

**Neljannen teollisen vallankumouksen vaikutuksia
korkean teknologian suuryritysten tuotekehitykseen**

**The effects of the fourth industrial revolution to large
high-tech companies' product development**

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Juho Lauronen	
Työn nimi: Neljännen teollisen vallankumouksen vaikutus korkean teknologian suuryritysten tuotekehitykseen	
Vuosi: 2021	Paikka: Lappeenranta
Kandidaatintyö. LUT-yliopisto, tuotantotalouden koulutusohjelma. 43 sivua, 4 kuvaa, 1 taulukko Tarkastaja: tutkijaopettaja Kalle Elfvingren	
Hakusanat: tuotekehitys, Industry 4.0, Quality 4.0, tuotekehityksen työkalut, tuotekehitysprosessi, älytuote, tekoäly	
Keywords: product development, Industry 4.0, Quality 4.0, production development tools, product development process, smart product, artificial intelligence	
<p>Tässä kandidaatintyössä esitellään kirjoitushetkellä meneillään olevan Industry 4.0 vaikutuksia korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessiin ja siinä apuna käytettäviin työkaluihin. Lukija tutustetaan lyhyesti ensin tuotekehityksen sekä teollisten vallankumousten historiaan ja nykypäivään. Tämän jälkeen lukija johdatellaan työn aiheeseen kertomalla yleisesti neljännessä teollisesta vallankumouksesta eli Industry 4.0:sta ja tuotekehitysprosessista tänä päivänä. Tämän jälkeen työssä esitellään seitsemän tärkeää prosessissa usein käytettyä työkalua ja kuinka ne tulevat kehittymään.</p> <p>Neljännen teollisen vallankumouksen tarkoituksena on kokonaisuudessaan autonomisoida yritysten arvoketju, mutta tuotekehitysprosessissa on tarkoitus lisätä datan määrää ensisijaisesti älytuotteiden avulla ja niiden avulla saada nopeasti yrityksille informaatiota asiakkaiden tarpeista. Tällöin yritykset voivat esimerkiksi kehittyneen tekoälyn ja lisäävän valmistuksen avulla kehittää uusia ja paremmin asiakkaiden tarpeita täyttäviä tuotteita kilpailukykyiseen hintaan. Tuotekehitysprosessissa käytettävät työkalut kehittyvät ja moni työkaluista tulee hyödyntämään esimerkiksi tekoälyä toiminnan tehostamiseksi ja autonomisoinnin mahdollistamiseksi. Työkalujen automatisoituessa ja autonomisoituessa myös koko prosessi muuttuu niin, että se vaatii vähemmän ihmisen panosta. Tällöin siitä tulee nopeampi, halvempi ja vielä laadultaan mahdollisesti parempi.</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	4
1.1	Tavoite ja tutkimuskysymykset	4
1.2	Rajaukset, tutkimusmenetelmät ja hakusanat	5
1.3	Rakenne.....	6
2	Tuotekehitys ja sen historia.....	7
2.1	Tuotekehitys.....	7
2.2	Tuotekehityksen historiaa	8
3	Teolliset vallankumoukset	12
3.1	Aiemmat teolliset vallankumoukset.....	12
3.2	Neljäs teollinen vallankumous yleisesti.....	12
3.3	Neljäs teollinen vallankumous tuotekehityksen näkökulmasta	16
4	Tuotekehityksen työkalut ja niiden kehittyminen.....	17
4.1	Älytuotteet.....	17
4.2	Kyselytutkimukset ja haastattelut	19
4.3	Esineiden internet.....	21
4.4	Data-analytiikka.....	22
4.5	Tietokoneavusteinen suunnittelu	23
4.6	Lisäävä valmistus.....	25
4.7	Kilpailijoiden tuotteiden analysoiminen	27
5	Tulokset.....	30
6	Yhteenveto	34
7	Lähteet.....	36

1 JOHDANTO

Nykyisessä yhteiskunnassa ihmisten kulutus kasvaa huimaa vauhtia. Kuluttajien rahassa mitattava kokonaiskulutus on Maailmanpankin mukaan lisääntynyt noin 30 % vuodesta 2010 vuoteen 2019 (The World Bank 2021). Kuluttajat haluavat useammin uusia tuotteita, joten tuotteita tuottavien yritysten on löydettävä keinoja vastata nousevaan kysyntään. Kuluttajista on kuitenkin tullut samalla tarkempia haluamistaan tuotteista, joten tuotteiden tulisi vastata paremmin heidän preferenssejään. Tämä tarkoittaa, että tuotteiden tulisi sisältää paljon heille tärkeitä ominaisuuksia, olla hinnaltaan vähintään kilpailukykyisiä ja vielä mahdollisimman eettisiä sekä vähän ympäristöä kuormittavia. Nämä kriteerit ovat erittäin vaikeita toteuttaa perinteisillä tuotekehityksen ja tuotannon työkaluilla. Historian aikana teolliset vallankumoukset ovat aina vieneet teollisuutta merkittävästi eteenpäin ja luoneet lisää mahdollisuuksia teollisuuden yrityksille. Nyt käynnissä oleva neljäs teollisen vallankumouksen uskotaan tuovan ratkaisun edellä mainittuihin, sekä moneen muuhun ongelmaan tuomalla uusia työkaluja ja menetelmiä teollisuuden yrityksille. Tämä kandidaatintyö on tehty, jotta lukija saisi käsityksen, mitä teollisuuden neljäs vallankumous tarkoittaa ja erityisesti, miten se tulee vaikuttamaan korkean teknologian suuryritysten tuotekehitykseen.

1.1 Tavoite ja tutkimuskysymykset

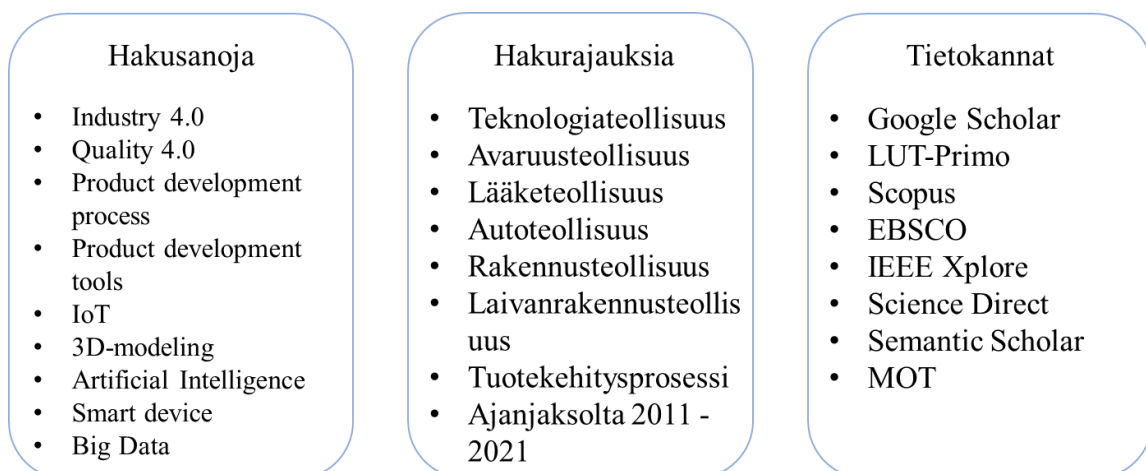
Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tuoda lukijalle tiiviissä paketissa tietoa teollisuuden neljännestä vallankumouksesta, sekä sen vaikutuksista ensisijaisesti suuryritysten tuotekehitysprosessiin. Tiedon avulla lukija saa käsityksen kuluttajan näkökulmasta, mihin suuntaan kehitys on suuntautumassa ja miten tämä tulee näkymään hänelle. Tuotteita valmistavan yrityksen näkökulmasta taas työ kertoo, mihin suuntaan yritystoimintaa on tulevaisuudessa kehitettävä, jotta yritys on kilpailukykyinen tulevaisuuden markkinoilla. Työn luettua lukija tietää vastaukset seuraaviin keskeisimpiin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä Industry 4.0 käsitteenä tarkoittaa?

- Millaisia ovat nykyiset ja tulevat tuotekehityksen työkalut fyysisiä tuotteita valmistavissa korkean teknologian suuryrityksissä?
- Miten fyysisiä tuotteita valmistavien, korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessi on toiminut tähän asti ja miten neljäs vallankumous muuttaa sitä?

1.2 Rajaukset, tutkimusmenetelmät ja hakusanat

Työssä käsitellään ensisijaisesti fyysisiä tuotteita valmistavien korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessin kehittymistä. Neljäs teollinen vallankumous tuo tullessaan paljon mahdollisuuksia, mutta nämä mahdollisuudet realisoituvat ensin yrityksille, joilla on suurimmat resurssit ja motivaatio investoida tulevaisuuteen. Uusi teknologia implementoidaan siis käytännössä aiemmin ja varmimmin suuryritysten toimesta, joten työ on kohdennettu niiden toimintaan. Työssä ei perehdytä palveluita tarjoavien ja palveluita tuotteina tarjoavien yritysten tuotekehitykseen, sillä Industry 4.0 kohdistuu suuremmaksi osaksi fyysisten tuotteiden valmistamiseen. Työssä ei myöskään tutustuta pienien tai keskisuurien yritysten tuotekehitykseen, eikä työ ota kantaa näiden yritysten kykyyn tai halukkuuteen implementoida uusia menetelmiä. Työ toteutetaan systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Pääasiallisina lähteinä toimivat neljänteen teolliseen vallankumoukseen sekä tuotekehitykseen keskittyvät tieteelliset julkaisut, jotka ovat saatavilla tunnettujen tietokantojen, kuten Google Scholarin, LUT-Primon, Scopuksen ja EBSCO:n, kautta. Hakusanoja, rajauksia ja tietokantoja on kerättyä yhteen kuvassa 1.



Kuva 1. Käytetyt hakusanat, -rajaukset ja tietokannat

1.3 Rakenne

Työn alussa, kappaleessa kaksi, käydään läpi tuotekehitys käsitteenä sekä tuotekehitysprosessin historiaa. Luvussa kolme lukijalle tuodaan tutuksi aiemmat kolme teollista vallankumousta sekä neljäs teollinen vallankumous ja siihen liittyvät yleisesti käytetyt termit. Neljättä vallankumousta käsitellään ensin yleisesti, jonka jälkeen keskitytään hieman tarkemmin sen vaikutuksiin tuotekehityksen näkökulmasta. Kappaleen kolme on tarkoitus luoda yleiskäsitys lukijalle, jota tarkennetaan työn edetessä. Tämän jälkeen tähän asti yleisimmin käytössä olleet prosessit ja työkalut käydään tarkemmin läpi luvussa neljä, jotta lukija saisi konkreettisemmin käsityksen tulevista muutoksista. Työkalujen esittelyjen jälkeen kerrotaan, miten työkalut tulevat kehittymään ja miten niiden tärkeys muuttuu. Työn lopussa esitellään tulokset, jotka kertovat miten tuotekehityksessä käytetyt työkalut ja tuotekehitysprosessi tulee muuttumaan.

