DIGITALISAATION JA TEKOÄLYN VAIKUTUS TUOTTAVUUTEEN VALMISTAVASSA TEOLLISUUDESSA

The impact of digitalization and artificial intelligence on productivity in manufacturing industry

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2024

Markus Kasanen

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Mira Timperi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin insinööritieteiden tiedekunta

Tuotantotalous

Markus Kasanen

Digitalisaation ja tekoälyn vaikutus tuottavuuteen valmistavassa teollisuudessa

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2024

44 sivua, 6 kuvaa, 1 taulukko

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Mira Timperi

Avainsanat: Tuottavuus, tekoäly, digitalisaatio, valmistava teollisuus

Keywords: Productivity, artificial intelligence, digitalization, manufacturing industry

Digitalisaatio ja tekoäly ovat muuttaneet maailmaa ja toimintatapoja niin yksilöiden kuin organisaatioiden tasolla. Vaikutus näkyy myös valmistavassa teollisuudessa, jossa tekoälyn tarjoamat uudet mahdollisuudet ovat luoneet uusia keinoja tuotannon tehostamiseen ja tuottavuuden kasvuun. Ollakseen tuottavaa, valmistavan teollisuuden on oltava joustavaa ja pystyttävä vastaamaan asiakastarpeisiin, mutta samaan aikaan sen on pystyttävä käyttämään resursseja, työvoimaa, materiaalia ja energiaa mahdollisimman tehokkaasti.

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan digitalisaation ja tekoälyn vaikutusta tuottavuuden muutokseen valmistavassa teollisuudessa. Työssä käydään läpi teollisuuden osa-alueita, joissa tekoälyn käyttö mahdollistaa tuottavuuden kasvun. Lisäksi työssä käsitellään kirjallisuuteen pohjautuen tuottavuuden ja digitalisaation teoreettisia lähtökohtia sekä näiden käsitteiden käytännön merkitystä valmistavan teollisuuden kehitykselle.

Työn tulokset osoittavat, että tekoälyllä on potentiaalia uudistaa tuotannon rakenteita ja toimintamalleja. Tekoälyllä on mahdollisuus kehittää tuotantoa aivan uudella tavalla, joka muuttaa ihmisten työnkuvaa, resurssien käyttöä, sekä tuotannon joustavuutta ja tehokkuutta. Tekoälyn käyttöönotolla on kuitenkin myös haasteita ja rajoitteita. Näiden esteiden ratkaiseminen on keskeistä, jotta tekoälyyn perustuva älykäs tuotanto voi lunastaa lupauksensa kestävästä ja innovatiivisesta teollisuudesta. Käyttöönoton haasteiden ymmärtäminen mahdollistaa riskittömämmän ja tehokkaamman muutoksen kohti älykästä tekoälyn avulla toimivaa tuotantoa.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1 Johdanto 4
1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset 5
1.2 Työn tutkimusmenetelmä, rakenne ja rajaus 6
2 Tuottavuus teollisuusyrityksessä 8
2.1 Tuottavuuden määritelmä 8
2.2 Tuottavuuden kasvutavat 10
2.3 Tuottavuuden vaikutus kannattavuuteen 11
3 Teollisuuden digitalisaatio 13
3.1 Teolliset vallankumoukset 13
3.2 Teollisuus 4.0 15
3.3 Tekoäly 17
4 Digitalisoitu tuottavuus 22
4.1 Tekoälyn vaikutus valmistavaan teollisuuteen 23
4.2 Tekoälyn vaikutus tuottavuuteen 28
4.3 Älykäs tehdas 30
4.4 Tekoälyn haasteet ja ongelmat 32
5 Johtopäätökset 35
Lähteet 39

1 Johdanto

Digitalisaatio ja tekoäly ovat kasvaneet viime vuosien aikana merkittävästi, ja niillä on vaikutusta nykypäivänä lähes kaikkeen. Myös yritykset ovat havainneet digitalisaation merkityksen yritystoiminnassa, kuten tuotannossa. Ilmarinen ja Koskela (2015, 9) antavat yrityksille kaksi vaihtoehtoa suhtautua digitalisaation luomaan muutokseen: ”Tarttua digitalisaation tarjoamiin mahdollisuuksiin ja rakentaa siitä kilpailuetu tai olla tekemättä mitään, jolloin digitaalisuudesta tulee kilpailukyvyn este.” Onnistunut tekoälyn ja automatisaation yhdistäminen, voi tehostaa tuotantoa ja parhaassa tapauksessa luoda yritykselle kilpailuetua. Tämä työ käsittelee, kuinka digitalisaatio ja tekoäly muuttavat valmistavien teollisuusyritysten toimintatapoja ja parantavat niiden tuottavuutta sekä taloudellista suorituskykyä. Digitalisaatio on avannut täysin uusia mahdollisuuksia useille yrityksille.

Tuottavuus tarkoittaa lyhyesti ilmaistuna tuotettujen tavaroiden suhdetta kulutettuihin resursseihin (Tangen 2005, 35). Tuottavuuden kehittäminen on nähty yhä tärkeämpänä osana yrityksen menestykselle, ja Grossman (1993) sanoo sen olevan yksi yrityksen tärkeimmistä aseista saavuttaa kustannus- ja laatuetuja kilpailijoihinsa verrattuna. Digitalisaation ansiosta tuottavuuden parantamiseen on tullut uusia keinoja, jotka tehostavat tuotantoa. Tekoälyn ennakoidaan mullistavan perinteiset teollisuusprosessit ja luovan uusia mahdollisuuksia niin tuottavuuden kuin kilpailuedun näkökulmasta.

Termi ”digitalisaatio” kattaa suuren valikoiman erilaisia mahdollisuuksia digitaalisen teknologian käyttöönottamisessa. Tämä voi tarkoittaa ainoastaan tietokoneen ja internetin käyttöä, tai laajaa joukkoa erilaisia älykkäitä teknologioita kuten tekoälyä, automaatiota ja pilvilaskentaa. (Doyle ja Cosgrove 2019, 541.) Digitalisaatio on yksi valmistavan teollisuuden ajankohtaisimmista aiheista, ja sillä pyritään muuttamaan ja tehostamaan olemassa olevia liiketoimintaprosesseja (Lorenz ym. 2020, 2). Kehittyvät teknologiat vievät niin kutsuttua neljättä teollista vallankumousta eteenpäin, jolla on potentiaalia muuttaa teollisuutta niin taloudellisesti kuin sosiaalisestikin (Doyle ja Cosgrove 2019, 541). Tekoäly on teknologia, joka on kehittynyt viime vuosina nopeasti. Uuden teknologian vaikutukset ovat jo nähtävissä useilla teollisuudenaloilla. Esimerkiksi tekoäly ei ainoastaan automatisoi yksinkertaisia

tehtäviä, vaan osallistuu myös monimutkaisiin tehtäviin, mikä voi vaikuttaa merkittävästi organisaation tuottavuuteen ja kestävyyteen (Gao ja Feng 2023, 16).

Gao ja Feng (2023, 16) ovat osoittaneet tekoälyn positiivisen vaikutuksen yrityksen tuottavuuteen. He uskovat, että tulevaisuudessa tekoälyn merkitys on huomattava. Tekoäly ei vain tehosta nykyisiä prosesseja, vaan se luo myös uusia työtehtäviä ja mahdollisuuksia, mikä vahvistaa tuottavuutta pitkällä aikavälillä. Se voi myös mahdollistaa työntekijöiden uudelleensijoittamisen korkeampaa osaamista vaativiin tehtäviin, mikä parantaa teknologian omaksumista ja innovaatioiden syntyä yrityksissä. Tämä mahdollistaisi resurssien uudelleen sijoittamista yhä tuottavamman työn aikaansaamiseksi. (Frank ym. 2019, 6531–6533.) Damioli, Van Roy ja Vertesy (2021, s. 2) korostavat, että tekoälyn kehitys on verrattavissa muihin yleiskäyttöisiin teknologioihin, kuten sähkön ja internetin käyttöönottoon, mikä viittaa siihen, että tekoälyllä on potentiaalia mullistaa lähes kaikki teollisuudenalat ja yritykset maailmanlaajuisesti.

1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kirjallisuutta hyödyntämällä antaa lukijalle käsitys digitalisaation vaikutuksesta teollisuusyrityksen valmistusprosessissa. Työn tarkoituksena on kertoa lukijalle, kuinka tuottavuutta voidaan pyrkiä parantamaan digitalisaation keinoin. Työ keskittyy erityisesti viime vuosina nousseen tekoälyn hyödyntämiseen tuotannossa, ja kuinka se voi parantaa yrityksen tuottavuutta luoden samalla kilpailuetua. Lisäksi työssä tarkastellaan mahdollisia haasteita ja muutoksia, joita digitalisaation käyttöönotto tuo mukanaan. Digitalisaatio ja tuottavuus muodostavat perustan myös työn päätutkimuskysymykselle:

- Kuinka digitalisaatio ja tekoäly vaikuttavat tuottavuuteen valmistavassa teollisuudessa?

Päätutkimuskysymyksen tueksi on valikoitunut osakysymyksiksi:

- Mikä on tekoälyn rooli teollisuusyrityksen tuotannossa?
- Millaisia haasteita ja muutoksia tekoälyn käyttöönotto voi aiheuttaa?

- Kuinka digitalisaatio ja tekoäly vaikuttavat työhön käytettäviin panoksiin ja siitä saataviin tuloksiin?

Nämä pää- ja osakysymykset auttavat jäsentämään ja ymmärtämään digitalisaation ja tekoälyn roolia teollisuuden tuottavuuden parantamisessa. Päätutkimuskysymys tarjoaa laajan näkökulman digitalisaation roolista valmistavassa teollisuudessa nyt ja tulevaisuudessa. Osakysymykset tuovat syvyyttä ja yksityiskohtia päätutkimuskysymyksen alle. Osakysymys tekoälyn roolista tuotannossa keskittyy erityisesti siihen, miten tekoälyteknologiat kehittävät tuotantoa ja vaikuttavat teollisuuden suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Toinen osakysymys, joka käsittelee tekoälyn käyttöönoton haasteita ja muutoksia, on tärkeä, koska se tuo esiin realiteetteja ja esteitä, joita yritykset kohtaavat, ja auttaa arvioimaan muutoksen kokonaisvaikutuksia. Viimeinen osakysymys tarkastelee digitalisaation ja tekoälyn vaikutuksia työhön käytettäviin panoksiin ja siitä saataviin tuloksiin, mikä luo yhteyden teknologian käytön ja tuottavuuden perustan välille. Yhdessä nämä kysymykset muodostavat kattavan kokonaisuuden, joka tarkastelee digitalisaation ja tekoälyn hyötyjä ja haasteita valmistavassa teollisuudessa.

1.2 Työn tutkimusmenetelmä, rakenne ja rajaus

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Työ pohjautuu pääsääntöisesti tieteellisiin artikkeleihin. Työn keskeisimpiä lähteitä ovat tuottavuuteen, digitalisaatioon ja tekoälyyn liittyvä kirjallisuus sisältäen artikkeleita, kirjoja ja verkkodokumentteja. Työ avaa digitalisaation käsitettä valmistavan teollisuuden näkökulmasta, mutta rajautuu tutkimaan erityisesti tekoälyn vaikutusta valmistavaan teollisuuteen. Työ rajautuu myös tutkimaan nimenomaan valmistavan teollisuuden tuottavuuden käsitettä, ja sitä kuinka tekoäly siihen vaikuttaa.

Taulukko 1, Työssä käytetyt hakusanat ja tietokannat

Käytetyt hakusanat	**Käytetyt tietokannat**
Artificial intelligence Competitiveness Cyber-Physical Systems Digitalization/Digitization Industry 4.0	LUT Primo Google Scholar Scopus

Machine learning Manufacturing industry Performance Production planning Productivity Profitability Smart Factory	

Taulukossa 1 on esitetty tiedonhaun kannalta olennaisimmat ja tärkeimmät hakusanat, sekä tietokannat. Hakusanoja on käytetty tietokannoissa sellaisenaan, sekä yhdisteltynä hakutuloksien laajentamiseksi tai supistamiseksi. Hauissa pääsääntöinen kieli on ollut englanti, jotta tutkimusaineisto olisi mahdollisimman kattava, eikä se rajoittuisi ainoastaan suomenkielisiin aineistoihin. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikki lähteet ovat löytyneet taulukossa mainituista tietokannoista.

Kandidaatintyön rakenne koostuu johdannosta, kolmesta pääluvusta ja johtopäätöksistä. Ensimmäinen pääluku määrittelee tuottavuuden käsitteen. Se vastaa kysymyksiin: Mitä tuottavuus on? Kuinka tuottavuutta voidaan parantaa? Mitä hyötyä paremmasta tuottavuudesta on yritykselle? Toinen pääluku määrittelee digitalisaation ja tekoälyn, sekä niiden merkityksen valmistavaan teollisuuteen. Kolmas pääluku pureutuu itse tutkimuskysymykseen, eli digitalisaation mahdollistamaan tuottavuuden nousuun valmistavassa teollisuudessa. Kolmas pääluku jakautuu neljään alalukuun, joista ensimmäinen käsittelee tekoälyn vaikutusta valmistavaan teollisuuteen. Siinä kuvaillaan, kuinka valmistava teollisuus muuttuu ja kehittyy digitalisaation ja tekoälyn vaikutuksesta. Toinen alaluku syventää ensimmäistä keskittymällä erityisesti tuottavuuden muutoksiin. Kolmas alaluku kuvailee yleisen esimerkin älykkäästä tehtaasta, eli siitä kuinka digitalisaatio vaikuttaa nyt ja tulevaisuudessa valmistaviin teollisuusyrityksiin. Neljännessä alaluvussa käsitellään haasteita ja ongelmia, joita tekoälyn yhdistäminen tuotantoon voi aiheuttaa. Työn lopuksi johtopäätökset keräävät työn sisällön yhteen ja käyvät läpi työn keskeisimmät tulokset.

2 Tuottavuus teollisuusyrityksessä

Tuottavuuden käsite on keskeinen niin akateemisissa tutkimuksissa, kuin teollisuusyritysten liiketoiminnassakin. Tuottavuus ohjaa yrityksen tuotantotoimintaa ja on yksi yrityksen taloudellisista perusmuuttujista. Silti se on käsite, joka ymmärretään hyvin monella eri tavalla, ja jonka mittaaminen ja hyödyntäminen on usein haasteellista (Tangen 2005, 35). Kuten Haynes (2020, 1) tuottavuutta kuvaille: ”Tuottavuus on kuin palapeli.” Käsitteenä sen ymmärtäminen, mittaaminen ja selittäminen on vaikeaa. Puhumattakaan siitä kuinka sitä pystyisi parantamaan (Haynes 2020, 1). Amerikkalainen ekonomisti Paul Krugman sanoi vuonna 1994 kuuluisan lausahduksensa: ” Tuottavuus ei ole kaikki, mutta pitkällä aikavälillä, se on melkein kaikki.” Tällä lausahduksella tuodaan esiin tuottavuuden merkitystä talouskasvun edistäjänä ja elintason parantajana. Sen uskotaan olevan keskeinen talouskasvun ja hyvinvoinnin veturi seuraavan viidenkymmenen vuoden aikana innovaatioihin tehtävien investointien kautta. (Adalet McGowan ym. 2015, 7.)

