kuin muidenkin perustutkintojen, laajuus on 180 osaamispistettä (osp) (OPH, 2023, s. 1–14). Tutkinto on jaettu tutkinnon osiin, joista ammatillisten osien laajuus on 10–15 osaamispistettä.

Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnossa on neljä osaamisalaa ja kuusi tutkintonimikettä: tuotantotekniikan osaamisala, johon kuuluvat levyseppähitsaaja ja koneistaja, asennuksen ja automaation osaamisala, johon kuuluvat koneasentaja ja koneautomaatioasentaja, kumitekniikan osaamisala (kumituotevalmistaja) sekä muovitekniikan osaamisala (muovituotevalmistaja) (OPH, 2023, s. 1).

Tutkintoon kuuluu ammatillisia tutkinnon osia 145 osaamispistettä, josta pakollisia tutkinnon osia on 70 osaamispistettä (5 tutkinnon osaa) ja valinnaisia tutkinnon osia on 75 osaamispistettä (5 tutkinnon osaa) (OPH, 2023, s. 1).

Taulukossa 1 on havainnollistettu tutkinnon muodostumista. Kaikille perustutkinnoille yhteisiä tutkinnon osia on 35 osaamispistettä. Nämä tutkinnon osat sovitetaan alakohtaisesti sopiviksi esimerkiksi vieraiden kielten sanaston osalta. Pakollisista tutkinnon osista 40 (10 + 15 + 15) osaamispistettä on luonteeltaan kaikille alan opiskelijoille yhteisiä perusopintoja ja 30 (15 + 15) osaamispistettä eri tutkintonimikkeiden pakollisia opintoja, jotka ovat siten luonteeltaan suuntaavia. Valinnaisista tutkinnon osista 30 osaamispistettä voi olla toisen tutkintonimikkeen opintoja tai tuotantotekniikan ammattitutkinnosta. Ammattitutkinto on perustutkintoa seuraava tutkinto, joka suoritetaan yleensä muutaman vuoden työkokemuksen jälkeen. Paikallisiin ammattitaitovaatimuksiin perustuvia tutkinnon osia, tutkinnon osia tai osia toisesta ammatillisesta perustutkinnosta voi olla 5–15 osaamispistettä, samoin korkeakouluopintoja.

Taulukko 1. Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon muodostuminen.

Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto 180 osp
Valinnaiset opinnot $15 + 15 + 15 + 15 + 15 = 75$ osp
Suuntaavat opinnot $15 + 15 = 30$ osp
Perusopinnot: Manuaalikoneistuskoneiden käyttö valmistustyötehtävissä, 15 osp
Perusopinnot: Levytyökoneiden ja hitsauskoneen käyttö valmistustyötehtävissä, 15 osp
Perusopinnot: Huolto- ja asennustyötehtävissä toimiminen, 10 osp
Yhteiset tutkinnon osat, 35 osp

5.2 Teollisuus 4.0 ja digitalisaatio ammatillisessa koulutuksessa Saksassa

Saksassa liittovaltion vahva toivomus on se, että teollisuus 4.0:n teknologioita opetettaisiin ammatillisessa koulutuksessa (H. Steinweg & S. Scholz, henkilökohtainen tiedonanto, 27.11.2024). Teollisuus 4.0:n sijasta liittovaltion metallialan opetusta käsittelevissä pape-reissa käytetään termiä digitalisaatio.

Kultusministerkonferenz (KMK) on Saksan osavaltioiden opetus- ja kulttuuriministereiden kokous (KMK, i.a.-b). KMK ei ole osa liittovaltion hallitusta, mutta sen päätökset ovat mer-kittäviä, koska ne ohjaavat osavaltioiden lainsäädäntöä koulutuksen ja kulttuurin alalla. KMK:n laatimassa koneistajien opetussuunnitelmassa ei mainita teollisuus 4.0:n teknologi-oita (KMK, 2018b). Sama pätee Konstruktionsmechaniker-tutkintoon, joka vastaa lähinnä suomalaista levyseppähitsaajan perustutkintoa (KMK, 2018a).

Saksan ammattikoulutusjärjestelmässä on useita tutkintoja, jotka valmistavat opiskelijoita toimimaan erilaisissa teollisuuslaitosten käynnissä- ja kunnossapitoon liittyvissä tehtävissä (KMK, i.a.-a). Useiden tutkintojen sisällöissä on viitteitä teollisuus 4.0:n teknologioista, ku-ten kyberfyysisistä järjestelmistä, verkottuneista tuotantojärjestelmistä, digitaalisten työka-lujen käytöstä ja tietoturvasta. Näitä teemoja sisältäviä tutkintoja ovat teollisuusmekaa-nikko (Industriemechaniker), laitosemekaanikko (Anlagenmechaniker) ja tuotantoteknologit (Produktionstechnologen).

Teollisuusmekaanikon ja tuotantoteknologin tutkinnot ovat samankaltaisia kuin suomalaiset kone- ja koneautomaatioasentajan tutkinnot. Kuten luvussa 5.1 on todettu, suomalai-sissa tutkinnoissa on valinnaisuutta, joten ne voidaan toteuttaa saksalaisia tutkintoja vas-taavilla sisällöillä.

Saksan liittovaltion asetuksessa metallialan koulutuksesta on annettu mahdollisuus suorit-taa lisäpätevyksiä opintonimikkeillä järjestelmäintegraatio, prosessi-integraatio, lisäävät valmistusmenetelmät ja IT-pohjainen laitteiden muutos (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie & Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMWE & BMBF), 2018, s. 747–749). Saksassa ammatillisessa koulutuksessa käytetään käsitettä "dual" (saksaksi duales System), mikä tarkoittaa, että koulutus tapahtuu samanaikaisesti sekä työpaikalla että ammatillisessa oppilaitoksessa (Berufsschule).

Lisäpätevyyksien hankinta on mahdollista erityisesti yrityksissä, joissa otetaan käyttöön teollisuus 4.0:n teknologioita. Järjestelmäintegraatiossa laitteesta tehdään kyberfyysinen järjestelmä, mukaan lukien suunnittelu, anturointi ja testaus (BMW & BMBF, 2018, s. 815–817). Prosessi-integraatio on luonteeltaan horisontaalista integrointia ja simulointia. Lisävisissä valmistusmenetelmissä opiskelija valmistaa kappaleita suorittaen koko prosessin 3D-mallista, mukaan lukien parametriset tietojoukot, aina valmistusprosessiin asti. IT-pohjaisessa laitteiden muutoksessa luodaan putkistojen, profiilien, koneenosien tai ohutlevyrakenteiden valmistamiseksi 3D-tietojoukkoja, valitaan tuotantoprosessit ja siirretään tietojoukot tuotantoon rajapinnan kautta.

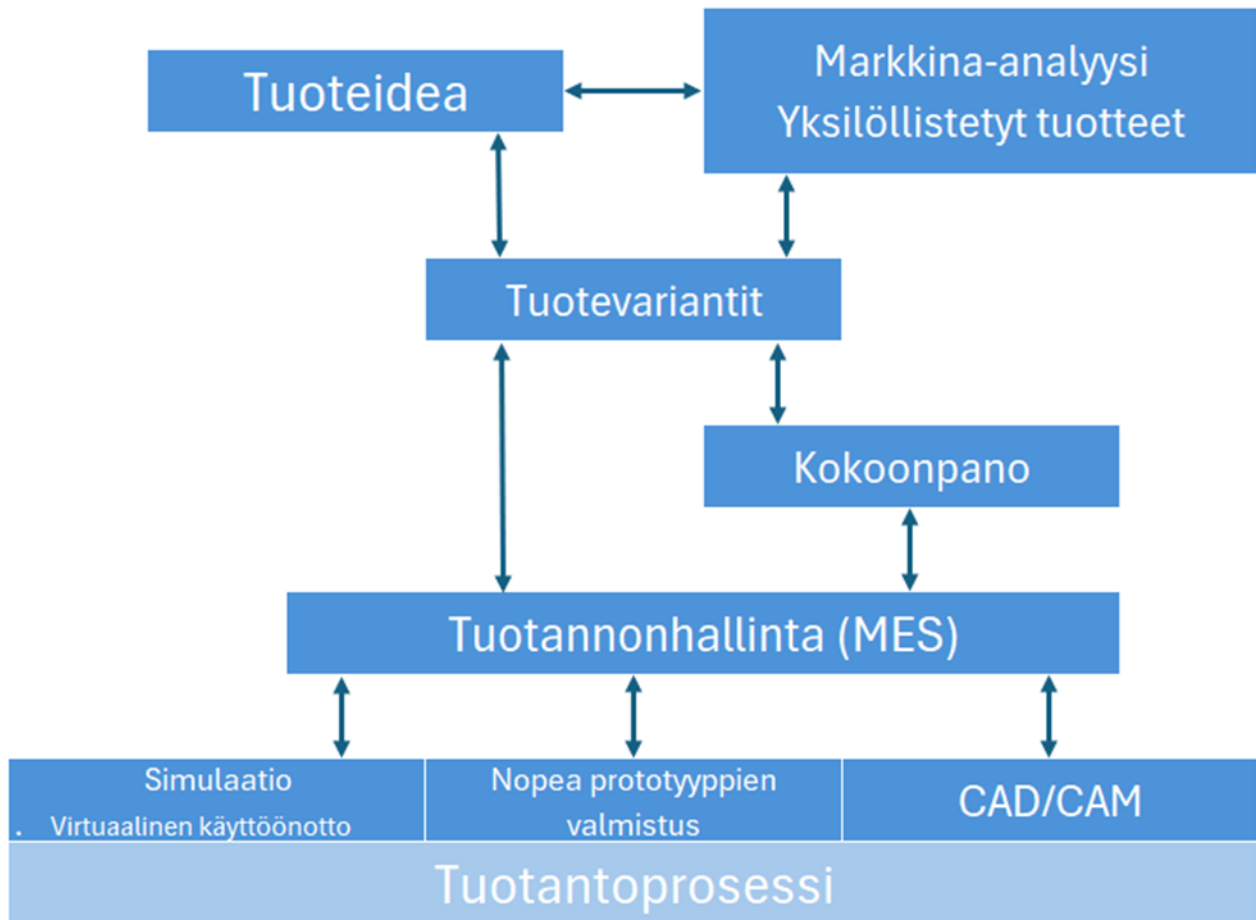
Tällä asetuksella Saksan liittovaltio osoittaa vahvaa tahtotilaa tuoda teollisuus 4.0:n teknologioita opetukseen. Lisäpätevyyksien sisällöt tukevat vahvasti teollisuus 4.0:n käyttöönottoa ja niiden tavoitteet ovat korkealla. Tämä on perusteltua, sillä vaikka digitalisaatio helpottaa työtehtäviä, osa työtehtävistä tulee vaatimaan entistä korkeampaa taitotasoa.

Saksan osavaltioissa on laitoksia, jotka vastaavat koulutuksen laadusta ja kehittämisestä (KMK, i.a.-c). Yksi tällainen on ZSL, eli Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung, joka sijaitsee Baden-Württembergin osavaltiossa. ZSL on laatinut suunnitelman, jonka tarkoituksena on edistää teollisuus 4.0:n opetusta (Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZLS), 2023, s. 1–2). Kohderyhminä ovat metalli-, sähkö- ja IT-alojen opiskelijat ammatillisissa oppilaitoksissa. Kaikkien kohderyhmien huomioimiseksi teollisuus 4.0:n toimintatapaukset on luokiteltu kuuteen tilannekuvaukseen (szenario). Koska Saksassa ammatillisissa opinnoissa on eri osaamistasoja koulutuksen ja työkokemuksen mukaan, jokaiselle tilannekuvaukselle on asetettu kolme eri vaatimustasoa. Näin on saatu sopivat oppimiskokonaisuudet eri tutkinnoille ja tutkintotasoille. Vaatimustasolla yksi on alan perustehtävissä vaadittavia tietoja ja taitoja.

Taulukko 2. Ammatit (ZLS 2023, s. 4).

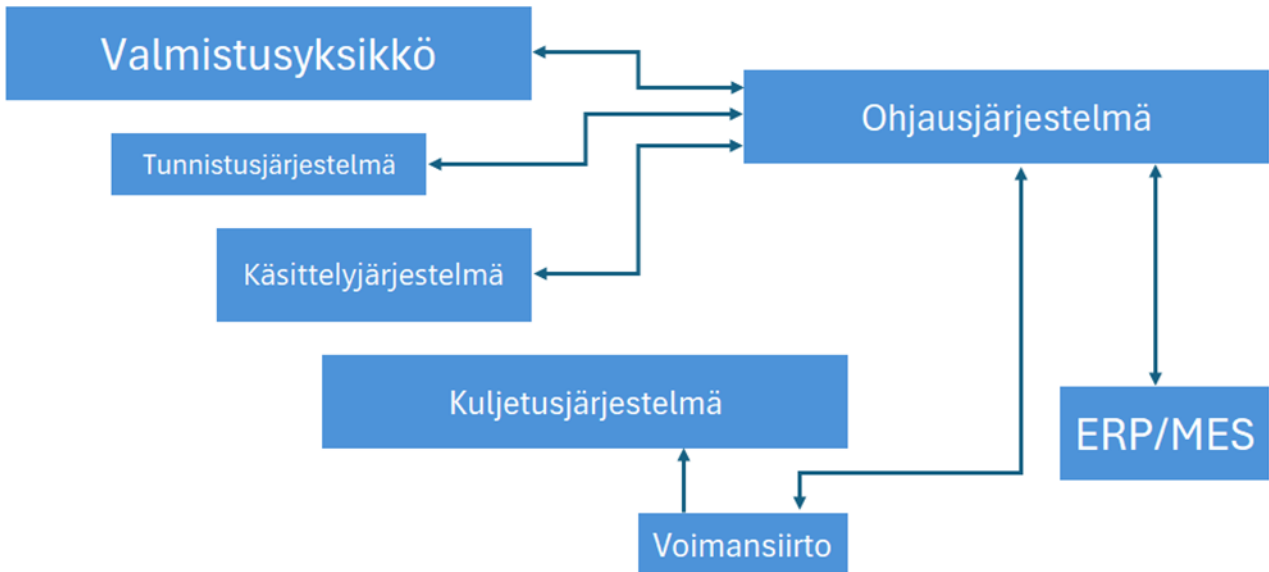
Szenarien	Szenario 1			Szenario 2			Szenario 3			Szenario 4			Szenario 5			Szenario 6		
Anforderungsbereiche	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Berufe und Schulart																		
1 Industriemechaniker	X				X		X				X		X			X		
2 Zerspanungsmechaniker	X				X		X			X			X			X		
3 Konstruktionsmechaniker	X			X			X			X								
3 Werkzeugmechaniker	X			X			X			X								
4 Feinwerkmechaniker	X			X			X			X						X		
5 Anlagenmechaniker	X			X			X			X			X			X		
6 Verfahrenstechnologen, -mechaniker	X				X		X			X			X			X		
7 Produktionstechnologen			X		X			X			X			X		X		
8 Technische Produktdesigner		X		X			X			X						X		
9 Mechatroniker	X				X		X			X			X				X	
10 Elektroniker f. Automatisierungstechnik	X				X		X			X			X				X	
11 Elektroniker f. Betriebstechnik				X			X			X			X			X		
12 Fachinformatiker - Systemintegration	X			X			X			X								X
13 Fachinformatiker - Daten- und Prozessanalyse	X				X		X			X								X
14 Fachinformatiker - Anwendungsentwicklung	X				X		X			X								X
15 Fachinformatiker - Digitale Vernetzung	X				X			X		X			X					X
16 Kaufmännische Berufe		X					X									X		
17 Fachschule f. Metalltechnik			X			X	X			X			X				X	
18 Fachschule f. Auto.technik/Mechatronik		X				X	X				X				X			X
19 Fachschule f. Elektrotechnik		X				X		X			X				X			X
20 Fachschule f. Informationstechnik		X				X			X		X		X					X

Taulukossa 2 on ZSL:n teollisuus 4.0:n suunnitelman ammatit (Berufe und Schulart) ja tilannekuvaukset (Szenario). Eri ammateille on eri tilannekuvauksissa erilaiset osaamisvaatimukset (Anforderungsbereiche). Osaamisvaatimuksissa on kolme eri tasoa. Seuraavien sivujen kuvioissa 1–4 on esitetty tilanteet 1–4.



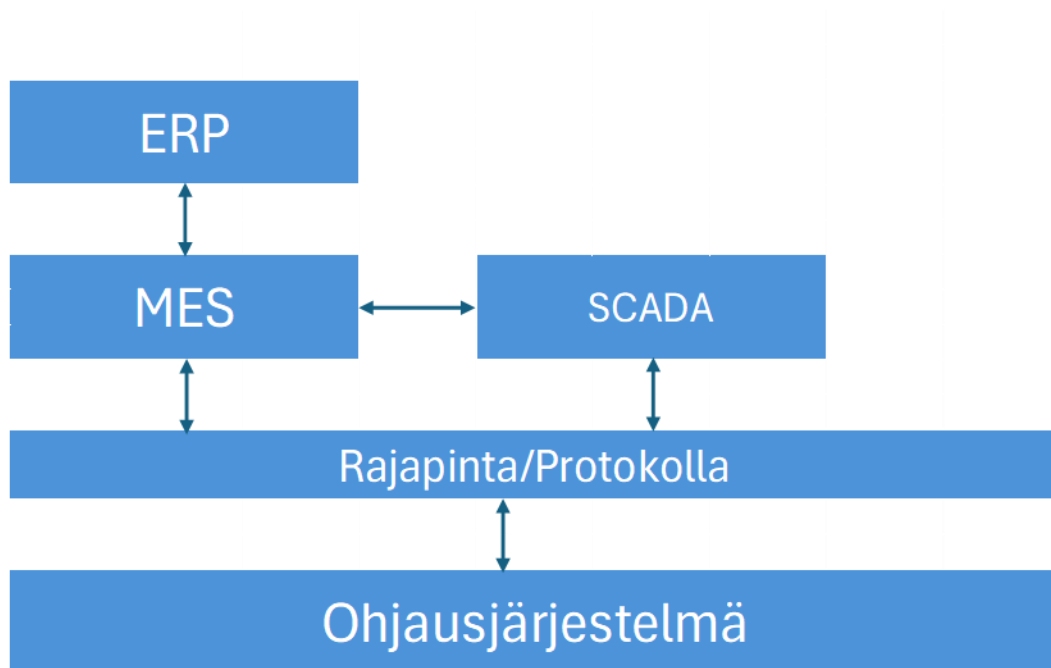
Kuvio 1. Tilanne 1, Tuotekehitys ja tuotannosuunnittelu (Perustuu ZLS, 2023, s. 6).