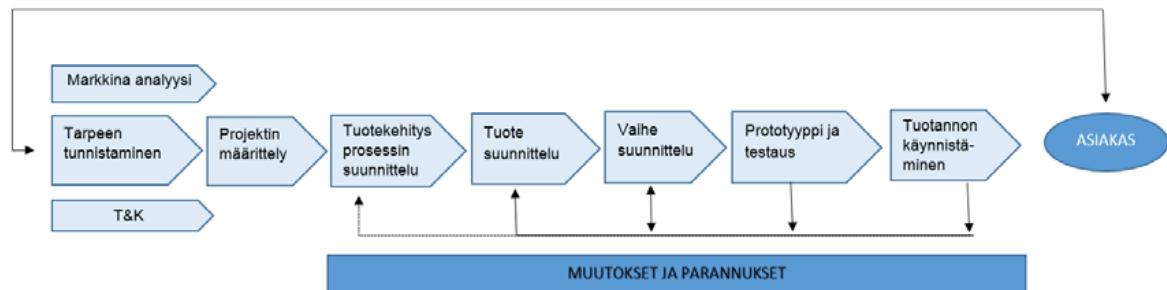
2 TUOTEKEHITYS JA SEN HISTORIA

2.1 Tuotekehitys

Fyysisten tuotteiden tuotekehitys on prosessi, jonka tarkoituksena on luoda myytävä tuote ideoiden ja tietojen pohjalta. Tuote voi olla uusi tai paranneltu versio jo markkinoilla olevasta tuotteesta. Prosessissa käydään järjestelmällisesti läpi tiettyjä vaiheita tietyssä järjestyksessä, jotka ovat toimialasta ja yrityksestä riippuvaisia, mutta seuraavat yleensä perinteistä kaavaa, joka on mallinnettuna kuvassa 1. (Giudice et al. 2006, s.156–158) Tuotekehitysprosessissa käytetään hyödyksi toimintatapoja ja työkaluja, joiden avulla prosessin eteenpäin vieminen helpottuu. Nämä toimintatavat ja työkalut voivat olla teknologioita tai menetelmiä, joiden käyttö tuo arvoa yritykselle ja kuluttajalle. Näitä käyttämällä yritys säästää siis resurssejaan ja saa myös paremman tuotteen markkinoille. (NPD Solutions 2019)

Tuotekehitysprosessi saa alkunsa yleensä joko tarpeen tunnistamisesta tai teknologian kehittymisen tuomasta mahdollisuudesta. Tämä tarkoittaa, että asiakkailla on jokin tarve, minkä yritys tunnistaa ja pyrkii kehittämään tarpeeseen tulevan tuotteen, tai että yrityksen käyttöön tulee uusi teknologia, mikä todennäköisesti toisi lisää arvoa asiakkaalle ja tästä kehitetään tuote. (Lubik et al. 2012) Perinteisesti myytäväksi asti kelpaavan uuden tuotteen kehitykseen on vaadittu paljon tietoa ja kymmenittäin ideoita, miten tuote toteutettaisiin. Ideat uusiin tuotteisiin saadaan tunnistamalla asiakkaiden tarpeita ja haluja, sekä uusien teknologioiden kehittyessä. Toteutustapoja ja ideoita karsitaan tuotekehitysprosessin edetessä, sillä tuotekehitysprosessin aikana tarkentuu esimerkiksi, mitä tuotteelta oikeasti vaaditaan, miten sen tulee toimia ja miten sen tuotanto toteutetaan. Tällöin suurin osa ideoista osoittautuu jollain aspektilla huonoiksi kuten esimerkiksi taloudellisesti kannattamattomaksi tai ei täysin kohderyhmälle sopivaksi. Prosessin läpi pääsee vain hyvin pieni osuus prosessin aloittaneista ideoista, joista toivottavasti

edes yksi on tuotantoon asti hyväksyttävä. (Giudice et al. 2006, s.156–158; Mattson et al. 2019, s.13–15)



Kuva 2. Tuotekehitysprosessi (Giudice et al. 2006, s. 157)

Kuvassa 2 havainnollistetaan perinteisen tuotekehitysprosessin kulkua. Malleja ja niiden myötä prosesseja on käytössä myös muita, kuten esimerkiksi Cooperin porttimalli (Apilo & Taskinen 2006; Cooper 1990). Tärkeimpinä huomioina kuvassa 2 näkyy, miten pitkällä tuote saattaa olla prosessissa, mutta se todetaan silti joiltain osin riittämättömäksi ja palautetaan uudelleen suunnittelun kohteeksi tai jopa poistetaan kokonaan. Edellä mainituista syistä tuotekehitysprosessi on myös perinteisesti ollut hidas ja kallis, sillä monien välivaiheiden kautta kulkeminen on vienyt paljon aikaa ja muita resursseja. Brown & Eisenhardtin (1995) mukaan tuotekehityksen onnistuessa uusi tai paranneltu tuote kattaa kuitenkin kulut, joita kehitystyöstä on aiheutunut ja rahoittaa yrityksen tulevaisuutta. Epäonnistuessaan se saattaa maksaa yritykselle erittäin paljon ja vaikuttaa merkittävästi yrityksen tulevaisuuteen. (Brown & Eisenhardt 1995) Nykyisin tuotekehitys on elintärkeää kilpailukyvyyn kannalta, sillä teknologian kehittyessä yritykset pyrkivät jatkuvasti kaupallistamaan uudet teknologiat ja kilpailemaan uusilla tuotteillaan.

2.2 Tuotekehityksen historiaa

Nykyaikainen tuotekehitysprosessi ei ole erityisen uusi konsepti. Jo 1950-luvulta alkaen yrityksissä on ajateltu tuotekehitystä prosessina, mutta prosessi on tällöin ollut kovin alkutekijöissään (Nobelius 2004). Toisaalta vielä 90-luvulla tutkimustieto antoi ristiriitaisia tuloksia tuotekehityksen vaikutuksesta kilpailukykyyn, vaikka sitä pidettiin tärkeänä osana

yrityksen toimintaa. Uusien tuotteiden huomattiin herättävän kiinnostusta asiakkaissa ja tuovan lisää myyntiä. Tämän lisäksi sen koettiin olevan toimiva ja tehokas tapa muuttaa ja kehittää yritystä yritysostojen sijaan. (Brown & Eisenhardt 1995) Harmsen, Grunernt ja Bove julkaisivat vuonna 2000 tutkimuksen, johon osallistui kokonaisuudessaan 1410 yritystä. Tutkimuksessa tarkasteltiin, mitkä tekijät tuovat yritysten mielestä kilpailuetua. Tuotekehityksen tuoma hyöty koettiin ristiriitaiseksi, sillä vaikka onnistuneet, markkinoille päässeet tuotteet toivatkin hyötyä yritykselle, epäonnistuneiden kehitysprojektien tuoma haitta ja kustannukset saattoivat pitää kokonaisuuden neutraalina tai jopa negatiivisena. Projektien epäonnistumisien koettiin olevan vahvasti yhteydessä yrityksen taitoon hankkia tietoa, jolla tulkita markkinoita ja ennustaa sen kulkua ja näin vastata kuluttajien kysyntään. (Harmsen et al. 2000)

Ennen älylaitteiden yleistymistä, kuten 2000-luvun alussa tietoa markkinoiden suuntauksista ja asiakkaiden tarpeista on saatu muun muassa haastatteleamalla asiakkaita, suorittamalla kyselytutkimuksia ja tutkimalla kilpailijoita esimerkiksi messuilla. Tiedon laatu on ollut hyvin vaihtelevaa. Ryhmä- ja yksilöhaastatteluista saatua tietoa on pidetty hyvänä, sillä henkilö on ollut osallisena kasvoillaan ja hänen kehonkieltään on voitu analysoida sanojen lisäksi, mutta esimerkiksi sähköpostilla tai muuten suoritetun kyselytutkimuksen tuloksia on voitu pitää lähinnä suuntaa antavana, sillä tietojen oikeellisuudesta ja laadusta ei ole voinut olla varma. Prosessi on ollut hyvin tehoton. Sen lisäksi että tietoa on ollut suhteellisen vähän tarjolla, yritysten tapa varastoida tietoa on ollut monissa yrityksissä epäjärjestelmällinen. Osa tiedoista on voinut olla dokumentoituna paperisesti, osa sähköisesti ja osa vain henkilökohtaisesti. Kaikilla ei välttämättä ole ollut pääsyä tietoihin. Tämä on myös hankaloittanut tuotteiden kehitystä merkittävästi. (Zahay et al. 2004)

Kun yritykselle on selvää, mitä ideoita lähdetään viemään eteenpäin, on aika alkaa tutkimaan ideoiden mahdollisuutta päätyä myytäväksi tuotteeksi ja suunnittelemaan valmista tuotetta ja tuotantoa. Ideoita on testattava teoriassa eri tavoin, esimerkiksi tekemällä liiketoiminta-analyysejä, joissa tarkastellaan tuotteen mahdollista menestystä, jotta saataisiin käsitys, minkälaisen vastaanoton tuote saisi ja kuinka taloudellisesti kannattavaa sen tuottaminen ja myyminen olisi. Tuotannon mahdollisuuksia tarkastellaan ja analysoidaan, jotta saataisiin selville, miten nykyistä toimintaa tulisi muuttaa, jotta uusi tuote olisi mahdollista ja kannattavaa

tuottaa, vai olisiko tämä ylipäätään mahdollista. Tuotannon analysointiin liittyy esimerkiksi materiaalien valinnat ja tuotantokoneiston soveltuvuus. Analyyseistä saadut vastaukset eivät kuitenkaan kerro välttämättä koko totuutta, sillä työkalu perustuu ihmisten tekemiin oletuksiin ja laskelmiin. Laskelmien pohjalta saa siis käsityksen minkälainen lopputulos voisi olla, mutta toistuvasti tarkkaan tulokseen näillä työkaluilla ei pääse. (Tzokas et al. 2004) Lopputuloksen tarkkuus on kuitenkin riippuvainen alasta ja tuotteiden määrästä. Mikäli yritys tuottaa yhden suuren tuotteen, sen kustannukset ja kannattavuus on helpompi laskea, sillä tuotteelle saattaa monesti olla jo ostaja ja vähintään alustava hinta.

Alasta riippuu myös tuotekehitysprosessissa tarkan alkupään suunnittelun merkitys. Mikäli yrityksen tarkoituksena on valmistaa vain pieni määrä tuotteita tai jopa vain yksi kappale, voi olla, että fyysisiä prototyyppejä ei ole kannattavaa tai mahdollista rakentaa. Tuotteita myydessä myös niiden hinta nousisi merkittävästi prototyyppien takia, sillä niiden tuottaminen on ajallisesti ja rahallisesti kallista ja kustannukset jaetaan vain näille muutamille myytävillä tuotteilla. Suunnittelu mahdollisimman pitkälle säästää siis sekä yritykseltä että asiakkaalta aikaa ja rahaa. Esimerkiksi raskaassa teollisuudessa, kuten suuria risteilijöitä valmistettaessa, projektien koko rahallisesti ja fyysisesti voi olla niin suuri, että täysikokoisia prototyyppejä ei ole mahdollista tai järkevää rakentaa. Tällöin on erittäin tärkeää suunnitella tuote täydellisesti. (Sulamain et al. 2017) Tällöin myös tuotekehitysprosessi on käytännössä erilainen kuin miljoonia matkapuhelimia valmistavalla yrityksellä, jolle prototyypin rakentaminen on tärkeää ja suhteessa halpaa.