2.1 Tuottavuuden määritelmä

Tuottavuudelle on paljon erilaisia määritelmiä. Yksinkertaisimmillaan tuottavuus tarkoittaa kykyä tuottaa. Ja kuten Giutini ja Gaudette (2003, 41) kuvailevat: ”Tullakseen tuottavammaksi, on tehtävä enemmän vähemmällä.” Kuitenkin suurin osa tunnetuista määritelmistä, etenkin yritystasolla, perustuu tuotoksen ja panoksen suhteeseen. (ks. esim. Tangen 2005, 35–36; Bernolak 1997, 208; OECD 2022, 32.) Tuottavuus viittaa siihen, kuinka tehokkaasti käytämme resursseja tuotannossa. Se kasvaa, jos saamme samoilla resursseilla aikaan enemmän tai parempia tuotteita. Toisaalta tuottavuus paranee myös, jos pystymme tuottamaan saman määrän tuotteita vähemmillä resursseilla. Resurssit ovat panoksia, joilla tarkoitetaan sekä ihmisiä että fyysisiä varoja, jotka mahdollistavat tuotannon tai palveluiden tarjoamisen. (Bernolak 1997, 204.) Tuottavuus on työskentelyä älykkäämmin, ei työskentelyä kovemmin. Se tarkoittaa kykyä tuottaa enemmän tuotoksia yhdistämällä panoksia paremmin. Tämä onnistuu esimerkiksi uusien teknisten innovaatioiden ja ideoiden avulla. (Adalet McGowan ym. 2015, 7.) Craig ja Harris (1973, 14) kiteyttävät tuottavuuden tehokkuudeksi, jolla tuotos

tuotetaan. Tuottavuus on siis sitä parempi, mitä parempi tuotoksien suhde on panoksiin verrattuna, ja se voidaan esittää kaavamuodossa seuraavasti:

$$Tuottavuus = \frac{Tuotannon\ tulokset\ (Tuotos)}{Tuotantopanokset\ (Panos)}$$

Tuotos tarkoittaa tietyllä tarkastelujaksolla aikaansaatujen tuotteiden ja palveluiden määrää ja laatua. Siihen siis kuuluu kaikki yrityksen tuotanto, mukaan lukien puolivalmisteet. Panokset ovat tuotoksen aikaansaamiseksi käytettyjä resursseja. Panokset voidaan jakaa esimerkiksi seuraaviin luokkiin: työpanos, pääomapanos, materiaalipanos, energiapanos, sekä muut tapauskohtaiset panokset. (Hannula 2000, 4; Rantanen 2005, 7–8.) Kun verrataan kaikkia näitä panoksia tuotokseen, puhutaan kokonaistuottavuudesta, eli yrityksen tuottavuuden kokonaisarvosta. Kun otetaan lähempään tarkasteluun yksi panos, puhutaan osatuottavuudesta. Osatuottavuudella voidaan tutkia tietyn panosryhmän käytön tehokkuutta. Osatuottavuuksien muutokset voivat kuitenkin olla toisiaan korvaavia. Esimerkiksi uusiin tuotantokoneisiin investointi nostaa työn tuottavuutta, sillä työpanos pysyy ennallaan, mutta tuotos kasvaa. Tämä kuitenkin laskee pääoman tuottavuutta. (Rantanen 2005, 14–15.) On siis syytä muistaa tarkastella tuottavuutta myös kokonaisuutena. Tuottavuuden kaava voidaan esittää uudelleen jakamalla tuotantopanokset osapanoksiksi (Craig & Harris 1973, 15):

$$P = \frac{O}{L + C + M + E + Q}$$

missä,

P = total productivity / kokonaistuottavuus

O = total output / kokonaistuotos

L = labor input factor / työpanokset

C = capital input factor / pääomapanokset

M = material input factor / materiaalipanokset

E = energy input factor / energiapanokset

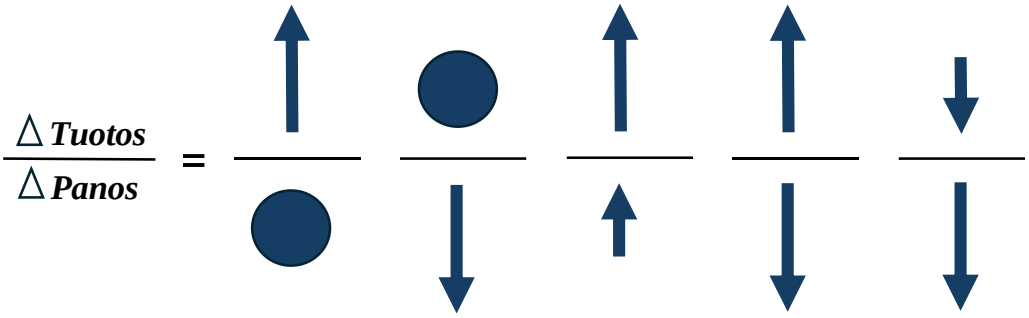
Q = other miscellaneous goods and services input factor / muut tapauskohtaiset panokset

Kyseinen kaava kuvastaa kokonaistuottavuutta. Kun kokonaistuotoksen suhdetta verrataan esimerkiksi työpanokseen, saadaan laskettua työn tuottavuus ja niin edelleen. Työpanos on tyypillisesti suurin tekijä teollisuusyrityksen kokonaispanoksesta ja suppeimmillaan tuottavuus samaistetaan yksinomaan työn tuottavuuteen ja työntekijöiden kykyyn tehdä tulosta (Rantanen 2005, 6; Craig & Harris 1973, 17). Pääomapanos sisältää yrityksen kiinteän pääoman. Materiaalipanos sisältää raaka-aineet, sekä muut ostetut osat ja komponentit, eli tuotantomateriaalin. Energiapanos koostuu käytetystä energiasta ja käytettyjen energiamuotojen yhteismäärästä. Muut tapauskohtaiset panokset koostuvat nimensä mukaisesti kaikista muista tuotokseen vaikuttavista panoksista, joita voivat olla esimerkiksi julkiset palvelut, mainonta, toimistotarvikkeet, tutkimus- ja tuotekehitys ja kuljetukset. (Rantanen 2005, 8–9; Craig & Harris 1973, 17–18.)

2.2 Tuottavuuden kasvutavat

Tuottavuutta voidaan mitata ja tarkastella monella eri tasolla. Rantanen (2005, 9–10) jakaa tuottavuuden tarkastelutasot neljään: Kansantalouden, Toimialan, Yrityksen ja Yksilön taso. Tässä työssä pohjaudutaan lähinnä yrityksen tasolle. Mitä hyötyä tuottavuuden kasvusta sitten yritykselle on? Hyötyjä on paljon. Työnantajat hyötyvät parantuneen myynnin, kilpailukyvyn ja kannattavuuden ansiosta. Tuottavuuden kasvu voi myös kasvattaa ja vakauttaa liiketoimintaa, sekä vähentää hukkaa ja poissaoloja. Tuottavuuden kasvusta on hyötyjä myös työntekijöille, sillä tuottavammat ja menestyvät yritykset tarjoavat vakaamman työllisyyden, paremman palkan ja työolosuhteet, paremmat uramahdollisuudet sekä paremmat työnantaja-työntekijäsuhteet. Asiakkaat saavat edullisempia ja parempilaatuisia tuotteita ja palveluita. (Bernolak 1997, 205.) Ei siis turhaan sanota tuottavuuden olevan keskiössä puhuttaessa talouskasvusta ja hyvinvoinnista. Yleinen virhe on, että tuottavuus sekoitetaan tuotantoon, ja ajatellaan tuottavuuden lisääntyvän, kun lisätään tuotantoa. Näin ei kuitenkaan aina ole. Bernolak (1997, 204) muistuttaa, että lisääntynyt myynti nostaa yleensä myös käytettyjä resursseja, jolloin tuottavuus ei välttämättä ole kasvanut. Kasvu pitää tapahtua suhteessa tiettyyn

määrään resursseja eli käytettyjä panoksia. Tangen (2005, 37) kuvaa tuotoksen ja panoksen suhteen avulla viisi tapaa parantaa tuottavuutta, joita on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Tuottavuuden kasvutavat (mukaillen Pekkola ym. 2008, s. 17)

Ensimmäinen tapa kuvaa tilannetta, jossa tuotos kasvaa, mutta panos pysyy samalla tasolla. Tämä tarkoittaa, että tuotantoa pystytään esimerkiksi tehostamaan, ja saadaan samalla määrällä käytettyjä resursseja suurempi määrä tuotteita. Toisena vaihtoehtona on tuottaa sama määrä tuotoksia pienemmillä panoksilla. Tällöin tuotos pysyy muuttumattomana, mutta käytettyjen panosten määrää saadaan vähennettyä. Tuottavuus kasvaa myös, kun sekä tuotos, että panos kasvavat, mutta tuotos kasvaa enemmän. Myös tilanteessa, jossa panoksia pystytään pienentämään samalla lisäämällä tuotoksia, tuottavuus kasvaa. Tuottavuus voi kasvaa myös, vaikka itse tuotanto ja tuotos laskevat. Näin tapahtuu, jos panokset laskevat tuotosta enemmän. (Tangen 2005, 37; Pekkola ym. 2008, s. 17.)

2.3 Tuottavuuden vaikutus kannattavuuteen

Tuottavuus rinnastetaan usein yrityksen kannattavuuteen ja usein niistä puhutaan samana asiana. Se voi olla syy siihen, että tuottavuus helposti sivuutetaan kokonaan (Tangen 2005, 39). Käsitteet ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta tarkoittavat eri asiaa. Tuottavuus määritellään osaksi yrityksen reaaliprosessia, jossa tuotannontekijöiden avulla pyritään saamaan mahdollisimman paljon ja laadukkaita tuotantotuloksia. Kannattavuus puolestaan kuvaa yrityksen rahaprosessia, ja kuinka paljon voittoa yritys kykenee saamaan suoritteiden myynnistä saamiensa tulojen ja ostetuista tuotannontekijöistä maksamiensa korvausten erotuksena. (Rantanen 2005, 19.) Sekä tuottavuus, että kannattavuus liittyvät vahvasti

suorituskykyyn, ja molemmat ovat suorituskyvyn osa-alueita. Ne kuvaavat yrityksen kyvykkyyttä toimia ja suoriutua. (Pekkola ym. 2008, 14.)

Tuottavuuden parantaminen luo yleensä toiminnasta kannattavaa, joka puolestaan luo edellytykset toiminnan kehittämiselle. Tämä puolestaan lisää tuottavuuden kasvua. (Hannula 2000, 4.) Lyhyellä aikavälillä tuottavuuden kasvu ei välttämättä näy kannattavuuden kasvuna, mutta pitkän aikavälin kannattavuudessa tuottavuuden kasvun vaikutus on todennäköisemmin havaittavissa (Tangen 2005, 39). Syntyy niin sanottu tuottavuuden kierre, joka on esitetty kuvassa 2.

Kuva 2, Tuottavuuden kierre

Parempi tuottavuus voi laskea valmistettujen tuotteiden yksikkökustannuksia, joka parantaa yrityksen kilpailukykyä markkinoilla. Tämä lisää myyntiä, joka puolestaan parantaa kannattavuutta, eli yritys tekee enemmän voittoa. Syntynyt voitto mahdollistaa puolestaan uudet investoinnit eli toiminnan kehittämisen. (Rantanen 2005, 4.) Toiminnan kehittäminen voi suuntautua koulutukseen, tuotantovälineisiin tai johtamisen apuvälineisiin, ja mahdollistaa jälleen tuottavuuden kehittämisen. Syntyy niin sanottu nousevan tuottavuuden kierre. Sama on kuitenkin mahdollista myös toiseen suuntaan tuottavuuden tai jonkin muun osa-alueen ollessa heikko. Osa-alueet ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. (Pekkola ym. 2008, 16–17.)

3 Teollisuuden digitalisaatio

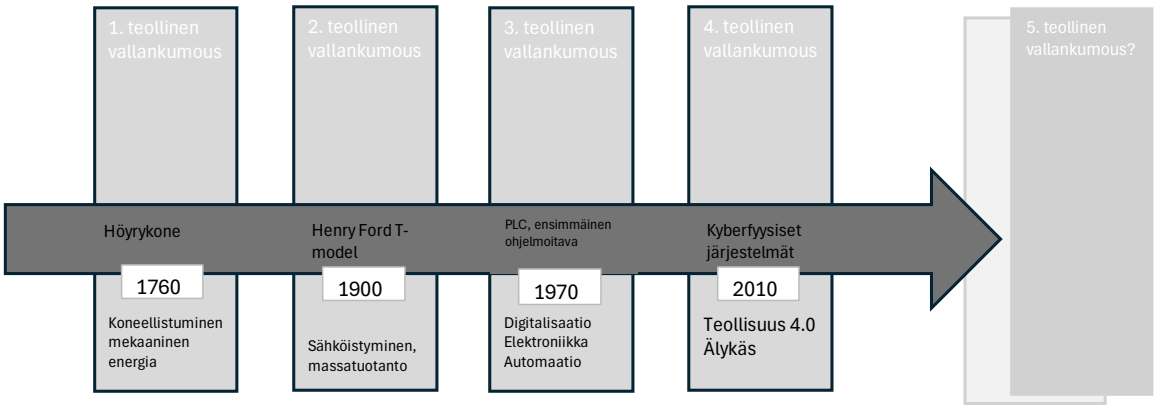
Digitalisaatiota on tapahtunut jo pitkään, mutta viime vuosina puhe digitalisoituvasta maailmasta on lisääntynyt. Hagberg, Sundstrom ja Egels-Zandén (2016, 694) ovat sanoneet digitalisaation olevan yksi yhteiskunnan merkittävimmistä meneillään olevista muutoksista, joka vaikuttaa yritysten liiketoimintaan, sekä ihmisten jokapäiväiseen elämään. Digitalisaatio on muuttanut lähes kaikkea, ja se on muuttunut myös valtavasti sen jälkeen, kun Hagberg ja muut ovat näin sanoneet.