Kuviossa 1 on esitetty tilanne 1 (vrt. taul. 2, skenario 1), joka on tuotekehitys ja tuotannosuunnittelu. Siinä opiskelijat kehittäväät tuotteen, jossa asiakas pääsee vaikuttamaan tuotteen ominaisuuksiin (ZLS, 2023, s. 6–7). Tuotteesta on olemassa useita variaatioita. Tuote suunnitellaan 3D-mallina ja siinä on erilaisia valmistusmenetelmiä, mukaan lukien lisäävä valmistus. Tuotteen parametrien on oltava soveltuvia ERP:iin, MES:iin ja virtuaaliseen käyttöön. Tuotteen elinkaaren hallinta on myös tärkeää.



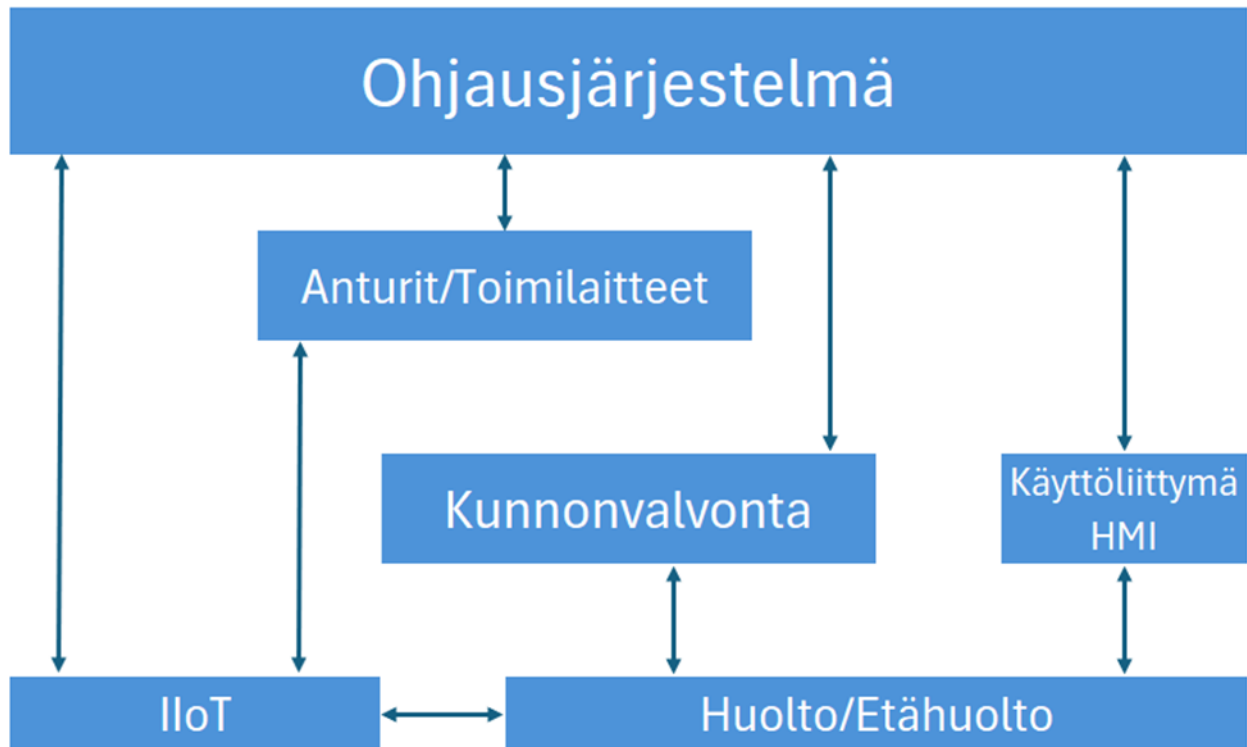
Kuvio 2. Tilanne 2, joustava valmistus (Perustuu ZLS, 2023, s. 10).

Kuviossa 2 on esitetty tilanne 2 (vrt. taul. 2, skenario 2), joka on joustava valmistus. Siinä opiskelijat osaavat suunnitella, asentaa ja ottaa käyttöön joustavan valmistusjärjestelmän, joka tuottaa erilaisia tuotevariaatioita ilman varastointia (ZLS, 2023, s. 10–11). Tuotantoprosessissa kerätään tietoa IOT-järjestelmän kautta ERP:iin/MES:iin. Tiedot ovat käytettävissä prosessien optimoinnissa, energianhallinnassa, suunnittelussa ja kunnossapidossa. Osat kuljetetaan (hihnakuljetin, ketjukuljetin, pyöröpöytä) työkappalealustalla tunnistusjärjestelmään (RFID, QR-koodi, viivakoodi, binäärianturitekniikka). Tunnistuksen jälkeen osat siirretään käsittelyjärjestelmällä (robotit, alipainetarttijat, lineaariakselit) valmistusyksikköön (työstökone, särmäyspuristin). Tuotteen yksilöllinen valmistus tapahtuu ERP-/MES-tietojen perusteella. Valmistusyksikön ohjausjärjestelmät konfiguroituvat ja parametroituvat MES-tietojen avulla. Tuotantoprosessissa syntyvät tiedot tallennetaan ja analysoidaan MES- ja ERP-järjestelmissä.



Kuvio 3. Tilanne 3, tuotannonohjausjärjestelmä MES (Perustuu ZLS, 2023, s. 14).

Kuviossa 3 on esitetty tilanne 3 (vrt. taul. 2, skenario 3), joka on tuotannonohjausjärjestelmä MES. Joustavassa valmistuksessa (kuvio 2) ohjausjärjestelmä pyytää MESistä tuotekohtaisia tuotantotietoja (ZLS, 2023, s. 14–15). MES määrittää ohjausjärjestelmän tarvitsemat tuotetiedot. Ohjausjärjestelmä suorittaa tuotantovaiheen ja lähettää prosessitiedot MESiin, joka välittää ne edelleen ERPiin. Näitä tietoja voidaan käyttää jatko seurantaan. Tarkoituksena on, että opiskelija ymmärtää MESin rakenteen, osaa käyttää sitä ja osaa käyttää siitä saatavaa dataa.



Kuvio 4. Tilanne 4, huolto/ylläpito ja älykäs kunnossapito (Perustuu ZLS, 2023, s. 18).

Kuviossa 4 on esitetty tilanne 4 (vrt. taul. 2, skenario 4), joka on huolto/ylläpito ja älykäs kunnossapito. Älykkäässä tehtaassa on tarpeen seurata laitteiden kulumista ja kontaminaatiota pahempien vaurioiden ja tuotannon keskeytysten estämiseksi (ZLS, 2023, s. 18–19). Opiskelija osaa lukea järjestelmän tietoja ja käyttää niitä hyväkseen ennakoivassa kunnossapidossa. Järjestelmästä luetaan prosessiparametrejä, kuten käyttökertoja, paineita, nopeuksia yms. Tiedot arkistoidaan käytettäväksi tulevien huolto- ja kunnossapito-tehtävien optimoimiseksi. Etädiagnostiikkaa voidaan käyttää hyväksi koneiden suorituskyvyn tarkastelemiseen verkon yli.

Tilanteet 5 ja 6 käsittelevät energiankulutusta ja laitteiden IoT-yhteyksiä (ZLS, 2023, s. 22–32). Koska aiheiden sisältö on helposti pääteltävissä, niiden käsitteleminen ei tuo mitään uutta tähän työhön. On kuitenkin todettava, että IoT on erittäin tärkeä osa teollisuus 4.0:aa. On mahdollista, että tulevaisuudessa IoT-laitteiden konfigurointi helpottuu, jolloin siihen ei tarvittaisi IT-asiantuntijaa. Siinä tapauksessa aihepiirin käsittely esimerkiksi koneautomaatioasentajan koulutuksessa olisi ilmeisen perusteltua. Myös energiankulutuksen

seurannalla on suuri merkitys. Senkään käsitteleminen ei kuitenkaan tuo tässä vaiheessa mitään tarpeellista tietoa tämän työn kannalta.

BIBB tarkoittaa Bundesinstitut für Berufsbildung eli Saksan liittovaltion ammatillisen koulutuksen instituuttia (BIBB, i.a.). Se on Saksan johtava ammatillisen koulutuksen tutkimus- ja kehittämislaitos, joka keskittyy ammatillisen koulutuksen ja jatkokoulutuksen parantamiseen. Se on laatinut vuonna 2021 dokumentin, joka ohjaa koulutusta järjestäviä työpaikkoja ja oppilaitoksia nykyaikana vaadittavien tietotojen ja taitojen opetukseen (BIBB, 2021, s. 5). Nämä sisällöt ovat ammattialasta riippumatta samat kaikille ammattiteille. Aiheet sisällytetään koulutusyritysten sisäiseen koulutussuunnitelmaan ja opiskelijoiden osaaminen arvioidaan. Aiheet pilkotaan yrityksen jokapäiväiseen koulutukseen, sovitetaan kulloiseenkin koulutusammattiin ja konkretisoidaan.

Digitalisoitu työmaailma on yksi näistä sisällöistä (BIBB, 2021, s. 6, 13–14). Kyse on digitaalisen median ja datan käsittelystä, tietoturvasta ja tietosuojasta, jotka ovat yhä tärkeämpiä tietotulvan ja valeutisten lisääntyessä. Digitaalisessa työelämässä korostuvat viestintä- ja sosiaaliset taidot, erityisesti sosiaalinen monimuotoisuus ja keskinäinen arvostus. Kyberturvallisuus on keskeinen osa digitalisoitua työympäristöä, ja siihen liittyy tietosuojasetuksen ja yrityksen sisäisten sääntöjen noudattaminen. Tietosuojavastaavien rooli on tärkeä, ja riskien arviointi sekä pääsvalvontakonseptit ovat keskeisiä. Haitallisten liitteiden, linkkien ja latausten vaarat on otettava huomioon. Turvalliset käytännöt ja yrityksen rutiinit digitaalisten medioiden ja IT-järjestelmien turvalliseen käyttöön ovat tärkeitä. Epäilyttävien toimintojen käsittely ja raportointi sekä resurssitehokas ja kohderyhmälle sopiva viestintä ovat olennaisia. Viestinnän tulosten laadukas dokumentointi on myös tärkeää. Nämä kohdat korostavat kyberturvallisuuden merkitystä ja käytännön toimia digitalisoidussa työympäristössä.

On selvää, että Saksassa tullaan kouluttamaan kone-, koneautomaatio ja teollisten prosessien mekaanikkoja, jotka pystyvät ottamaan käyttöön ja ylläpitämään teollisuus 4.0:n prosesseja. Suomessa pystytään tarvittaessa tuottamaan samanlaista osaamista lisäämällä valinnaisia opintojen osia. Näiden opintojen osien tulisi käsitellä teollisuus 4.0:n taustateknologioita tarvittavassa laajuudessa.

5.3 Teollisuus 4.0:n taustateknologiat kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnossa

Tässä työssä käytiin läpi tuorein kone- ja tuotantotekniikan perustutkinnon tutkinnon perusteet ja etsittiin teollisuus 4.0:n edes etäisesti liittyviä teknologioita ja pyrittiin miettimään, millä täydennyksellä voitaisiin saada aikaan ko. teknologioihin soveltuvia tutkinnon osia. Kyseiset tutkinnon osat on esitelty tutkinnon perusteissa olevalla kappalenumeroinnilla.

2.11. Robotin käyttö tuotantoprosessissa, 15 osp (107391) (Opetushallitus, 2023, s. 36–37). Tutkinnon perusteissa on vain vähän robotiikkaa. Robotiikka rajoittuu vain perinteisiin, ei autonomisiin robotteihin. Koneen käyttö robotiikassa voisi olla hyödyllistä ja johtaisi kohti autonomisen robotiikan ajattelutapaa.

2.12. Tuotteen valmistaminen 3D-tulostamalla, 15 osp (106765) (Opetushallitus, 2023, s. 38–39). Tutkinnon osa rajoittuu suppeasti 3D-tulostukseen, teollisuus 4.0:n kannalta olisi hyödyllistä puhua lisäävästä valmistuksesta ja käsitellä laajasti lisäävän valmistuksen teknologioita. Metallien lisäävään valmistukseen käytettävät laitteet ovat kalliita, samoin laitteiden käyttäminen. Siten perusteiden opiskeleminen edullisilla 3D-tulostuslaitteilla on perusteltua. Todellisen lisäävän valmistuksen opetus vaatii vähintään 30 osaamispisteen opinnot, joihin sisältyy myös metallisten esineiden valmistusta. On todennäköistä, että lisäävä valmistus tulee olemaan oma tutkintonimikkeensä jossakin vaiheessa, jos paradigma ammatista pysyy nykyisenä. Tätä näkemystä voidaan perustella sillä, että uusia tutkintonimikkeitä syntyy, kun opittavat tiedot ja taidot eivät enää sovi minkään aiemman tutkinnon sisälle. Esimerkkinä tällaisesta tutkinnosta on tietoverkkoasentaja.

2.21. Koneautomaatiojärjestelmien asentaminen, 15 osp (107431) (Opetushallitus, 2023, s. 57–58). Tutkinnon osassa käsitellään muiden muassa ohjelmitavia logiikoita, teollisuustietokoneita, automaatioverkkoja, kenttäväyliä, johdotuksia ja anturointeja. Teollisuus 4.0:n yhteydessä käytetään laajasti erilaisia antureita ja tiedonsiirto saattaa olla langatonta. Opiskelijan olisi hyvä hallita langattomat lähiverkot ja Bluetooth sekä anturointitekniikkaa. Tällaista olisi esimerkiksi kiihtyvyyden ja värähtelynmittausantureiden

toimintaperiaatteet ja asennus sekä MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) -anturit. Mainitut asiat ovat esimerkkejä, voidaan vain todeta, että teollisuus 4.0 lisää koneautomaatiojärjestelmien moninaisuutta.

Toiminta digitaalisessa ympäristössä 2 osp (Opetushallitus, 2023, s. 89–90). Tämä tutkinnon osa kuuluu yhteisiin pakollisiin opintoihin ja sen laajuus on siksi vain kaksi osaamispiirittettä. Yhteisiin opintoihin kuuluu myös kieliä, luonnontieteitä, yhteiskunta- ja työelämäasioita sekä muita vastaavia opintoja. Tutkinnon perusteiden mukaan opiskelijan pitää osata noudattaa tietosuoja- ja tietoturvaohjeistusta sekä tunnistaa tyypillisimpiä kyber- ja tietoturvauhkia. Olisi hyödyllistä, jos näiden osuutta voitaisiin kasvattaa. Kuten luvussa 3.13 todettiin, epäystävälliset tahot voivat pyrkiä tunkeutumaan tietojärjestelmiin käyttämällä yrityksen työntekijöitä hyväkseen auttamishalun, uteliaisuuden tai pelon avulla. Tällaisten vaikuttamisyritysten tunnistaminen on erittäin tärkeää, vaikka yritys ei käyttäisi teollisuus 4.0:n teknologioita.

5.4 Teollisuus 4.0:n ja digitalisaation määrä tulevaisuudessa kone- ja tuotantotekniikan aloilla

Tulevaisuuden ennustaminen on aina vaikeaa. Mitä kauemmaksi tulevaisuus pyritään ennustamaan, sitä epätodennäköisempää on oikeiden johtopäätösten tekeminen. Syynä tässä on uusien, ennalta-arvaamattomien tekijöiden vaikutus.

Isot yritykset ovat lähteneet ottamaan teollisuus 4.0:n teknologioita käyttöön, kunnossapito edellä. Esimerkiksi Kone ja Wärtsilä pystyvät seuraamaan valmistamiensa tuotteiden kuntoa ja huollontarvetta internetin yli (Kone, i.a.; Wärtsilä, i.a.). Boeing on käyttänyt digitaalisia kaksosia jo viime vuosikymmenellä ja saavuttanut hyviä tuloksia. Kaikista teollisuus 4.0:n teknologioista löytyy runsaasti niitä valmistavien yritysten materiaalia. Tämä voi tietysti tarkoittaa myös pyrkimystä vallata markkinoita etukäteen ja saada siten kilpailuetua. Toisaalta se voi myös tarkoittaa voimakkaan teollisen vallankumouksen alkaneen. Pienissä ja keskisuurissa yrityksissä teollisuus 4.0:n taustateknologioita on käytössä yksittäisinä tai sitten ei tuotannonohjausjärjestelmää lukuun ottamatta ollenkaan.

Turun ammattikorkeakoulu suoritti vuonna 2019–2020 hankkeen, jonka tarkoituksena oli selvittää kone-, energia- ja meritekniikan insinöörien osaamistarpeita muuttuvassa osaamisympäristössä (Hautala ym., 2020, s. 6). Hankkeessa tehtiin yrityksille kysely, missä pyrittiin selvittämään AR:n ja VR:n, IoT:n, kaupallisten alustojen, pilvipalveluiden, alustatalouden, MyDatan hyödyntämisen, robotiikan, koneoppimisen ja tekoälyn käyttöä ja sen tarpeellisuutta (mts. 59–62). Vastauksia saatiin 17 kappaletta. Suuremmissa yrityksissä AR ja VR olivat apuna tuotekehityksessä, suunnittelussa, koulutuksessa ja simulaattoreissa, kun taas pienemmissä yrityksissä käyttö oli vähäistä. Mielenkiintoa teknologioita kohtaan oli ja käyttöönoton valmisteluja oli tehty useissa yrityksissä. Huollon sovelluksissa käytölle nähtiin tarvetta esimerkiksi tilanteessa, jossa kokeneempi työntekijä voi neuvoa toista etänä molempien nähdessä saman näkymän virtuaalilasien kautta. IoT oli jo käytössä melko laajasti kymmenessä yrityksessä, kun taas 7 ei käyttänyt sitä lainkaan. Robotiikkaa hyödynnettiin kohtalaisen paljon. Tekoälyn käyttö rajoittui isompiin yrityksiin, sen käyttö oli suppeaa, mutta mielenkiinto korkea. MyData oli useimmille vieras käsite, kun taas osa käytti sitä toiminnan tehostamiseen ja laiterikkojen ennustamiseen. MyData, tietovarantojen ja datahallinnan hyödyntäminen voisivat tuoda nopeasti hyötyjä liiketoimintaan.