Prosessin loppupäässä uusien fyysisten tuotteiden ja prototyyppien tuottaminen ja testaaminen on myös ollut absoluuttisesti kallista ja hankalaa. Prototyypit on pitänyt valmistaa käsityönä, sillä massatuotantoon käytettävää tuotantokoneistoa ei ole juuri voinut hyödyntää, koska nämä koneet on suunniteltu tekemään yhtä asiaa kerrallaan. Ensimmäisillä kerroilla uuden tuotteen valmistamiseen menee myös enemmän aikaa kuin monen kerran jälkeen, sillä valmistusohjeita ei tunneta tai rakentamiseen liittyy uusia vaihteita tai menetelmiä, jotka tulee opetella. Ensimmäisiä prototyyppejä on kuitenkin pyritty valmistamaan materiaaleista, joita on helppo ja nopea työstää ja joilla on osa tuotantoon päätyvän tuotteen ominaisuuksista. Usein käytettyjä materiaaleja ovat olleet esimerkiksi: puu, savi, muovi ja metalli. Testaamisen avuksi on kuitenkin kehitetty virtuaalisia työkaluja kuten CAD-ohjelmistoja (computer-aided design),

jotka auttavat prototyypin suunnittelua ja testaamista sekä mahdollisesti pienentävät siihen liittyviä kustannuksia ja käytettyä aikaa. Virtuaaliset työkalut ovat pystyneet mallintamaan esimerkiksi tuotteen ulkonäköä, kestävyyttä ja mitoituksia. Lähempänä valmiita tuotteita olevat prototyypit on voitu valmistaa jo tietokoneavusteisesti CNC-laitteistolla (computer numeric control), jotta prototyypin laatu olisi mahdollisimman lähellä lopputuotetta. Tuotantoon päätyvän tuotteen löytymisen jälkeen tuotantolaitteistoa on muutettu tarvittavalla tavalla, jotta niillä voitaisiin valmistaa uutta tuotetta. (Zorriassatine et al. 2003)

3 TEOLLISET VALLANKUMOUKSET

3.1 Aiemmat teolliset vallankumoukset

Ensimmäinen teollinen vallankumous tapahtui jo vuonna 1760-luvun puolivälissä. Tällöin keksittiin höyrymoottori, jonka avulla teollisuus siirtyi käsityönä valmistamisesta koneiden avustamaan valmistamiseen. Tämä nopeutti valmistamista huomattavasti. Se johti tarvittavien esineiden valmistumäärien kasvuun, hintojen laskuun ja lopulta ihmisten elintason nousuun. (Britannica 2021)

Toinen vallankumous toteutui noin sata vuotta myöhemmin. Se perustui öljyjalostuksen kehittämiseen ja polttomoottorien keksintään. Tällöin teollisuus sai käyttöönsä polttomoottorit. Polttomoottoreilla pystyttiin tehostamaan teollista valmistamista edelleen, sekä sen myötä voitiin valmistaa esimerkiksi autoja ja lentokoneita paljon pienemmässä ja toimivammassa mittakaavassa. Polttoaineena toimiva bensa ja polttoöljyn energiatihedät ovat kivihiltä suuremmat, joten moottorien ja polttoainevarastojen ei tarvinnut olla enää niin suuria. (Mokyr et al. 2014)

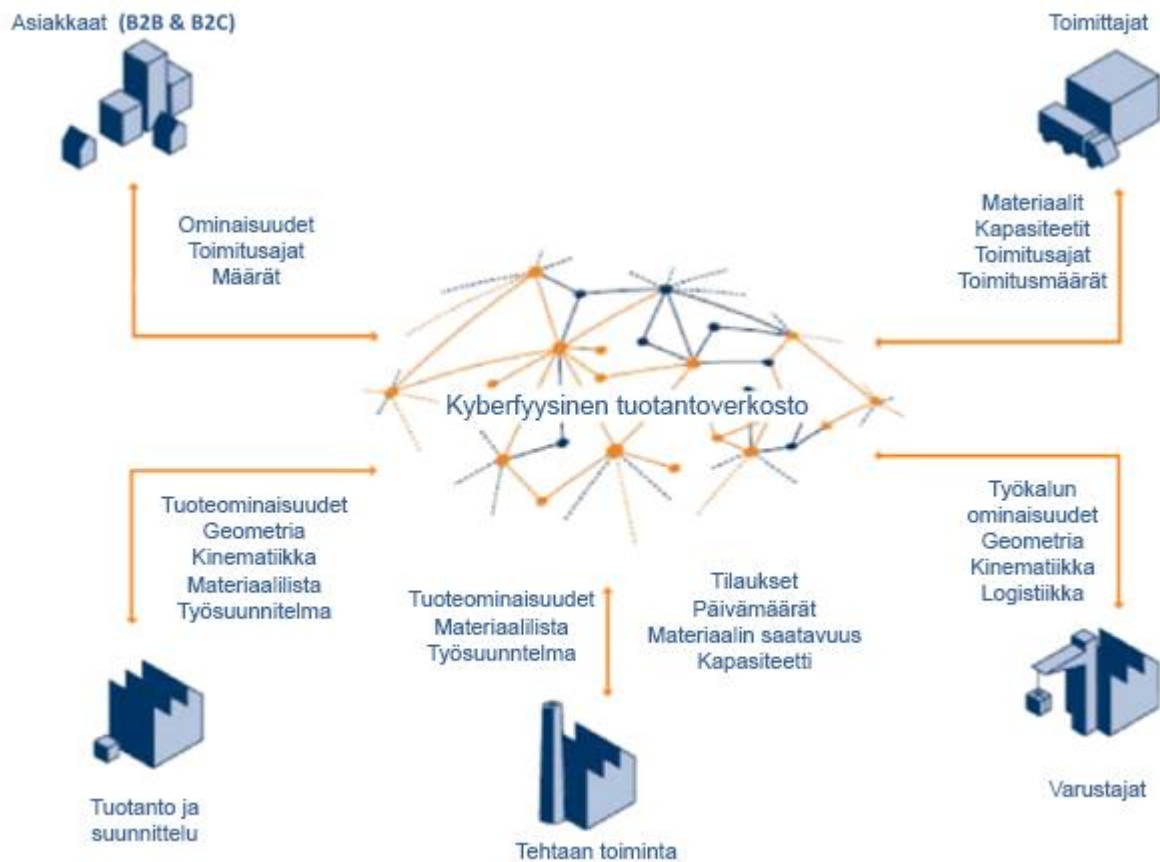
Kolmas teollisuuden vallankumous tapahtui edelleen noin sata vuotta edellisestä. Tällöin transistoriteknologia ja ydinvoima mullistivat teollisuuden. Transistorien avulla on voitu valmistaa ensimmäinen nykyaikaista tietokonetta muistuttava tietokone. Tietokoneiden avulla tehtaita on pystytty automatisoimaan, sekä niiden avulla on saatu hurjasti lisää laskentatehoa ja ongelmanratkaisukykyä. Ydinvoima mahdollisti myös lisääntyneen sähkötarpeiden täyttämisen tehokkaasti. (Britannica 2021)

3.2 Neljäs teollinen vallankumous yleisesti

Kuluttajien käytöksen muuttuessa kriittisemmäksi saamastaan tuotteesta, teollisuusyrityksillä on kuitenkin ollut täysi työ pysyä kuluttajien toiveiden perässä. Kuluttajat haluavat enemmän heille tärkeitä ominaisuuksia kilpailukykyiseen hintaan ja useammin. Tämä muutos kuluttajien

käyttäytymisessä on tuonut yrityksille suurta motivaatiota keksiä vastaus kasvaneisiin paineisiin. Tämä suuri motivaatio ja kehittynyt teknologia ovat parhaillaan tuomassa ratkaisua ongelmiin ja ovat nostamassa teollisuuden jälleen kerran uudelle tasolle. Tätä uutta konseptia kutsutaan yleisesti termillä ”Industry 4.0”. (Lasi et al. 2014)

Industry 4.0 on terminä lähtöisin Saksasta Hannoverista, jossa se esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 2011. Konsepti kehiteltiin alun perin Saksan teollisuuden omiin tarpeisiin mutta se todettiin mielenkiintoiseksi ja toimivaksi ideaksi, joten se levisi kuitenkin myös muualle maailmaan. Nykyisin termiä käytetään yleisesti, kun puhutaan neljänestä teollisesta vallankumouksesta. Konseptin ydin on yhdistää fyysiset ja tietotekniset järjestelmät ja luoda niistä yhteinen niin kutsuttu kyberfyysinen järjestelmä (Cyber-Physical System, CPS). CPS tarkoittaa yhteistä verkostoa, missä fyysiset laitteet kuten tuotantolaitteisto ja tietotekniset laitteet kuten toiminnanohjausjärjestelmät kommunikoivat keskenään. Kommunikointi on tarkoitus onnistua autonomisesti ihmisen tai tekoälyn asettamien parametrien tulkinnan varassa. Kun laitteet sisältävät tarpeeksi paljon eri sensoreita ja tunnistimia, joiden ansiosta on mahdollista seurata laitteen toimintaa, tietokone kykenee ohjaamaan toimintaa tarvittavalla tavalla. Tunnistimien määrä on riippuvainen koneen monimutkaisuudesta. Mitä monimutkaisempi kone on kyseessä, sen enemmän seurattavaa siinä on ja sitä enemmän siinä on oltava tunnistimia. (Rojko 2017)



Kuva 3. CPS-verkoston havainnollistus (Lasi et al. 2014)

Ihminen on tähän asti valvonut koneiden toimintaa ja tehnyt tulkinnan koneiden toiminnan onnistumisesta ja tehokkuudesta saamansa datan avulla, mutta mikäli koneet kommunikoisivat keskenään ja ymmärtäisivät toisiaan, olisi mahdollista vähentää ihmisen puuttumista toimintaan ja tulevaisuudessa antaa koneiden toimia täysin autonomisesti ilman ihmistä. (Rojko 2017) Tällä metodilla olisi monia positiivisia vaikutuksia tuotantoon, kuten lyhyemmät läpimenoajat, pienempi materiaalihukan määrä ja lopuksi halvempi hinta asiakkaalle. Tämä onkin siis tärkeä yksi osa Industry 4.0 tuomista ratkaisuista. Tuotannon autonomisoituessa tuotantohenkilöstölle vapautuisi myös aikaa tehtäviin, jotka vaativat ihmisen ongelmanratkaisukykyä ja luovuutta monotonisten rutiinien jäädessä tietokoneelle. Yksi näistä tehtävistä on toiminnan kehittäminen. Monotonisten rutiinien väheneminen vähentää myös inhimillisten virheiden määrää, sillä henkilöstön tarvitsisi keskittyä tekemiseen, koska rutiinin tuomaa kyllästymistä ja keskittymisen puutetta ei olisi. CPS kuitenkin vaatii yrityksiltä mittavia investointeja, sillä koko toiminta voi joutua muutoksen kohteeksi. Koko arvoketjun tulee keskustella keskenään, joten erillisiä ja itsenäisiä järjestelmiä tulee karsia, integroida ja uusia. Tuotanto ei myöskään voi

toimia autonomisesti ilman uudistamista. Niin kutsutut älytehtaat (smart factories) vaativat kalliita tuotantolaitteita, jotka toimivat osana autonomista kyberfyysistä järjestelmää. (Chen et al. 2018) Industry 4.0 pyrkii siis kiteytettynä autonomisoimaan teollisen tuotannon ja yritysten arvoketjut lähes kokonaan ja tätä kautta optimoimaan toimintaa. Kuvassa 3 on havainnollistettu verkoston laajuutta ja siitä voi nähdä, että kaikki tuotantoon liittyvät osapuolet ovat ideaalisessa tilanteessa yhteydessä toisiinsa, jakavat tärkeää tietoa toisilleen ja ovat tietokoneen ohjaamia.