Miksi digitalisaatio on noussut sitten näin vahvasti esiin viimeisten 10 vuoden aikana? Monet syyt yhtä aikaa ovat vaikuttaneet ja kiihdyttäneet digitalisaation kehitystä. Anturi-, verkko- ja analysointiteknologioiden kehitys on johtanut hinnan laskuun, pienempään virrankulutukseen ja kokoon, sekä parempaan suorituskykyyn. Tietotekniikka ja internet ovat tullut kaikkien saataville, ja verkossa olevien laitteiden määrä on kasvanut räjähdysmäisesti. Pilvipalvelujen ja tallennustilan hinnan romahtaminen on mahdollistanut datamassojen tallennuksen ja analysoinnin lähes kaikille yrityksille. Ohjelmistot eivät ole enää kankeita isoja laitoksia, vaan selaimessa käytettäviä pilvipalveluita. Avoin lähdekoodi lisää kilpailua. Kaikki tämä ajaa liiketoiminnan kiihtyvään liikkeeseen ja muutoksen nopeus pakottaa yritykset toimimaan päätöksenteossaan ja investoinneissaan yhä nopeammin ja nopeammin. Mitä nopeammin yritys reagoi muutokseen, sitä parempi on mahdollisuus menestyä. Kaikki lattiatason työntekijöistä yrityksen korkeimpaan johtoon joutuvat omaksumaan uutta teknologiaa ja alati uudistuvia työn tekemisen tapoja. (Collin ja Saarelainen 2016, 43–47.)

3.1 Teolliset vallankumoukset

Sanaa digitalisaatio on alettu käyttää jo 90-luvulla, kun tietokoneet alkoivat yleistyä ja internet laajentua. Alkoi tapahtua digitalisoitumista, kun asioita, esineitä ja prosesseja vietiin digitaaliseen muotoon. (Ilmarinen ja Koskela 2015, 22.) Käsitteenä digitalisaatio on laajentunut ja muuttanut muotoaan alkuajoista, ja nykyisin puhutaan digitalisaatiosta neljännen teollisen vallankumouksen yhteydessä. Ensimmäinen teollinen vallankumous alkoi 1760-luvulla, kun höyrykone keksittiin. Höyrykone mahdollisti valmistusprosessien uudistumisen esimerkiksi terästeollisuudessa. Pääasiallisena energianlähteenä käytettiin kivihiiltä, ja junat

olivat tärkeimpiä kulkuvälineitä. Toinen teollinen vallankumous alkoi 1800–1900 lukujen taitteessa, kun uudet keksinnöt, kuten polttomoottori ja sähköistyminen nopeuttivat kehitystä. Kolmas teollinen vallankumous alkoi 1900-luvun loppupuolella, kun elektroniikka ja informaatioteknologia toivat uusia mahdollisuuksia tuotannon automatisoimiseksi. Nyt 2010-luvulla voidaan sanoa alkaneen neljännen teollisen vallankumouksen, eli toisin sanoen teollisuus 4.0 tai industry 4.0, joka pohjautuu aiempien kolmen vallankumouksen tuomiin teknologisiin edistysaskeliin ja valmiuksiin. (Xu, David ja Kim 2018, 90–91; Prisecaru 2016, 57–58; George 2024b, 17.)



Kuva 3, Teolliset vallankumoukset (mukaillen Collin ja Saarelainen 2016, 39; Rojko 2017, 79)

Kuvassa 3 on kuvattu polku näiden neljän teollisen vallankumouksen läpi. Ensimmäisen vallankumouksen ajureita olivat koneellistuminen ja mekaaninen energia. Se toi siirtymän manuaalisesta työstä ensimmäisiin valmistusprosesseihin. Tämä paransi ihmisten elämänlaatua. Sähköistymisen myötä alkoi toinen teollinen vallankumous, joka mahdollisti massatuotannon ja teollistumisen. Digitalisaatiosta alettiin puhua kolmannen vallankumouksen kohdalla, kun elektroniikka ja automaatio yleistyivät. Internet yhdisti maailman ennennäkemättömällä tavalla. Valmistuksessa se mahdollisti joustavan tuotannon. Nykyään voimme sanovan elävämme neljättä vallankumousta, jonka ICT eli tieto- ja viestintäteknologian kehitys käynnisti. Joukko uusia teknologioita hämärtää fyysisen ja digitaalisen maailman rajoja. Uudet itseorganisoituvat tuotantojärjestelmät korvaavat perinteisemmät hierarkkiset automaatiojärjestelmät, joka mahdollistaa joustavan massaräätälöinnin ja joustavuuden tuotantomäärässä. Neljäs teollinen vallankumous on synnyttänyt käsityksen älykkäästä

tehtaasta, jossa tuotantojärjestelmät, koneet ja työntekijät ovat kaikki yhteydessä toisiinsa. (Rojko 2017, 79–80; George 2024b, 18; Varshney ym. 2024, 1232)

Eksponentiaalinen kehitys on luonut puheita jo viidennestä teollisesta vallankumouksesta, jonka murroksessa hiljalleen olemme. Se keskittyy erityisesti ihmisen ja teknologian väliseen vuorovaikutukseen ja yhteistyöhön. Tavoitteena on lisätä tuottavuutta ja innovaatiokykyä yhdistämällä ihmisten viisaus ja luovuus koneiden tarkkuuteen ja tehokkuuteen. Siinä missä teollisuus 4.0 pyrkii laitteiden väliseen viestintään ja automaatioon, teollisuus 5.0 pyrkii edistämään syvällistä viestintää ja yhteistyötä ihmisten ja koneiden välillä. (Wang ym. 2023, 1692–1693.) Ivanov (2023, 1690–1691) korostaa, että yksi tärkeimmistä asioista, joita teollisuus 5.0 tuo mukanaan on kestävyyden, ihmiskeskeisyyden ja resilienssin yhdistäminen kokonaisuudeksi. Edistetään ympäristöystävällisiä ja resurssitehokkaita käytäntöjä, keskitytään työntekijöiden hyvinvointiin ja osallisuuteen tuotantoprosessissa ja varmistetaan, että toimitusketjut ja operaatioiden toiminnot kestävät häiriöitä ja voivat toipua niistä. Teollisuus 5.0 ei korvaa aiempia teollisuuden vallankumouksia, vaan täydentää niitä.

3.2 Teollisuus 4.0

Ajatus neljännestä vallankumouksesta syntyi Saksassa, ja sen tarkoituksena on luoda älykkäitä ja pitkälle automatisoituja tuotantoympäristöjä. Tavoitteena on lisätä tuotannon joustavuutta ja muokattavuutta yhteen liitettyjen järjestelmien ja reaaliaikaisen data-analyysin avulla. (Rojko 2017, 77–78; Öztemel ja Gursev, 2018, 129.) Teollisuus 4.0 pyrkii mullistamaan tuotannon integroimalla digitaalisia teknologioita. Tekoälyn, big datan, esineiden internetin, robotiikan, nanoteknologian ja kvanttilaskennan kehitys yhdistyy luomaan älykkäitä, autonomisia järjestelmiä, joilla on aivan uudenlainen joustavuus ja mukautumiskyky (George 2024b, 18). Teollisuus 4.0 perustuu uusiin teknologioihin, mutta yksinään mikään teknologia ei johda prosessia. Teollisuus 4.0 tavoitteena voidaankin pitää älykkäiden tuotteiden muodostamien prosessien ja kokonaisuuksien luomaa tuottavuuden kasvua. (Varshney ym. 2024, 1233–1234.) Tulevaisuuden liiketoiminnat muodostavat autonomisia kokonaisuuksia ja kuuluvat yhteiseen globaaliin verkostoon. Tulevaisuuden tehtaissa älyllä varustetut koneet, tuotantoprosessit ja varastot toimivat reaaliajassa, ja parantavat tuotteen toimitusketjun ja elinkaaren ohjausta. Tuotantoprosessia ohjaava järjestelmä optimoi itsenäisesti toimintaa analytiikan ja ihmisten asettamien rajojen puitteissa. Tämä perustuu

kyberfyysisten järjestelmien älykkääseen automaatioon. Kyberfyysiset ratkaisut yhdistävät tuotteet, palvelut ja ihmiset keskenään. (Collin ja Saarelainen 2016, 37–38; Rojko 2017, 80.)

Kyberfyysiset järjestelmät (CPS, Cyber-Physical Systems) tarkoittavat järjestelmiä, joissa fyysiset komponentit ja tietotekniikka yhdistyvät saumattomasti. Kyberkomponentit, kuten anturit, tietokoneet ja ohjauskeskukset integroituvat fyysisiin prosesseihin, jotka sisältävät mekaanisia komponentteja, ihmisen toimintoja ja ympäröivän ympäristön. Tällaisissa järjestelmissä fyysiset laitteet ovat yhteydessä digitaaliseen maailmaan tiedonkeruun, tiedon analysoinnin ja päätöksenteon avulla. (Hu ja Yu 2020, 1–2.) Laitteet käyttävät edistynyttä yhteyttä esimerkiksi esineiden internettiä (IoT, Internet of Things) reaaliaikaiseen tiedonvaihtoon. Esineiden internet mahdollistaa kyberfyysiset järjestelmät tarjoamalla verkkoinfrastruktuurin fyysisille objekteille havaitsemista, viestintää ja vuorovaikutusta varten. (Koulamas ja Athanasios 2018, 96.) Näin kyberfyysiset järjestelmät luovat älykkäitä ja itsenäisiä tuotanto- tai toimintaympäristöjä, jotka ovat olennainen osa teollisuus 4.0-konseptissa. Tämä mahdollistaa oikein toteutettujen digitalisaatio- ja automaatiotoimenpiteiden ansiosta huomattavia parannuksia tuottavuudessa ja laadussa.

Esineiden internet tarkoittaa verkkoa, jossa fyysiset laitteet, koneet, rakennukset, ajoneuvot ja muut esineet on varustettu antureilla, ohjelmistoilla ja verkkoyhteydellä, jotta ne voivat kerätä ja vaihtaa tietoa keskenään tai etäpalvelimien kanssa. Esineiden internetin avulla laitteet voivat toimia älykkäästi ja automaattisesti, koska ne pystyvät kommunikoimaan keskenään, ja suorittamaan toimenpiteitä ilman ihmisen väliintuloa. (Gacovski 2019, 25–26.) Internet ei ole enää vain ihmisiä varten, vaan myös esineet kykenevät hyödyntämään sitä, ja kommunikoimaan sen kautta. Ne vaihtavat tietoa keskenään ja ihmisten kanssa, tukevat liiketoimintaprosesseja ja lisäävät tietämystä. Voidaan sanoa esineiden internetin olevan laajennus olemassa olevaan internettiin. Pitkällä aikavälillä voidaankin odottaa, että IoT-ekosysteemi kehittyy mahdollistaen esineiden ja reaalimaailman objektien yhdistämisen, viestimisen ja vuorovaikutuksen samalla tavoin kuin ihmiset verkossa tekevät. (Höller 2014, 14–15.) Yhdessä kyberfyysiset järjestelmät ja esineiden internet muodostavat älykkäiden tuotantolaitosten perustan, joissa koneet, varastointijärjestelmät, tuotantolinjat ja logistiikka ovat yhteydessä keskenään, suorittavat toimenpiteitä ja seuraavat prosesseja. ”Tämä luo mukautuvan, automatisoidun ympäristön, joka lisää automaatiota, tuottavuutta, turvallisuutta ja luotettavuutta.” (George 2024b, 19.)

Vaikka digitalisaatio on ollut osa jo kolmatta vallankumousta, on kuitenkin syynsä, miksi teollisuus 4.0 muutokset eivät ole vain kolmannen teollisen vallankumouksen jatke, vaan neljännen ja erillisen vallankumouksen alku. Schwab (2016) listaa tästä kolme syytä: nopeus, laajuus ja järjestelmien vaikutus. Teknologiset läpimurrot vyöryvät eteenpäin nopeudella, jolla ei ole historiallista ennakkotapausta. Verrattuna aikaisempiin teollisiin vallankumouksiin, neljäs etenee eksponentiaalisesti eikä lineaarisesti. Lisäksi teollisuus 4.0 ylettyy laajalle ja mullistaa melkein jokaisen toimialan jokaisessa maassa. Näiden järjestelmien vaikutukset ennustavat laajuudeltaan ja syvyydeltään koko tuotanto-, hallinto- ja johtamisjärjestelmien muutosta. (Schwab 2016.) Varshney ja muut (2024, 1236) listaavat teollisuus 4.0 hyödyiksi mm. tehokkuuden, ketteryyden ja innovatiivisuuden, jotka eivät samalla tasolla olleet mahdollisia aiemmin.

3.3 Tekoäly

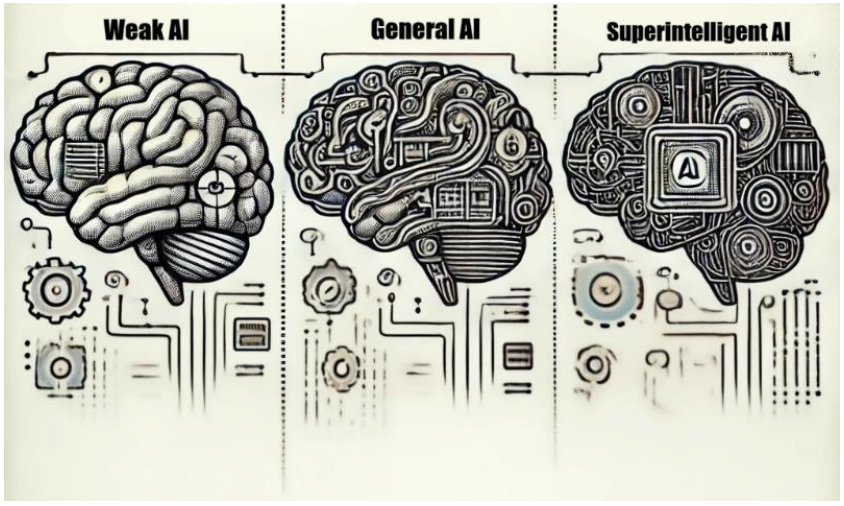
Tekoäly (AI, Artificial Intelligence) on yksi digitalisaation seuraus ja yksi osa teollisuus 4.0:aa. Englanninkielinen nimi Artificial Intelligence viittaa tietokoneen tuottamaan keinotekoiseen älykkyyteen, joka on vastakohta luonnolliselle älykkyydelle. Tekoäly ei ole yksi teknologia, vaan kokonaisuus, jota voidaan muovata erilaisiin tehtäviin sopivaksi (SAP 2024). Tietokone koostuu käyttöjärjestelmistä, ohjelmistoista, ohjelmista, laitteistoista ja laitteista. Nämä on jaettu yleensä neljään osaan, jotka ovat rakenteet ja komponentit (hardware), laiteohjelmistot (firmware), ohjelmat (software) ja tietoliikenne (data communications). Tekoäly puolestaan toimii tietokoneessa ja on yksi sen toimintojen jatke, ohjelma, joka kykenee mittaviin laskentoihin. (Siukonen ja Neittaanmäki 2019, 9.) Tekoälyn voidaan sanoa olevan koneen suorittamaa toimintaa, joka ihmisen suorittamana olisi älykästä. Tekoälyä kohtaa päivittäin, vaikka sitä ei huomaisi. Kun maksaa kaupassa kortilla, tekoäly hoitaa maksuliikenteen suojauksen. Kun avaa koneen ja esiin tulee mainos, tekoäly on todennäköisesti valinnut mainoksen koneen omistajan kiinnostuksen kohteista. (Merilehto 2018, 18–22.)