On olemassa ala, jossa teollisuus 4.0:n taustateknologioita käytetään vahvasti jo tällä hetkellä (Sitra, i.a.). Se on maatalous. Koneiden ja eläimien sijaintia seurataan. Arla seuraa maidon kulkua tilalta kaupan hyllyyn hyvin tarkasti. Kastelun ja lannoituksen määrää voidaan säätää eri peltolohkojen vaatimusten mukaisesti. Eläinten hyvinvointia voidaan seurata konenäön avulla. Nykyaikaista lypsyrobotia voidaan pitää autonomisena robotina. Tämän huikkeen kehityksen takana on joko voimakas tarve panostaa kehitykseen tai valmistajien oma halu parantaa tuotteitaan. Koska tällaisten järjestelmien kehittäminen on kallista, niille voidaan päätellä olleen tarve. Syitä lienee moninaisia, suurimpana paine tuottavuuden kasvun parantamiseen. Tilat ovat isoja ja alhaisten tuottajahintojen takia työntekijöiden määrä on pidettävä pienenä. Samoin lannoitteista ja polttoaineista johtuvat kustannukset on pidettävä mahdollisimman pieninä. Muita tärkeitä tekijöitä ovat ympäristöasiat, eläinten ja työntekijöiden hyvinvointi.

Samat lainalaisuudet, jotka ohjaavat maataloutta, ohjaavat teollisuuttakin. Tähän asti Eurooppa ja Suomi ovat pystyneet kilpailemaan laadulla ja hyvällä tuottavuudella. Eurooppalaisista tuotteista on oltu valmiita maksamaan korkeaa hintaa. Euroopan tuottavuuskehitys

on kuitenkin ollut huonoa, Yhdysvallat on karannut edelle. Yhdysvaltojen hyvän tuottavuuden selittää osittain joidenkin toimialojen korkeat katteet. Myös kehittyvät maat parantavat tuottavuuttaan huimasti. Kiinasta on tullut suhteellisen lyhyessä ajassa teollisuusmaa ja Intia kehittyy samaan suuntaan. Globaaleissa arvoketjuissa on toisaalta hyväksyttävää ja tavoiteltavaa, että tuotanto siirtyy sinne, missä se on edullisesti toteutettavissa. Tämä on johtanut globaalin köyhyyden vähenemiseen. Ukrainan sota ja sen paljastama maailman jakautuneisuus sekä tuoreimpana merkit siitä, että Yhdysvalloissa on halua eristäytyä maailmanmarkkinoista, osoittavat tarpeen ylläpitää Euroopassa mahdollisimman monipuolista tuotantoa. On nähtävissä, että eurooppalaiset valmistajat haluavat pitää tuotantoaan Euroopassa. Koska Eurooppa ei pysty eikä halua eristäytyä globaaleista markkinoista, tuottavuuden on parannuttava. Kun kehittyvät maat tulevat parantamaan laatuaan ja toimitusvarmuuttaan, tuotantoa on mielekkäämpää siirtää sinne.

Teollisuus 4.0 sisältää paljon tekijöitä, jotka ovat yhteisiä Leanille, muun muassa imuohjaus ja hukan vähentäminen (Rosin ym., 2019, s. 1648–1660). Teollisuus 4.0 tukee Leanin filosofioiden käyttöön ottamista automatisoimalla sen työkaluja. Voidaan todeta, että on olemassa vahvat viitteet siihen, että teollisuudessa käy sama ilmiö kuin maataloudessa: automaatio ja digitalisaatio saavat aikaan tuottavuuden huiman kasvun. Tämä vaatii tietysti työkaluja, jotka mukautuvat tilanteen mukaan. Navetta on sikäli helppo automatisoida, että yhden navetan automaatio sopii myös toiseen navettaan lähes sellaisenaan. Metalliteollisuudessa joudutaan tekemään tehdaskohtaisia ratkaisuja. Toisaalta ratkaisuja voidaan moduloida esimerkiksi parantamalla työstökoneiden ja robottien integroimista. Kun otetaan huomioon havainnot siitä, että teknologinen kehitys on tällä hetkellä nopeaa, voidaan ennustaa digitalisaation määrän lisääntymistä ja jopa teollisuus 4.0:n konseptin laajaa käyttöä.

5.5 Opetushallituksen kehittämisprojekti

Opetushallitus toteutti yhteistyössä Hämeen ammatti-instituutti Oy:n (Hami) ja HAMK Edun kanssa kehittämisprojektin Uusin työelämässä tarvittava ammatillinen digiosaaminen (Paananen ym., 2023, s. 4–8). Projektin tuloksena julkaistiin teos Digitaalinen osaaminen ammatillisessa koulutuksessa: Opas osaamisen sanoittamiseen. Se määrittelee neljännen teollisen vallankumouksen ja digitalisaation kannalta tarpeellisia sisältöjä ammatillisessa

koulutuksessa. Kyselyyn vastaamispyyntö lähetettiin ammatillisen koulutuksen digiverkoston yli 500 jäsenelle. Vastaajista vain 16 % oli elinkeinoelämän edustajia 80 % ollessa koulutuksenjärjestäjien edustajia. Kuviossa 5 on esitetty tekniikan alan vastaajien mielipiteet kyselyn aiheiden tärkeydestä. Asteikolla 0–4 numero 2 tarkoittaa jonkin verran tärkeää ja numero 3 tärkeää. Otos oli pieni, 13 vastaajaa koko tekniikan alalta, joten suora sovellettavuus kone- ja tuotantotekniikkaan on epävarma. On kuitenkin todennäköistä, että tulokset eivät muuttuisi kone- ja metallialan tuotantoon vaikuttavissa teemoissa paljon yli puolta pistettä suuntaan tai toiseen, jos kysely tehtäisiin pelkästään alan edustajille, sillä tekniikan alat ovat jossain määrin samankaltaisia. Toisaalta elinkeinoelämän näkökanta jää tässä kyselyssä lähes täysin selvittämättä, vaikkakin koulutuksenjärjestäjien työelämäyhteydet ovat nykyään monipuoliset ja tietämys elinkeinoelämän tarpeista hyvä.

Robottiikkaa pidettiin tärkeänä teknologiana, mikä ei ole yllättävää, sillä robotit alkavat olla yleisiä teollisuudessa (Paananen ym., 2023, s. 47). IoT nähtiin myös tärkeänä teknologiana. On huomattava, että IoT:tä sovelletaan hyvin eri tavoilla eri teollisuuden aloilla. Kunnossapidossa IoT:n käyttö on jo nykyään yleistä, ja silloin kerätään usein yksittäisiä anturitietoja, kuten lämpötiloja. Toisaalta metallialan valmistavan teollisuuden tehtaissa IoT on harvinaisempaa, ja tuotannon tehokkuutta seurataan muilla keinoilla kuin seuraamalla koneita verkon yli. Tämä saattaa osaltaan selittää sen, että kohta "Data, tekoäly ja kvanttilaskenta" sai suhteellisen vähän pisteitä. Koska antureilta ei kerätä suurta määrää raakadataa, sen käsittelyyn ei tarvita paljon resursseja.

Horizontaalisen integraation kannalta tärkeä teema "Alustatalous ja uudet liiketoimintamallit sekä palvelujen ketjuttaminen" ei myöskään saanut tekniikan alan kyselyssä korkeaa pistemäärää (Paananen ym., 2023, s. 47). Online-osallistuminen ja yhteisöllinen työskentely sekä virtuaalitalit ja virtuaalitodellisuudet (XR-teknologiat) nähtiin puolestaan tärkeinä teknologioina.

Kyselyn tuloksista voidaan päätellä, että vastaajat pitivät tärkeinä teknologioina robotiikkaa, IoT:tä, pilvipalvelujen käyttöä datavarastona, verkon yli tapahtuvaa kommunikointia ja virtuaalitekknologioita (Paananen ym., 2023, s. 47). Asioiden tärkeys riippuu paljon vastaajan omasta näkökulmasta, eikä se aina edusta organisaation näkökantaa. Digitaalisuus on

kuitenkin tullut osaksi yhteiskuntaa, ja sen eri teknologioiden merkitys näkyy jo perinteisilläkin aloilla.

Tekniikan alat



Tekniikan aloilla kaikki uudet teknologiat nähdään vähintäänkin jonkin verran tärkeinä. Tärkeimpinä nousee robotiikan ja automaation taitojen osaaminen, esineiden internet -taidot ja online-osallistumisen taidot.

Kuvio 5. Ammatillisen koulutuksen digiverkoston määrittelemiä teollisen vallankumouksen ja digitalisaation kannalta tarpeellisia sisältöjä ammatillisessa koulutuksessa (Paananen ym., 2023 s. 47).

Yhteisiin opintoihin kuuluva toiminta digitaalisessa ympäristössä on jo opetussuunnitelmissa. Sen sisällöt pohjautuvat aiempaan eurooppalaiseen DigComp-viitekehukseen (Paananen ym., 2023, s. 9). DigComp, eli Digital Competence Framework, on Euroopan komission kehittämä viitekehys, joka auttaa kansalaisia ja työvoimaa arvioimaan, kehittämään ja hyödyntämään digitaalisia taitojaan eri aloilla ja konteksteissa. Taulukossa 3 on esitetty Toiminta digitaalisessa ympäristössä -tutkinnon osa 2 osp, joka on jo tällä hetkellä sisällytetty kaikkiin perustutkintoihin. Luvussa 5.2 on esitelty Saksassa opetettava Digitalisoitu työmaailma -kurssi, joka on sisällöiltään samankaltainen kuin Toiminta digitaalisessa ympäristössä -tutkinnon osa.

Taulukko 3. Toiminta digitaalisessa ympäristössä, pakollinen tutkinnon osa.

Toiminta digitaalisessa ympäristössä, pakolliset osaamistavoitteet, 2 OSP
<p>Tieto- ja viestintäteknisten laitteiden valinta ja käyttö:</p> <p>Opiskelija</p> <ul style="list-style-type: none"> • valitsee käyttötarkoituksenmukaiset laitteet ja sovellukset • käyttää tarkoituksenmukaisia digitaalisia laitteita
<p>Digitaalisten palveluiden ja sovellusten käyttö:</p> <p>Opiskelija</p> <ul style="list-style-type: none"> • hakee, käsittelee ja jakaa eri muotoista tietoa • arvioi digitaalisen sisällön luotettavuutta • käyttää yleisimpiä tekstinkäsittely-, taulukkolaskenta- ja esitysgrafiikkasovelluksia • käyttää tarkoituksenmukaisia digitaalisia palveluita ja sovelluksia työtehtävissään
<p>Vastuullinen ja turvallinen toiminta:</p> <p>Opiskelija</p> <ul style="list-style-type: none"> • noudattaa tietosuoja- ja tietoturvaohjeistusta • suojaa henkilökohtaisia tietojaan ja yksityisyyttään • tunnistaa tyypillisimpiä kyber- ja tietoturvauhkia • käyttää viestipalveluita ja sosiaalisen median palveluita vastuullisesti • käyttää ja jakaa digitaalisia sisältöjä noudattaen tekijänoikeuksia • tunnistaa digitaalisten laitteiden ja sovellusten käytön vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin

Taulukossa 4 on esitelty Digitaalinen osaaminen ammatillisessa koulutuksessa: Opas osaamisen sanoittamiseen -oppaan ehdotuksia ammatillisten opintojen sisällöiksi perustutkinnoissa (Paananen ym., 2023, s. 18–28). Näitä ehdotuksia on tarkoitettu hyödynnettäväksi soveltuvilta osin eri alojen tutkinnon perusteiden ammattitaitovaatimuksia uudistettaessa. Ehdotus on jaettu teema-alueisiin. Teemoista Alusta ja datatalousosaaminen on sovellettavissa useisiin tutkinnon osiin. Erityisesti tietojärjestelmät ovat keskeisiä osaamis-kohteita teollisuuden työpaikoissa. Datan ja tietolähteiden käyttö on myös jo nyt tärkeää monissa työtehtävissä. AI (tekoäly) on kehittyvä teknologia. Sen liittäminen opetussuunnitelmaan on epäilemättä hyödyllistä. Koska käytännön sovellukset ovat näkyvissä vasta lattiatason yläpuolella, tekoälyn perusteet voitaisiin sijoittaa perusopintoihin. Kun tekoälyn sovellukset tulevat näkyviksi lattiatasolla, niiden opetus tulisi siirtää nopeasti myös suuntaaviin ja valinnaisiin opintoihin. Automaatio ja robotiikka lisääntyvät koko ajan ja niiden opiskelua tulisi lisätä perus- ja suuntaavissa opinnoissa. Valinnaisissa opinnoissa on jo robotiikan kurssi, mutta sen lisäksi autonomisten ja mobiilirobottien opiskelu voisi olla hyödyllistä. Esineiden internet on myös kasvava teknologia. Sitäkin voitaisiin sijoittaa perusopintoihin ja lisätä myöhemmin tarvittaessa. Koneasentajien ja koneautomaatioasentajien tulisi tunnistaa IoT:n käyttömahdollisuudet ja jopa osata tehdä yksinkertaisia anturointeja ja liittää ne verkkoon. Etäkäyttö ei sisälly sellaisenaan teollisuus 4.0:n taustateknologioihin ja sitä ei siksi ole tutkittu tässä työssä. Se on silti tutkimisen arvoinen alue. Kunnossapitotöissä voitaisiin käyttää kauko-ohjattavia robotteja joko vianmääritykseen tai korjaukseen. Useat koulutuksenjärjestäjät käyttävät jo lisättyä todellisuutta hyväksi opetuksessa. Sen käyttö tulee lisääntymään myös teollisuudessa, joten valinnaisiin tutkinnon osiin tulisi liittää aiheita käsittelevä opintokokonaisuus.

Taulukko 4. Paanasen työryhmän ehdotuksia ammatillisten tutkinnonosien sisällöiksi eri aloilla (perustuu Paananen ym., 2023, s. 18–28).

KEHITTYVÄT TEKNOLOGIAT TUTKINNON OSISSA – EHDOTUSAIHIOITA TEEMA-ALUEITTAIN
Alusta- ja datatalousosaaminen: Dataa hyödynnetään lisäarvon tuottamiseksi, erityisesti henkilödatan merkitys.
Opiskelija osaa
<ul style="list-style-type: none"> • käyttää organisaation tietojärjestelmiä

<ul style="list-style-type: none"> • laatia datasta visualisointeja ja esitysgrafiikkaa • hyödyntää eri tietolähteitä ja tulkitsee dataa työtehtävissään
<p>AI (tekoäly): Tekoälyn soveltaminen eri aloilla, kuten terveys, asiakaspalvelu, liikenne, teollisuus, ruoantuotanto, julkishallinto.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • tunnistaa työssään tekoälyn soveltamismahdollisuuksia • kuvata työtehtäviinsä liittyviä tekoälyn keskeisiä käsitteitä ja algoritmien toimintalogiikkaa • tunnistaa työssään tekoälyn virheellisen toiminnan • käyttää työssään tekoälyä hyödyntäviä sovelluksia
<p>Automaatio ja robotiikka: Automaatio ja robotiikka teollisuudessa, ohjelmistorobotiikka, ohjelmointitaito.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • käyttää automatiikkaa ja robotiikkaa työtehtävissä • tunnistaa vikatilanteita ja toimia vikatilanteissa organisaation toimintaohjeiden edellyttämällä tavalla
<p>Esineiden internet: IoT-sovellukset, kuten älykellot, dronet, maatalousteknologia.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • hyödyntää työssään tietoverkkoon kytkettyjen laitteiden ja sensorien soveltamismahdollisuuksia • tunnistaa virheellisen toiminnan tai toimimattomuuden • toimia vikatilanteissa organisaation toimintaohjeiden edellyttämällä tavalla
<p>Etäkäyttö- ja ohjausratkaisut: Etäteknologian käyttö terveys- ja hyvinvointipalveluissa, teollisuudessa.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • käyttää etäkäyttö ja -ohjausratkaisuja työtehtävissä • hyödyntää etäkäytön ja -ohjausratkaisujen suomia mahdollisuuksia työtehtävien kehittämisessä
<p>Yhteisöllinen online-työskentely: Digitaalisen toimintaympäristön hyödyntäminen, yhteisöllinen työskentely verkossa.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • hyödyntää digitaalisen toimintaympäristön tarjoamia mahdollisuuksia työssään • tunnistaa erilaisia digitaalisia toimintaympäristöjä ja niiden hyödyntämisen

<p>vaatimuksia online-työskentelyssä</p> <ul style="list-style-type: none"> • käyttää teknisiä työkaluja toimintaympäristön vaatimusten mukaisesti • hyödyntää erilaisia online-työskentelyn fasilitointimenetelmiä vuorovaikutuksen edistämiseksi • käyttää asiakastilanteessa monipuolisesti ja joustavasti erilaisia kanavia asiakkaan asian edistämiseksi • auttaa asiakasta hyödyntämään digitaalisia alustoja • työskennellä verkossa hyödyntäen alalla käytössä olevia sovelluksia ja laitteistoja
<p>Digitaalinen kauppa ja verkkonäkyvyys: Digitaalinen kaupankäynti, verkkonäkyvyyden merkitys.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • tunnistaa asiakkaiden odotuksia digitaalisille palveluille ja/tai vuorovaikutukselle • päivittää tuote- ja palvelutietoja digitaaliseen ympäristöön • hyödyntää organisaation digitaalisia kanavia verkkonäkyvyyden parantamiseksi • palvella asiakasta / myydä tuotteita verkkokauppaympäristössä • kerätä tuotteita verkkokaupan tilauksen mukaisesti • toteuttaa markkinointiviestintää hyödyntäen organisaatiossa käytettäviä erilaisia digitaalisia kanavia ja niiden ominaispiirteitä
<p>Virtuaalitalit ja virtuaalitodellisuudet (XR-ratkaisut): VR/AR-sovellukset eri aloilla, kuten maatalous, teollisuus, terveydenhoito.</p> <p>Opiskelija osaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • käyttää työssään laajennetun todellisuuden suomia mahdollisuuksia • opastaa asiakkaita laajennetun todellisuuden palveluiden käytössä • käyttää virtuaalitaloja ja virtuaalitodellisuuksia työtehtävissä

5.6 Tulevaisuuden ammattitaitovaatimukset

World Manufacturing Foundation on italialainen vuonna 2018 perustettu järjestö, jossa on jäsenenä Confindustria Lombardia, (Lombardian alueen työnantajaliitto), Politecnico di Milano, (Italian johtava teknillinen yliopisto) ja IMS International, (teollisuusjohtoinen kansainvälinen yritysinnovaatio-, tutkimus- ja kehitysohjelma) (World Manufacturing Foundation,

i.a.). Järjestö laatii vuosittain raportin, jossa käsitellään valmistusteollisuuden ajankohtaisia aiheita. Vuoden 2022 raportissa pohdittiin muun muassa kehittyvien työmarkkinoiden tarpeita (World Manufacturing Foundation, 2022, s. 23). Raportin mukaan perinteisiä kädentaitoja tarvitaan edelleen, ja niistä on jopa puutetta. Kädentaitojen lisäksi puutetta on data-tieteen ammattilaisista ja tutkijoista. Euroopan väestö ikääntyy ja työpaikat ja -tehtävät muuttuvat. Etenkin vanhempien työntekijöiden digi- ja teknologiaosaamista sekä siirrettäviä taitoja tulisi parantaa työllistettävyyden ylläpitämiseksi. Täydennyskoulutusmahdollisuudet ovat tärkeitä uudelleentyöllistymisen takia.