Tuotannon nopeutuminen ei tule kuitenkaan tapahtumaan laadun kustannuksella. Päinvastoin nopeuden lisäksi Industry 4.0 pyrkii mahdollistamaan entistä paremman laadun sekä suurille että jopa yhden yksikön tuotantokohdille. Tähän on myös vakiintunut käsite ”Quality 4.0”. Vaikka tälle termille ei ole täysin yksiselitteistä määritelmää, käytetään sitä kuitenkin hyvin saman tapaisissa tarkoituksissa puhuttaessa Industry 4.0 vaikutuksista laatuun. Tiedon määrä on aivan asemassa myös paremman laadun saavuttamisessa. Tuotantolaitteiden tarkka seuranta mahdollistaa myös tuotteiden tarkan laadun valvonnan. (Sony et al. 2020) Vallankumouksen on siis tarkoitus myös parantaa tuotteiden laatua toiminnan seurannan tarkentumisen ansiosta. Tämä tarkoittaa, että virheet huomataan prosessissa nopeammin ja niihin voidaan puuttua aiemmin. Tällöin huonolaatuisia tuotteita syntyy vähemmän kokonaisuudessaan ja niiden kulkeutuminen loppuasiakkaalle muuttuu paljon epätodennäköisemmäksi. Tuotantoa voidaan myös hienosäätää kesken tuotannon tarpeen esimerkiksi asiakaspreferenssien mukaan, joten asiakas kokee saavansa laadukkaamman tuotteen. Laadun paranemiseen liittyy myös uudet tuotantomenetelmät, kuten lisäävät tuotantomenetelmät (3D-tulostus) sekä laitteiden mittatarkkuuden yleinen parantuminen. (Li & Lau 2017)

Industry 4.0 aiheeseen tutustuessa saattaa myös törmätä termiin Industry 5.0. Tämä termi on eri lähteiden avulla tarkasteltuna osittain päällekkäin Industry 4.0 konseptin kanssa. Monissa neljänteen teolliseen vallankumoukseen keskittyvissä lähteissä Industry 4.0 kattaa CPS-verkoston lisäksi autonomisen valmistamisen ja massakustomoinnin, mutta termiä Industry 5.0 käytettäessä keskitytään vain automaattisen ja autonomisen tuotannon sekä massakustomoinnin osaan. (Aslam et al. 2020; Nahvandi 2019) Kyseessä ei siis ole täysin uusi ilmiö tai konsepti, joka mahdollistaisi täysin uusia asioita tuotannossa ja tuotekehityksessä.

3.3 Neljäs teollinen vallankumous tuotekehityksen näkökulmasta

Yritysten yksi merkittävimmistä ongelmista on tuottaa nopeasti tuotteita, joita asiakkaat haluavat ja tarvitsevat. Yritysten onnistuminen tässä on suureksi osaksi riippuvainen yrityksen ymmärryksestä, mitä asiakkaat oikeasti haluavat ja tarvitsevat. Tämän tiedon saaminen on ollut erittäin vaikeaa tai jopa lähes mahdotonta, sillä asiakas ei välttämättä itsekään ole ajatellut, mitä hän oikeasti haluaa ja arvostaa tuotteessa. Käytännössä yritysten suurin ongelma on siis ollut tarvittavan datan määrän ja laadun puute sekä mahdollisesti sen puutteellinen analysointi. Tämän ongelman rinnalle on tullut myös aikaisemmin mainitut ongelmat, kuten asiakkaiden erilaiset tarpeet ominaisuuksien suhteen, sekä jatkuvasti merkittävämmäksi nousevat eettiset kysymykset. (Tao et al. 2018) Neljännen teollisen vallankumouksen on tarkoitus lisätä tiedon määrää ja saatavuutta huomattavasti. Dataa tullaan keräämään asiakkailta älytuotteiksi (smart product) kutsutuilla tuotteilla, jotka keräävät tietoa asiakkaasta, tuotteen käytöstä ja käyttöympäristöstä mahdollisimman paljon. Tämän tiedon avulla yritysten on helpompi keskittyä eniten merkitseviin ominaisuuksiin tulevaisuuden tuotekehitystyössä ja saada tietoa nykyisten ominaisuuksien menestyksestä. Henkilökohtaisen tiedon avulla pystytään valmistamaan enemmän henkilökohtaisia tuotteita. Tällöin on mahdollista myös, että tuotteita menee vähemmän hukkaan ja tätä kautta toiminta olisi myös vähemmän ympäristöä kuormittavaa. Älytuotteet eivät itsessään ole uusi keksintö, sillä varmasti jokaiselle tulee heti mieleen jokin tuote ”älytuote” sanan kuullessaan. Nykyisten älytuotteiden lisäksi älytuotteita tulee siis olemaan perinteisten älylaitteiden kuten televisioiden ja matkapuhelinten lisäksi myös muissa tuotteissa, joissa älytekniikkaa ei ole totuttu näkemään kuten esimerkiksi kodinkoneissa, sähköpolkupyörissä ja kengissä. Älytuotteiden ansiosta yritysten on mahdollista saada valtavasti dataa, jota hyödyntää uusien tuotteiden valmistuksessa. Datan lisääntyessä myös sen analysoinnin tehokkuus korostuu huomattavasti. Data on lähes arvotonta ilman laadukasta tulkintaa. Dataa analysoimaan kehitetäänkin monimutkaisia ja jatkuvasti kehittyviä algoritmeja, jotka käyvät valtavaa datamäärää läpi ilman suurta panosta ihmiseltä. Tämän lisäksi avain kaiken datan analysointiin tulee olemaan tekoäly. (Nunes et al. 2017) Industry 4.0 tulee siis vähentämään merkittävästi tuotteiden tuotekehityksen tarvittavaa aikaa ja rahaa tuomalla yrityksille uusia työkaluja ja tapoja toimia, jotka mahdollistavat resurssien tehokkaamman suuntaamisen sekä helpomman ja nopeamman tuotannon.

4 TUOTEKEHITYKSEN TYÖKALUT JA NIIDEN KEHITTYMINEN

Vaikka tuotekehitys ei tällä hetkellä ole aivan vaaditulla tasolla ottaen huomioon kuluttajien kasvavan kysynnän ja vaativuuden lisääntymisen, se on kuitenkin kehittynyt viimeisen 30 vuoden aikana erittäin paljon. Teknologian kehittyminen on ollut yksi suurimmista kehityksen ajureista. Prosessiin on saatu monia uusia työkaluja helpottamaan ja nopeuttamaan uusien tuotteiden kehittämistä. Prosessissa on myös samoja työkaluja ja piirteitä kuten ennen, mutta myös näitä työkaluja on kehitetty. Tuotekehitysprosessi on tällä hetkellä murroksessa. Tässä kappaleessa on lueteltuina yleisimpiä ja tärkeimpiä työkaluja, joita tuotekehitysprosessi sisältää tällä hetkellä korkean teknologian suuryrityksissä. Näiden työkalujen yhteydessä myös verrataan, miten työkalut tulevat kehittymään tulevaisuudessa ja mikä niiden tärkeys tulee olemaan prosessissa. Tarkemman esittelyn jälkeen kappaleen lopusta löytyy taulukko 1, joka sisältää koosteen työkaluista ja niiden kehittymisestä

4.1 Älytuotteet

Älytuotteet ovat nykyisin merkittävin tapa yrityksille kerätä tietoa tuotteiden toimivuudesta (Porter & Heppelmann 2015). Älylaitteet ovat olleet alasta riippuen käytössä tiedon hankinnassa jo jonkin aikaa. Ensimmäisenä teknologia on tullut tutuksi kuluttajille esimerkiksi puhelimissa ja tietokoneissa, joissa elektroniikkaan oli luonnollista liittää älyteknologiaa. Alun perin älylaitteiden valmistamisen motiivina toimi lähinnä teknologian kehittyminen tasolle, jolla tuotteet saattoivat sisältää sensoreita, jotka keräävät dataa ja jakavat sitä edelleen. (Raff et al. 2020) Älylaitteiden yleistymisen esteenä oli alussa monia asioita. Tuotteet olivat kalliita, sillä teknologia oli kallista. Tämä johtui ensinnäkin siitä, että se oli uutta ja toisaalta sitä ei osattu hyödyntää järkevästi. Ihmiset eivät kokeneet saavan uudesta teknologiasta hyötyä, joten he eivät halunneet välttämättä maksaa tuotteesta normaalia tuotetta enempää. Ihmisiä epäilytti myös tuotteiden tiedonkeruu. (Mani & Chouk 2016)

Älylaitteiden potentiaalin käytyä ilmi, tätä teknologiaa on alettu käyttämään enemmän ja mahdollisuuksien mukaan kaikkialla kuten: autoissa, kelloissa, tehtaissa, kuntosaleilla ja kodeissa. Kallista teknologiaa ja elektroniikka on nykyisin mahdollista ja erittäin kannattavaa

integroida laitteisiin ja tuotteisiin, jotka eivät tätä teknologiaa käyttäjän kannalta välttämättä tarvitsisi kuten esimerkiksi kuntosalilaitteisiin. Tuotteista saaman tiedon avulla yritykset voivat kehittää tuotteitaan ja toimintaansa ja tarjota asiakkailleen parempia tuotteita ja kokemuksia tulevaisuudessa. Älylaitteet keräävät siis valtavan määrän dataa ja välittävät sen langattomasti ja lähes reaaliaikaisesti tuotteen valmistaneelle yritykselle esimerkiksi esineiden internetin (Internet of Things) eli IoT:n välityksellä. IoT sisältää nimensä mukaan erilaisten esineiden ja laitteiden verkoston ja niistä saatavan datan. Tämän datan avulla yritykset saavat mahdollisuuden tietoon tuotteen toimivuudesta ja tuotteita käyttävistä ihmisistä. (Nunes et al. 2017) Älytuotteet sisältävät nykyään paljon eri sensoreita ja ohjelmistoa, joiden avulla laite tekee havaintoja käyttäjästä, tuotteesta ja käyttöympäristöstä (Pessoa et al. 2020). Valmistaja pystyy siis dataa analysoimalla selvittämään konkreettisesti, miten tuote toimii asiakkailta ja käyttöympäristössä. Datan avulla yritys voi myös siirtyä vikoihin reagoinnista enemmän vikojen ennaltaehkäisyyn, sillä toimintaa analysoimalla voidaan huomata mahdollisia tulevia ongelmia ja välttää ne ennen niiden varsinaista ilmaantumista joko ohjelmistoa päivittämällä tai kutsumalla tuotteita takaisin tehtaalte huoltoon. (Tao et al. 2019) Tiedon avulla tuotteita voi optimoida myös muuten. Esimerkiksi auton kulutusta voidaan tutkia ja mahdollisesti optimoida selvittämällä kaasun asentoa, moottorin lämpötilaa ja kulutusta sekä näitä tietoja käyttäen selvittää, voisiko auto toimia taloudellisemmin kyseisessä tilanteessa. Mikäli auton taloudellisuutta tai toimivuutta voidaan ohjelmistoa kehittämällä parantaa, yritys voi tarjota asiakkaalleen lisäarvoa myös antamalla asiakkailleen mahdollisuuden päivittää ohjelmistoa pieneen hintaan tai jopa ilmaiseksi, kuten Tesla on toiminut (Boersma 2016). Tällöin tutkimalla tuotteita oikeassa käyttöympäristössään ja oikeilla asiakkailta yritys saa kaiken tämä testaamisen datan asiakkailtaan suorittamatta testaamista itse (Porter & Heppelmann 2015). Yrityksen ei siis tarvitse itse käyttää resursseja testien suorittamiseen ja niitä vapautuu muuhun toimintaa.