Myllymäki (2021, 12) sanoo, että vaikka tekoäly ei oikeasti ole älykästä ja koneoppiminen ei oikeasti opi, niin tekoälyteknologiat toimivat silti digitaalisen yhteiskunnan kehityksen moottorina. Tällä hän viittaa siihen, että tekoäly on vielä hyvin ”heikko” älyistä, eli se osaa asiat, jotka sille on ihminen jossain muodossa syöttänyt. Kaikki mitä ympärillä tapahtuu jää huomioimatta. Nykyään tunnettu heikko tekoäly suoriutuu helposti ihmistä paremmin ja

nopeammin sille annetusta tehtävästä, kuten kasvojentunnistus, internet-haku, yhtälöiden ratkaiseminen tai auton ajaminen, mutta yleinen tekoäly pystyisi ylittämään ihmisten kyvyt lähes kaikissa kognitiivisissa tehtävissä ja sisältämään inhimillisiä ominaisuuksia kuten tietoisuuden ympäristöstä (Lu ym. 2017, 368; Bory, Natale ja Katzenbach 2024). Tekoäly perustuu algoritmeihin, jotka on suunniteltu havaitsemaan malleja ja tekemään päätöksiä ilman jatkuvaa ihmisen ohjausta. Tekoälylle ominaisia piirteitä ovat päättelykyky, havainnointikyky, ennustamiskyky, kyky adaptoitua, sekä kyky suunnitella ja suorittaa erilaisia toimenpiteitä haluttuun tavoitteeseen pääsemiseksi. Tämän tavoitteen on kuitenkin antanut ihminen. (Myllymäki 2021, 5–12, 17–18.) Voidaan kuitenkin sanoa tekoälyn olevan älykästä, sillä se osaa hyödyntää ja tarkkailla dataa, joka sille on tarjottu, paljon paremmin kuin yksikään aiemmin luotu teknologia.

Tekoälyn jaottelu

Kuten aiemmin kävi ilmi, nykyinen tekoäly on vielä pääasiassa heikkoa tekoälyä, joka keskittyy jonkin tietyn toiminnon suorittamiseen. Erikoistuminen johonkin tiettyyn alueeseen ei sinänsä ole ongelma, mutta niiden toiminta rajoittuu vain tuolle määrätylle alueelle. Heikko tekoäly ei pysty mukautumaan tilanteen mukaan. Esimerkiksi kasvojentunnistus tekoäly ei osaa ajaa autoa tai toimia asiakaspalvelijana. (Merilehto 2018, 23.) Tämän lisäksi tekoäly voidaan jakaa yleiseen ja superälykkääseen tekoälyyn. Alla havainnollistetaan tekoälyn kolme muotoa.



Kuva 4, Tekoälyn jaottelu, tehty tekoälyllä (OpenAI, 2024)

Heikko tekoäly (Weak AI tai Narrow AI) on suunniteltu toteuttamaan tietty tehtävä tai tehtävien joukko. Sitä kutsutaan heikoksi, sillä se on vielä kaukana ihmisen kaltaisesta ymmärryksestä ja tietoisuudesta. Heikko tekoäly on rajallista toiminta-alaltaan, eikä kykene suorittamaan toimintoja oman erityisalueen ulkopuolelta. Se kuitenkin pystyy oppimaan kokemuksesta ja havaitsemaan sekä ennustamaan erilaisia malleja. (SAP 2024.) Heikko tekoäly on ollut myös liiketoiminnan pääsuuntaus, sillä sen avulla voidaan keskittyä ratkaisemaan yksi selkeä ongelmakohta toiminnasta. Kehitysprojektin rajaaminen yhteen kapeaan projektiin kerrallaan antaa käytettäväksi kaikki ihmisen ja organisaation tiedot, joita tekoälyn kanssa voi hyödyntää. (Merilehto 2018, 24.) Älykkäässä valmistuksessa heikkoa tekoälyä voidaan käyttää ennakoivaan kunnossapitoon, laadunvalvontaan, poikkeamien tunnistamiseen ja prosessien optimoimiseen, ja näillä alueilla se suoriutuukin yleensä huomattavasti ihmistä tarkemmin (Gabsi 2024).

Yleinen tekoäly (General AI tai strong AI) pystyy teoriassa suorittamaan minkä tahansa älyllisen tehtävän, jonka ihminenkin kykenee suorittamaan, mahdollisesti jopa paremmin kuin ihminen. Yleinen tekoäly kykenee viemään kokemuksesta oppimisen ja malleista ennustamisen pidemmälle kuin heikko tekoäly. Se pystyy soveltamaan tietoa laajalle joukolle erilaisia tehtäviä ja tilanteita, joita ei ole käsitelty aikaisemmin hankitulla datalla tai olemassa olevilla algoritmeilla. Se ilmentää tietoisuuden ja itsetietoisuuden tasoa, joka mahdollistaisi ihmismäisen päätöksenteon. (SAP 2024; Gabsi 2024.) Se pystyy esimerkiksi ajamaan autoa, kokkaamaan ja ymmärtämään satoja kieliä (Merilehto 2018, 18). Yleistä tekoälyä ei ole pystytty vielä saavuttamaan, mutta edistysaskelia siihen suuntaan on jo otettu.

Superälykäs tekoäly (Superintelligent AI) on vertaus tekoälyjärjestelmälle, joka olisi täysin itseään tiedostava ja voisi ylittää jopa ihmisen älykkyyden. Pelkän ihmisen käyttäytymisen jäljittelyn tai tunnistamisen sijaan superälykäs tekoäly ymmärtäisi sitä perustasolla. Kun tiedetty laskentateho ja analyysikyky täydentyisi näillä inhimillisillä piirteillä, tekoäly voisi ylittää omat kykymme huomattavasti. (SAP 2024.)

Koneoppiminen

Koneoppiminen (Machine Learning, ML) on yleisin tekoälyn osa-alue ja suurin osa tekoälyn sovelluksista on koneoppimista. Koneoppiminen tarkoittaa sitä, että koneelle ei ole määritelty toimintaohjetta jokaista erillistä tilannetta varten, vaan kone oppii itsenäisesti datasta (Merilehto 2018, 19). Se mahdollistaa tietokonejärjestelmien oppimisen ja kehittymisen

datan ja kokemusten perusteella ilman erillistä ohjelmointia. Tämä tarkoittaa, että järjestelmä voi itsenäisesti tunnistaa malleja ja tehdä päätöksiä aiemmin kerättyjen tietojen perusteella. (George 2024b, 22.) Koneoppiminen hyödyntää monia tieteenaloja, kuten tietojenkäsittelytiedettä, tilastotiedettä, psykologiaa, neurotiedettä ja taloustiedettä (SAP 2024).

Koneoppimisessa käytetään erilaisia algoritmeja, jotka analysoivat dataa ja oppivat sen avulla optimoimaan suoritusta. Näin malli kehittyy ja osaa käyttää käytössä olevaa dataa entistä paremmin, ja sitä kautta ennustaa lopputuloksia. Mitä enemmän dataa on käytettävissä, sitä tarkempi kuva syntyy. Tämä prosessi tapahtuu automaattisesti, ja järjestelmä mukautuu ja parantaa toimintaansa ajan myötä. Esimerkiksi yritykset käyttävät koneoppimista ennustaakseen tulevia tapahtumia ja tuloksia, kuten markkinoiden muutoksia. (SAP 2024; Merilehto 2018, 27–28.)

Koneoppiminen muuttaa merkittävästi tapaa, jolla ohjelmistoja kehitetään vastaamaan asiakkaiden jatkuvasti muuttuvia tarpeita. Perinteisessä ohjelmistokehityksessä kehittäjät kirjoittavat ohjelmiston toiminnan tarkkaan määritellyn logiikan mukaan, perustuen aiempaan tietämykseen liiketoiminnasta ja siihen liittyvästä datasta. Tämä lähestymistapa tavoitteen asettamisen lisäksi myös määrittää, miten siihen päästään. Koneoppimisessa malli toimii eri tavalla. Mallille annetaan vain tavoite, ja se oppii itse parhaan tavan saavuttaa tämä tavoite analysoimalla suuria tietomääriä. Toisin kuin perinteisessä ohjelmistossa, jossa kehittäjä ohjaa jokaista toimintaa, koneoppimisen malli tekee prosessista joustavamman ja tehokkaamman vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin ja liiketoiminnan muutoksiin. (Merilehto 2018, 29–30.)

Neuroverkot ja syväoppiminen

Syväoppiminen on koneoppimisen viimeisin muoto, ja se perustuu neuroverkkojen toimintaan (Geubbelmans ym. 2024, 251). Neuroverkot ovat tekoälyalgoritmeja, jotka jäljittelevät aivojen toimintaa. Syväoppiminen on niiden edistynyt muoto, jossa käytetään useita kerroksia neuroverkkoa monimutkaisen tiedon analysoimiseen ja oppimiseen. Neuroverkko koostuu toisiinsa liitetyistä neuroneista, jotka voivat käsitellä ja oppia tietoa. Neuroverkko pyrkii jäljittelemään aivojen toimintaa oppiakseen ja tunnistaakseen monimutkaisia kuvioita ja yhteyksiä datasta. Neuroverkot eivät toimi samalla tavalla kuin ihmisaivot, mutta biologisen neurotieteen periaatteista on ollut hyötyä suunnittelussa. Neuroverkkoa voidaan kuvata

myös koneoppimisen korkeampitasoisina abstraktioina, jossa peruslaskentayksiköitä yhdistellään. (Aggarwal 2023, 1–2.)

Neuroverkkoja kehitettiin jo 1950-luvulla, mutta rajalliset resurssit kuten datan määrä ja laskentateho hyydyttivät tutkimukset. Nyt tällä vuosituhannella paremmat mahdollisuudet neuroverkon kehittämiselle loivat uuden syväoppimisen termin. (Aggarwal 2023.) Syväoppiminen on neuroverkon alaluokka, ja se tapahtuu neuroverkkokerroksissa. Esimerkiksi kompleksinen tunnistusjärjestelmä saadaan aikaan monista yksinkertaisista tunnistusjärjestelmistä päällekkäin. (Merilehto 2018, 45–46.) Nämä syvät neuroverkot voivat ilman ihmisen väliintuloa havaita monimutkaisia kuvioita ja suhteita datassa, joita ihmiset eivät välttämättä heti itse havaitse. Neuroverkkojen hierarkkisen rakenteen hyödyntäminen mahdollistaa tarkemmat ennusteet ja päätökset. (Geubbelmans ym. 2024, 248.) Perinteinen koneoppiminen perustuu siihen, että ihmisen on itse luotava olettamus koneelle, neuroverkkoon perustuva syväoppiminen luo sen itse. Tämän perusteella koneoppiminen voidaan jakaa kahteen kehitysprosessiin: matalaan oppimiseen ja syväoppimiseen. (Dong, Wang ja Abbas 2021, 2.)

Vaikka olemme vielä kaukana siitä päivästä, jolloin tekoäly saavuttaisi ihmisen kaltaisen suorituskyvyn, tietyillä alueilla kuten kuvantunnistuksessa tekoäly on ylittänyt jo kaikkien odotukset, ja jopa ihmisen suorituskyvyn. Tekoäly voi saavuttaa tulevaisuudessa paljon, sillä kehitys on ollut nopeaa. Harva olisi uskonut vuosituhannen vaihteessa myöskään tätä hetkeä, että automaattinen järjestelmä suorittaa intuitiivisia tehtäviä ihmistä paremmin. (Aggarwal 2023.)

4 Digitalisoitu tuottavuus

Digitalisaation ja tekoälyn käyttöönotto yrityksissä ei ole ainoastaan luonnollinen seuraus teknologian kehittymisestä, vaan se liittyy myös siihen, että monet tähän mennessä käytetyt mahdollisuudet teollisen valmistuksen voiton ja tuottavuuden kasvattamiseen ovat lähes loppuun käytettyjä. Tuotantokustannuksia on pyritty alentamaan just-in-time tuotannolla, omaksumalla lean-tuotannon toimintatapoja ja ulkoistamalla toimintaa halvempiin maihin. (Rojko 2017, 80.) Uusia mahdollisuuksia on löydettävä. Kaikilla toimialoilla on kova paine saada aikaan kustannussäästöjä, parantaa tuottavuutta ja erottua kilpailijoista (Collin ja Saarelainen 2016, 129).

Teollisuus 4.0 mukanaan tuoma teknologinen kehitysaalto on lupaava seuraava ratkaisu teollisen tuotannon kustannusten minimoimiseen ja voiton maksimoimiseen. Keskeisiä ratkaisuja ovat esimerkiksi tiedon käsittelyn reaaliaikaisuus, tapahtumien ennakoitavuus ja automaation lisääminen. Uuden suuntauksen tuotannon kehitykseen tuo teollisuus 5.0, joka hiljalleen alkaa olla myös ajankohtainen. Sen tarkoitus on yhdistää tämä älykäs koneiden verkko saumattomasti osaksi ihmisten toimintaa, ja hyödyntää etenkin ihmisten ajattelukykyä asiakkaiden korkeasti personoitujen tarpeiden täyttämisessä. Liiketoiminnan menestyksen kannalta digitalisaatio vaikuttaa usein kerralla useaan asiaan, eikä positiiviset vaikutukset rajoitu pelkästään yrityksen sisäisiin liiketoimintahyötyihin. (Rojko 2017, 80; Collin ja Saarelainen 2016, 130; Wang ym. 2023, 1698.)

Digitalisaatio on väline liiketoiminnan uudistamiseen, ja siksi keinot liiketoiminnan perustekijöiden kehittämiseen on tärkeä ymmärtää. Tuottavuuden kasvu, kannattavuus ja kilpailukyky ovat liiketoiminnan keskeisiä tavoitteita yrityksissä, jotka tähtäävät menestykseen. (Ilmarinen ja Koskela 2015, 32.) Sivulla 10 kerrottiin tuottavuuden kierteestä, josta selvisi, että yrityksen tuottavuudella on yhteys näihin kaikkiin liiketoiminnan keskeisiin tavoitteisiin. Teollisuus 4.0 investointeihin ajaa paine pysyä kilpailussa mukana. Teollisuuden arvoketjujen digitaalinen muutos kiihtyy ja älykkään teknologian käyttöönotto on muuttunut erottautumistekijästä pian elinehdoksi. Edelläkävijät, jotka hyödyntävät esimerkiksi tekoälyä tehokkaasti, saavuttavat jo nyt parannuksia tehokkuudessa, laadussa, joustavuudessa ja nopeudessa. (George 2024b, 30.)