Automaation on pelätty vievän työpaikkoja (World Manufacturing Foundation, 2022, s. 35). Automaatiota käyttävillä yrityksillä on kuitenkin suurin osaamisvaje. Yhdysvalloissa valmistavassa teollisuudessa on vaarana menettää 8,5 biljoonaa dollaria osaamisvajeen takia. Digitaalisten teknologioiden käyttö on lisääntynyt ja työntekijöiltä tarvittaisiin uudenlaisia taitoja. Digitaalisten teknologioiden, mukaan luettuna AR, VR ja XR, on lisännyt datan määrää ja tarvetta analysoida sitä. Numeerisesti ohjattavien koneiden lisääntyminen vaatii käyttäjiltään matemaattisia ja loogisia taitoja, systeemiajattelua, kykyä mukautua nopeasti tuotantotilanteisiin ja korkean teknologian taitoja. Työympäristön monimutkaistuessa pehmeiden taitojen hallinta on entistä tärkeämpää, ihmissuhteiden hallinnan katsotaan olevan yksi tärkeimmistä valmistustaidoista. Näiden taitojen kehittämisessä yritysten tulee olla aloitteellisia.

Digitaalisten taitojen kehittäminen PK-yrityksissä tärkeää, koska niiden tuotanto on tärkeä osa toimitusketjuja (World Manufacturing Foundation, 2022, s. 43, 62, 77). Tuotantopajoista tulee paljon tehokkaampia uusien teknologioiden, kuten yhteistyörobotiikan, big data-analytiikan, lisäävän valmistuksen ja 3D-tulostuksen, käyttöön ottamisen ansiosta. Kun tehokkuus on kunnossa, seuraava haaste on saavuttaa parempi sopeutumis- ja reagointikyky sekä innovaatio teknologian ja ihmisten taitojen avulla. Tämä mahdollistaa keskittymisen asiakkaiden tarpeiden täyttämiseen. Arvoketjut voivat myös olla monimuotoisia ja niiden on oltava myös häiriönsietokykyisiä. Työvoimalla tulisi olla hyvät johtamistaidot, strateginen ajattelu, ongelmanratkaisu, tiiminhallinta ja tehokas viestintä sekä tekniset ja teknologiset taidot. Myös riskienhallinta, tilastollinen mallinnus, datalukutaito ja koneoppimisen käyttö ovat tärkeitä tulevaisuuden tehtaassa. Arvoketjujen muuttuessa on tärkeää omak-sua kulttuuri, jossa koko työvoima pääsee osallistumaan päätöksentekoon. Menestyminen

riippuu siitä, kuinka johto osaa ottaa huomioon tuotannon ja tuotantohenkilökunnan tarpeet.

Valmistus on kehittynyt manuaalisista menetelmistä edistyneisiin koneisiin, jotka varmistavat maksimaalisen tehokkuuden (Tabares ym., 2018, s. 14–15). Tämä on ollut yksi syy siihen, että suuri määrä matalan osaamistason työpaikkoja on kadonnut teollisuudesta, ja tämä jatkuu tulevaisuudessa, automaation ja tekoälyn yleistyessä. Korkeasti koulutettujen ammattilaisten kysyntä kasvaa, sillä uusi paradigma vaatii uudenlaista yhteistyötä ihmisten ja koneiden välillä. Uudet teknologiat, kuten tekoäly, robotiikka ja kyberfyysiset järjestelmät, parantavat työntekijöiden autonomiaa tehtaissa, mutta ne vaativat myös edistyneitä digitaalisia taitoja. Tulevaisuudessa 9 kymmenestä työpaikasta vaatii digitaalisia taitoja, ja Eurooppa ei ole riittävästi valmistautunut tähän muutokseen, sillä 44 % eurooppalaisista ei omaa perustason digitaalisia taitoja.

Tulevaisuuden tehtaassa ammattitaitoiset työntekijät kokevat monipuolisempia tehtäviä, kun yksitoikkoisten ja epäergonomisten tehtävien osuus vähenee automaation ja robottien avulla (Gehrke ym., 2015, s. 12). Työntekijät keskittyvät enemmän tiedon ja datan käsittelyyn, sillä tuotantoprosessit ohjautuvat tiedon virran eikä materiaalivirran mukaan. Ammattitaitoiset työntekijät käyttävät uusia laitteita ja avustavia järjestelmiä, mikä lisää tehtävien määrää. Tiimityö on keskeistä sekä organisaation sisällä että arvoketjussa, ja sitä tukevat uudet järjestelmät. Nämä järjestelmät avustavat, mutta eivät korvaa ihmisiä, jotka tekevät lopulliset päätökset ja suorittavat laajemman tehtävien kokoisuuden. Ihmisten ja älykkäiden koneiden välinen vuorovaikutus helpottuu tekoälyn avulla, mikä mahdollistaa kommunikoinnin äänen tai eleiden kautta. Tehtävät sisältävät vähemmän käsityötä ja enemmän prosessien valvontaa ja ohjausta. Suunnitteluaspektit siirtyvät osittain tuotantotyöntekijöiden vastuulle, tukien teollisuusinsinöörejä prosessien parantamisessa ja jätteen vähentämisessä. Tulevaisuuden työntekijöille suositellut pätevyudet ja taidot liittyvät teollisen tuotannon informatisointiin, täydentäen nykyisiä teknisiä taitoja, kuten materiaalien ja metallin käsittelyn perustietoja. Nämä ydinpätevyudet säilyvät olennaisina ammattitaitoisen työvoiman koulutuksessa. Tämä tutkimus on vanha ja edustaa ehkä turhankin futuristista lähestymistapaa. Tiedon merkitys on kuitenkin todennäköisesti kasvussa.

5.7 Automaation kehitys valmistavassa metalliteollisuudessa

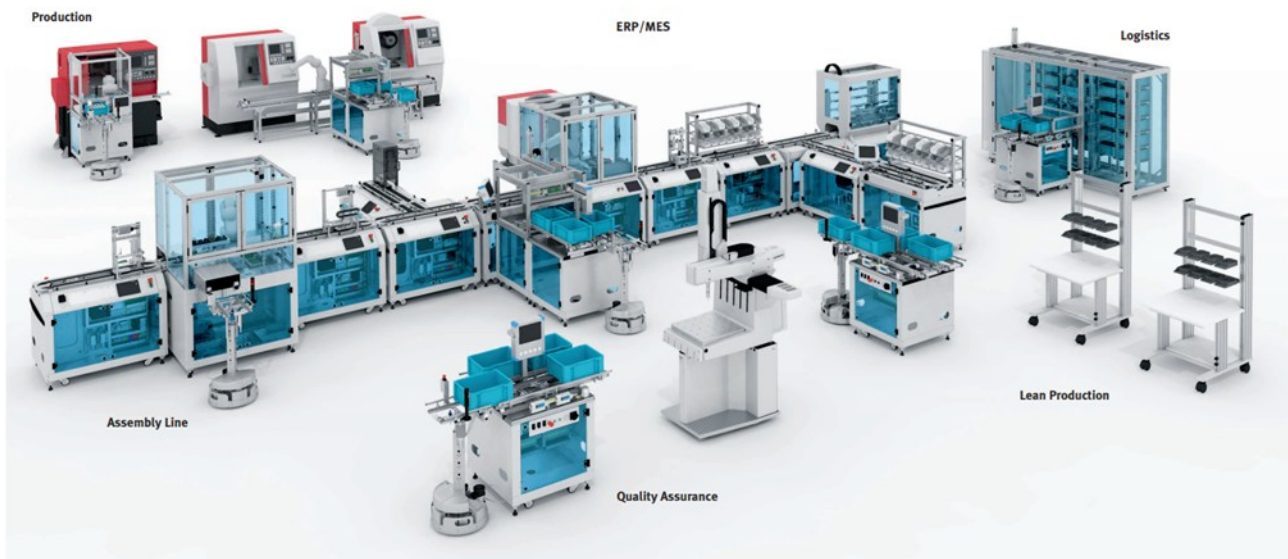
Centria ammattikorkeakoulun ja ammattiopisto Optiman (2025) järjestämässä seminaarissa nousi vahvasti esille robotiikan merkityksen kasvu. Tätä kuvannee osaltaan se seikka, että hionta-abrasiivejä ja hiomakoneita valmistava Mirka Oy on panostanut voimakkaasti robotiikan liittämiseen omiin tuotteisiinsa. ABB Roboticsin Peter Taipale kertoi puheenvuorossaan yhden robotiikan ja automaation lisääntymisen syyn olevan digitalisaatio ja tekoäly. Hänen mukaansa automaatio myös parantaa laatua. Cobotit ovat Taipaleen mukaan myös erittäin kilpailukykyisiä. Niiden nopeus ja paikoitustarkkuus ovat nykyään lähes teollisuusrobottien tasolla. Niiden ohjelmointi on helppoa ja perustoiminnot onnistuvat lyhyellä koulutuksella vaativien ohjelmien teon vaatiessa yhä pidempää kokemusta. Käytön helppous perustuu osittain käyttöliittymän selkeyteen, joka toimii niin sanotuilla blokeilla. Tämä käyttöliittymä on myös uusissa ABB:n teollisuusroboteissa vanhan rinnalla. Centrian Tomi Pitkäaho ennusti keskustelemaan tekoälyn olevan käytössä tulevaisuudessa. Hänen mukaansa tämä johtaa siihen, että robotti ja ihminen pystyvät olemaan vuorovaikutuksessa. Robottien kyky havaita ihminen lähellään tulee kehittymään sensoriteknikan ja tekoälyn avulla. Tekoälyllä varustettu robotti voidaan opettaa virtuaaliympäristössä, jossa se oppii tekemistään virheistä. Kun robotti on opetettu virtuaaliympäristössä toimimaan virheettömästi, ohjelma siirretään fyysiseen robottiin. Pitkäaho arveli robottien kykenevän tulevaisuudessa jopa tulkitsemaan ihmisen eleitä.

Alankomaalainen Cellro toimittaa automaatiojärjestelmiä työstökoneisiin (Eurometalli, i.a.). Järjestelmään voidaan ladata aihioita erilaisille kappaleille ja se operoi työstökoneita, joka voi siten valmistaa jopa yhden kappaleen sarjoja. Tämä ominaisuus pienentää valmiiden tuotteiden varastointitarvetta ja mahdollistaa tuotteiden varioinnin. Tuotanto on silloin teollisuus 4.0:n ja Leanin mukaista. Normaalista työstökoneen operoinnista järjestelmän käyttö poikkeaa siten, että koneen lastuavien työkalujen hallinta, toisin sanoen järjestys ja vara-työkalujen käyttö, saattaa olla kokonaisuutena monimutkaista. Samoin kiinnittimiä on enemmän ja niiden käyttöön yhteistyössä robotin kanssa tarvitaan koneistusalalla suhteellisen uusia taitoja. Operaattoria helpottaa tarkka dokumentointi. Toille on olemassa resepti, jota valmistus käyttää. Termiä resepti käytetään nykyään teollisuudessa. Lillbacka Powercon hydrauliletkupuristimet toimivat myös reseptikirjaston avulla. On selvää, että tällaisen automaatiojärjestelmän ylläpito vaatii korkeaa osaamista. Toisaalta osa tehtävistä on

luonteeltaan rutiininomaisia ja niissä toimiminen ei vaadi korkeaa ammattitaitoa työstötekniikan hallitsemisessa. Toisaalta järjestelmän käyttäjän on oltava huolellinen ja hänen on kyettävä toimimaan reseptin mukaan.

5.8 Oppimistehtaat

Oppimistehtaat 4.0 ovat mallinnettuja tuotantolinjoja, jotka on asennettu useisiin teknisiin ammattikouluihin Baden-Württembergin osavaltiossa (Roll & Ifenthaler, 2020, s. 25–26). Esimerkiksi Festo valmistaa tällaisia linjoja ja niiden rakenne vaihtelee (Kuva 1, Festo didactic 2015). Linja voi sisältää osavalmistuksen, kokoonpanon, ERP/MES-järjestelmän, laadunvalvonnan ja logistiikan autonomisinen robotteineen. Näiden oppimistehtaiden tehtävänä on valmistaa opiskelijoita teollisuus 4.0:n vaatimuksiin.



Kuva 1. Feston oppimistehtas (Festo didactic 2015).

Saksalaisessa tutkimuksessa tarkasteltiin digitalisaation ja Industry 4.0:n roolia teknisissä ammattikouluissa, tärkeimpiä monitieteisiä digitaalisia taitoja ja oppimistehtaiden integrointia opetukseen metalli- ja sähkötekniikan aloilla (Roll & Ifenthaler, 2020, s. 26–28, 33–34). Monitieteiset digitaaliset taidot sisältävät asenteen digitaalisia laitteita kohtaan, niiden käsittelyn ja informaatiolukutaidon. Laadullisessa tutkimuksessa haastateltiin 19 opettajaa, jotka ovat mukana oppimistehtaiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Osallistujat olivat

sähkötekniikan tai mekatroniikan opettajia. Tulokset osoittivat, että koulut tunnistavat digitalisaation tärkeyden, mutta infrastruktuuria on vielä kehitettävä. Oppimistehtaiden käyttö vaihtelee kouluittain; osa kouluista on kehittänyt pedagogisia konsepteja, kun taas toiset ovat vasta aloittamassa. Tulevaisuuden suosituksina tarvitaan selkeitä suunnitelmia ja tukea opettajille oppimistehtaiden tehokkaaseen käyttöön. Pieni vähemmistö opettajista ei osannut määritellä, kuinka oppimistehtas integroidaan opetukseen. Syynä tähän on todennäköisesti se, että aihetta pidettiin monimutkaisena ja sen opettamista eri tasoille opiskelijoille haastavana. Jotkut koulut olivat kuitenkin jo siirtyneet suunnitteluvaiheesta soveltavaan vaiheeseen ja käyttivät sekä virtuaalista että lisättyä todellisuutta opetuksessa.

Opettajat korostavat digitalisaation tärkeyttä ja sen integroimista opetukseen. He mainitsivat, että digitalisaatio on koulun prioriteetti numero yksi ja että sen avulla voidaan tehdä koulusta tehokkaampi. Oppimistehtaan kontekstissa opettajien mielestä tärkeimpiä asioita ovat prosessien ymmärtäminen, ongelmanratkaisu, edistyneet IT-taidot sekä laaja-alainen osaaminen ja holistinen ajattelu (Roll & Ifenthaler, 2020, s. 28–30). Modernin tuotantoteknologian integrointiaste opetukseen riippuu tutkimuksen mukaan siitä, mikä on opiskelijan ammattiala. Opettajat kertovat, että teollisuus 4.0 vaikuttaa jokaiseen koulun opetussuunnitelmaan. He painottavat, että on tärkeää keskustella teollisuus 4.0:n mahdollisuuksista ja uhkista sekä integroida moderni tuotantoteknologia opetukseen.

5.9 Osaamisen ennakointifoorumi

Osaamisen ennakointifoorumi OEF on opetus- ja kulttuuriministeriön sekä Opetushallituksen yhteinen ennakkoinnin asiantuntijaelin, joka koostuu ohjausryhmästä ja yhdeksästä alakohtaisesta ryhmästä (OPH, 2024b). Foorumin tehtävänä on edistää työelämän ja koulutuksen yhteistyötä.

OEF:n ensimmäisen raportin mukaan työelämäosaamistarpeissa tulee vahvasti vaikuttamaan digitalisaation vaikutus: digitaalisten ratkaisujen hyödyntämisaamisen, digitaalisten alustojen hyödyntämisaamisen, digitaalisten toimintojen hallinnan ja ohjaustaitojen sekä robotiikkateknologian käyttötaitojen merkitys tulee lisääntymään vuoteen 2035 mennessä (OPH, 2019, s. 22). Asiantuntijatehtävissä nähdään merkittävyyden kasvua

mobiilisovellusten hallinnassa ja hyödyntämisessä, älykkäisiin järjestelmiin liittyvä osaamisessa, IoT -osaamisessa sekä digitaalisten toimintojen hallinta- ja ohjaustaidoissa (mts. 43). Tulevaisuudessa toimintaympäristön muutosvauhti kiihtyy, joten itseohjautuvuus ja itsensä johtaminen tulevat olemaan tärkeitä ominaisuuksia. Myös jatkuvaan oppimiseen liittyvien taitojen katsotaan olevan tulevaisuudessa entistä tärkeämpiä aikaan ja paikkaan sidotun oppimisen merkityksen vähentyessä (mts. 33).