Tulevaisuudessa älylaitteiden rooli tulee kasvamaan edelleen. Yritysten kilpailukyky tulee perustumaan yritysten kykyyn tuottaa nopeasti räätälöityjä tuotteita asiakkailleen kilpailukykyiseen hintaan, ja tämä tarkoittaa, että yritysten on tiedettävä jo ajoissa, mitä heidän asiakkaansa haluavat yksitellen. Tämä ei monilla aloilla ole käytännössä mahdollista ilman tuotteista kerättävää dataa. Käyttäjistä tullaan keräämään enemmän dataa kuin aikaisemmin, sillä se on yrityksille erittäin arvokasta ja teknologia mahdollistaa sen. Sensorit, prosessorit ja

muut tietotekniset laitteet pienenevät koko ajan ja tämä mahdollista suuremman datamäärän keräämisen perinteisissä älytuotteissa, mutta mahdollistaa myös entistä pienempien ja uusien tuotteiden älyllistämisen. (Nunes et al. 2017) Modernit mikrosirut ovat kooltaan jo niin pieniä, että niitä voi asentaa erittäin moneen asiaan ja paikkaan. Sirujen sisältämien transistorien kokoa mitataan jo nanometreissä eli metrin miljardisosissa ($1 * 10^{-1000000000}m$). Tällöin esimerkiksi hiuskarvalle voi mahtua 10000 transistoria. (Storås 2021) Tällöin transistoreja on vastaava määrä kuin 1970-luvun lopulla julkaistuissa tietokoneen prosessoreissa (Mazor 1995). Nykyisin tietokoneen prosessori saattaa sisältää jo kymmeniä miljardeja transistoreita. Esimerkiksi vuonna 2020 julkaistun Applen MacBook tietokoneen M1 siru sisältää 16 miljardia transistoria (Apple 2021). Älyteknologia tulee siis leviämään tuotteisiin, joissa sitä ei perinteisesti ole todettu näkemään. Näitä tuotteita ovat esimerkiksi vaatteet, sängyt, korut ja silmälasit (Sawh 2018; Mann 2018; Allison 2018; Subin 2021). Kilpailukyvyyn säilyttäminen tai muodostaminen tulee myös painostamaan varsinkin suuryrityksiä älyllistämään tuotteensa lähes alasta riippumatta. Koska Industry 4.0:n tarkoituksena on kytkeä koko arvoketju yhteiseen verkostoon ja sitä kautta optimoida toimintaa, on erittäin tärkeää, että verkostoon saadaan dataa tuotteista ja että tuotteet ovat osa tätä verkostoa. Ilman älytuotteita yritys ei pysty hyödyntämään koko CPS-verkoston mahdollistamaa potentiaalia.

4.2 Kyselytutkimukset ja haastattelut

Aiemmin työssä kävi ilmi, että esimerkiksi kyselytutkimukset ja haastattelut ovat olleet merkittäviä tiedonlähteitä tuotteiden ominaisuuksiin ja toimivuuteen liittyen tuotekehityksessä. Menetelmät ovat myös edelleen käytössä. Nykyisin varsinkin kyselytutkimuksien tekeminen on entistä helpompaa, sillä kyselyitä voidaan levittää paljon ja monia eri kanavia kuten sosiaalista mediaa pitkin (Loomis & Paterson 2018). Vuonna 2017 julkaistun GRIT-raportin mukaan 56 % markkinatutkimusammattilaisista käytti kyselytutkimuksia. Raportin tutkimukseen osallistui yli 1500 henkilöä. (Evans & Mathur 2018) Kyselytutkimuksia tehokkaammin voidaan nykyisin kerätä tietoa alasta riippuen esimerkiksi sosiaalisen median avulla, mutta kyselytutkimuksia on kuitenkin edelleen paljon käytössä ja ne voivat olla edelleen tärkeä tiedon lähde. Yrityksillä, joilla on enemmän dataa käytössä, kuten esimerkiksi älylaitteita valmistavilla yrityksillä, tutkimukset ja haastattelut eivät välttämättä enää ole tärkeimpiä datan

lähteitä, mutta ovat monesti tukena tiedon hankinnassa. Esimerkiksi elintarvikealalla ja lääketieteellisyydessä taas haastattelut saattavat olla edelleen erittäin tärkeitä (Horvat et al. 2019). Näille aloille on luonnollisesti vaikeampi yhdistää älytuotteita, sillä elektroniikan syöminen on terveydelle haitallista. Tietoa on siis kerättävä jollain muulla tavalla kuten esimerkiksi kyselytutkimusten ja haastattelujen avulla.

Toisaalta myös älylaitevalmistajat haluavat palautetta käyttäjiltä. Tätä palautetta kerätään esimerkiksi antamalla tietyille henkilöille laitteita käyttöön tietyksi ajaksi, jonka jälkeen koehenkilöt pystyvät antamaan mielipiteensä. Älylaitteiden koehenkilöitä voivat olla esimerkiksi Googlen YouTube-palveluun videoita tekeviä ja paljon seuraajia omaavia henkilöitä. Heillä on usein paljon kokemusta alalta ja he pystyvät antamaan arvokasta palautetta. Toisaalta palautteen lisäksi yritysten on mahdollista saada tuotteen hinnalla kattavaa markkinointia tuotteelle. Sosiaalisen median kautta on mahdollista saada paljon palautetta tuotteesta varsinaisia kyselytutkimuksia tai haastatteluja tekemättä, sillä käyttäjät itse haluavat jakaa kokemuksiaan yhteisön kanssa. (Bashir et al. 2017) Ihmisiä on nykyisin myös paljon helpompi haastatella, sillä haastattelu tapahtuu monesti jonkun videopuhelupalvelun kautta, jolloin kenenkään osapuolen ei tarvitse olla fyysisesti missään tietyssä paikassa. Tällöin haastatteluja on paljon nopeampi ja halvempi tehdä. (Evans & Mathur 2018)

Tulevaisuudessa suorien kyselytutkimusten ja haastattelujen ennustetaan vähenevän, sillä näiden datankeräämismetodien rinnalle on tulossa tehokkaampia työkaluja tuotteiden älyllistyessä ja datan saatavuuden parantuessa Industry 4.0 trendin mukaan. Kyselytutkimukset ja haastattelut kehittyvät myös itse. Yritykset pyrkivät esimerkiksi tekoälyn avulla analysoimaan ihmisten arviointeja ja kommentteja internetistä ja keräämään tätä kautta kyselytutkimuksen omaisia vastauksia. (Evans & Mathur 2018) Tällöin yrityksen ei tarvitse teettää erillisiä kysymystutkimuksia eikä ihmisten tarvitse vastata niihin. Samoin haastatteluissa. Kun ihmiset antavat videon muodossa mielipiteensä tuotteista ja mahdollisia kehitysehdotuksia, yrityksen ei tarvitse erikseen haastatella heitä. Mutta kuten todettua, kyselytutkimukset ja haastattelut eivät ole vielä häviämässä kokonaan, vaan niitä toteutetaan edelleen, sillä se on helppoa ja niiden avulla voidaan saada lisää dataa tukemaan päätöksiä.

4.3 Esineiden internet

Esineiden internet eli Internet of Things (IoT) ja teollisuudessa tarkemmin Industrial Internet of Things (IIoT) on nimitys fyysisten esineiden ja laitteiden muodostavalle langattomalle verkostolle. Tämä verkosto pitää sisällään esimerkiksi laitteiden välistä kommunikaatiota sekä tiedon, mitä laitteet keräävät itsestään, ympäristöstään ja mahdollisista käyttäjistään. (ITU-T 2013) Tätä dataa kutsutaan big dataksi (SVT 2018). Tämän verkoston avulla älylaitteet ovat älyllisiä, sillä laitteiden verkottuneisuus johtuu juuri siitä, että älylaitteet ovat tämän verkoston kautta yhteydessä toisiinsa verkostoon kuuluviin laitteisiin. Verkostoon arvioidaan kuuluvan yli 10–15 miljardia laitetta vuoteen 2021 mennessä lähteestä riippuen. Verkostoon yhdistettyjen laitteiden määrän ennustetaan kuitenkin nousevan 15–30 miljardiin vuoteen 2025 mennessä. (Statista 2021; IoT Analytics 2020) Tämän verkoston avulla yrityksillä on siis mahdollisuus päästä osaksi laitteiden maailmaa ja tarkastella siellä liikkuvaa dataa. Tämä data on ja tulee kasvavassa määrin olemaan erittäin tärkeää yrityksen toiminnan ja erityisesti tuotekehityksen kannalta. Tämä taas kiihdyttää laitteiden lisääntymistä verkostossa edelleen, niin kuin eksponentiaalisista kasvuennustuksista voi tulkita. On siis olennaista, että yritykset osaavat hyödyntää verkoston tuomia mahdollisuuksia yritystoiminnassaan ja tuotesuunnittelussa.

IoT on ollut osana monen teknologiasuuryrityksen tuotesuunnittelua jo vuosia (ITU-T 2013). Nykyisin älytuotteet kuuluvat IoT-verkostoon ja se huomioidaan tuotesuunnittelussa. Verkosto on tärkeä osa erityisesti ympäristöön yhdistettyjä älytuotteita valmistaville yrityksille mutta myös yrityksille, joiden tuotantoon liittyvät laitteet ovat yhdistettynä verkkoon. Valtava laitteiden määrän ja datan lisääntyminen verkossa pakottaa verkostoa kehittymään. Dataa on pystyttävä siirtämään enemmän ja suuremmilla nopeuksilla kuin ennen. Tähän haasteeseen pyritään vastaamaan esimerkiksi viidennen sukupolven langattomilla datayhteyksillä (5G-verkoilla), jotka mahdollistavat suurempien datamäärien nopeamman siirron (Redana & Kaloxyllos 2016). IoT-verkon kehittyminen on ollut yksi suuri Industry 4.0 mahdollistavista tekijöistä (Wielki 2017). Sen kehittyminen kuitenkin vain mahdollistaa älylaitteiden ja datan tehokkaamman ja turvallisemman käsittelyn ja antaa yrityksille mahdollisuuden kasvattaa niiden tuomia hyötyjä suuremmiksi. Verkon olemassaolo ja kehittäminen ei kuitenkaan tule

muuttamaan yritysten tuotekehitysprosessia tulevaisuudessa huomattavasti, mikäli se on jo ollut osa yrityksen tuotekehitystä. Jos taas IoT ja älylaitteet eivät ole olleet osa yrityksen toimintaa, sen käyttöönotto voi tuoda paljon uusia mahdollisuuksia ja kilpailukykyä. IoT ei siis ole olemassa tai kehity, koska neljäs teollinen vallankumous mahdollistaisi sen, vaan itseasiassa toisin päin.