4.1 Tekoälyn vaikutus valmistavaan teollisuuteen

Valmistava teollisuus perustuu raaka-aineiden jalostukseen tuotantoprosessissa valmiiksi tuotteiksi. Valmistava teollisuus on siirtymässä uuteen aikakauteen, jossa tekoälyn hyödyntäminen nousee keskeiseksi osaksi teollisuuden prosesseja. Yksi asia pysyy kuitenkin ennallaan: pyrkimys tehokkuuteen ja laatuun. Vuosikymmenten ajan on pyritty optimoimaan prosesseja, vähentämään virheitä ja lisäämään tuottavuutta. Näitä samoja piirteitä myös tekoälyllä halutaan vahvistaa. (Finocchiaro 2023.) 54 % johtajista uskoo tekoälyn tuovan merkittäviä tuottavuuden parannuksia seuraavien viiden vuoden aikana. Se kertoo, että merkittävää liiketoimintastrategian muutosta näiden innovaatioiden suuntaan on tulossa. (Vorecol 2024.) McKinseyn tutkimuksen mukaan 85 % johtajista puolestaan uskoo, että säilyäkseen kilpailussa mukana, kehittyneiden valmistusteknologioiden omaksumisesta on tullut välttämätöntä. (George 2024b, 30.)

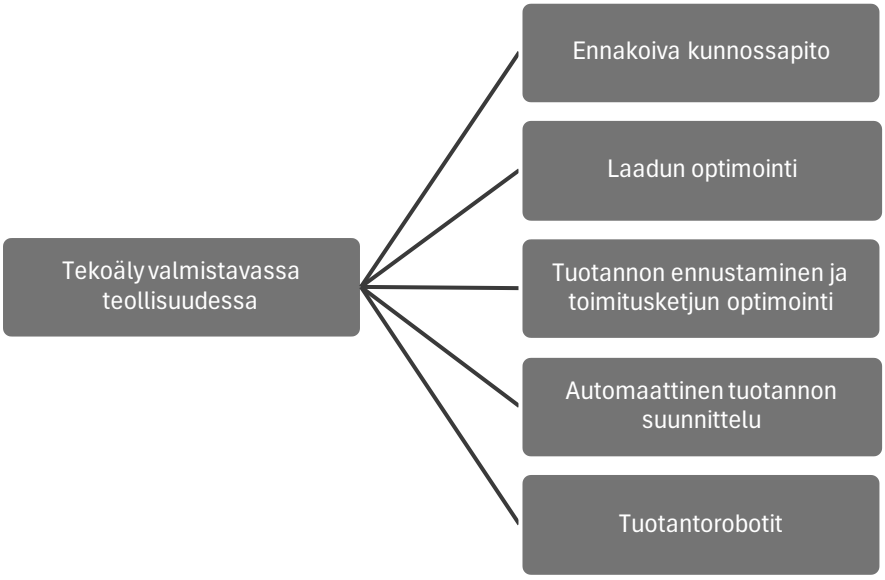
Tekoälyn ohjaama automaatio, uudet innovaatiot ja tuotannon optimointi ovat keskeisessä roolissa teollisuuden kasvun, kilpailukyvyn ja kestävyyden edistämisessä. Se luo uuden standardin, johon yritysten on pyrittävä pysyäkseen mukana kehityksessä (Gabsi 2024). Uuden teknologian omaksujat saavuttavat usein etulyöntiaseman, mutta teknologian täysimittainen hyödyntäminen vie aikaa, ja vaatii strategisia muutosohjelmia, riskien hallintaa, työvoiman uudelleenkoulutusta ja liiketoimintaprosessien uudelleenarviointia (George 2024b, 30; Chui ym. 2023, 3). Avainasemassa on strategisen muutosohjelman kehittäminen ja pitkällä aikavälillä älykkään tehtaan rakentaminen. Esineiden internetin, pilvipalveluiden, analytiikan ja uusien tuotantoteknologioiden omaksuminen voi turvata yrityksen tulevaisuuden, sillä toisena vaihtoehtona on digitaalinen jälkeen jääminen. Myöhästyneet teknologian omaksujat saattavat kohdata osaajapulan, sillä digitalisaation osaajat voivat siirtyä edelläkävijöiden palkkalistoille. Se johtaa helposti kilpailukyvyn ja kannattavuuden laskuun. Kun ihmiset, kulttuuri ja teknologia kehittyvät digitalisaation suuntaan rinnakkain, on kilpailuvalmius tulevaisuutta varten saavutettavissa kaiken kokoisissa yrityksissä. (George 2024b, 30,35.)

Nykyinen tekoäly ja muut teknologiat voivat automatisoida tällä hetkellä jopa 60–70 % ajallisesti ihmisten suorittamista töistä. Teknologian omaksumisnopeudesta ja työntekijöiden uudelleen sijoittelusta riippuen, tekoäly voisi mahdollistaa yleisesti taloudessa jopa 0,6 % vuosittaisen tuottavuuden kasvun vuoteen 2040 mennessä. Kun tekoäly yhdistetään muihin kehittyviin teknologioihin tuottavuuden kasvu vuositasolla voisi olla jopa 3,4 %. Tämä

kuitenkin tarkoittaa, että tekoäly syrjäyttää työntekijöitä tehtävistään, ja heidän on opeteltava ja omaksuttava uusia tehtäviä. (Chui ym. 2023, 3.) PWC (2017, 4) tekemän analyysin mukaan tekoälyn nopeutuva kehitys ja käyttöönotto nostavat globaalia bruttokansantuotetta vuoteen 2030 mennessä jopa 14 %. Tämä tarkoittaisi 15,7 biljoonan dollarin lisäystä maailmanlaajuisessa taloudessa. Tästä summasta reilu kolmannes tulee tuottavuuden kasvusta ja loput kulutuksen lisävaikutuksista. Tekoälyn taloudellinen vaikutus perustuu seuraaviin tekijöihin:

1. **Tuottavuuden kasvu**, joka liittyy yritysten automatisoimiin prosesseihin
2. **Tuottavuuden kasvu**, joka perustuu tekoälyteknologialla vahvistettuun työvoimaan
3. **Kysynnän kasvu**, joka perustuu personoitujen ja korkealaatuisten tekoälyn parantamien tuotteiden saatavuuteen

Tekoälyyn perustuvat suurimmat hyödyt valmistukseen tulevat erityisesti tehostetusta prosessien seurannasta ja automaattisesta korjauksesta. Tekoäly osaa ennakoida tuotantoa ja välttää mahdollisten virheiden syntymistä. Tämän lisäksi hyödyt perustuvat toimitusketjun ja tuotannon optimointiin, sekä tarpeen mukaan tapahtuvaan tuotantoon. Tuotannosta tulee huomattavasti joustavampaa, joka mahdollistaa pienemmät varastot ja asiakkaalle räätälöidymmät tuotteet. Kuluttajat hyötyvät joustavammasta ja reagointikykyisemmästä räätälöidystä valmistuksesta, jossa on vähemmän viivästyksiä, vähemmän virheitä ja nopeampi toimitus. (PWC 2017, 17.) Tekoälyllä on siis vaikutusta koko tuotantoketjuun. Tällaisten modernien järjestelmien suorituskyky riippuu pitkälti siitä, kuinka optimaalisesti materiaalivirta kulkee eri työsolujen läpi. Tuotannon läpäisykykyä arvioitaessa analysoidaan valmistusjärjestelmien pitkäaikaista tai lyhytaikaista tuottavuutta. (Arinez ym. 2020, 3.) Koska tekoälyllä on vaikutusta yrityksen moniin eri toimintoihin, vaikutusalueet ovat Georgea (2024a, 52) mukaillen jaettu seuraavassa (kuva 5) viiteen eri kategoriaan, joihin vaikutus lähitulevaisuudessa on merkittävä.



Kuva 5. Tekoäly valmistavassa teollisuudessa (mukaillen George 2024a, s. 52)

Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on yksi eniten kehittyneistä ja selkeimmistä tekoälyn kehittämistä tapauksista. Suunnittelemattomat seisokit aiheuttavat keskimäärin 5 % tulonmenetykset eri toimialoilla. Koneoppimiseen perustuvat ennakoivat mallit pystyvät käsittelemänsä datan avulla ennustamaan tarkasti laitteiden huoltotarpeita ja mahdollisia tulevia vikaantumisia. Tällöin laite pystyy itse ehdottamaan optimaalista kunnossapitoajankohtaa minimoidakseen kustannukset. Kunnossapitokustannukset voivat vähentyä jopa 30–50 %, kun huollot tehdään ennen laitteen vikaantumista, käyttöaika paranee ja tarpeettomat huoltotehtävät vähenevät. Tämä taas johtaa tuottavuuden kasvuun, sillä laite toimii optimaalisesti ja mahdollisimman tehokkaasti. Ajan myötä yhä älykkäämmät järjestelmät kehittyvät itseään ylläpitäviin tuotantolinjoihin, jotka oppivat jatkuvasti välttämään vikoja ennen niiden syntymistä. Tämä vaatii kuitenkin suuria muutoksia yritysten arkkitehtuuriin ja investointeihin. (George 2024a, 52–54.)

Laadun optimointi

Tuotteen laadun varmistaminen valmistavassa teollisuudessa on ensisijaisen tärkeää. Älykäs laadun optimointi on toinen keskeinen kohde, jossa tekoäly mahdollistaa kustannussäästöjä ja tuottavuuden kasvua. Tekoäly pystyy koneoppimisen ja -näön avulla havaitsemaan

mikroskooppisen pieniä vikoja, joita ihmissilmä ei pysty erottamaan. (George 2024a, 54.) Tekoäly mahdollistaa tuotantolinjoilla olevien esineiden korkean resoluution kuvantamisen yhdistettynä syväoppimisalgoritmeihin (George 2024b, 23). Tämä tapahtuu tekoälyltä vieläpä hyvin nopeasti. Laadunhallinnalla on hyvin erilainen rooli riippuen valmistavan tuotantoyrityksen toimialasta, mutta jokaiselle on hyötyä virheellisten tuotteiden löytymisestä ennen kuin se saavuttaa kuluttajan. Laadukkaammat tuotteet ja pienempi hävikki vaikuttavat tuottavuuteen positiivisesti parantaen tuotoksen sopivuutta asiakkaalle ja vähentäen resurssien tarvetta.

Tekoälypohjaiset laaduntarkastukset ovat kehittyneet ennakoiviksi suojatoimiksi, joissa tekoäly pystyy tunnistamaan virheet jo ennen niiden syntymistä analysoimalla sensoreiden, kameroiden ja tuotantometriikoiden dataa. Tämän ansiosta tuotteen laatu paranee ja jätteen, sekä uudelleen käsittelyn määrä tippuu minimiin. (Finocchiaro 2023.) Intelin mukaan puolijohdevalmistuksessa syväoppimiseen perustuvat neuroverkot saavuttavat yli 99,9 % tarkkuuden vikojen arvioinnissa. Tämä siis poistaa käytännössä kaikki virheelliset tuotteet. (George 2024a, 54.) Siemens (2024) tarjosi asiakkaalleen autoteollisuuteen tekoälypohjaisen laadun optimointi ja tarkkailu järjestelmän, joka vähensi 80 % fyysistä ihmisen toteuttamaa laadunvalvontaa ja samalla osien tarkastusaste nousi 100 %.

Tuotannon ennustaminen ja toimitusketjun optimointi

Tuotannon ennustamisella on suuri vaikutus koko tuotantoketjuun alkaen raaka-aineiden tilaamisesta ja päättyen lopputuote varastoihin. Suuri kysynnän vaihtelu voi tehdä ennustamisesta hyvin vaikeaa. (George 2024a, 55.) Analysoimalla historiallista dataa, kuluttajakäyttäytymistä ja markkinan trendejä, tekoäly kykenee ennustamaan optimaalisen tuotannon määrän ja auttaa valmistajia sovittamaan tuotantoaikataulut kysynnän mukaan. Tämä johtaa optimoituun varastonhallintaan ja vähentää väärän kokoisia tilauksia. Se johtaa pitkällä aikavälillä kustannussäästöihin vähentäen samalla hukkaan menevää tavaraa. (Finocchiaro 2023.)

Tuotannon ennustaminen siis mahdollistaa myös varastojen ja toimitusketjun optimoinnin. Tekoäly pystyy kommunikoimaan raaka-aine toimittajan ja vastaanottajan varaston välillä laskemalla varaston tasoja, myynnin määrää ja toimitusaikaa. Näin se pystyy ennakoimaan, milloin varasto tyhjenee, ja kuinka kauan uusien materiaalien saapuminen varastolle kestää. (George 2024a, 56.) Yhä pidemmät toisiinsa kytkeytyneet fyysiset toimitusketjujen

tavaravirrat ovat lisänneet yritysten ketteryyden ja joustavuuden tarvetta. Tekoäly integroi toimitusketjuverkoston, kuten logistiikan, tuotannon, hankinnat, markkinoinnin ja myynnin, yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka avulla se kykenee esimerkiksi tasapainottamaan ja optimoimaan käyttökatteen organisaation tasolla. (Alicke ym. 2021, 2.)

Automaattinen tuotannon suunnittelu

Tuotannon suunnittelu on keskeinen osa tehokasta valmistusta, ja siihen liittyy pitkälti edellä mainitut tuotannon ennustaminen ja toimitusketjun optimointi. Nykyinen valmistus perustuu nopeasti muuttuviin asiakasvaatimuksiin ja markkinamuutoksiin, joten tuotannon tarkka suunnittelu ja aikataulutus muodostavat operatiivisen menestyksen perustan. Tuotannon pitää olla tehokasta ja laadukasta. Tekoälyn hyödyntämien algoritmien kautta tapahtuva automatisoitu suunnittelu ja aikataulutus mahdollistaa läpimenohyötyjä ja nopeampia ratkaisuja. Se hyödyntää markkinatrendejä ja historiallisia tietoja, ja ottaa huomioon kysynnän ennusteet, resurssien saatavuuden ja tuotannon rajoitukset. Tämä auttaa yrityksiä tekemään uudenlaisia datalähtöisiä päätöksiä reaaliajassa ja parantamaan kokonaistehokkuutta tuotannossa. Tuotantojärjestelmä päivittyy jatkuvasti kehittäen pitkällä aikavälillä itseään yhä tehokkaammaksi. (George 2024a, 58; Takyar 2024.) Tekoälyn käyttöönoton ylätavoitteena on tuottaa korkealaatuisia tuotteita kustannustehokkaasti (Arinez ym. 2020, 11). Eli hyvin samanlainen tavoite, kuin mahdollisimman tuottavassa valmistuksessa. Tuotannon suunnittelun tavoite on toimia mahdollisen tuottavasti, enemmän laadukkaita tuotoksia, vähemmillä panoksilla.