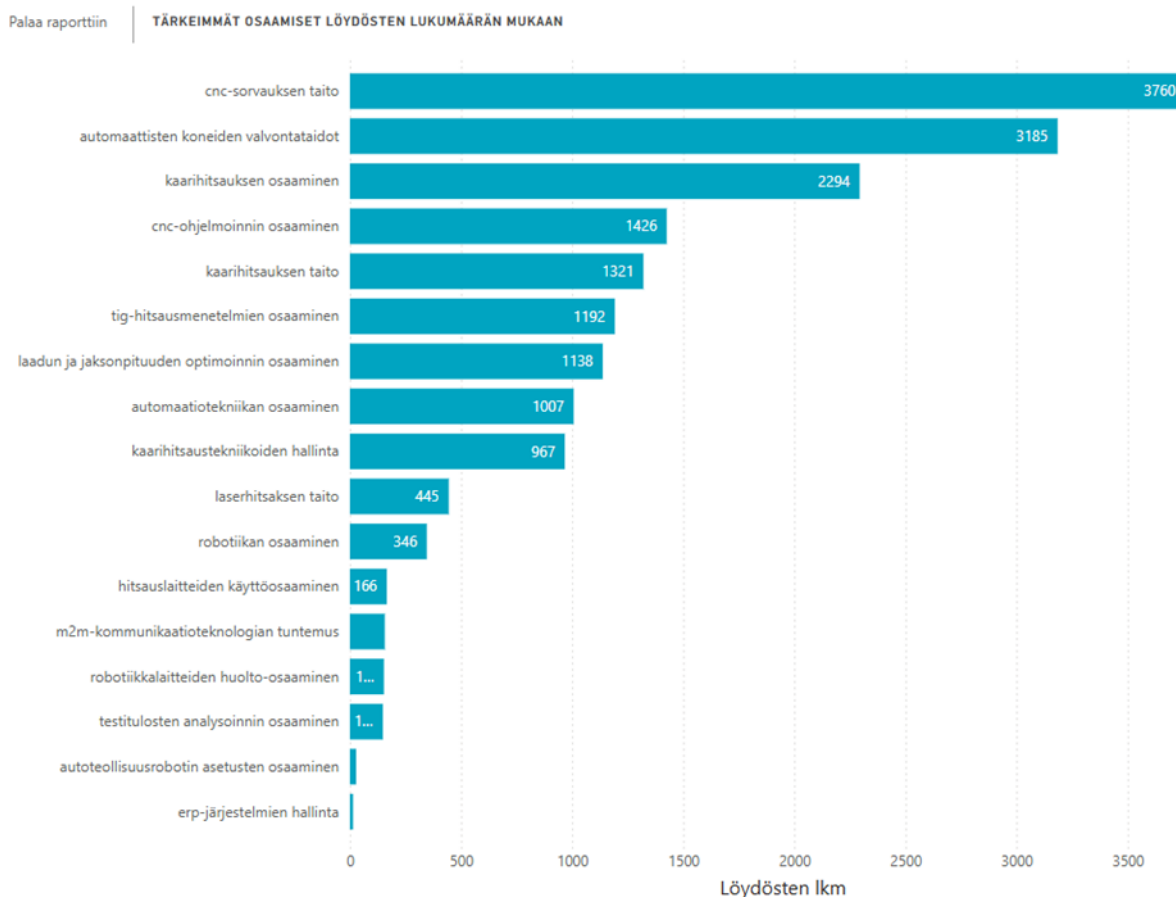
OEF toteutti pitkän aikavälin tavoitteita koskevan kyselyn loppuvuodesta 2023 selvittääkseen, kuinka koulutusta tulisi kehittää vuoteen 2040 mennessä (OPH, 2024a, s. 3–4). Keskusteluissa nousi esille lukuisia ideoita myös digitalisaatiota koskien. Opetussuunnitelmaa tulisi laajentaa kattamaan digitaaliset taidot, kuten koodaus, ohjelmointi, digitaalinen lukutaito ja datan analysointi. Nämä taidot tulisi sisällyttää ammatillisen koulutuksen perusteisiin. Koulutukseen tulisi kuulua myös tietosuoja-, tietoturva- ja kyberturvallisuuskysymykset sekä vastuullinen toiminta digitaalisissa ympäristöissä. Digitalisaatio-koulutusta voisi kehittää ilmiöpohjaiseksi, ja osaamiselle voisi määritellä taitotasot sekä kehittää pätevyyden osoittamisen mahdollisuuksia. Jatkuva oppiminen on tärkeää digitalisaatio-osaamisen ylläpidossa.

On tärkeää ymmärtää tekoälyn vaikutukset työelämään ja kehittää tarvittavaa osaamista (OPH, 2024a, s. 6). Kyberturvallisuuden perustaidot, tietoturvaosaamisen perusteet ja kriittinen medialukutaito tulee tarjota kaikille. Jokaisen tulisi tunnistaa kyberhyökkäys ja osata toimia siinä tilanteessa. Digitalisaatio- ja teknologiaosaamisen sekä etä- ja virtuaalipalveluiden hallinta ovat osa kyberturvallisuuden kokonaisuutta. On tärkeää tunnistaa kyberturvallisuuteen liittyviä riskejä ja ymmärtää kokonaisuusturvallisuus. Tarvitaan mahdollisesti oma kyberturvallisuuden koulutusohjelma tai pääaine. Tutkinnon perusteiden päivityssyklein tulisi olla nopeampia, jotta voidaan vastata muuttuviin tarpeisiin. Osaaminen tulisi päivittää ajan tasalle ja sen tulisi olla ennakoivaa.

5.10 Jatkuvan oppimisen ja työllisyyden palvelukeskus

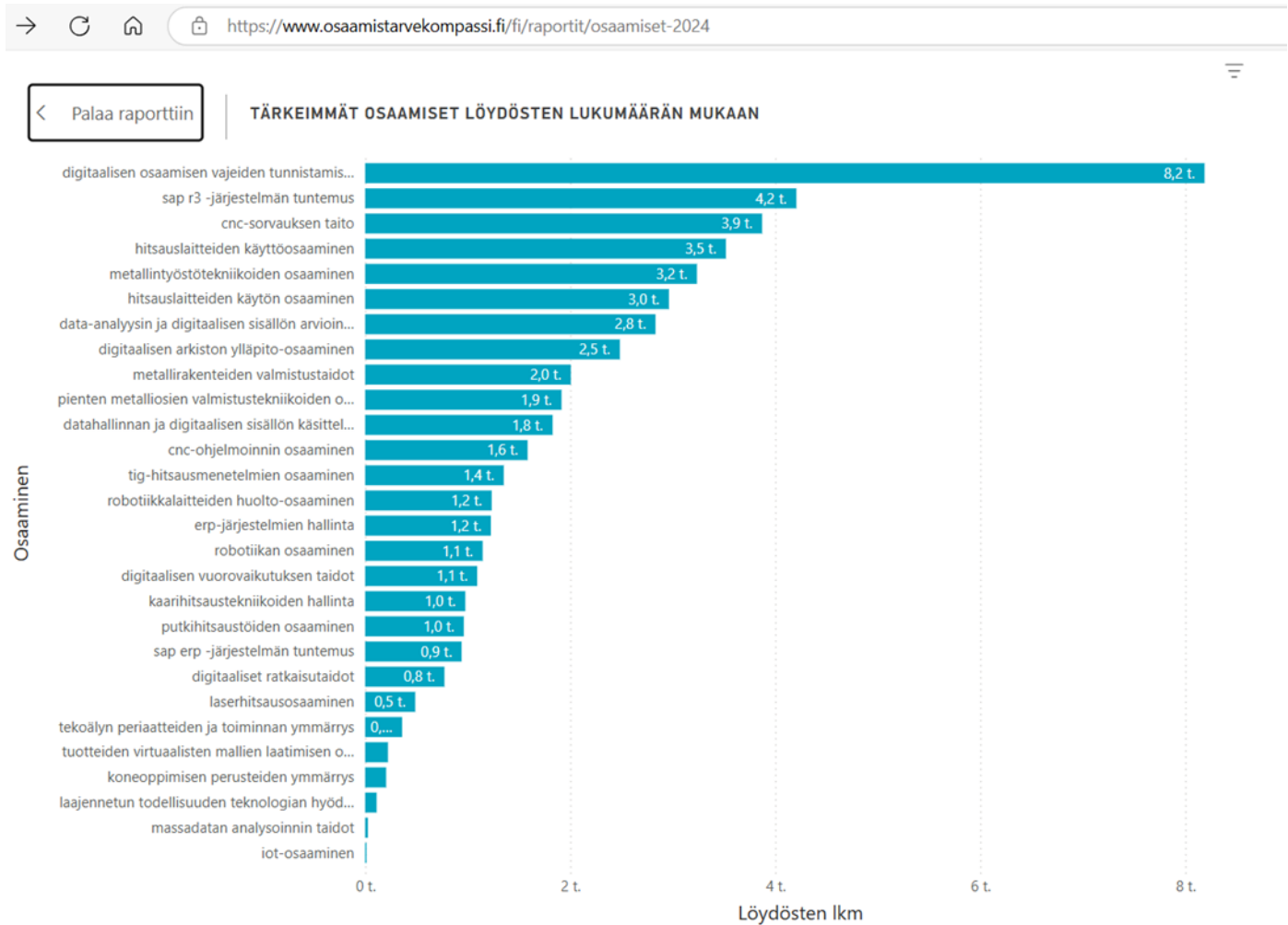
Jatkuvan oppimisen ja työllisyyden palvelukeskus Jotpa on Opetushallinnon erillisyyksikkö, jonka tehtävänä on elinikäisen oppimisen kehittäminen työelämän tarpeiden mukaan (Opetus- ja kulttuuriministeriö, i.a.). Jotpan osaamistarvekompassi on tietokanta, joka

kerää tietoa eri ammateista tarvittavista osaamisista (Osaamistarvekompassi, 2024a). Osaamistarpeet on louhittu ja analysoitu työpaikkailmoituksista, tiedejulkaisuista ja investointidatasta, hyödyntäen laajaa kielimallia OpenAI:ta. Kuviossa 6 on poiminta metallityöntekijöiden osaamisista työpaikkailmoituksissa vuonna 2024. Kaikkia osaamisista ei ole mukana, mutta koneistajien ja levyseppähitsaajien merkittäviä ammatillisia taitoja on sisällytetty, jotta voidaan arvioida digitalisaation edellyttämiä taitoja perinteisiin taitoihin. Robotiikan eri sovellusten hallinnasta on yhteensä noin 500 mainintaa. Automaattisten koneiden valvontataidot haluttiin 3185 tapauksessa, mikä saattaa viitata osin CNC-koneiden valvontaan. Automaatiotekniikan osaaminen oli mainittu 1007 kertaa. IoT ei ollut edustettuna lainkaan, mutta m2m-kommunikaatioteknologian tuntemus oli edustettuna 157 merkinnällä. Noin 10–20 merkinnän suuruusluokkaa edustaa ERP-järjestelmien hallinta. Robotiikan osuus oli merkittävä. Jos saatavissa olisi useamman vuoden tiedot, voitaisiin ennustaa kehitystä eteenpäin. Automaation merkitys on suuri. CNC-tekniikka on tietysti automaatiota ja sillä on jo pitkä historia Suomen metalliteollisuudessa, lastuavan työstön osalta automatisoituminen alkoi jo 1970–80-lukujen vaihteessa.



Kuvio 6. Poininta metallityöntekijöiden osaamisista työpaikkailmoituksissa, (Osaamistarvekompassi, 2024a).

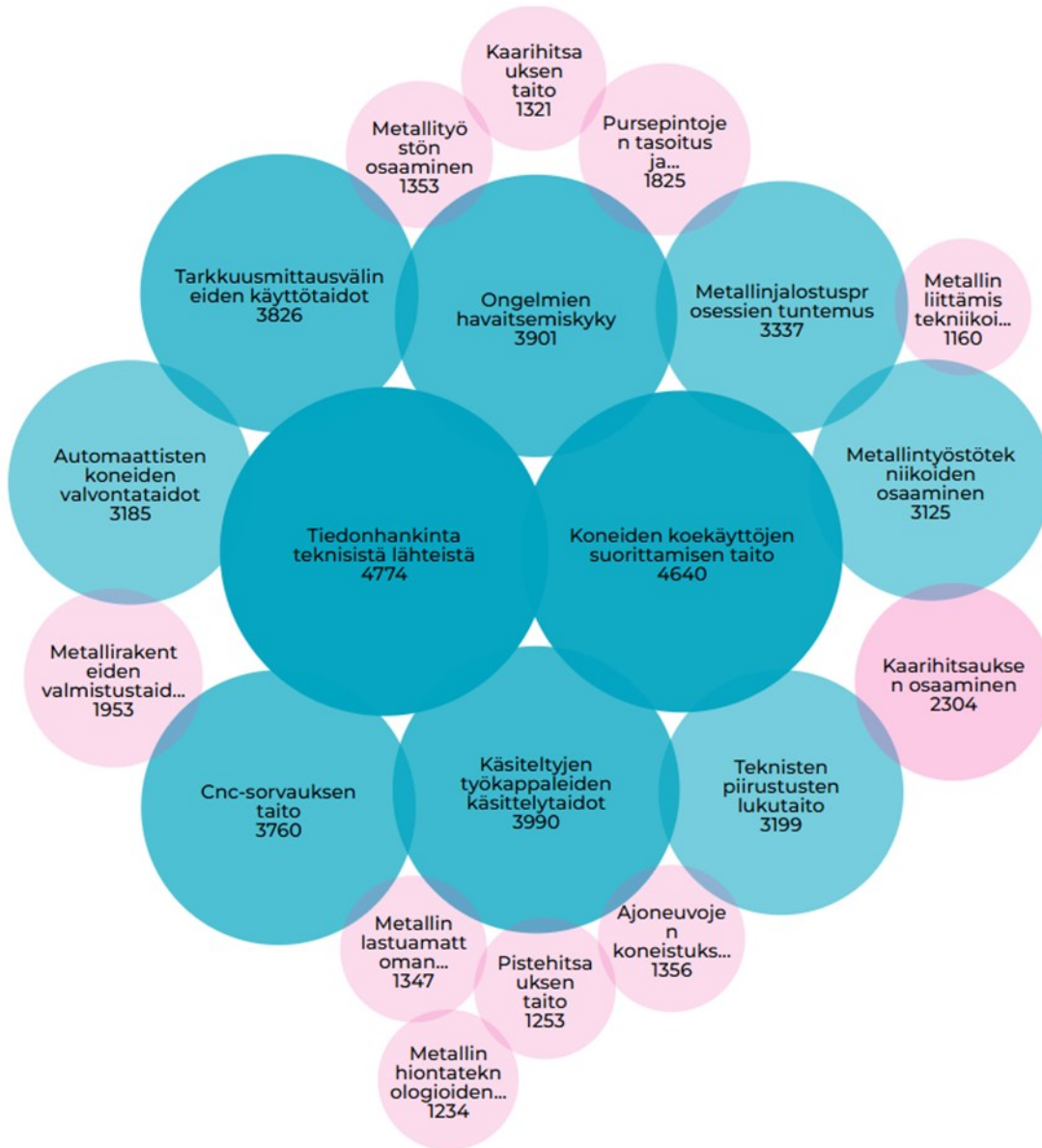
Kuviossa 7 on kaikkien alojen työpaikkailmoitusten osaamisia vuodelta 2024 (Osaamistarvekompassi, 2024a). On huomioitavaa, että tässä ovat mukana myös asiantuntija-ammattit, jolloin edistyneemmät osaamiset ovat luonnollisesti mukana. Digitaalisen osaamisen vajaiden tunnistamiskyky oli merkittävä taito 8188 merkinnällä. Myös muut digitaaliset taidot ovat merkittäviä, kuten data-analyysin ja digitaalisen sisällön arviointikyky 2832, digitaalisen arkiston ylläpito-osaaminen 2484, datahallinnan ja digitaalisen sisällön käsittelytaidot 1828, digitaalisen vuorovaikutuksen taidot 1092 ja digitaaliset ratkaisutaidot 773 merkintää. Robottiikan osaamisen merkintöjen määrä on 1146, mikä tarkoittaa kyseisistä merkinnöistä 30 % olevan metallityöntekijöiden ammattialalla. Robottiikkalaitteiden huolto-osaaminen 1234, Laajennetun todellisuuden teknologioiden hyödyntämisosaaminen 111, virtuaalitodellisuuteen sijoittuvien matkailukokemusten edistämisen osaaminen 160, erp-järjestelmien hallinta 1226. Sap erp-järjestelmän tuntemuksen 940 ja sap r3-järjestelmän tuntemuksen 4200 merkintää on varsinkin yhteenlaskettuna merkittävä ryhmä.



Kuvio 7. Poiminta kaikkien alojen työpaikkailmoitusten osaamista, (Osaamistarvekompassi, 2024a).

Kuviossa 8 on 20 yleisintä metallityöntekijöiden osaamista (Osaamistarvekompassi, 2024b). Osaamiset on louhittu big datasta ja jalostettu tekoälyavusteisesti. Aineistona on käytetty työpaikkailmoituksia ja OpenAI:n suuren kielimallin dataa. Koska lähteenä on suuren kielimallin data, joissakin osaamisissa saattaa olla kysymys tekoälyn hallusinaatiosta ja tieto ei siten ole oikeaa. Tiedonhankinta teknisistä lähteistä on mielenkiintoinen tämän työn näkökulmasta, se löytyy myös työpaikkailmoituksista suurimpana metallityöntekijöiden osaamisena, laajuus 4800 esiintymistä. Tiedonhankinta teknisistä lähteistä on myös sikäli tärkeä aihepiiri, että se löytyy taitona yli viidessä ammattialassa samoin kuin kaikki muutkin siniset pallot. Se on siis laajasti sovellettava taito ja auttaa mahdollisessa alanvaihdossa. Tässä tosin esiintyy virheitä, CNC-sorvaamisen taito esiintyi

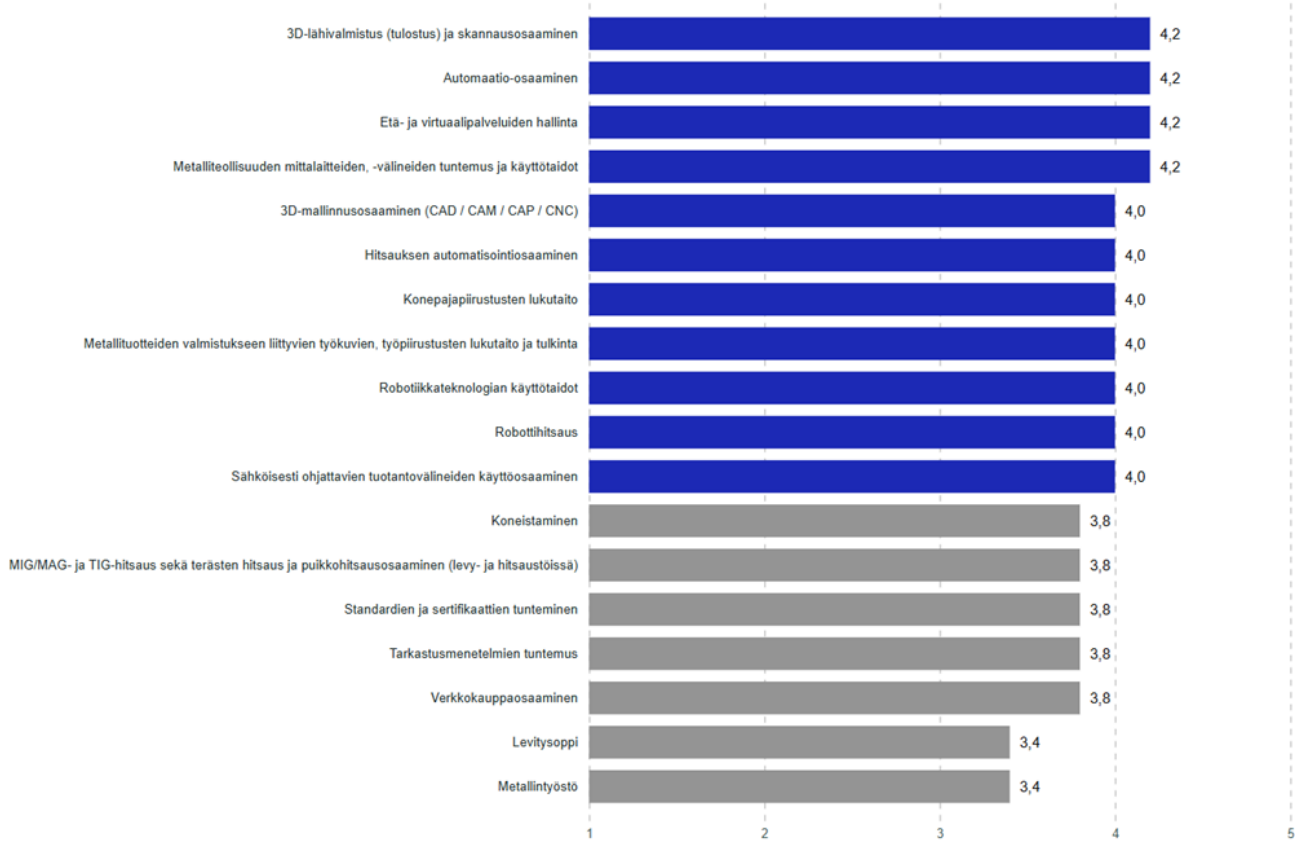
työpaikkailmoituksissa vain kahdella alalla. Punainen väri tarkoittaa taidon esiintyvän 2–5 alalla. Digitalisaation kannalta mielenkiintoisia osaamisia tässä kuviossa ovat automaattisten koneiden valvontataidot, koneiden koekäyttäjien suorittamisen taito ja aiemmin mainittu tiedonhankinta teknisistä lähteistä.