4.4 Data-analytiikka

Lähimenneisyydessä data-analytiikkaa ovat ihmisen lisäksi hoitaneet tietokoneohjelmat, algoritmit, jotka ovat käyneet läpi yksinkertaista dataa. Algoritmit, kuten tietokoneet perinteisesti, ovat olleet hyviä tekemään ennalta määriteltyjä suoritteita. Niiden avulla on pystytty analysoimaan suurta määrää dataa, kunhan data on ollut laadultaan tasaista ja tietyn tyyppistä, kuten esimerkiksi merkkijonoja. Perinteiset algoritmit pystyvät siis hyvin käymään läpi suurta määrää dataa tietokoneen tehokkuuden mukaan, kunhan kaikki tarpeellinen on määritelty etukäteen algoritmiin, mutta niiden ongelmat tulevat esiin, jos data ei ole tasalaatuista tai tyypiltään samanlaista. Mikäli analysoitava data on sisältänyt merkkijonon lisäksi esimerkiksi symboleja tai videokuvaa, ohjelma ei ole osannut käsitellä dataa. Tällöin ihmisen on tarvinnut analysoida dataa, jota ohjelma ei ole osannut käsitellä ja mahdollisesti muokata ohjelmaa, jotta se vastaisuudessa pystyisi itsenäisesti käsittelemään dataa. (Ismail 2018) Tämäkin on ollut aikaisemmin täysin toimiva tapa monessa suhteessa, mutta mikäli dataa on moninkertaisesti tarjolla ja sitä pitäisi saada analysoitua tehokkaasti, ihmisen pitäisi olla tällöin kehittämässä ohjelmaa koko ajan sekä analysoimassa uutta dataa, eikä tämä ole enää tarpeeksi tehokasta. Datan määrä on kaksinkertaistunut noin 20 kuukauden välein, joten sen määrä on lisääntynyt paljon varsin lyhyessä ajassa (Ahmed & Pathan 2020). Tämän vuoksi ohjelmia on kehitetty niin, että ne oppivat aiemmasta datasta sekä käyttäjästään ja osaavat näin käsitellä myös uudenlaista dataa. Tätä kutsutaan koneoppimiseksi ja tekoälyksi. (IBM 2020)

Tekoälyn käyttö on mahdollistanut myös nykyisen datan tarkemman analysoinnin. McKinsey & Company:n vuonna 2018 julkaiseman tutkimuksen mukaan 400:ssa case-tapauksessa vain 15 %:ssa tapauksista datasta saatiin kaikki hyöty ilman tekoälyä ja 16 %:ssa tapauksia tekoäly oli välttämätön arvon saamiseksi. Tällöin 69 %:ssa tapauksia tekoälyn käyttö paransi prosessin

tehokkuutta vielä välttämättömien tapausten lisäksi. (Chui et al. 2018) Nykyisin dataa on jo siis saatavilla niin suuria määriä, että ihmisten ja yksinkertaisten algoritmien tuomat tehot eivät riitä yksinään analysoimaan kaikkea dataa ja saamaan siitä kaikkea mahdollista tietoa käyttöön. Varsinkin aloilla, joiden tuotteissa on käytössä älyteknologia, dataa on saatavilla niin paljon, ettei siitä saa vastaavaa hyötyä ilman tekoälyä.

Tulevaisuudessa jokainen suuryritys tulee käyttämään tekoälyä big datan läpi käymiseksi ja sen raakadatan informaatioksi muuttamisessa, sillä Industry 4.0 myötä kasvavan datan määrän analysoinnille ei ole parempaa työkalua. Tekoälylle tulee myös paljon muita tehtäviä tuotteista saatavan ja kokoa alan big datan analysoinnin lisäksi. Tekoälyn avulla voidaan analysoida esimerkiksi videoita ja kommentteja internetistä, tuotantokoneiston toimintaa, toimitusketjun toimintaa ja 3D-mallien toimivuutta. CPS-verkoston myötä yritysten on myös kannattavaa laajentaa tekoälyn käyttökohteita lähes kaikkeen yrityksen toimintaan, sillä mitä suurempi osuus on yhdistettynä verkostoon, sitä suurempaa osaa toiminnasta voidaan tarkastella ja optimoida tietokoneen ja tekoälyn avulla. Yrityksen käyttämän tekoälyn edistyksellisyys tulee myös olemaan datan määrän lisäksi kilpailuedun tuoja, sillä ilman datan laadukasta analysointia datan arvo laskee. Datan määrä ja sen analysointityökalut ovat tulevaisuudessa siis yhdessä merkittävässä roolissa ja huomattavasti vähemmän arvokkaita ilman toista.

4.5 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Tietokoneavusteinen suunnittelu on ollut yksi tärkeimmistä työkaluista tuotekehitysprosessissa. Tätä työkalua voi käyttää fyysisiä tuotteita suunnitellessa alasta ja tuotteesta riippumatta, olipa kyseessä sitten suuri risteilijä, matkapuhelin, lääke tai vaate. Computer-aided design -ohjelmilla eli CAD-ohjelmilla tuotteesta voidaan tehdä kaksiulotteinen (2D) malli, kolmiulotteinen (3D) malli, suorittaa numeerista laskentaa (NC) ja simulaatioita. Tuotteen suunnitteluvaiheessa tuotteesta on hyödyllistä tehdä tietokoneella kolmiulotteinen malli, jonka avulla saadaan ensinnäkin käsitys, miltä tuote näyttää sekä paljon tietoa sen ominaisuuksista. Tämä malli on paljon nopeampi ja halvempi tehdä suhteessa fyysisen tuotteeseen. Myös mikäli tuote ei saa ensimmäisellä mallinnuskerralla lopullista muotoa, sitä on helppo ja nopea muokata tietokoneella. (Bernstein 2020) Mallin avulla voidaan simuloida monia asioita suunnitteluun ja

valmistamiseen liittyen. Nämä simulaatiot kertovat esimerkiksi, mitä osia ja työkaluja tuotteen valmistamiseen tarvitsee sekä miten suorittaa kokoonpano ja moni valmistusvaihe parhaiten. Kun vaiheet ovat ennalta tiedossa, niitä voi optimoida jo ennen kuin itse tuotanto alkaa. Optimointia voi toteuttaa monella eri tavalla. Mikäli tuotteen on tarkoitus kestää rasituksia, voidaan tietokoneen avulla toteuttaa rasituskokeita 3D-mallin parametrien pohjalta. Mikäli tuote kestää suunnitellun rasituksen hyvin, siitä voi mahdollisesti poistaa hieman materiaalia tehden siitä kevyemmän ja edelleen paremman käyttötarkoitukseensa. Tämän kaltaiset optimoinnit tapahtuvat automaattisesti tietokoneen toimesta. Lopputuloksena käyttäjä näkee suunnittelemaansa tuotteesta tietokoneen optimoiman version. (Bi & Wang 2020)

Tulevaisuudessa CAD-ohjelmistot ovat edelleen hyödyllisiä työkaluja, mutta niiden käyttö muuttuu. Ihmisen tuoma panostus pienenee. Ohjelmistoilla on edelleen tarkoitus luoda kolmiulotteisia malleja tuotteista, mutta mallien luominen tapahtuu pitkälti tietokoneen ja tekoälyn avulla. Lisääntyneen datan määrän ja analysoinnin pohjalta tietokone kykenee luomaan valmiiksi optimoituja vaihtoehtoja tuotteista, jotka olisivat dataan perustuen hyviä. (Jordan 2020) Ennen tekniikan hioutumista täysin ja prosessin autonomisoitumista, ihmiselle jää kuitenkin rooli tehdä ratkaisu designin valinnasta, jotta varmistetaan, että tuotteesta tulee myös ihmisten mielestä hyvä. Tämäkin valintaprosessi tulee todennäköisesti siirtymään tietokoneelle enimmäkseen ajan myötä, kun tekoäly on saanut tarpeeksi paljon kokemusta ihmisten tekemistä valinnoista. (Gaget 2018)

3D-mallien luonne tulee muuttumaan myös. Perinteisesti mallin on saanut nähdä esimerkiksi tietokoneen ruudulla tai valkokankaalla, mutta virtuaalinen todellisuus (Virtual Reality, VR) ja lisätty todellisuus (Augmented Reality, AR) mahdollistavat mallien näkemisen todellisessa koossa ja jopa ympäristöön liitettynä ikään kuin ne olisivat olemassa. Tällöin kehityksestä vastaavien henkilöiden on jälleen helpompi muodostaa käsitys tuotteesta ja sen ominaisuuksista sekä mahdollisesti tehdä muokkauksia suunnitelmiin kokemustensa perusteella. (Feeman et al. 2018) Samaa mallia voidaan myös hyödyntää tulevaisuudessa tuotteen elinkaaren muissa vaiheissa. Fyysisistä tuotteista jätetään muistiin niin sanottu digitaalinen kaksonen (digital twin), joka nimensä mukaan on identtinen digitaalinen malli kyseisestä tuotteesta. Malli voi olla yhteydessä fyysiseen tuotteeseen jopa reaaliaikaisesti, joten sen avulla voidaan ratkaista tuotteeseen liittyviä ongelmia vielä kauan tuotteen luovuttamisen jälkeen ja mahdollisesti,

vaikka sille olisi tehty muutoksia valmistuksen jälkeen. Sen avulla yritys voi siis mallintaa juuri kyseistä tuotetta myöhemmin esimerkiksi vian ilmaantuessa ja mallien avulla voidaan kouluttaa työntekijöitä esimerkiksi suorittamaan kokoonpanoa tai huoltoa, ilman tuotteiden fyysistä läsnäoloa tai olemassaoloa. (Tao et al. 2019) Kyseistä teknologiaa on jo käytössä muun muassa laivanrakennusteollisuudessa. (Isoniemi 2020) Tällöin esimerkiksi laivoja huollettaessa huoltohenkilöstön ei tarvitse paikan päällä tutustua laitteistoon suuremmin, sillä lähes koko tilanne on voitu simuloida ja harjoitella jo etukäteen digitaalisen kaksosen ja virtuaalitodellisuuden avulla.

4.6 Lisävä valmistus

Lisävä valmistus, arkikielessä paremmin tunnettu 3D-tulostus, on lisääntynyt suuryritysten käytössä paljon viime aikoina teknologian kehityttyä. Tämän valmistusmetodin avulla yritykset pystyvät valmistamaan monimutkaisempia ja käyttökohteeseen paremmin sopivia tuotteita, sillä toisin kuin perinteisessä vähentävässä valmistuksessa, kuten jyrinnässä, lisäävässä valmistuksessa ei ole geometrisia rajoitteita. Lisäävän valmistuksen avulla voidaan esimerkiksi valmistaa ontto ja eheä pallo, jota ei vähentävällä valmistamisella voida valmistaa, sillä pallon sisään ei pääse työkalulla tekemättä reikää pallon pintaan. Tämän takia tuotteet voidaan suunnitella käytäntö edellä, eikä niinkään pohtia, voidaanko tuotetta valmistaa. (Gibson et al. 2009) Tämän ominaisuuden ansiosta valmistettavan osan tai tuotteen ominaisuudet ovat voineet parantua monella eri tavalla. Esimerkiksi osan kokonaispaino on usein pienempi, mikäli osaa ei tarvitse valmistaa monesta irrallisesta osasta ja liittää yhteen. Tällöin myös osan tai tuotteen kokoonpanoon kuluu vähemmän aikaa. Voi siis olla, että aiemmin monesta palasta koottu osa ei kaipaakaan kokoonpanoa enää ollenkaan. Samalla osan kestävyys paranee, sillä osa on saumattomana rakenteellisesti eheä. Saumat ovat monesti osan heikkoja kohtia, joista esimerkiksi murtuminen voi saada alkunsa rasituksen johdosta. Lisävä valmistus on näiden ominaisuuksien ansiosta tullut osaksi tuotekehitystä ja tuotantoa ensin erityisesti aloilla, jossa on tarpeen käyttää parasta mahdollista teknologiaa, kuten esimerkiksi avaruusalalla (Lindwall et al. 2017). Ominaisuuksien ansiosta lisäävää valmistusta on alettu käyttämään myös muissa korkean teknologian yrityksissä vähintään tuotekehityksen työkaluna. Lisäävän valmistuksen

avulla tuotteiden testaaminen prototyyppien muodossa on nopeampaa, halvempaa, helpompaa ja tarkempaa kuin aikaisemmin. (Gibson et al. 2009)