Tuotantorobotit

Ihmisten ja robottien yhteistyö tulee olemaan suuressa osassa tuottavaa valmistusta tulevaisuudessa. Vaikka automaatio syrjäyttää tiettyjä tuotantotehtäviä, eniten tehokkuushyötyjä saavutetaan ihmisten ja koneiden yhteistyöllä. Tähän tähtää myös teollisuus 5.0 malli, jossa ihmisten tarjoamat sensorimotoriset taidot, luovuus, improvisointi ja valvonta yhdistyvät robottien laskentatarkkuuteen ja kestävyyteen (George 2024a, 59). Robottien etuja ihmisiin nähden ovat myös toistettavuus, voima ja kyky toimia vaarallisissa ympäristöissä. Tämä tekee niistä myös tuottavia verrattuna ihmiseen. Robotti ei väsy tai tarvitse taukoja. Yhä kehittyneemmät tekoäly-/koneoppimistyökalut pystyvät tekemään entistä vaativampia töitä, jolloin koneen ja ihmisen, toiminnallisuuden ja kyvykkyyksien välinen tasapaino muuttuu jatkuvasti. (Arinez ym. 2020, 5–6.)

Graetz ja Michaels (2018, 766) tutkivat teollisuusrobottien käyttöön liittyvää aineistoa eri maista vuosilta 1993–2007 ja havaitsivat, että robotteja hyödyntävillä toimialoilla työvoiman tuottavuus kasvoi merkittävästi. Tuotteita valmistui tehokkaammin, ja ne olivat keskimäärin paljon laadukkaampia. Georgen (2024a, 59) mukaan lähes 50 % suurista valmistajista ottaa tekoälyllä varustetut robotit lähitulevaisuudessa käyttöön, kun niiden hinnat laskevat ja turvallisuusominaisuudet parantuvat. Yhteistyöautomaatio mahdollistaa huomattavasti parantuneen tuotannon määrän ja laadun, verrattuna ihmiseen tai robottiin yksinään.

4.2 Tekoälyn vaikutus tuottavuuteen

Yhteenvetona voidaan edellisen kappaleen pohjalta todeta, että tekoäly tulee muuttamaan valmistavaa teollisuutta ja vaikuttamaan lähes kaikkeen. Tekoäly mahdollistaa toimitusketjun saumattoman integroinnin aina raaka-aineesta kuluttajalle asti, mikä tukee muun muassa ennakoivaa tuotantoa ja tehokkaampaa tuotteiden toimitusta asiakkaille. Tehtaat muuttuvat älykkäämmiksi, kun tekoälyä osataan yhä paremmin hyödyntää muuntamaan valmistusjärjestelmiltä saatava tieto toimintakelpoisiksi oivalluksiksi. Tämä kuitenkin vaatii, että kaikilla osapuolilla on tarvittava teknologia ja valmius tehdä yhteistyötä. On vielä monia aukkoja, jotka on täytettävä, jotta tekoäly voidaan saumattomasti integroida osaksi tehdastoimintaa. (PWC 2017, 17; Arinez ym. 2020, 11–12.) Tekoäly kannattaakin integroida asteittain osaksi tuotantoa.

Tuottavuus mittaa muuntamisen tehokkuutta, jossa aikaansaadaan jokin tuotos. Yrityksen mikrotasolla korkeampi tuottavuus tarkoittaa kykyä selviytyä ja menestyä, kun taas kokonaistuottavuuden pitkäaikainen ja jatkuva kasvu kertoo taloudellisesta kestävyydestä. Uuteen teknologiaan investointi ja tekoälyn käyttöönotto ovat kalliita investointeja ja aiheuttavat suuria kustannuksia yrityksille. Täydellisten hyötyjen saavuttamiseksi tarvitaan aikaa vieviä investointeja. Tämän takia tekoälyn hyödyt tuottavuuteen eivät vielä makrotasolla ole havaittavissa. (Gao ja Feng 2023, 4–5.) Tekoälyn tuottavuusvaikutukset näkyvät vasta jonkin ajan viiveellä, sillä yritysten täytyy optimoida prosessejaan ja investoida täydentäviin resursseihin, jotta täysi hyöty tekoälyn tuottavuutta lisäävästä potentiaalista voidaan saavuttaa (Czarnitzki, Fernández ja Rammer 2023, 189). Tuottavuuskasvun viiveeseen vaikuttavat myös täydentävien keksintöjen kehittäminen, yritysten uudelleenorganisointi ja työntekijöiden uusien taitojen oppiminen (Damioli ym. 2021, 4). Tekoäly tuo kuitenkin jo nyt suuria

hyötyjä monella yllä luetellulla osa-alueella, ja vaikutuksilla on mahdollisuus levitä laajalle talouteen.

Tekoäly tekee tietyt toiminnot ihmistä nopeammin, laadukkaammin, tarkemmin ja kustannustehokkaammin, eli käyttäen vähemmän panoksia tietyn tuotoksen aikaansaamiseksi. Tekoäly saa suhteellisen edun työvoimaan nähden näissä tehtävissä, joka tekee tuottavuusvaikutuksesta positiivisen (Gao ja Feng 2023, 5). Jos tekoäly ei jotain tehtävää suorita ihmistä paremmin, ei siihen kannata silloin tekoälyä investoida. Tällöin tuottavuus ei kasva ja suuri alkuinvestointi voi vaikeuttaa yrityksen toimintaa. Tekoälyyn investoidessa on tiedettävä, miten sitä aiotaan käyttää ja mihin. Siinä on tekoälyn tämän hetken suurin haaste, sillä tekoäly itsessään on tuottavaa ja kehittyy kaiken aikaa. Esimerkiksi jos robotti ruuvaa 10 ruuvia siinä missä ihminen yhden, on se silloin tuottavampi vaihtoehto, sillä käytettyyn aikaan nähden tuotoksia saadaan kymmenen kertaa enemmän. Kokonaisuus, yhteistyö ja osaaminen kuitenkin ratkaisevat. Ruuvaava robotti ei välttämättä osaa maalata tai etsiä virheitä tuotteista. Eikä ruuvaavasta robotista ole hyötyä, jos seuraava työvaihe on edelleen yhtä hidas. (Gao ja Feng 2023, 5–6.) Tekoäly on osattava integroida osaksi yrityksen toimintaa saumattomasti, jolloin valmistus toimii optimaalisesti ja tuottavuushyödyt ovat mahdollisia.

Gao ja Feng (2023,1) ovat osoittaneet tutkimuksessaan, että 1 % tekoälyn lisäys mahdollistaisi yrityksessä 14,2 % tuottavuuden kasvun. Tutkimuksessa on havaittu, että tekoälyn positiivinen vaikutus tuottavuuteen saavutetaan arvon kasvun, taitopainotteisen parantamisen ja teknologian päivittämisen kautta. Tuotannontekijöiden rakenteella on myös merkitystä tekoälystä saataviin tuottavuushyötyihin. Song, Tao ja Shen (2022, 2) uskovat myös digitalisaation positiiviseen vaikutukseen yritysten tuottavuudessa. Yhdistämällä tekoälyn teknologia tuotannontekijöihin, yritykset voivat nopeuttaa resurssien allokoinnin tehokkuutta ja parantaa siten kilpailukykyään markkinalla.

Vaikka tekoälyn käyttöönotto voi vaatia merkittäviä investointeja tuotantolinjojen päivittämiseen, yritykset parantavat samalla tuotantolinjojen päivityksen aikana tarvittavaa osaamista. Tämä kannustaa täydentävään innovointiin ja tietämyksen levittämiseen. Kun valmistusyritys alkaa hyötyä tekoälyn tuomista tuotantoeduista, tekoälyyn liittyvien innovaatioiden tutkiminen lisääntyy ja tuottavuuskehitys paranee. Tekoäly voi siis edistää yrityksen innovaatiotoimintaa, joka on ratkaisevassa roolissa yrityksen tuottavuuden kannalta. (Gao ja Feng 2023, 13.)

Tekoälyn hyödyntäminen yrityksessä edistää korkean teknologian laitteiden käyttöönottoa, jotka korvaavat matalan tason työvoimaa. Korkean tason ammattilaisten kysyntä kasvaa vähitellen, sillä ihmiset siirtyvät korkeampaa osaamista vaativiin tehtäviin. Yrityksen sisäisen koulutustason kasvaessa inhimillinen pääoma paranee, ja korkean tason työvoima vauhdittaa tuotantoteknologian parantumiseen ja kehittymiseen, yrityksen innovaatiokyky paranee, resurssien kohdentaminen nopeutuu, tuotanto tehostuu ja työvoimatuottavuus paranee. (Song ym. 2022, 13.) Tekoäly siis mahdollistaa ihmisten kouluttautumisen, joka johtaa tuottavuuden kasvuun. Myös Zhai ja Liu (2023, 6) pääsivät samaan lopputulokseen. Heidän tutkimuksensa mukaan tekoälyteknologian innovaatiot voivat lisätä tuottavuutta lisäämällä korkeasti koulutettujen työntekijöiden osuutta, vähentämällä toimintakustannuksia ja parantamalla innovaation tehokkuutta.

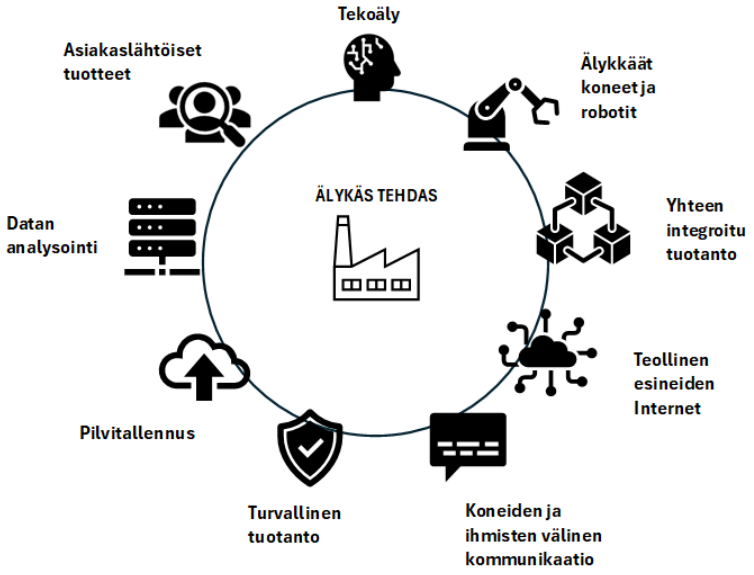
Tekoälypohjaiset tekniikat siis lisäävät korkeasti koulutettua työvoimaa, joka lisää yritysten innovaatiokykyä ja parantaa näin tuottavuutta tutkimus ja kehitystoiminnan ja uusien ideoiden kautta. Toinen vaihtoehto korkeampaan tuottavuuteen on tekoälyn tuoma aineeton pääoma, johon yritykset voivat investoida ja käyttää sitä tuottaakseen tuotantofunktion mukaan parempaa tuotosta pienemmillä panoksilla. (Czarnitzki ym. 2023, 189.)

4.3 Älykäs tehdas

Älykäs tehdas on havainnollistava esimerkki teollisuus 4.0 ja 5.0 mahdollistamasta teollisuuden muutoksesta. Se havainnollistaa edellisissä kappaleissa käytyjä tekoälyn sovelluksia valmistavassa teollisuudessa. Älykäs tehdas ei ole enää mikään utopistinen mielikuva tulevaisuudesta, vaan ennemmin käynnissä oleva murros, johon tehtaat pikkuhiljaa ovat suuntautumassa. Sen keskiössä on konsepti, jossa toisiinsa yhteydessä olevat koneet, tuotteet ja järjestelmät koordinoivat itsenäisesti (George 2024b, 18–19). Ydinprosessi älykkäässä tehtaassa on digitaalisen ja fyysisen ulottuvuuden yhdistäminen, eli se mitä kyberfyysiset järjestelmät tekevät. Se on joustava ja itseorganisoituva järjestelmä, joka muodostaa itsenäisesti tehokkaimman mahdollisen tuotantoprosessin ilman ihmisen tarvetta ohjata toimintaa kaiken aikaa. Älykäs tehdas pyörii itsenäisesti tuotetilausten mukaisesti hoitaen materiaalihankinnat, sekä sisäisen tuotantoprosessin. Ihmiselle jää tehtäväksi ainoastaan valvoa toimintaa, kehittää yhä parempia algoritmeja ja parantaa koneen huonosti hoitamia toimenpiteitä. Kaikki yksittäiset laitteet on liitetty samaan verkkoon ja analytiikkajärjestelmään, jossa

koneoppiminen antaa teollisuuskoneiden, robottien ja autonomisten ajoneuvojen jatkuvasti hienosäätää omia toimintojaan. Käsittelemällä sensoreiden tallentamaa materiaalia, tekoäly- ja koneoppimisalgoritmit voivat tunnistaa poikkeavuuksia, laskea ennakoivia huoltoaikatauluja, säätää tuotantoprosesseja sekä minimoida energiankulutusta. (Collin ja Saarelainen 2016, 61; Rojko 2017, 81; George 2024b, 22–23.) Jokainen laite tietää paikkansa tuotantoketjussa, mitä tapahtuu ennen niiden omaa työvaihetta ja mitä sen jälkeen. Laitteet osaavat keskustella keskenään, sekä ihmisten kanssa. Näin syntyy saumaton verkko, joka pystyy huomiomaan muuttuvat olosuhteet ja toimimaan niissäkin tehokkaasti. (Collin ja Saarelainen 2016, 86–87.)

Tekoäly on mahdollistanut valmistusteollisuudessa niin sanotut uudelleen konfiguroitavat valmistusjärjestelmät. Ensimmäiset koneilla varustetut tuotantolinjat liittyivät koneille annetun tietyn tehtävän suorittamiseen. Tällöin linjalla pystyttiin valmistamaan vain yhtä tuotetta. Seuraava vaihe oli joustavat tuotantojärjestelmät, joissa koneita pystyttiin ohjelmoimaan. Se mahdollisti useiden tuotteiden valmistuksen. Kolmas kehitysaskel (Rojko 2017, 81) mukaan on konfiguroitavat valmistusjärjestelmät, jotka ”pystyvät mukauttamaan laitteisto- ja ohjelmistokomponenttinsa vastaamaan jatkuvasti muuttuvia markkinavaatimuksia tuotteiden tyypin ja määrän suhteen.” Uudet koneet ovat kyberfyysisiä ja autonomisia järjestelmiä, jotka osaavat tehdä omia päätöksiä koneoppimisen ja reaaliaikaisen tiedonkeruun avulla. Kuva 6 havainnollistaa älykkään tehtaan piirteitä ja ominaisuuksia.