Kuvio 8. Metallityöntekijän yleisimmät osaamiset. (Osaamistarvekompassi, 2024b).

5.11 Vipunen

Vipunen on opetushallinnon tilastopalvelu. Opetushallitus arvioi yhdessä OEF:n kanssa muun muassa osaamistarpeita ja tarvittavaa koulutuksen määrää eri aloilla (OPH, i.a.-a). Kuviossa 9 kuvataan metallityöntekijöiden osaamisten tarpeen muutosta vuoteen 2030 mennessä Vipusen mukaan. Muutosta arvioidaan asteikolla 1–5, jossa 1 = vähenee huomattavasti, 5 = kasvaa huomattavasti. Arviot perustuvat Osaamisen ennakointifoorumin (OEF) osaamistarvekyselyyn. Lisäävän valmistuksen merkitys näyttäisi kasvavan ja siihen liittyen skannausosaaminen. Näihin liittyy myös vahvasti 3D-mallinnusosaaminen. Automaation ja robotiikan merkityksen arvioidaan kasvavan myös huomattavasti, näihin liittyvänä osaamisena sähköisesti ohjattavien tuotantovälineiden käytön osaaminen. Esille nousee erityisesti etä- ja virtuaalipalvelujen hallinta, joka ei tule esille työpaikkailmoituksissa. Herää vahva epäily, että nämä eivät ole työnantajien tarvitsemia taitoja vielä vuonna 2030, ovathan metallityöntekijän ammatit vielä tällä hetkellä vahvasti valmistavaa teollisuutta ja käsityöllä on niissä suuri merkitys. Toisaalta teknologioiden yleistymisen riippuu vahvasti niistä valmistavien yritysten tarjonnasta ja uusien teknologioiden kyvystä tuottaa lisäarvoa yritykselle. Etä- ja virtuaalipalvelut tarkoittavat tässä yhteydessä mahdollisesti lisätyn todellisuuden käyttöä, anturitietojen seuranta, tuotantolaitteiden ohjaamista valvomosta käsin ja yhteydenpitoa asiakkaisiin ja muihin yhteistyötahoihin verkon yli. Alastin ym. (2019, s. 115) mukaan robotteja on mahdollista ohjata eri tilasta joko suoraan näköyhteyden kautta tai VR-tekniikan avulla. Kuten aiemmin on todettu, VR-tekniikkaa on mahdollista käyttää mekaanisten laitteiden ohjaamiseen (Tu, 2024). Työterveyden kannalta olisi hyödyllistä, jos metalliteollisuuden tuotantotiloissa ei olisi ihmisiä, koska nykyisten opiskelijoiden työurien ennustetaan oleva pituudeltaan yli 50 vuotta ja tuotantoympäristöt ovat ainakin nykyään jossain määrin terveydelle haitallisia.



Kuvio 9. Metallityöntekijöiden vuoteen 2030 kasvavat osaamiset (OPH, i.a.-a).

6 POHDINTA

Tutkimuksessa havaittiin selkeä tarve muuttaa opetusta ja opetussuunnitelmaa. Kuten aikaisemmin todettiin, tämä asia on jo tunnistettu Opetushallituksessa ja siitä on laadittu julkaisu Digitaalinen osaaminen ammatillisessa koulutuksessa: Opas osaamisen sanoittamiseen (Paananen ym., 2023), joka auttaa tuomaan digitalisaatiota opetussuunnitelmiin. Sen sisältö ei kuitenkaan ole ehtinyt tuoreimpaan kone- ja tuotantotekniikan opetussuunnitelmaan.

Kone- ja tuotantotekniikan opetuksessa on paljon hyviä käytäntöjä, joita ei ole syytä muuttaa. Toisaalta automatisaatiossa ja digitalisaatiossa on nähtävissä nopeaa kehitystä, joten reaktiivinen tapa toimia on todennäköisesti liian hidaskas. Perusopetukseen on tuotu uusia elementtejä, muun muassa looginen ajattelu ja robotiikka, mikä on tervetullutta tämän työn antamien johtopäätösten valossa. Loogista ajattelua ja uusia teknologioita ei opita hetkessä. On myös muistettava, että tänään annettu laadukas ja oikea opetus ja koulutus voivat olla käytössä vielä puolen vuosisadan jälkeen.

Kädentaidot ovat kone- ja tuotantotekniikan opetuksessa perinteisesti korostuneessa asemassa. Sukupolvilla on erilaisia taitoja. Taitojen kehittymiseen vaikuttavat luultavasti ympäristö, jossa lapsi ja nuori kasvaa. Henkilö, joka kiipeilee puissa, oppii erilaisia taitoja kuin henkilö, joka pelaa Pokemon Gota. Oppimisen ja osaamisen näkökulmasta olisi tärkeää tunnistaa taitojen kehittymistä edistävät tekijät ja pyrkiä sovittamaan ne opetuksen kanssa. Tämä voisi tarkoittaa molempien tekijöiden muuttamista. On kuitenkin oma kysymyksensä, kuinka paljon ympäröivän maailman kehitykseen voidaan vaikuttaa. Pokemon Go on innovatiivinen peli, koska se vie lapset ulos liikkumaan pelin hahmojen perässä. Playstationilla pelaaminen antaa puolestaan kyvyn ohjata myös fyysisen maailman laitteita, kuten droneja. Perusopetusta muutetaan työelämän tarpeiden mukaan, ja toisaalta valmistajat pyrkivät tuottamaan helposti käytettäviä laitteita. Myös ammatillisessa opetuksessa tulisi pyrkiä käyttämään opiskelijoiden vahvuuksia hyväksi. Työelämä digitalisoituu, mutta toisaalta lapset ja nuoret kasvavat entistä digitaalisemmassa ympäristössä. Toisaalta opetuksessa pitäisi myös harjoitella kädentaitoja, koska niitä käytetään arkielämässä entistä vähemmän. Digitalisaation lisääntyminen lisää siis tarvetta opettaa kädentaitoja.

Yksinkertaiset, vähän ammattitaitoa vaativat työt tulevat kirjallisuuden mukaan vähene-
mään tuotantolaitoksista. Tuotannon automatisoituessa kädentaitojen merkitys ei enää ole
yhtä suuri kuin aikaisemmin. Siksi koulutusta tulisi suunnata automaation hyväksikäyttöön.
Käsillä tekemisen taito on kuitenkin yhä tärkeää, vaikka varsinainen tuotanto suoritettaisiin
automaattisilla koneilla. Tutkinnon sisäistä variaatiota tulisi lisätä niin, että osa opiskelisi
käsillä tekemistä ja osa teoreettisempia, digitalisaatioon liittyviä asioita. Koulutusjärjestel-
män yksi kulmakivistä on opiskelijoiden tasapuolinen kohtelu. Siksi pitäisi tarjota sellaiset
perustaidot, että koulutus ei itsessään johtaisi joidenkin opiskelijoiden ajautumista vähäistä
ammattitaitoa vaativiin tehtäviin. Opiskelijoiden tasapäistäminen tutkinnon sisällä ei ole toi-
saalta tarkoituksenmukaista. Jokaisen vahvuuksien tulisi päästä nousemaan esille. Rajoit-
tettu määrä opintokokonaisuuksia ja niiden arviointi numeerisesti ei palvele moninaistuvan
työelämän vaatimuksia.

Aikaresurssi sekä kädentaitojen että uuden teknologian työmenetelmien oppimiseen on ra-
jallinen. Ongelmaksi muodostuu osittain se, että kone- ja tuotantotekniikan opettajat koke-
vat haasteeksi riittävien perustaitojen opetuksen tutkinnon aikarajojen puitteissa. Nyt ele-
tään luultavasti murrosvaihetta, jossa kehitys on nopeaa. Yhtäältä on tarpeen opettaa pe-
rusasioita ja toisaalta digitalisoituvan tuotannon teemoja. Tähän on nähtävissä kaksi rat-
kaisukeinoa. Ensimmäinen keino on digitalisaation lisääminen soveltuvien osien nykyisiin
opintojen osiin. Toiseksi seuraavassa opetussuunnitelmassa tulisi olla useita teollisuus
4.0:n taustateknologioita käsitteleviä opintojen osia. Paikalliset tutkinnon osat lisäävät
joustavuutta ja antavat mielekkyyttä kehittää opetusta. Ne ovat tutkinnon osia, jotka palve-
levat jonkin tietyn alueen työvoimatarpeita ja jotka laaditaan kyseisen alueen koulutuksen-
järjestäjän toimesta. Niille olisi järjestettävä keskitetty tarkastaminen, jotta niiden laatimi-
nen helpottuisi ja prosessi nopeutuisi.

Osaavan työvoiman saatavuuden varmistamiseksi digitalisaation tarpeisiin on syytä ryhtyä
toimenpiteisiin. Jos opiskelijan kyvyt riittävät, tulisi ammattitutkinnon suorittaminen heti pe-
rustutkinnon perään mahdollistaa esimerkiksi robotiikan ja tuotantoautomaation huippu-
osaajien kouluttamiseksi. Myös rahoitusjärjestelmän tulisi tukea tätä. Opettajat eivät nykyi-
sellään tunne teollisuus 4.0:n taustateknologioita riittävän hyvin. Uusien opettajien aloitta-
essa uransa heidän on syytä olla ainakin tietoisia näiden teknologioiden mahdollisuuksista.
Tämä työ täytyy aloittaa ammattikorkeakouluissa myös koneinsinöörien koulutuksessa.

Paitsi opetus, myös elinkeinoelämä tarvitsee digitalisaatio-osaamista. Teollisuus 4.0:n käyttöönotto vaatii sen taustatekniikat hallitsevia insinöörejä, joten pelkkä ammatillisten opintojen kehittäminen ei riitä.

Frey ja Osborne (2013, s. 48) ovat todenneet seuraavaa: ”Tuloksemme viittaavat siis siihen, että teknologian edetessä matalan osaamistason työntekijät siirtyvät tehtäviin, jotka eivät ole alttiita tietokoneistumiselle – eli tehtäviin, jotka vaativat luovaa ja sosiaalista älykkyyttä. Jotta työntekijät voittaisivat kilpailun, heidän on kuitenkin hankittava luovia ja sosiaalisia taitoja.” Kirjallisuudessa todetaan ihmissuhdetaitojen olevan tulevaisuudessa eniten tärkeitä. Onneksi nuorilla on uudenlaisia sosiaalisia taitoja. Toisaalta kiusaaminen on paikoin ongelma. Empatia ja neuvottelutaidot ovat asioita, joita tulisi opettaa, kuten myös muita pehmeitä taitoja.

Kone- ja metallialan koulutuksessa on tarpeen ottaa huomioon tarve osaamisen joustamiseen. Jos automaatio heikentää työvoiman tarvetta, koulutuksen pitäisi pystyä tarjoamaan geneerisiä taitoja työllistymisen mahdollistumiseksi tarvittaessa jollekin toiselle alalle. Työvoiman tarve näyttää olevan alalla korkea, joten koulutusmäärää ei ole kuitenkaan syytä vähentää. Alueellinen vaihtelu on myös suurta (Mattson, 2025). Kone- ja tuotantotekniikan alalla on vuoden 2025 yhteishaussa ensisijaisia hakijoita kahdeksanneksi eniten vetovoiman vaihdella välillä alle 0,3–2,13. Termi vetovoima on sikäli harhaanjohtava, koska se ei perustu hakijoiden ja alueelliseen kokonaishakijamäärän suhteeseen, vaan hakijoiden ja aloituspaikkojen suhteeseen. Nuoret ovat nykyään sosiaalisia ja verkottuvia, joten heillä on hyvät valmiudet Freyn ja Osbornen ehdottamiin työtehtäviin. Nuorissa on kuitenkin suuria yksilöllisiä eroja, joten henkilökohtaiset vahvuudet olisi löydettävä ja valinnaisuuden mahdollisuuksien tulisi olla riittäviä. Opiskelijoiden taitojen tulisi tukea korkean tuottavuuden työtehtäviä.

Digitalisaatio lisää työelämän muutosta ja opetuksen tulisi suuntautua siten, että alan vaihtaminen tarvittaessa olisi aiempaa helpompaa. Tavoite voisi toteutua suosimalla opetuksessa laajasti sovellettavia taitoja, esimerkiksi tiedonetsintätaidot. Tämän lisäksi olisi tarpeen opettaa valmiuksia ottaa uusia teknologioita käyttöön. Tällaisia valmiuksia voisivat olla esimerkiksi kauko-ohjatun robotin käyttö, lisätty todellisuus ja IoT. Opiskelijat voisivat

käyttää laitteita ilman päämäärää saada aikaan jokin valmis tuote, toisin sanoen keskiössä olisi prosessi.

Robottiikan merkitys korostui kirjallisuudessa ja tehdyissä vierailuissa. Tällä hetkellä kehittyviä aloja ovat toisaalta autonomiset robotit ja toisaalta yhteistyörobotit. Autonomiset robotit kuljettavat tavaraa tehtailla samaan tapaan kuin kauppojen kuljetusrobotit. Myös muut koneet ovat muuttumassa osittain autonomisiksi, esimerkkeinä autot ja työkoneet (Palo, 2023). Koneita voidaan myös kuljettaa ihmisen toimesta etänä. Autonomiset robotit eli cobotit ovat yleistyneet nopeasti, koska niitä on helppo käyttää ja ne mahdollistavat ihmisen läsnäolon työalueella. Konenäkö on tärkeä osa nykyaikaista robotiikkaa.

Robottien käytön tulisi olla pakollinen osa tutkintoa. Cobotin käytön tulisi olla sisällytettyinä jo ensimmäisen vuoden opinnoissa. Nämä taidot ovat osittain geneerisiä, toisin sanoen niitä voidaan käyttää hyväksi myös muilla aloilla. Konenäön ja autonomisten robottien osaaminen voisivat olla valinnaisia opintoja.

Valinnaisiin opintoihin voitaisiin sisällyttää etäohjaus ja -valvonta. Kuten luvussa 5.10 todettiin, työnantajat pitävät tarpeellisina automaattisten koneiden valvontataitoja ja koneiden koekäyttöjen suorittamisen taitoja. Molemmissa voidaan seurata lämpötiloja, paineita, ääniä, värinöitä ja niin edelleen. Ainakin teoriassa nämä voisivat sisältyä yhteen opintojen osaan niiden vaatimusten ollessa geneerisiä niin, että niitä voitaisiin soveltaa alueen työnantajien tarpeiden mukaan. Esimerkkinä tällaisesta järjestelystä voisi olla pieni vesipro-sessi, joka koottaisiin opiskelijoiden toimesta. Sitä ohjattaisiin ja sen koekäyttö suoritettaisiin etänä. Laite voisi olla esimerkiksi myös kuljetin- tai automaatiojärjestelmä.

Etäohjausta voitaisiin harjoitella erikseen tekemällä esimerkiksi kunnossapidon seurantaan dronen ja/tai robottikoiran avulla. Tällöin kyseeseen voisi tulla AR/VR-tekniikan liittämisen etäohjattavaan laitteeseen. Tällaisia teemoja voitaisiin opiskella kone- ja koneautomaatioasentajan tutkinnoissa.

Lisätty todellisuus AR onkin robotiikan ohella yksi nousevista trendeistä. Sen osuus tulee lisääntymään ainakin suunnittelussa ja kunnossapidossa. Tuotannossakin sen merkitys saattaa lisääntyä työvoimapulan ja toisaalta yhden kappaleen sarjojen valmistuksessa. On todennäköistä, että tekoäly tekee digitoimisesta lähitulevaisuudessa entistä helpompaa.

Se tulee lisäämään AR-teknologian käyttöä. AR tulee arkipäiväistymään myös kuluttajien ja koulutuksen parissa, se on käytössä jo joillakin koulutuksenjärjestäjillä. Kun teknologia yleistyy, siitä tulee perustaito ja tarve aiheen formaaliin opetukseen vähenee. Tällä hetkellä tilanne on kuitenkin kaksijakoinen. Teknologiasta on selkeästi hyötyä opetuksessa ja toisaalta sen käyttö työelämässä lisääntyy, jolloin opiskelijalla tulisi myös olla valmiuksia sen käyttöön työtehtävissä. Tarve lisätyn todellisuuden käyttöön koulutuksessa on siten ilmeinen.

Toinen kaksijakoinen aihe koulutuksessa on tietojärjestelmien käyttö. Oppilaitoksissa ei ole yleensä käytössä tietojärjestelmää lattiatasolla. Opettajat kirjaavat hyvin usein opiskelijoiden suorituksia paperille tai Excel-taulukkoon. Tämä on hämmästyttävää digitaalitekniikan mahdollisuudet huomioon ottaen. Opettajalla tulisi olla dataa opiskelijoiden etenemisestä jo tukitoimien järjestämisen kannalta. Opiskelijan tulisi myös osata kirjata ja raportoida omaa työtään toimiessaan yrityksissä. Kouluilla tulisi ehdottomasti olla järjestelmä, jota opiskelija voisi käyttää puhelimeltaan. Järjestelmä kertoisi opiskelijalle päivän tavoitteellisen työn ja hän saisi järjestelmästä ohjeita työn tekemiseen. Opettaja näkisi opiskelijoiden tilan omalta laitteeltaan. Järjestelmään voisi kuulua data-analytiikka, joka keräisi historiallista tietoa vaikkapa tiettyjen harjoitustöiden valmistumisajoista. Työntekijän käyttämät tietojärjestelmät liittyvät vahvasti vertikaaliseen integraatioon ja ovat siten erittäin tärkeä osa teollisuus 4.0:a ja nykyaikaista tiedolla johtamista. Luvussa 3.11. on ennustettu, että horisontaalinen ja vertikaalinen integroituminen tulevat näkymään kaikissa metallialan töissä viimeistään 10–15 vuoden sisällä. Monissa yrityksissä on jo käytössä järjestelmiä, joihin raportoidaan esimerkiksi tehtyjä töitä ja työvaiheita. Horisontaalinen integroituminen onkin jo pitkällä, ja opiskelijoiden tulisi käyttää tietojärjestelmiä jo opiskeluaikanaan.