Menetelmien kehityttyä lisäävä valmistus on alkanut haastamaan perinteisiä valmistusta. Aikaisemmin lisäävässä valmistuksessa käytettävät materiaalit ovat olleet hyvin rajallisia, mutta nykyisin käytössä oleviin materiaaleihin kuuluu jo esimerkiksi monet polymeerit, sementti, suklaa, ruostumaton teräs, titaani ja alumiini. (Bourell et al. 2017) Näiden lisäksi menetelmällä pystytään myös tulostamaan elävää kudosta, kuten sisäelimiä ja luita (Östman 2019). Materiaalien lisääntyminen lisää teknologian käyttökohteita merkittävästi. Tällöin menetelmää voidaan käyttää monella alalla. Materiaalimahdollisuuksien kehittymisen lisäksi laitteiden kokoa pystytään hyvin joustavasti kasvattamaan, joten valmistusmenetelmä ei rajoitu vain pienille kohteille, kuten älypuhelimien piirilevyille tai silmälasien sankoihin. Kokoa kasvattamalla on onnistuttu valmistamaan kokonaisia autoja ja rakennuksia. (Sakin & Kiroglu 2017; Talagani et al. 2015) Kaikkia materiaaleja ei kuitenkaan voida tulostaa, eikä varsinkaan samalla kalustolla, vaan menetelmiä ja yleensä tulostuslaitetta on säädettävä tai vaihdettava tulostettavan materiaalin mukaan. Esimerkiksi betonia voidaan pursottaa ilman lämmitystä, mutta muovi pitää sulattaa ennen pursotusta. Metallien pursottaminen taas vaatisi erittäin korkeita lämpötiloja, eikä se olisi kovin käytännöllistä. Metallia tulostettaessa menetelmänä käytetäänkin useimmin niin sanottua jauhepetitulostusta, jossa korkeatehoinen laser- tai elektronisäde sulattaa pienen kerroksen metallijauhetta aiemman kerroksen päälle. Tällöin tarvittava energia saadaan kohdistettua tarkemmin haluttuun paikkaan ja tällöin energiaa ei mene hukkaan eikä metallin tarvitse olla nesteenä kauaa. Näin ollen metalli voi jäähtyä erittäin nopeasti, sekä vastaanottaa uutta kerrosta. (Buchanan & Gardner 2019) Toinen lisäävän valmistuksen pullonkauloista on ollut tulostusprosessiin kulunut aika. Tuotekehityksessä prototyyppien valmistukseen käytetty kokonaisaika on kuitenkin monesti lyhyempi kuin perinteisin menetelmin valmistetun prototyypin valmistaminen, mutta osien valmistuksessa tuotantoon, massatuotantoon suunnitellut ja käytetyt koneet ovat nopeampia. Lisäävästä valmistuksesta prototyyppien valmistamisessa ja koestuksessa tuotekehityksessä käytetään termiä ”rapid prototyping” (RP), nopea koerakentaminen. Menetelmä on hyvin laajalti käytössä suuryrityksien tuotekehityksessä sen loistavien ominaisuuksien ansiosta. (Gibson et al. 2009)

Tulevaisuudessa tulostusprosessiin käytettävä aika tulee lyhenemään tulostusmenetelmien ja materiaalmahdollisuuksien kehityksen ansiosta, mutta ajan lyheneminen on suhteessa vähemmän merkityksellistä, sillä massatuotantoon tarkoitettulla kalustolla ei voida jatkuvasti olla tekemässä erilaista tuotetta. Tässä on lisäävän valmistuksen tärkein ominaisuus tulevaisuuden kannalta. Koska kuluttajat haluavat räätälöityjä tuotteita, tuotteiden suunnittelu- ja tuotantoprosessia on muutettava niin, että tämä on mahdollista kustannus- ja resurssitehokkaasti. (Pessoa et al. 2020) Lisäävä valmistus mahdollistaa jopa yhden tuotteen valmistuserän, sillä tuotannon valmistusprosessin tehokkuus ei ole riippuvainen valmistuserän koosta. Tällöin asiakkaille voidaan tarjota räätälöityjä tuotteita kilpailukykyiseen hintaan, sillä niiden valmistaminen ei vaadi uusia koneinvestointeja tai uudelleen järjestelyjä, vaan digitaalisen mallin muuttamista. Samoilla tuotantolaitteilla pystytään tällöin myös halutessa valmistamaan prototyyppejä ja myytäviä tuotteita tehokkaasti. (Saniuk et al. 2020) Tekoälyn ennustetaan myös olevan kykeneväinen tuottamaan malleja saamansa datan perusteella ja ohjeistamaan 3D-tulostimia valmistamaan paranneltuja tuotteita autonomisesti osana CPS-verkosta (Santos et al. 2017). Monien materiaalien ja nopeiden tulostusten avulla tuotekehityksen prototyyppejä on helppoa, nopeaa ja halpaa valmistaa. Näin ollen koko tuotekehitykseen kulunut aika lyhenee. Lisäävä valmistus on myös energiatehokkaampaa sekä sen käytössä tulee vähemmän jätettä, joten se myös auttaa osaltaan vähentämään yritysten ympäristörasituksia. (Sakin & Kiroglu 2017)

4.7 Kilpailijoiden tuotteiden analysoiminen

Kaikkia tuotantoon päätyviä tuotteita ei ole tarvinnut keksiä ja kehittää itse. Kilpailijan tuotteita analysoimalla ja niistä mallia ottamalla myös kilpailijan hyvästä tuotekehityksestä on mahdollista hyötyä. Tätä metodia kutsutaan takaisinmallinnukseksi (reverse engineering) (Shanmugam & Kanthababu 2019). Kilpailijan uutta lanseerausta tutkimalla voidaan saavuttaa etuja kuten se, että tuotekehitykseen ei tarvitse itse panostaa niin suuria määriä resursseja ja tällöin lopputuotteeseen ei kohdistu niin paljon suunnitteluun ja kehitykseen käytettyä rahaa ja aikaa. Tällöin tuote on halvempi mutta ei välttämättä yhtään sen huonompi. Päinvastoin tuotteen pitää olla yleensä joko parempi kuin kilpailijan aiemmin julkaisema tuote tai sen tarvitsee olla halvempi, jotta asiakas valitsisi myöhemmin markkinoille tulleen tuotteen. (Raja

& Fernandes 2008) Yritys voi myös kohdistaa muualle resurssejaan ja kehittää yritystoimintaansa jollain muulla osa-alueella samaan aikaan, kun kilpailija keskittyy uuden tuotteen kehittämiseen.

Nykyisin takaisinmallinnusta sovelletaan monella alalla ja monissa yrityksissä (Bhatti et al. 2018). Fyysisiä tuotteita myyville yrityksille takaisinmallintaminen vaatii fyysisestä kappaleesta digitaalisen mallin luomista. Tähän on olemassa monia työkaluja, joiden avulla fyysisestä kohteesta saadaan digitaalinen malli. Kehittyneimmillä työkaluilla, kuten 3D-laserskannereilla kappale skannataan nopeasti koskematta siihen, ikään kuin valokuvaamalla, ja tämän avulla saadaan digitaalinen malli. Tämän jälkeen tietokoneella voidaan luoda CAD-malli, jonka avulla voidaan helposti tutkia, millaisia ominaisuuksia kappaleella on ja voidaanko niitä parantaa sekä muokata muuten omiin tarpeisiin sopiviksi. (Shanmugam & Kanthababu 2019) Monesti tuotetta on myös hieman muokattava jo siitä syystä, ettei oma tuote olisi täysin samanlainen kuin kilpailijan, jos ja kun kilpailijan tuote tai sen ominaisuuksia on patentoitu (Upcounsel 2021). Nykyisin monen osan voi digitaalisen mallin avulla myös tuottaa uudelleen 3D-tulostimella.

Vallankumouksen jälkeen on todennäköistä, että myös tämä menetelmä tulee olemaan paremmin integroitu yrityksen toimintaan ja CPS-verkostoon. Esimerkiksi konenäön kehittyessä skannaamisesta tulee jo lähtökohtaisesti tarkempaa ja nopeampaa. Sen lisäksi on luontaista, että tekoälyä tullaan käyttämään myös enemmän apuna mallintamaan ja optimoimaan skannattuja kuvia. (Buonamici et al. 2018) Näillä tavoin myös tästä prosessista saadaan tarkempi ja nopeampi. Menetelmän käyttö itsessään tulee siis todennäköisesti muuttumaan hieman samalla tavalla kuin 3D-mallinnus. Käytön määrää taas on vaikeampi arvioida, sillä yritysten tietomäärä ja omat ideat lisääntyvät eri tahtiin, jolloin tuotekehityksen tasoissa ja määrissä on eroja jatkossakin. Tällöin takaisinmallinnusta tullaan tarvitsemaan edelleen.

Taulukko 1. Kooste tuotekehityksen työkalujen kehittämisestä

Työkalu	Muutos	Tärkeys tulevaisuudessa
Älytuotteet	Määrä lisääntyy huomattavasti, tiedonkeräysominaisuudet ja kommunikointi paranevat, joten dataa on saatavilla paljon enemmän.	Erittäin tärkeä
Kyselytutkimukset ja haastattelut	Suorat haastattelut ja kyselytutkimukset vähenevät ja niitä korvataan internetin kuten esimerkiksi sosiaalisen median kommenttien analysoinnilla, sekä älylaitteista saatavalla datalla.	Tärkeä
Esineiden internet	IoT kykenee sisältämään ja siirtämään enemmän dataa. Itse IoT ei muutu merkittävästi Industry 4.0:n takia.	Erittäin tärkeä
Data-analytiikka	Perinteiset algoritmit korvataan tekoälyllä, jonka ansiosta enemmän dataa voidaan analysoida ja datasta saa enemmän arvokasta informaatiota.	Erittäin tärkeä
Tietokoneavusteinen suunnittelu	3D-mallinnus muuttuu automaattisen lisäksi autonomiseksi tekoälyn ansiosta. Malleja voidaan paremmin hyödyntää virtuaalisen sekä lisätyn todellisuuden avulla.	Erittäin tärkeä
Lisäävä valmistus	Valmistusteknologia nopeutuu, materiaalmahdollisuudet parantuvat. Tällöin tuotekehitystä ja tuotantoa voidaan toteuttaa entistä paremmin 3D-tulostimilla.	Erittäin tärkeä
Kilpailijoiden tuotteiden analysointi	Kilpailijoiden tuotteita on nopeampi ja tarkempi takaisinmallintaa tietokoneavusteisuuden ja teknologian kehittyessä.	Tärkeä

5 TULOKSET

Mitä Industry 4.0 käsitteenä tarkoittaa?

Neljännän teollisen vallankumouksen vaikutus korkean teknologian suuryritysten tuotekehitykseen tulee olemaan suuri. Tämä johtuu siitä, että vallankumouksen tarkoituksena on lisätä datan määrää ja analysointia huomattavasti, ja näiden ansiosta tuotantoa pystytään toteuttamaan tehokkaammin asiakkaiden preferenssien mukaan. Pitkän tähtäimen tavoitteena yrityksillä on muodostaa yhteinen CPS-verkosto fyysisten ja digitaalisten tuotantotekijöiden välille, jonka avulla voidaan autonomisoida koko arvoketju. Monelle yritykselle tämä tarkoittaa toiminnan uudelleenjärjestelemistä kokonaisuudessa, eikä vain tuotekehityksen osalta, sillä kattavan verkoston saavuttamiseksi tuotantokoneistoa ja muita työkaluja on uudistettava niin, että ne ovat yhteydessä toisiinsa ja välittävät toisilleen tarpeeksi tietoa toiminnasta reaaliaikaisesti. Tämä kokonaisvaltainen muutos on teollisuuden neljäs vallankumous. Industry 4.0 termiä käytetään nykyisin nimenä neljännelle vallankumoukselle, eli tarkoitus on periaatteessa sama, mutta termin alkuperä on Saksasta, jossa ajatus tästä toimintamallista on keksitty ja nimetty Industry 4.0:ksi.

Millaisia ovat nykyiset ja tulevat tuotekehityksen työkalut fyysisiä tuotteita valmistavissa korkean teknologian suuryrityksissä?