Kuva 6, Älykäs tehdas

Älykäs tehdas vastaa teollisen valmistuksen kohtaamiin haasteisiin, kuten mukautuvuuteen ja nopeuteen. Uusia tuotteita on saatava markkinoille yhä tiheämpää tahtia ja niiden on oltava yhä useammin asiakkaan toiveiden mukaan räätälöityjä. Älykäs tehdas mahdollistaa räätälöinnin niin, että kustannukset ja ajankäyttö pysyvät hallinnassa. (Collin ja Saarelainen 2016, 87–88.) Räätälöinti mahdollistaa myös osatuottavuuksien kuten työpanoksen, pääoman, materiaalin ja energian tehokkaamman hallinnan ja suunnittelun. Teollisuus 4.0 -periaatteet parantavat yritysten kykyä joustaa ja reagoida asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin, mikä antaa niille kilpailuetua ja on välttämätöntä selviytymiselle muuttuvilla markkinoilla. Alan johtavat yritykset hyödyntävät jo tämän vallankumouksen teknologioita tarjotakseen kannattavasti pieniin määriin räätälöityjä tuotteita. Esimerkiksi Boschin täysin älykäs modulaarinen tehdas saavutti kolme kertaa nopeammat tuotantolinjan muutokset, ja yksikkökustannukset putosivat 30 %. (George 2024b, 28.) Toinen teollinen vallankumous käynnisti massatuotannon, nyt neljäs ja viides vallankumous mahdollistavat yksilötuotannon, mutta massatuotannon tehokkuudella. Tästä päästään myös tuottavuuden määritelmään, jossa tarkoitus on tehdä enemmän vähemmällä. Tähän termiin liittyy tuotannon laatu, joka on korkeampi, sillä pystytään tuottamaan asiakkaalle juuri toiveiden mukainen tuote.

Suuret yritykset ja tehtaat käyttävät suuria määriä rahaa uusiin tekoälypohjaisiin investointeihin, mutta miten älykäs tehdas mahdollistetaan pienille ja keskisuurille yrityksille? Investointikustannukset saattavat olla yksi este pk-yritysten älykkäiden robottien käytölle ja tekoälyn optimoimalle tuotannolle (Gao ja Feng 2023, 4). Onneksi tekoälyn kehittyessä sen hinta myös tippuu alaspäin, kuten muunkin teknologian. Pilvitallennus ja pilvipohjaiset ratkaisut tarjoavat myös kustannustehokkaamman ja helpomman tavan päästä mallinnukseen, räätälöintiin ja verkkokauppatoimintoihin, jotka aiemmin olivat vain suuryritysten saatavilla. Pienempien yritysten ei tarvitse välttämättä tehdä valtavan suuria ja riskialttiita investointeja, jotka pahimmillaan saattavat ajaa yrityksen konkurssiin, sillä tekoälypohjaiset ratkaisut tuottavuuden kehittämiseen onnistuu myös pienemmässä mittakaavassa. (George 2024b, 28.)

4.4 Tekoälyn haasteet ja ongelmat

Tekoälyllä on potentiaalia mullistaa tuotanto täysin. Siihen liittyy kuitenkin myös paljon haasteita ja ongelmia. Yksi suurimmista haasteista tekoälyyn siirtymisessä on sen käyttöönotto. Alicke ja muut (2021, 2) sanovat, ettei tekoälyn hyödyntäminen enää ole teknologiasta

kiinni, sillä yritykset joutuvat tekemään suuria organisaation sisäisiä muutoksia saadakseen kaiken irti sen käytöstä. Suuri osa tehdaslaitteista on valmistettu ja otettu käyttöön ennen kuin mitään älylaitestandardeja on ollut olemassa. Useissa tehtaissa laitteistoa ja automaatiota on päivitetty vuosien saatossa, jolloin ne sisältävät vanhentuneita rajapintoja ja yhdistäminen saumattomasti älylaitteisiin on monimutkaista. Siirtyminen uuteen tarkoittaa vanhan teknologian poistamista tai integroimista osaksi järjestelmää, uusien dataputkien kehittämistä ja monitieteellisen yhteistyön tekemistä. Myös ihmisen ja tekoälyn yhteistyön maksimaalinen hyödyntäminen vaatii yrityksiltä aivan uusia järjestelyjä. Molempien vahvuuksia täytyy osata hyödyntää. Tekoäly vie ihmisten entisiä työtehtäviä ja työntekijöiden uudelleenkoulutus ja työn siirtymän hallinta voivat olla yrityksille haasteellisia. Pehmeät ja teknistä korkeaa osaamista vaativat taidot korostuvat ihmisten ydintehtävissä. (George 2024a, 51; George 2024b, 31,33.)

Tehdas- ja tuotantoympäristön siirtyessä verkkoon, nousevat myös kyberturvallisuusuhat. Toisiinsa liitetyt koneet ja riippuvuus tiedonsiirrosta altistaa erilaisille kyberuhille, kuten hakkeroinnille ja tietomurroille. Kattavien suojausten kehittäminen on yksi iso investointi lisää, jonka useat yritykset helposti laiminlyövät. Päivittämättömät vanhat käyttöjärjestelmät ovat iso riski yritykselle, ja pahimmassa tapauksessa salaista tietoa pääsee vääriin käsiin ja tuotanto keskeytyy. Yrityksen kannattaakin perehtyä riskienhallintaan huolellisesti siirtyessään tekoälyn käyttöön. (George 2024b, 32; Gabsi 2024.)

Monella yrityksellä luottamus itsestään kaiken hoitaviin laitteisiin on vielä vähissä. Tekoälyjärjestelmien luottamus ja läpinäkyvyys vaativat huomiota, jotta turvallinen käyttö saadaan varmistettua (George 2024a, 52). Tekoäly käsitteenä on monelle vaikeasti ymmärrettävä. Yrityksissä ei olla varmoja mitä sen käyttö käytännössä tarkoitta. Tämän takia tekoäly täytyy osata selittää käyttäjälle merkityksellisellä tavalla. Selitys on erilainen kuvaillessa sitä ohjelmoijalle, toimitusjohtajalle ja tuotantolinjalaiselle. Ymmärrettävyys lisää myös luottamusta. (Kobrinskii 2023, 217–218.) Tähän liittyy myös tekoälyn tuottaman datan ymmärtäminen ja tulkitseminen, joka on hyvin pitkälti data-analyytikkojen ja vastaavien erityisosaajien käsissä. Usein tästä syntyy tietovajetta yritysjohdolle, jonka kyky ymmärtää ja tulkita tekoälyn antamien tulosten merkitystä voi olla heikompaa. Ilman ymmärrystä ja oikeaa päätöksentekoa tekoälystä ei ole hyötyä yrityksen tuottavuuden parantamisessa. (Arinez ym. 2020, 13.)

Euroopan komissio (2019) julkaisi tekoälyä koskevat eettiset ohjeet, joiden mukaan luotettavan tekoälyn täytyy sisältää kolme pääkomponenttia:

1) Sen on oltava laillinen ja noudattaa kaikkia soveltavia lakeja ja määräyksiä
2) Sen tulee noudattaa eettisiä periaatteita ja arvoja
3) Sen pitää olla teknisesti ja sosiaalisesti luotettavaa

Tekoälyn eettiset kysymykset ovatkin yksi huolenaihe. Käsitys taloudellisesta ja sosiaalisesta kehityksestä, arvon luomisesta, yksityisyydestä ja omistajuudesta sekä jopa yksilön identiteetistä on luotava uudelleen. Uudet tekoälyt mahdollistavat itseajattelevan tuotannon, mutta herättävät samalla moraalisia ja eettisiä kysymyksiä. (Schwab 2016.) Tällaisia tekoälyyn liittyviä eettisiä kysymyksiä ovat esimerkiksi algoritmien puolueellisuuden käsittely, oikeudenmukaisuuden varmistaminen ja eettisten standardien ylläpitäminen tekoälyn koko elinkaaren ajan. Miten tekoäly osaa toimia tasa-arvoisesti ja oikeudenmukaisesti, eikä esimerkiksi toimi puolueellisesti jonkin hyväksi? Tekoälyn valmistajien täytyy omaksua eettiset viitekehykset, varmistaa läpinäkyvyys ja selitettävyys, sekä asettaa tietosuoja ja turvallisuus etusijalle. (Gabsi 2024.)

Huolenaihe tekoälyn lisääntyessä on myös sen aiheuttamat ympäristövaikutukset. Datamäärän ja mallien monimutkaistuessa, niiden käyttämiseen ja kouluttamiseen tarvittava energiamäärä on valtava. Nordgren (2021, 3) ennustaa tieto- ja viestintäteknologia-alan päästöjen nousevan vuoteen 2040 mennessä 14 prosenttiin globaaleista päästöistä. Hao (2019) puolestaan vertaa tekoälyteollisuutta jopa öljyteollisuuteen. Massachusettin yliopiston tutkimuksen mukaan tekoälymallien kouluttamisen elinkaari voi tuottaa jopa 626 000 kiloa hiilidioksidiekvivalenttia. Tämä on viisinkertainen määrä verrattuna esimerkiksi amerikkalaisen keskiverto ajoneuvon elinkaaren päästöihin. (Hao 2019.) Toisaalta käytössä tekoäly pystyy optimoimaan energian kulutusta ja resurssien käyttöä, sekä tunnistamaan tuotannossa alueita, joissa energiaa tuhlataan tai käytetään liikaa. Tällöin se pystyy vähentämään tuotantoon käytettyjä panoksia vähentämällä energiatarvetta. Tekoäly voi esimerkiksi optimoida koneiden, lämmityksen, ilmanvaihdon ja valaistuksen toimimaan reaaliaikaisen kysynnän perusteella, jolloin energiankulutusta saadaan laskettua ja hiilijalanjälkeä pienennettyä. Tekoälyn positiivinen vaikutus ulottuu siten myös ympäristöön. (Finocchiaro 2023.)

5 Johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin kirjallisuutta hyväksikäyttäen digitalisaation ja tekoälyn vaikutusta tuottavuuteen valmistavassa teollisuudessa. Työssä perehdyttiin tuottavuuden ja digitalisaation käsitteisiin ja niiden merkitykseen tuotannossa. Työssä syvennyttiin myös tuotannon älyllistämiseen ja erilaisiin tekoälyn mahdollistamiin muutoksiin. Työssä käsiteltiin älykkään tehtaan ominaisuuksia ja sen mahdollistamaa tuottavuuden kasvua. Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli kirjallisuuden avulla löytää vastaus päätutkimuskysymykseen, jota tarkennettiin kolmella osakysymyksellä. Osakysymysten tulokset esitellään ensin. Ensimmäinen osakysymys perehtyi tekoälyn merkitykseen valmistavassa teollisuudessa.

Mikä on tekoälyn rooli teollisuusyrityksen tuotannossa?

Tekoälyn rooli teollisuusyrityksen tuotannossa on merkittävä. Kirjallisuuteen pohjautuen tekoälyn käyttö valmistavassa teollisuudessa tulee tulevina vuosina kasvamaan eksponentiaalisesti. Monet yritykset ovat ottaneet jo valmistuksessa tekoälyn käyttöön ja kokeneet sen hyödyllisiksi. Työssä käydään läpi valmistavan teollisuuden alueita, joissa tekoälyllä on nyt ja tulevaisuudessa suuri rooli. Tällaisia alueita ovat mm. ennakoiva kunnossapito, laadun optimointi, tuotannon ennustaminen ja suunnittelu, sekä tuotantorobotit. Työ käsittelee tekoälyn mahdollistamaa joustavampaa tuotantoa, joka mahdollistaa paremmin asiakastarpeisiin vastaamisen. Tekoälyn vaikutukset näkyvät koko tuotantoketjussa alkaen toimittajista ja päätyen lopputuotteena asiakkaalle.

Useat artikkelit osoittavat tekoälyn positiivisen vaikutuksen tuottavuuteen (ks. esim. Gao ja Feng 2023, 4–5; Czarnitzki ym. 2023, 189; Damioli ym. 2021, 4), mutta konkreettiset lukemat tuottavuuden kasvusta tulevat vasta viiveellä, sillä tekoälyn integroiminen vanhaan järjestelmään ja suuret investoinnit vaativat yrityksiltä paljon resursseja. Tästä päästäänkin seuraavaan osakysymykseen, joka käsittelee tekoälyn käyttöönoton haasteita.

- *Millaisia haasteita ja muutoksia tekoälyn käyttöönotto voi aiheuttaa?*

Tekoälyn käyttöönoton haasteet ja muutokset on tärkeää ottaa työssä huomioon, sillä se tuo esiin realiteetteja ja esteitä, joita yritykset kohtaavat. Vaikka tekoäly mahdollistaa tuotannossa paljon hyötyjä, on ensin kuljettava pitkä matka siihen pisteeseen, että tekoälyä

pystytään optimaalisesti hyödyntämään. Ellei haasteita ota käyttöönottaessa huomioon, voi yritykselle syntyä helposti suuria odottamattomia riskejä. Työssä otetaan esille tekoälyn tämän hetken suurimmat ja puhutuimmat haasteet ja ongelmat. Yksi suurimmista tekoälyn haasteista on sen käyttöönotto. Tekoälyn hyödyntäminen ei ole enää teknologiasta kiinni, vaan pikemminkin sen onnistuneesta integroimisesta osaksi yrityksen vanhaa tuotantojärjestelmää. Tekoäly vaatii yrityksiltä myös uusia organisaatioratkaisuja, sillä ihmisten työnkuva muuttuu ja heidän on opeteltava uusia taitoja teknologian parissa. Työssä käydään läpi sekä ihmisen, että tekoälyn ominaisuuksia, joita täytyy osata hyödyntää optimaalisesti, jotta tuottavuushyöty voidaan saavuttaa.

Myös kyberturvallisuus, luottamus laitteisiin, eettiset kysymykset ja ympäristövaikutukset luovat huolta ja haasteita tekoälyn käyttöönoton ympärille. Näihin aiheisiin perehtyminen luo ymmärrystä tekoälystä. Tekoälyn tietoisuuden kasvaessa huolta herättävät eettiset periaatteet. Osaako laitteet tulkita oikeaa ja väärää? Myös ympäristövaikutukset puhuttavat paljon, vaikka tekoäly mahdollistaakin tuotannon optimointia ja tätä kautta energiansäästöä. Näitä kysymyksiä työssä käydään läpi, ja näihin kysymyksiin tekoälyn valmistajien ja käyttöönottajien kannattaakin perehtyä huolellisesti ennen suuria investointeja, jotta vältytään ylimääräisiltä riskeiltä ja odottamattomilta ongelmilta.

Kolmas osakysymys ottaa huomioon tuottavuuden peruskaavan.