Valmistustekniikka tulee digitaalistumaan 10–20 vuoden aikajänteellä kansainvälisen kilpailun koventuessa. Ehdotuksena on lisätä opintoihin valinnaiseksi Digitaalinen valmistus jo nyt. Oppilaitoksen konepajassa robotti käyttää työstökonetta, hitsauskonetta, särmäyspuristinta, plasmaleikkuria tms. Pajassa voi olla autonominen kuljetusrobotti. Opiskelija valmistelee järjestelmän ja se alkaa toimia ERP-järjestelmän kautta tulevasta tilauksesta. Tuote valmistuu automaattisesti kahdesta tai useammasta osasta tai järjestelmä tekee vähintään kaksi yhden kappaleen sarjaa. Järjestelmä muistuttaa siis rakenteeltaan ja toiminnaltaan Feston oppimistehdasta, mutta se on aidossa, teollisessa ympäristössä. Tämä

mahdollistaa sen, että opiskelija voi valmistella järjestelmän niin sanotun reseptin avulla. Resepti kertoo käytettävät ohjelmat, asetukset, materiaalit ja muut valmistukseen käytettävät asiat. Nykyään on hyvin yleistä, että ohjelmoinnit tehdään joko toimihenkilöiden tai asiantuntijaoperaattorin toimesta ja niitä käytetään uudelleen. Kaikkien operaattoreiden ei sitten tarvitse hallita täydellistä ohjelmointia, vaan kyky tehdä pieniä muutoksia riittää toimimiseen usein.

Levy- ja hitsaustöissä tulisi pyrkiä tilanteeseen, jossa voidaan saada aikaan yhden kappaleen sarja. Teollisuus 4.0 pyrkii lisäämään tuotantoon joustavuutta. Tämä tavoite on myös Leanin yksi peruspilari. Digitaalinen valmistus voisi toimia seuraavalla tavalla: Laserleikkauskone leikkaa ja merkitsee QR-koodilla kappaleet. Cobotti siirtää kappaleet mobiilirobotin kyytiin, joka kuljettaa kappaleen särmäys- ja hitsaussoluun. Konenäkö tunnistaa kappaleet, jonka jälkeen cobotti särmää ja hitsaa kappaleet valmistaen kaksi tai useampia tuotteita.

Koneistuksessa jotkut yritykset ovat siirtyneet Suomessakin edistykselliseen automaatioon (Eurometalli, i.a.). On ajan kysymys, milloin vastaavat järjestelmät yleistyvät. Digitaalinen valmistus voitaisiin toteuttaa koneistuksessa seuraavalla tavalla: CNC-työstökoneeseen liitetään automaatiojärjestelmä, joka koostuu robotista ja aihiomakasiinista. Työstökone valmistaa yhden tai useamman tuotteen osat. Mobiilirobotti kuljettaa osat kokoonpanoon, jossa konenäkö tunnistaa toisiinsa kuuluvat osat ja kokoonpanija saa kokoonpano-ohjeet AR-lasien kautta.

Reseptien mukaan toimimisen lisäksi opiskelijan on osattava erilaiset kiinnitystavat ja jigin käyttö. Koulutuksessa olisi hyvä antaa perusteet erilaisten työtä nopeuttavien asetusten käyttöön. Tämä mahdollistaa automaation tehokkaan käytön ja auttaa myös manuaalisesti suoritettavassa sarjatyössä.

Tiedon kerääminen tuotantolaitteista tulee lisääntymään lähitulevaisuudessa sovellusten kehittyessä. Koneautomaatio- ja koneasentajaopiskelijoiden opintoihin ehdotetaan liitettäväksi IOT-anturointia. Opiskelijat voisivat asentaa johonkin työpajan laitteeseen IoT-antureita ja liittäisivät ne verkkoon esimerkiksi LoRaWan- tai Bluetooth-yhteyden kautta. Kunnossapidon kannalta saattaa olla merkityksellistä, että opiskelija kykenee saamaan aikaan

etäluettavan järjestelmän, joka mittaa yhdenkin suureen, esimerkiksi konerikon aiheuttavan kiihtyvyyden tai paineiskun.

Kuten luvussa 5.2 todettiin, Saksassa tullaan kouluttamaan ammattilaisia, jotka pystyvät ottamaan käyttöön ja ylläpitämään teollisuus 4.0:n prosesseja ja että Suomessa pystytään tarvittaessa tuottamaan samanlaista osaamista. Suomessa voidaan myös tarvittaessa perustaa kone- ja tuotantotekniikan teollisten prosessien tutkinto, jossa voitaisiin valmistustekniikan lisäksi painottaa automaatiota, logistiikkaa ja yrityksen sisäistä integraatiota. Saksalaisessa prosessiteknologian tutkinnossa on paljon elementtejä, joita on totuttu Suomessa pitämään toimihenkilötehtävinä.

Digitaalisuus on tullut mukaan yhteisiin tutkinnon osiin. Sen osuutta tulisi nostaa ja ulottaa tietotekniset taidot myös osaksi ammatillisia opintojen osia. Tekoälyn käyttöä tulisi opettaa lisää sen kehittyessä. Myös erilaiset 3D-mallinnusohjelmat ovat hyödyllisiä. Yleensäkin tietokoneen käyttöä tulisi harjoitella. Nuoret käyttävät tällä hetkellä mobiililaitteita ja perinteisten tietokoneiden käyttötaito on vähentynyt kahdenkymmenen vuoden takaisesta. Kyberturvallisuus tulisi nostaa erilleen muista tietoteknisistä aiheista, jotta se ei unohdu. Ehdotuksena on, että kyberturvallisuuskortti suoritetaan tulityö- ja työturvakortin tapaan. Näin kyberturvallisuuden osaaminen voitaisiin verifioida.

Tässä työssä ei pystytty ottamaan huomioon kaikkia mahdollisia teknologioita niiden suuren määrän vuoksi. Muutokset opetussuunnitelmaan ovat ehdotuksia, joita tulisi miettiä työryhmässä. Muutoksia on silti tarpeen tehdä kilpailukyvyn säilyttämiseksi.

Digitalisaation merkitys on tunnustettu valtiollisella ja EU:n tasolla. Datatalouden on todettu kasvavan, kuten luvussa 3.2 on todettu. Teollisuus 4.0:n käsitettä ei toisaalta mielletä aina tärkeäksi sen taustateknologioiden asiantuntijoidenkaan piirissä. Ehkä tähän on osittain syynä asian pitäminen muoti-ilmiönä. Sitä, millaiseksi digitalisaatio muokkaa valmistavan metalliteollisuuden, on vaikea ennustaa tarkasti. Siihen vaikuttavat uudet innovaatiot, joita syntyy jatkuvasti. Teollisuus 4.0:n taustateknologioita ei kuitenkaan tulisi käsitellä yksittäisinä asioina, vaan teollisuus 4.0:n filosofia tulisi tuntee, vaikka sitä ei kokonaisuutena käytäisikään. Tämä pätee korostetusti henkilöihin, jotka vastaavat valmistavasta tuotannosta eri aloilla. Mukaan voidaan lukea myös kone- ja tuotantotekniikan opettajat.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka digitalisaation ja teollisuus 4.0 tuli vaikuttaa kone- ja tuotantotekniikan opetukseen ammatillisissa perusopinnoissa. Työssä tutkittiin, kuinka asiaa lähestytään Saksassa, millaisia tulevaisuusskenaarioita on nähtävissä ja mitä teollisuudessa tehdään tällä hetkellä. Työ toteutettiin vierailemalla saksalaisessa oppilaitoksessa, yrityksissä, seminaareissa ja tekemällä kirjallista tutkimusta. Tässä havaittiin, että digitalisaatio ja teollisuus 4.0:n taustateknologiat ovat pitkälti sama asia. Teollisuus 5.0:n havaittiin olevan teollisuus 4.0:n versio, jossa ihmisen kyvyt ja automaation mahdollisuudet yhdistetään. Arvioitiin, että opetuksen nykytila ei vastaa lähitulevaisuuden eikä edes nykyhetken tarpeisiin, kun sitä katsotaan digitalisaation näkökulmasta. Valmistavan teollisuuden todettiin olevan murroksessa tekoälyn, konenäön ja robotiikan kehittyessä. Siten on vaikea ennustaa työvoiman tarvetta tulevaisuudessa. Tämän takia opetukseen tulisi liittää geneeristä osaamista, jotta alanvaihto helpottuisi tarvittaessa. Kädentaitoja tulee edelleen opettaa, mutta rinnalle tulee lisätä opiskelijoiden tietämystä ja osaamista kehittyneestä tuotantoautomaatiosta. Erityisesti robotiikan opetukseen tulee lisätä resursseja ja automatisoitujen tuotantosolujen asetusten tekemistä asetusohjeiden, reseptien, mukaan suositellaan. Lisätyn todellisuuden mahdollisuuksia tulisi hyödyntää opetuksessa oppimisen ja työelämävalmiuksien kehittämiseksi. Tuotannonohjausjärjestelmän liittäminen opetukseen on myös erittäin hyödyllistä edellä mainituista syistä. Digitalisaation ja kyberturvallisuuden osuutta tulee lisätä kaikissa tutkinnoissa.

Kone- ja tuotantotekniikkaa on opetettu suhteellisen konservatiivisesti jo yli kuudenkymmenen vuoden ajan. Uusia teknologioita on otettu kylläkin innokkaasti käyttöön, mutta ajattelu on lähtenyt käsityöläisammattin paradigmasta. On perusteltua ajatella, että automaatio tulee olemaan tulevaisuudessa ratkaiseva kilpailutekijä. Siksi tulevaisuuden ammattilaisen tulee kyetä toimimaan entistä digitaalisemmassa ympäristössä ja aikaisemmin ihmisen tekemät työtehtävät tulee suorittamaan kone ihmisen ohjauksessa.

LÄHTEET

- Aaltonen, I. (2018). *Usability of emerging technologies: User studies with wearable, multimodal and augmented reality solutions* (Aalto University publication series Doctoral dissertations 139/2018) [väitöskirja, Aalto-yliopisto].
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8103-8>
- ABB (i.a.). *ABB Ability Manufacturing Operations Management*.
<https://new.abb.com/industrial-software/operational-excellence/manufacturing-operations-management-mom>
- Adduri, A. (2019). IoT Integration in Manufacturing Processes. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0; Past, Present and Future* (s. 129–139). Springer.
- Alasti, H., Elahi, B., & Mohammadpour, A. (2019). Interactive Virtual Reality-Based Simulation Model Equipped with Collision-Preventive Feature in Automated Robotic Sites. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0; Past, Present and Future* (111–128). Springer.
- Alho, R., Heikkilä, A., Pitkänen, V., & Niskanen, V. (2024). *Työelämän muutosten kohtaaminen työpaikoilla: Tulevaisuuden Suomen tekijät -hankkeen loppuraportti*. E2 Tutkimus. <https://www.e2.fi/media/julkaisut-ja-alustukset/tst/tyoelaman-muutosten-kohtaaminen-tyopaikoilla-raportti-e2-tutkimus.pdf>
- Automation Advancement Association. (2017). *History of robotics in the automotive industry*. <https://www.a3automate.org/robotics-history-in-automotive-industry>
- Barataa, J., & Kayserb, I. (2023). Industry 5.0 – Past, Present, and Near Future. *Procedia Computer Science* 219, (778-788). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>
- BasuMallick, C. (2021). *What is cloud computing? Definition, benefits, types, and trends*. Spiceworks. <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>
- Ben-Assa, A. (2023). *MOM vs. MES systems: The key differences*. Plataine. <https://www.plataine.com/blog/mom-vs-mes-systems-the-key-differences/>
- BIBB. (i.a.). *Tasks and objectives*. <https://www.bibb.de/en/461.php>
- BIBB. (2021). *Die modernisierten Standardberufsbildpositionen anerkannter Ausbildungsberufe: Ausbildung gestalten*. Verlag Barbara Budrich.
<https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/17281>

- Bradford, M. (i.a.). *MES and MOM: Do You Know the Difference?* 3DS Blog. <https://blog.3ds.com/brands/delmia/do-you-know-the-difference-between-mes-and-mom/>
- Bruun, M., & Hokkanen, M. (2016). *Materiaalia lisäävä valmistus*. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-588-578-4>
- Bourell, D., Kruth, J. P., Leu, M., Levy, G., Rosen, D., Beese, A. M., & Clare, A. (2017). *Materials for additive manufacturing*. CIRP annals. 66(2), 659-681. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.009>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie & Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2018). *Zweite Verordnung zur Änderung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen*. https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/zweiteaend_vo_metall_2018.pdf
- Cambridge University Press. (i.a.). Simulation. Teoksessa Cambridge dictionary. Haettu 23.1.2025 <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/simulation>
- Centria-ammattikorkeakoulu ja ammattiopisto Optima. (2025). Centrian ja Optiman RoboExpo Robotiikkatapahtuma teollisuuden ja palvelualojen yrityksille. [Seminaari].
- Chisel Labs. (2021). *What is end-to-end?* <https://chisellabs.com/glossary/what-is-end-to-end/>
- Chukalov, K. (2017). Horizontal and vertical integration, as a requirement for cyber-physical systems in the context of industry 4.0. *International scientific journal industry 4.0*, 2(4), 155-157. <https://stumejournals.com/journals/i4/2017/4/155>
- Columbia Engineering. (i.a.). *Artificial Intelligence (AI) vs. Machine Learning*. Columbia university. <https://ai.engineering.columbia.edu/ai-vs-machine-learning/>
- Cruz-Mejía, O., Márquez, A., & Monsreal-Berrera, M. (2019). Product Delivery and Simulation for Industry 4.0. Teoksessa M. Gunal (toim.) *Simulation for Industry 4.0; Past, Present and Future* (s. 81-95). Springer.
- Dassault Systems. (i.a.). *Delmia Apriso*. <https://www.3ds.com/products/delmia/apriso>
- Enders, M. R. (2022). *Understanding and applying digital twins: Results of selected studies*. [väitöskirja, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg]. <https://open.fau.de/items/9662249b-d848-4bfe-99b7-29097c487d5e>

- EUR-Lex. (2024). *Verkko- ja tietojärjestelmien kyberturvallisuus (2022)*. Euroopan unioni. <https://eur-lex.europa.eu/content/help/eurlex-content/experimental-features.html>
- Eurofound. (i.a.). *Digitalisation*. Euroopan elin- ja työolojen kehittämissäätiö. <https://www.eurofound.europa.eu/en/topic/digitalisation>
- Eurometalli. (i.a.). *Cellro Xcelerate -automaatiojärjestelmä vapautti Supsetin työntekijän mielekkäämpiin toimiin*. <https://eurometalli.com/cellro-xcelerate-automaatiojarjestelma-vapautti-supsetin-tyontekijan-mielekkaampiin-toimiin/>
- European Commission. (2025). *Industry 5.0*. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en
- Euroopan komissio (2017a). *Euroopan maat yhdistävät voimansa teollisuuden digitalisoimiseksi*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/european-countries-join-forces-digitise-industry>
- Euroopan komissio (2017b). *Thursday 23 March: Digital Day in Rome*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/AGENDA_17_522
- Euroopan parlamentti. (2021). *Massadata: määritelmä, hyödyt, haasteet*. [Infografiikka]. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20210211STO97614/massadata-maaritelma-hyodyt-haasteet-infografiikka>
- European Commission. (2024). *European Data Market Study 2021–2023 Executive summary*. <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/105187>
- Eurooppa-neuvosto. (i.a.). *Kyberturvallisuus: miten EU torjuu kyberuhkia?* <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/cybersecurity/>
- Eurostat. (2024). *Micro & small businesses make up 99% of enterprises in the EU*. [Verkkosivu]. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241025-1> Haettu 15.3.2025
- Festo Didactic. (2015). *Industry 4.0: Qualification for the factory of the future*. Festo Didactic SE. https://media.festo.com/media/114799_documentation.pdf
- Frey, C., & Osborne, M. (2013). *The Future of Employment*. University of Oxford. https://sep4u.gr/wp-content/uploads/The_Future_of_Employment_ox_2013.pdf
- Frilander, K., Hatanpää, E., Hirvonen, P., Kivioja, T., Minkkinen, S., Moilanen, P., Rusi, T., Uusitalo, M., & Vestman, T.(i.a.). *ITKP0002; Johdatus kyberturvallisuuteen*. [Verkkokurssi]. Jyväskylän yliopisto. <https://peda.net/jyu/it/do/kkv/4kjna/4tm/km>

Gehrke, L., Kühn, A. T., Rule, D., Moore, P., Bellmann, C., Siemes, S., Dawood, D., Standley, M., Singh, L., & Kulik, J. (2015). *Industry 4.0. A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective*. VDI-ASME

Google Cloud. (i.a.). *What is Machine Learning (ML)?* <https://cloud.google.com/learn/what-is-machine-learning>

Gulewicz, M. (2022). "Digital Twin Technology — Awareness, Implementation Problems and Benefits". *Engineering Management in Production and Services* 14(1), 63–77. <http://dx.doi.org/10.2478/emj-2022-0006>

Gunal, M. (2019). Simulation and the Fourth Industrial Revolution. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0; Past, Present and Future* (s. 1–17). Springer.