- *Kuinka digitalisaatio ja tekoäly vaikuttavat työhön käytettäviin panoksiin ja siitä saataviin tuloksiin?*

Tuottavuuden peruskaava liittyy tuotoksen ja panoksen suhteeseen. Tuottavuus on siis sitä parempi, mitä parempi tuotoksien suhde on panoksiin verrattuna. Tiivistettynä siis on tehtävä enemmän vähemmällä, ja käytettävä resursseja mahdollisimman tehokkaasti. Mitä vähemmän työtä, pääomaa, materiaalia ja energiaa tietty asia vaatii, sitä tuottavampaa sen tekeminen on. Vastaavasti mitä enemmän ja parempilaatuisia tuotteita pystytään tuottamaan samalla määrällä resursseja, sitä tuottavampaa se on. Tämä kun yhdistetään tekoälyn mahdollistamiin muutoksiin valmistavassa teollisuudessa, voidaan sanoa tekoälyn lisäävän tuottavuutta. Sillä esimerkiksi ennakoiva kunnossapito ja laadun optimointi vähentävät hävikkiä ja parantavat tuotteiden laatua verrattuna ihmisen vastaavaan työhön. Tällöin resursseja eli työvoimaa, pääomaa, materiaalia ja energiaa kuluu vähemmän kuin aiemmin ja tuotokset ovat todennäköisemmin parempilaatuisia. Sama pätee tekoälyn toteuttamassa tuotannon

ennustamisessa ja suunnittelussa. Perustuen suureen määrään dataa, tekoäly pystyy optimoimaan tuotannon, jolloin energiaa, pääomaa ja materiaalia kuluu vain juuri sen verran kuin on tarve. Digitalisaatio ja tekoäly mahdollistavat siis suuremman tuloksen pienemmillä panoksilla, eli paremman tuottavuuden. Tässä täytyy kuitenkin huomioida aiemmat osakysymykset, ja etenkin käyttöönottoon vaikuttavat haasteet, jotka helposti vaikuttavat tuottavuuteen negatiivisesti.

Osakysymyksistä saatujen tulosten perusteella kerättiin tarvittavaa tietoa tämän kandidaatintyön päätutkimuskysymykseen vastaamiseksi, joka oli:

- *Kuinka digitalisaatio ja tekoäly vaikuttavat tuottavuuteen valmistavassa teollisuudessa?*

Digitalisaatiota ja tekoälyä käsittelevässä kirjallisuudessa oli erilaisia tutkimuksia siitä, kuinka ne vaikuttavat tuottavuuteen eri sektoreilla. Yleinen vastaus kysymykseen kuitenkin on, että vaikutus on positiivinen. Digitalisaatio muuttaa valmistavaa teollisuutta, ja älykäs tuotanto on tulevien vuosien aikana uusi normaali. Jos digitalisaation ja tekoälyn kehitykseen ei lähde mukaan, on vaarana, että yritys jää kehityksessä jälkeen. Tämä johtaa sen kilpailukyvyn heikkenemiseen ja tuloksena voikin olla tuottavuuden lasku. Digitalisaatio voi siis muuttaessaan tuotannon normaalia, tehdä entisestä tuotannosta vanhanaikaisen, joka johtaa pidemmällä tähtäimellä ennallaan pysyneen yrityksen tuottavuuden, kannattavuuden ja kilpailukyvyn heikkenemiseen.

Kirjallisuus osoittaa, että muutos älykkääksi tehtaaksi vaatii kuitenkin suuria investointeja ja uusien riskien huomioon ottamista. Yrityksen muuttaminen uudeksi ei onnistu itsestään, vaan se vaatii muutoksia yrityksen rakenteessa ja strategiassa. Hyvin suunniteltu siirtymä kohti tekoälyn pyörittämää tuotantoa mahdollistaa kilpailuvoiman säilymisen kaiken kokoisissa yrityksissä. Pk-yritysten on tärkeää pysyä teknologian kehityksessä suurten yritysten mukana. Tekoälyn käyttöönottoa voi pilvipalveluiden kautta suunnitella myös paljon pienemmillä investoinneilla. Se tarjoaa kustannustehokkaamman ja helpomman tavan päästä alkuun tuotannon automatisoinnissa. Muuten yrityksen koko ei rajoita tekoälyn käyttöä, sillä digitalisaatio on yhtä lailla pienemmille yrityksille mahdollisuus kasvattaa tuottavuuttaan.

Työssä tuodaan esille, kuinka yritys voi tehostaa toimintaansa ja saavuttaa parantuneen tuottavuuden tuomia etuja ymmärtämällä ja huomioimalla digitalisaation toteutukseen liittyvät haasteet ja rajoitteet tuotannossa. Kokonaisuudessaan digitalisaation uusin murros ja tekoäly

ovat valmistavassa teollisuudessa vielä alkuvaiheessa, ja tulevaisuus tulee näyttämään todellisen muutosnopeuden älykkääseen tuotantoon. Selvää kuitenkin on se, että muutos tapahtuu.

Tämä kandidaatintyö tutki aiemmista tutkimuksista poiketen digitalisaation ja tekoälyn vaikutusta suoraan valmistavan tuotannon eri osa-alueiden tuottavuuteen. Työssä esille nostetut osa-alueet ovat ennakoiva kunnossapito, laadun optimointi, tuotannon ennustaminen ja toimitusketjun optimointi, automaattinen tuotannon suunnittelu ja tuotantorobotit. Kaikilla näillä alueilla on tekoälystä havaittavaa hyötyä, ja vaikutusta tuottavuuden osa-alueisiin, kuten työpanokseen, pääomaan, materiaaliin ja energiaan. Työ on kokonaisvaltainen katsaus digitalisaation ja tekoälyn mahdollisuuksiin valmistavassa teollisuudessa yhdistäen olennaisia tietoja tekoälyn käyttöönotosta, ja siihen investoinnista, sekä sen tarjoamista mahdollisuuksista, haittapuolia unohtamatta. Työ yhdistää digitaaliset valmistavan teollisuuden osa-alueet älykkääksi tehtaaksi.

Aiheena tekoäly kehittyy tällä hetkellä valtavasti, ja uutta tietoa syntyy päivittäin. Työn tarkoitus on tiivistää aiheeseen liittyvät olennaisimmat tiedot selkeäksi kokonaisuudeksi. Aiheeseen liittyviä jatkotutkimustarpeita on konkreettisen datan kerääminen eri tuotantoalueilta ennen tekoälyn käyttöönottoa ja sen jälkeen. Tähän liittyvää dataa on saatavilla vielä hyvin rajoitetusti. Datan käyttäminen tuottavuuden muutokseen antaa tarkempia tuloksia digitalisaation ja tekoälyn vaikutuksista ja mahdollisuuksista tulevaisuudessa.

Lähteet

Adalet McGowan, M., Andrews, D., Criscuolo, C. & Nicoletti, G. 2015. The Future of Productivity. Paris: OECD Publishing.

Aggarwal. C. 2023. Neural Networks and Deep Learning. Second edition. Cham: Springer International Publishing AG.

Alicke, K., Dilda, V., Görner, S., Mori, L., Rebuffel, P., Reiter, S. & Samek, R. 2021. Succeeding in the AI Supply-Chain Revolution. McKinsey & Company. [verkkodokumentti]. [Viitattu 24.10.2024]. Saatavissa: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/succeeding%20in%20the%20ai%20supply%20chain%20revolution/succeeding-in-the-ai-supply-chain-revolution.pdf

Arinez, J.F., Chang, Q., Gao, R.X., Xu, C. & Zhang, J. 2020. Artificial intelligence in advanced manufacturing: Current status and future outlook. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110804.

Bernolak, I. 1997. Effective measurement and successful elements of company productivity: The basis of competitiveness and world prosperity. *International Journal of Production Economics*, 52, 203–213.

Bory, P., Natale, S. & Katzenbach, C. 2024. Strong and weak AI narratives: an analytical framework. *AI & Society*.

Chui, M., Hazan, E., Roberts, R., Singla, A., Smaje, K., Sukharevsky, A., Yee, L. & Zemmel, R. 2023. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. McKinsey & Company.

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen Internet. Helsinki: Talentum.

Craig, Charles E. & Harris, R Clark. 1973. Total Productivity Measurement at the Firm Level. *Sloan management review*, 14 (3), 13–29.

Czarnitzki, D., Fernández, G.P. & Rammer, C. 2023. Artificial intelligence and firm-level productivity. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 211, 188-205.

Damioli, G., Roy, V. & Vértesy, D. 2021. The impact of artificial intelligence on labor productivity. *Eurasian Business Review*, 11, 1–25.

Dong, S., Wang, P. & Abbas, K. 2021. A survey on deep learning and its applications. *Computer Science Review*, 40, 1-18.

Doyle, F. & Cosgrove, J., 2019. Steps towards digitization of manufacturing in an SME environment. *Procedia Manufacturing*, 38, 540-547.

European Comission. 2019. Ethics guidelines for trustworthy AI. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.10.2024]. Saatavissa: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai

Finocchiaro, M. 2023. AI in Manufacturing: Transforming Efficiency, Quality, and Sustainability. LinkedIn. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.10.2024]. Saatavissa: https://www.linkedin.com/pulse/ai-manufacturing-transforming-efficiency-quality-michael-finocchiaro-51e0e/

Frank, M., Autor, D., Bessen, J., Brynjolfsson, E., Cebrián, M., Deming, D., Feldman, M., Groh, M., Lobo, J., Moro, E., Wang, D., Youn, H. & Rahwan, I. 2019. Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 6531-6539.

Gabsi, A. E. H. 2024. Integrating artificial intelligence in industry 4.0: insights, challenges, and future prospects – a literature review, *Annals of Operations Research.*

Gacovski, Z. 2019. Internet of things. Oakville, ON : Arcler Press.

Gao, X. & Feng, H. 2023. AI-Driven Productivity Gains: Artificial Intelligence and Firm Productivity. *Sustainability*.

George, A.S. 2024a. AI-Enabled Intelligent Manufacturing: A Path to Increased Productivity, Quality, and Insights. *Partners Universal Innovative Research Publication (PUIRP)*, 2(4), 50-63.

George, A. S. 2024b. The Fourth Industrial Revolution: A Primer on Industry 4.0 and its Transformative Impact. *Partners Universal Innovative Research Publication (PUIRP)*, 2(1), 16–38.

Geubbelmans, M., Rousseau, A-J., Burzykowski, T. & Valkenborg, D. 2024. Artificial neural networks and deep learning. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 165 (2), 248-251.

Giutini, R. & Gaudette, K. 2003. Remanufacturing: The next great opportunity for boosting US productivity. *Business horizons*, 46 (6), 41-48.

Graetz, G. & Michaels, G. 2018. Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768.

Grossman, E. 1993. How to Measure Company Productivity: Handbook for Productivity Measurement and Improvement. Cambridge: Productivity Press.

Hagberg, J., Sundström, M. & Egels-Zandén, N. 2016. The digitalization of retailing: an exploratory framework. International Journal of Retail & Distribution Management, 44(7), 694–712.

Hannula, M. 2000. Tavoitematriisi. Helsinki: Työturvallisuuskeskus.

Hao, K. 2019. Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes. MIT Technology Review. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.10.2024]. Saatavissa: https://www.technologyreview.com/2019/06/06/239031/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/

Haynes, M. 2020. Productivity. Newcastle upon Tyne: Agenda Publishing.

Hu, S. & Yu, B. 2020. Big Data Analytics for Cyber-Physical Systems. Cham : Springer International Publishing : Imprint: Springer.

Höller, J. 2014. From machine-to-machine to the Internet of things: introduction to a new age of intelligence. Oxford : Elsevier.

Ilmarinen, V. & Koskela, K. 2015. Digitalisaatio, yritysjohdon käsikirja. Helsinki: Talentum.

Ivanov, D. 2023. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1683-1695.

Kobrinskii, B.A. 2023. Artificial Intelligence: Problems, Solutions, and Prospects. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 33(3), 217-220.

Koulamas, C. & Kalogeras, A. 2018. Cyber-Physical Systems and Digital Twins in the Industrial Internet of Things. *IEEE Computer (Long Beach, Calif.)*, 51(11), 95-98.

Lorenz, R., Benninghaus, C., Friedli, T. & Netland, T. 2020. Digitization of manufacturing: The role of external search. *International Journal of Operations & Production Management*.

Lu, H., Li, Y., Chen, M., Kim, H. & Serikawa, S. 2017. Brain Intelligence: Go beyond Artificial Intelligence. *Mobile Networks and Applications*, 23(6), 368–375.

Merilehto, A. 2018. Tekoäly: matkaopas johtajalle. Helsinki : Alma Talent.

Myllymäki, P. 2021. Älykäs huominen: miten tekoäly ja digitalisaatio muuttavat maailmaa? Helsinki : Gaudeamus.

Nordgren, A. 2023. Artificial intelligence and climate change: ethical issues. *Journal of Information, Communication and Ethics in Society*, 21(1), 1-15.

OECD. 2022. Identifying the Main Drivers of Productivity Growth: A Literature Review. Paris: Organization for Economic Cooperation & Development.

OpenAI. 2024. ChatGPT 10.10.2024 [kuvanmuokkaus]

Pekkola, S., Linna, P., Melkas, H., Rantanen, H., Ukko, J. & Annala, U. 2008. Päijät-Hämeen tuottavuusohjelma: Tuloksellisuuden ja vaikuttavuuden asialla. Lahti: Päijät-Hämeen Liitto.

Prisecaru, P. 2016. Challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons - Economics*, 8(1), 57–62.

PwC. 2017. Sizing the Prize: What's the Real Value of AI for Your Business and How Can You Capitalise? [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.10.2024]. Saatavissa: https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf

Rantanen, H. 2005. Tuottavuus suorituskyvyn analysoinnin kentässä. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lahden yksikkö.

Rojko, A. 2017. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *Interactive Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77-90.

SAP. 2024. What is artificial intelligence? [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.10.2024]. Saatavissa: https://www.sap.com/westbalkans/products/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html

Schwab, K. 2016. Shaping the Fourth Industrial Revolution:1. Prague: Project Syndicate.

Siemens. 2024. Scalable Visual Quality Inspection Using Artificial Intelligence. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.10.2024]. Saatavissa: https://references.siemens.com/en/reference/scalable-visual-quality-inspection-?id=37527

Siukonen, T. & Neittaanmäki, P. 2019. Mitä tulisi tietää tekoälystä. Jyväskylä : Docendo.

Song, M., Tao, W. & Shen, Z. 2022. The impact of digitalization on labor productivity evolution: evidence from China. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*.

Takyar, A. 2024. AI for production planning: Significance, use cases, benefits, technologies and development. Leeway Hertz. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.11.2024]. Saatavissa: https://www.leewayhertz.com/ai-in-production-planning/

Tangen, S. 2005. Demystifying productivity and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), 34-46.

Varshney, A. K., Garg, A., Pandey, T. R., Singhal, R. K., Singhal, R. & Sharma, H. 2024. The Development of Manufacturing Industry Revolutions from 1.0 to 5.0. *Journal of Informatics Education and Research*, 4(1).

Wang, X., Yang, J., Wang, Y., Miao, Q., Wang, F.-Y., Zhao, A., Deng, J.-L., Li, L., Na, X. & Vlacic, L. 2023. Steps Toward Industry 5.0: Building “6S” Parallel Industries With Cyber-Physical-Social Intelligence. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 10(8), 1692-1703.

Xu, M., David, J. & Kim, S. 2018. The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90-95.

Zhai, S. & Liu, Z. 2023. Artificial intelligence technology innovation and firm productivity: Evidence from China. *Finance Research Letters*, 58, 1-9.

Öztemel, E. & Gursev, S. 2018. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127–182.