Gynther, R. (2021). *IoT:n mahdollisuudet liiketoiminnan kehittämisessä*. LAB Focus blog <https://blogit.lab.fi/labfocus/iotn-mahdollisuudet-liiketoiminnan-kehittamisessa/>

Gyorffi M. (2017). *Digitising Industry (Industry 4.0) and Cybersecurity*. European Parliamentary Research Service. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/607361/IPOL_BRI\(2017\)607361_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/607361/IPOL_BRI(2017)607361_EN.pdf)

Haag, S., & Simon, C. (2025). *Simulation of horizontal and vertical integration in digital twins*. Hochschule Worms. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16646.47688>

Harju, V. (i.a.). *Tuotannon digitalisoinnin järjestelmät*. Leanware Oy <https://leanware.fi/yhteiso/blogi/tuotannon-digitalisoinnin-jarjestelmat/>

Hautala, P., Junell, T., Karttiala, T., Lindedahl, K., Nuotio, J., Toukoniitty, E., Rahkolin, V., Hämäläinen, S., Pohjola, P., Kosomaa, L., Lahtinen, J., Paanu, T., Saarinen, K., Stenfors, P., & Tulimaa, P. (2020). *Kone- ja energia-alan insinöörien täydennyskoulutustarpeet. PoraKONE-hankkeen väliraportti* (Turun ammattikorkeakoulun raportteja 266). Turun ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/818346>

Hilka-Keinänen, K. (2018). *Robotti-termi syntyi tšekkiläisten maaorjien raadannasta*. Yle. <https://yle.fi/a/20-273030>

Hyyti, H. (2023). *Perception Systems for Autonomous Forest Machinery*. (Aalto University publication series Doctoral theses 157/2023) [väitöskirja, Aalto Yliopisto]. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-1452-2>

IBM. (i.a.-a). *What is private cloud?* <https://www.ibm.com/think/topics/private-cloud>

- IBM. (i.a.-b). *What is public cloud?* <https://www.ibm.com/think/topics/public-cloud>
- IBM. (i.a.-c). *What is hybrid cloud?* <https://www.ibm.com/think/topics/hybrid-cloud>
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2015). *Factory of the future*. https://www.iec.ch/system/files/2019-09/content/media/files/iec_wp_factory_of_the_future_en_lr.pdf
- IMARC Group. (2025). *Top 13 Industry 4.0 Companies in the World*. <https://www.imarcgroup.com/top-industry-4-companies>
- Inbolt. (2024). *Industry 5.0*. <https://www.inbolt.com/resources/industry-5-0>
- Interaction Design Foundation. (i.a.). *Augmented Reality (AR)*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/augmented-reality?srsltid=AfmBOoqvHvjGHb-whkexUIAoyrZSo1y6jpO-H-kHQi0TaUPsPRWYR2X6>
- International Society of Automation (ISA). (i.a.). *ISA-95 Standard: Enterprise-Control System Integration*. <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-95-standard>
- International Organization for Standardization (ISO). (i.a.). *Machine learning (ML): All there is to know*. <https://www.iso.org/artificial-intelligence/machine-learning#toc4>
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. ISO/ASTM52900:2021.
- International Organization for Standardization (ISO). (2022). *Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology*. (ISO/IEC 22989:2022(en)) <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:22989:ed-1:v1:en>
- Jenkins, A. (2023). *What is an end-to-end supply chain?* NetSuite. <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/end-to-end-supply-chain.shtml>
- JHFoster. (i.a.). *Understanding the ISA 95 Standard for Manufacturing Automation*. <https://jhfooster.com/automation-blogs/understanding-the-isa-95-standard-for-manufacturing-automation/>
- Jovičić, A., Savković, M., Stefanović, M., Mačužić, I., & Nikolić, N. (2023). The impact of horizontal and vertical system integration on Quality 4.0. *Journal of Innovations in Business and Industry*, 1(4), 192-193. <https://jibi.aspur.rs/archive/v1/n4/3.pdf>
- Kagermann, H., Lukas, W-D., & Wahlster, W. (2015). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *Vdi Nachrichten*, 13(2011), 2. <https://www->

live.dfki.de/fileadmin/user_upload/DFKI/Medien/News_Media/Presse/Presse-Highlights/vdinach2011a13-ind4.0-Internet-Dinge.pdf

Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *SCI 2022*, 4(26).
<https://doi.org/10.3390/sci4030026>

Karevska, S., Kilger, C., Steinberg, G., Wienken, R., & Krauss, D. (2019). *3D printing: hype or game changer? A Global EY Report 2019*. Ernst & Young Global.
<https://amfg.ai/wp-content/uploads/2019/10/ey-studie-3d-druck-2019-3.pdf>

Karismo, A. (2024). *Volkswagen aikoo sulkea tehtaita – Euroopan autoteollisuudessa ankeat tunnelmat*. Yle Uutiset. <https://yle.fi/a/74-20109317>

Knus-Galán, M. (toim.) (7.4.2024). *MOT, Vaatteet myrkkytessissä*. <https://areena.yle.fi/1-66871379>

Kultusministerkonferenz (KMK). (i.a.-a). *Downloadbereich Rahmenlehrpläne*.
https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html?type=150&tx_fedownloads_pi1%5Bdownload%5D=41174&tx_fedownloads_pi1%5Baction%5D=forceDownload&tx_fedownloads_pi1%5Bcontroller%5D=Downloads&cHash=2ff6ec0a75337046e40ea89d47af5c3a

Kultusministerkonferenz (KMK). (i.a.-b).
Kultusministerkonferenz. <https://www.kmk.org/kmk/kultusministerkonferenz.html>

Kultusministerkonferenz (KMK). (i.a.-c). *Anschriften der Landesinstitute für Lehrerfortbildung und Schulentwicklung*. <https://www.kmk.org/service/servicebereich-schule/landesinstitute.html>

Kultusministerkonferenz (KMK). (2018a). *Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Konstruktionsmechaniker/Konstruktionsmechanikerin*.
https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html?type=150&tx_fedownloads_pi1%5Bdownload%5D=41174&tx_fedownloads_pi1%5Baction%5D=forceDownload&tx_fedownloads_pi1%5Bcontroller%5D=Downloads&cHash=2ff6ec0a75337046e40ea89d47af5c3a

Kultusministerkonferenz (KMK). (2018b). *Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin*.
https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html?type=150&tx_fedownloads_pi1%5Bdownload%5D=41174&tx_fedownloads_pi1%5Baction%5D=forceDownload&tx_fedownloads_pi1%5Bcontroller%5D=Downloads&cHash=2ff6ec0a75337046e40ea89d47af5c3a

- Kone. (i.a.). *24/7 Connected Services*. <https://www.kone.com/fi/tuotteet-ja-palvelut/kunnossapito-ja-modernisointiratkaisut/24-7-connected-services.aspx>
- Koskela, M. & Kurkela, M. (2.11.2024). Älä tule tekoälyn huijaamaksi: Testaa, erotatko keksityt videot aidoista. Yle Uutiset. <https://yle.fi/a/74-20119956>
- Kyberturvallisuuskeskus. (2014). *Pilvipalveluiden turvallisuus, Mitä organisaatioiden tulisi huomioida pilvipalveluja hyödyntäessä?* Viestintävirasto. https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/sites/default/files/media/file/Pilvipalveluiden_tietoturva_organisaatioille.pdf
- Lella, I., Tsekmezoglou, E., Naydenov, R. S., Ciobanu, C., Malatras, A., & Theocharidou, M. (2022). *ENISA Threat Landscape 2022*. European Union Agency for Cybersecurity. <https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/publications/ENISA%20Threat%20Landscape%202022.pdf>
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q.-V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, artikkeli 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- Madubuike, O. C., Anumba, C. J., & Khallaf, R. (2022). A review of digital twin applications in construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 27, 145-172. <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2022.008>
- Mattson, J. (2025). *Kevään halutuimmat alat*. Yle Uutiset. <https://yle.fi/a/74-20150482>
- McFarland, A. (2022). *Koneoppiminen vs tekoäly: keskeiset erot*. Unite.AI <https://www.unite.ai/fi/machine-learning-vs-artificial-intelligence-key-differences/>
- Metrology News. (2023). *Toyota's New Approach to Accelerate the Future of Car Manufacturing*. <https://metrology.news/toyotas-new-approach-to-accelerate-the-future-of-car-manufacturing/>
- Microsoft. (2024). *Enhance frontline worker experience anytime, anywhere with Microsoft HoloLens 2 & Mixed Reality*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=plsjVaqdNpc>
- Numminen, L. (2023). *Mitä on koneoppiminen?* Finnishup. <https://www.finnishup.com/mita-on-koneoppiminen/>.
- Oks, S. J., Jalowski, M., Lechner, M., Mirschberger, S., Merklein, M., Vogel-Heuser, B., & Moeslein, K. M. (2022). Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0: A Review, Categorization and Outlook. *Information Systems Frontiers* 26, 1725-1745. <http://dx.doi.org/10.1007/s10796-022-10252-x>

- Onggo, B. (2019). Symbiotic Simulation System (S3) for Industry 4.0. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0. Past, Present and Future* (s. 153–165). Springer.
- Opetushallitus (OPH). (i.a.-a). *Ennakointi*. <https://vipunen.fi/fi-fi/ennakointi/Sivut/default.aspx>
- Opetushallitus (OPH). (i.a.-b). *Tutkintojen perusteet*. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/tutkintojen-perusteet>
- Opetushallitus (OPH). (2019). *Osaamisen ennakointifoorumin ensimmäisiä ennakointituloksia: Osaaminen 2035*. <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Osaaminen%202035.pdf>
- Opetushallitus (OPH). (2023). *Tutkinnon perusteet; Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto*. <https://eperusteet.opintopolku.fi/eperusteet-service/api/dokumentit/9257777>
- Opetushallitus (OPH). (2024a). *Koulutuksen kehittämissuuntia: Osaamisen ennakointifoorumin toimenpide-ehdotuksia osaamistarpeiden pitkän aikavälin muutoksen huomioimiseen*. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Koulutuksen%20kehitt%C3%A4missuuntia%20%28OEF%29_0.pdf
- Opetushallitus (OPH). (2024b). *Osaamisen ennakointifoorumi (OEF)*. <https://www.oph.fi/fi/palvelut/osaamisen-ennakointifoorumi-oeff>
- Opetus- ja kulttuuriministeriö. (i.a.). *Jatkuvan oppimisen ja työllisyyden palvelukeskus*. <https://okm.fi/jatkuvan-oppimisen-ja-tyollisyyden-palvelukeskus>
- Osaamistarvekompassi. (i.a.-a). *Osaamiset*. <https://www.osaamistarvekompassi.fi/fi/raportit/osaamiset-2024>
- Osaamistarvekompassi. (i.a.-b). *Osaamiset*. <https://www.osaamistarvekompassi.fi/fi/ammattialat/13-3-1/osaamiset>
- Paananen, H., Taivassalo, M., Raitanen, T., & Nieminen, A.-P. (2023). *Digitaalinen osaaminen ammatillisessa koulutuksessa: Opas osaamisen sanoittamiseen*. Opetushallitus. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Digitaalinen_osaaminen_ammattillisessa_koulutuksessa_opas_osaamisen_sanoittamiseen.pdf
- Palo, T. (2023). *Autonomiset koneet koekäytössä ilman kuljettajaa suomalaisessa satamassa*. <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/autonomiset-koneet-koekaytossa-ilman-kuljettajaa-suomalaissatamassa/>

- Pinja. (i.a.). MES-järjestelmä, Manufacturing Execution System. *Pinja blogi*.
<https://blog.pinja.com/fi/mes-jarjestelma>
- Pohjola, M. (2015). *Digitalisaatio ja tuottavuus finanssialalla*. Aalto-yliopisto.
https://www.finanssiala.fi/wp-content/uploads/2015/06/Digitalisaatio_ja_tuottavuus_f finanssialalla.pdf
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Research Group Mixed Reality Hub. (i.a.) *Teknolohiateollisuus. Opas yhdistetyn todellisuuden teknolohioiden hyödyntämiseen teknolohiateollisuudessa*. Helsingin yliopisto. <https://www.helsinki.fi/fi/tutkimusryhmat/mixed-reality-hub/teknolohiateollisuus>
- Roll, M., & Ifenthaler, D. (2020). The impact of learning factories on multidisciplinary digital competencies. Teoksessa E. Wuttke, J. Seifried, & H. Niegemann (toim.), *Vocational education and training in the age of digitization: Challenges and opportunities*, (s. 23-38). Verlag Barbara Budrich. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18dvv1c.5>
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2019). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644-1661. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1672902>
- Saari, M. (2024). *Software Hardware Combination for IoT Sensor Data Gathering and Prototyping* (Tampere University Dissertations 962) [väitöskirja, Tampereen yliopisto]. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/154585/978-952-03-3307-2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Salonen, T., Sääsiki, J., Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O., & Rainio, K. (2009). *Augmented Assembly -Ohjaava kokoonpano*. VTT.
- Scaglioni, B., & Ferretti, G. (2018). Towards digital twins through object-oriented modelling: A machine tool case study. *IFAC PapersOnLine*, 51(2), 613–618. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.03.104>
- Schuldenfrei, M. (2019). *Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0*. <https://www.mbtmag.com/industry-4-0/article/13251083/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-40>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu SeAMK. (1.12.2023). *Tekoälyn teollisuussovellukset*. [Webinaari].
- Shafto, M., Conroy, M. Doyle, R. Glaessgen, E. Kemp, C. LeMoigne, J. & Wang, L. (2010). Modeling, Simulation, Information Technology & Processing, *DRAFT Technology Roadmap Area Vol. 11*. NASA. <https://www.emacromall.com/reference/NASA-Modeling-Simulation-IT-Processing-Roadmap.pdf>

- Siemens (i.a.-a). Opcenter – *Manufacturing operations management*. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/opcenter/>
- Siemens (i.a.-b). *Manufacturing operations management*. <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/manufacturing-operations-management-mom/>
- Siemens (i.a.-c). *Case study; World-class manufacturing with Siemens manufacturing operations management; Opcenter helps The Absolut Company implement fully automated production lines*. <https://resources.sw.siemens.com/en-US/case-study-the-absolut-company>
- Siltanen, S. (2015). *Developing augmented reality solutions through user involvement: Dissertation*. (Aalto University publication series Doctoral dissertations 87/2015) [väitöskirja, Aalto Yliopisto]. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8249-5>
- Sitra. (i.a.). *Älymaatalous ja digitalisaatio ruoantuotannon resurssiviisauden perustana*. <https://www.sitra.fi/artikkelit/alymaatalous-ja-digitalisaatio-ruoantuotannon-resurssiviisauden-perustana/>
- Skycode. (i.a.). *Mitä tekoäly on?* https://xn--tekoly-eua.info/mita_tekoaly_on/
- Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: a narrative review of literature and future directions for research. *The TQM Journal*, 32(4), 779-793. <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0275>
- Spiceworks. (i.a.). *What is community cloud? Definition, architecture, examples, and best practices*. <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-community-cloud/>
- Stark-Watzinger, B. (2023). *Umsetzung der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation; Bericht der Bundesregierung*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/DE/2023/umsetzungsbericht_zukunftsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Statista. (i.a.). *Value added by small and medium-sized enterprises (SMEs) in the European Union (EU27) from 2008 to 2024, by enterprise size*. <https://www.statista.com/statistics/936386/value-added-by-smes-in-eu-member-states/>
- Sturrock, D. (2019). Using Commercial Software to Create a Digital Twin. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0. Past, Present and Future* (s. 191–210). Springer.
- Sundby, T., Graham, J. M., Rasheed, A., Tabib, M., & San, O. (2021). Geometric change detection in digital twins. *Digital 1*(2), 111-129. MDPI. <http://dx.doi.org/10.3390/digital1020009>

- Sujova, E., Cierna, H., & Bambura, R. (2019). *Simulation model of production as tool for Industry 4.0 implementation into practice*. Technical University of Zvolen.
<https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N279>
- Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Pakkanen, J., Vanhatalo, M., & Riitahuhta, A. (2008). Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. Teoksessa Roosimölder, L. (toim.), *NordDesign 2008 Conference, Tallinn, Estonia*, 99 – 109.
<https://www.designsociety.org/publication/27359/Augmented+Reality+Efficiency+in+Manufacturing+Industry%3AA+Case+Study>
- Tabarés Gutiérrez, R., Bartolomé, T., Martelloni, L., Marmo, D., de Amicis, L., Binenti, S., Rushton, E., & Billy, L. (2018). *Exploring the Emergent Open Manufacturing Industry*. Tecnia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16646.47688>
- Tampereen yliopisto. (i.a.). *Kyberfyysiset järjestelmät ja niiden turvallisuusriskit*. [Verkkokurssi]. https://plus.tuni.fi/comp.sec.100/fall-2021/m21_cyber_physical_systems/cps/?hl=fi
- Tekniikan Ihme. (2024). *Pilvipalvelut: Mitä ne ovat ja miksi ne ovat tärkeitä?*. <https://tekniikanihme.fi/pilvipalvelut-mita-ne-ovat-ja-miksi-ne-ovat-tarkeita/>
- Trauer, J. Schweigert-Recksiek, S. Engel, C. Spreitzer, K., & Zimmermann, M. (2020). What is a digital twin? – Definitions and insights from an industrial case study in technical product development. Cambridge University Press (toim). *Design Conference 1*, 757–766. <http://dx.doi.org/10.1017/dsd.2020.15>
- Toyota Motor Corporation. (2024). *How Toyota Cars Are Made - Toyota Virtual Plant Tour - Episode 01*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zQeQWGqfFN0>
Haettu 19.3.2025
- Tu, X. (2024). *Teollinen metaversumi: Teollisuuden vallankumous digitaalisten kaksosten ja laajennetun todellisuuden avulla*. (Aalto University publication series Doctoral theses 171/2024) [väitöskirja, Aalto-yliopisto].
<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/936bb6ac-a706-4366-956d-aa7c01aaa584/content>
- Tuomisto, J. (2015). Massadata kansanterveyden edistämisessä. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 2015, 131(22), 2179–87
<https://www.duodecimlehti.fi/duo12538>
- Wahde, M. (2016). *Introduction to Autonomous Robots*. [Luentomoniste]. Chalmers University of Technology.
https://www.me.chalmers.se/~mwahde/courses/aa/2016/FFR125_LectureNotes.pdf
- World Economic Forum. (i.a.). *Fourth Industrial Revolution*.
<https://www.weforum.org/focus/fourth-industrial-revolution/>

World Manufacturing Foundation. (i.a.). *About Us*. <https://worldmanufacturing.org/about-us/>

World Manufacturing Foundation. (2022). *The 2022 World Manufacturing Report: Redesigning Supply Chains in the New Era of Manufacturing*. https://worldmanufacturing.org/wp-content/uploads/17/6-2022_World-Manufacturing-Report_E-Book.pdf

Wärtsilä. (i.a.). *Expert Insight Service*. <https://www.wartsila.com/marine/services/lifecycle-agreements/expert-insight-service>

Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL) (2023). *Industrie 4.0 Smart Factory Umsetzung im Unterricht an beruflichen Schulen Berufsschule / Fachschule für Technik* (2. painos). https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/berufliche-schularten/schulartuebergreifend/industrie_4.0/industrie-4-0-smart-factory-2023-08-24.pdf/@@download/file/Industrie%204.0%20Smart%20Factory%202023-08-24.pdf

Zhang, H., Buchmeister, B., Liu, S., & Ojstersek, R. (2019). Use of a Simulation Environment and Metaheuristic Algorithm for Human Resource Management in a Cyber-Physical System. Teoksessa M. Gunal (toim.), *Simulation for Industry 4.0. Past, Present and Future* (sivut 219–246). Springer