Tuotekehityksen osalta yritysten toiminta tulee muuttumaan merkittävästi. Tuotekehitysprosessissa käytettävät työkalut ja sen mukana koko prosessi tulee muuttumaan. Industry 4.0 tulee lisäämään tiedon määrää paljon jo lähiaikoina, mutta vielä paljon enemmän tulevaisuudessa, sillä ilmiö ruokkii itse itseään tekemällä datasta tärkeämpää ja tätä kautta sitä on oltava vielä enemmän. Datan määrän odotetaan kasvavan siis lisääntyvällä tahdilla. Tulevaisuudessa dataa pyritään keräämään älytuotteilla mahdollisimman paljon asiakkaasta, tuotteen toiminnasta ja sen toimintaympäristöstä, jotta saadaan selville, miten tuotetta voidaan parantaa ja mitä ominaisuuksia käyttäjä käyttää ja arvostaa eniten. Älytuotteet tulevat osittain korvaamaan tähän asti tärkeinä pidetyt tiedonlähteet kuten kyselytutkimukset ja haastattelut.

Nämä tiedonkeräämismetodit eivät kuitenkaan häviä kokonaan. Molempia tullaan edelleen käyttämään tulevaisuudessa, mutta vähenevässä määrin. Suorien kyselytutkimusten ja haastattelujen sijaan yritykset tulevat analysoimaan internetistä ja erityisesti sosiaalisesta mediasta löytyviä kommentteja ja arvosteluja, joiden sisältö antaa yritykselle arvokasta ja totuudenmukaista informaatiota tuotteen toimivuudesta ilman, että asiakkaiden täytyisi erikseen käyttää aikaa vastaamalla yrityksen kyselyihin. Näiden työkalujen avulla yritys kykenee tietoon perustuen keskittämään resursseja kannattaviin asioihin.

Kuitenkin ennen kuin yritykset pääsevät hyödyntämään älytuotteista saatavaa tietoa, data täytyy siirtää yrityksen käyttöön laitteesta langattomasti ja nopeasti esineiden internetin avulla. Esineiden internet eli IoT sisältää esineiden, kuten älypuhelimien, tietokoneiden, tuotantolaitteiden ja muiden johonkin langattomassa yhteydessä olevien laitteiden, verkoston. Tämän verkoston dataliikenteestä yritykset pyrkivät mahdollisimman hyvin poimimaan heille hyödyllistä dataa, joka voidaan edelleen analysoida arvokkaaksi informaatioksi. Industry 4.0 ei varsinaisesti tule muuttamaan IoT:een toimintaperiaatetta, vaan IoT toimii suurena mahdollistava tekijänä vallankumoukselle. Esineiden internetistä saatavan datan analysointi tulee tapahtumaan kasvavassa määrin tekoälyn avulla, sillä ihmisten ja koneoppimista hyödyntämättömien algoritmien analysointiteho ei tule ainakaan tulevaisuudessa riittämään. Tekoäly on jo nykyisin monen yrityksen tärkeä työkalu, jonka avulla voidaan saada samasta datasta enemmän informaatiota, mutta tulevaisuudessa sen oletetaan olevan ehdottoman tärkeä työkalu. Sen edistyneisyydestä ennustetaan myös tulevan yksi kilpailuedun luojista, sillä mitä paremmin yritys tietää ennalta mitä sen tulee tehdä, sen parempaa tulokseen sillä on mahdollisuus päästä.

Tietoa kilpailijoista ja heidän tuotteistaan tullaan myös edelleen tarvitsemaan tulevaisuudessa. Takaisinmallinnusta on nykyisin enemmän tai vähemmän kaikilla yrityksillä, jotta he saavat käsityksen, mitä kilpailija tekee ja miten se onnistuu markkinoilla. Tätä kautta voidaan oppia ja saada ideoita omille tuotteille. Takaisinmallinnus fyysisestä tuotteesta tulee muuttumaan tarkemmaksi, sillä konenäkö ja muu tarvittava teknologia kehittyy koko ajan, mutta samoin takaisinmallinnuksesta saatava tieto tulee tarkentumaan, sillä sitä on myös mahdollista analysoida paremmin tietokoneen ja erityisesti tekoälyn avulla.

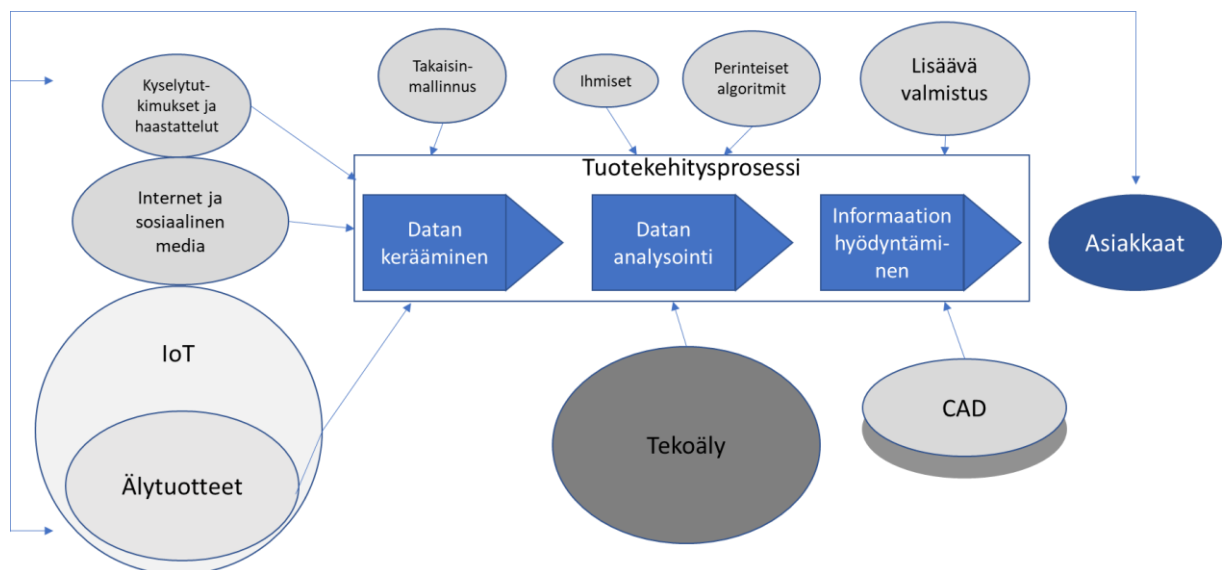
Saatua tietoa hyväksikäyttäen tuotteita suunnitellaan monien työkalujen avulla ja 3D-mallinnus on yksi yleisimmistä. Sen avulla tuotesuunnittelijat saavat käsityksen tuotteesta ja sen ominaisuuksista ennen kuin tuotetta on edes valmistettu. Tämä nopeuttaa ja tekee uuden tuotteen luomisesta paljon halvempaa, sillä 3D-mallin avulla tuotetta voidaan helposti tutkia ja muokata. Tulevaisuudessa 3D-mallinnus tulee myös tapahtumaan enemmän automaattisesti ja jopa autonomisesti saatavan tiedon avulla. Tällöin tuotteiden ominaisuudet ovat tietokoneen ennalta määrittämät ja ihmiset voivat keskittyä analysoimaan tuotetta inhimillisesti. 3D-malleista on myös helpompi saada kokonaisvaltaisempi kuva, sillä niiden tarkasteluun voidaan käyttää virtuaali- ja lisättyä todellisuutta, jotka antavat vielä ruudulla nähtävää mallia paremman havainnollistuksen. Näiden avulla tuotteen valmistamiseen kuluu myös myöhemmässä vaiheessa vähemmän aikaa, sillä kokoonpanijoita ja muita työntekijöitä voidaan kouluttaa työskentelemään tuotteen kanssa virtuaalisesti ennen oikeaa tilannetta.

Prototyypin valmistus tulee kehittymään myös nykyisestä. Lisävä valmistus on otettu jo monissa yrityksissä käyttöön etenkin tuotekehityksen työkaluna. 3D-tulostimet mahdollistavat uusien muotojen ja tuotteiden helpon valmistamisen, sillä ne eivät vaadi suurta massatuotantokoneistoa eivätkä toisaalta käsityön ammattilaista ja niiden avulla pystytään valmistamaan tuotteita ilman geometrisia rajoitteita. Lisäävän mallinnuksen avulla voidaan siis nopeasti ja halvasti valmistaa tarkkoja ja toimivia prototyyppijä. Tulevaisuudessa lisäävän mallinnuksen materiaalivaihtoehdot sekä valmistusnopeus tulevat kasvamaan ja Industry 4.0 motivoi yrityksiä kehittämään teknologiaa, jotta räätälöityjä tuotteita olisi mahdollista myös valmistaa asiakkaille 3D-tulostamalla. 3D-tulostuksen oletetaan tulevan osaksi tuotteiden tuottamista suuremmassakin mittakaavassa.

Miten fyysisiä tuotteita valmistavien, korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessi on toiminut tähän asti ja miten neljäs vallankumous muuttaa sitä?

Fyysisiä tuotteita valmistavien korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessi on alasta riippuen vienyt paljon aikaa ja ollut näin ollen myös kallis prosessi. Prosessia on hankaloittanut monilla aloilla informaation vaihteleva laatu ja sen vähäinen määrä, joka on tehnyt tuotteiden suunnittelusta suurelta osaa arvailua, jota on pitänyt kokeilla markkinoilla ja välillä erehtymisen

kautta kehittää tuotteita. Mikäli dataa ei ole saatu suoraan tuotteista, suoritusta ja menestymistä on pitänyt seurata esimerkiksi analysoimalla myyntilukuja. Nämä eivät välttämättä kerro perusteita miksi tuote käy tai ei käy kaupaksi. Tällöin on saattaa olla tarve kysyä asiaa asiakkailta esimerkiksi haastattelun tai kyselytutkimuksen avulla. Industry 4.0 on tarkoitus mahdollistaa yritysten saada dataa ja sen kautta informaatiota, joka auttaa yrityksiä tunnistamaan paremmin asiakkaidensa tarpeita. Lisäksi informaatio mahdollistaa yritysten keskittymisen kannattavampiin tuotteisiin sekä työkalujen kehittämisen, jotta prosessi olisi kokonaisuudessaan lyhyempi, tehokkaampi ja täten halvempi. Kehitys tulee monilla yrityksillä koskemaan koko prosessia, eli datan keräämistä, analysointia ja informaation hyödyntämistä. Kaikkien osa-alueiden työkalut tulevat kehittymään. Työkalut tulevat käyttämään kasvavassa määrin tekoälyä, joka kykenee käyttämään työkaluja optimaalisesti ja antamaan näin parempia lopputuloksia tuotekehityksessä. Lopullisena tarkoituksena on pystyä nopeasti tarjoamaan asiakkaille laadukkaita ja räätälöityjä tuotteita edelleen kilpailukykyiseen hintaan.



Kuva 4. Tuotekehitysprosessi lähitulevaisuudessa

Kuvassa 4 on tiivistettyä tuotekehitysprosessi aiemmin mainittuun kolmeen osaan, ja näihin osiin on osoitettu työssä käytyjen työkalujen paikka prosessissa. Kuvassa on esitettyä neljännen teollisen vallankumouksen muokkaamaa tuotekehitysprosessi lähitulevaisuudessa. Työkalujen tärkeyttä kuvassa havainnoidaan niiden muodon koon avulla. Suurempi koko tarkoittaa tärkeämpää työkalua.

6 YHTEENVETO

Vuonna 2011 Saksassa esiin nousseen Industry 4.0-termin ja konseptin levittyä, kyseistä termiä on alettu käyttämään yleisesti neljännessä teollisesta vallankumouksesta puhuttaessa. Tämän vallankumouksen tarkoituksena on vastata ihmisten kasvavan kulutuksen tarpeisiin mahdollistamalla tuotekehitysprosessin ja tuotantoprosessin nopeutuminen ja automatisoinnin lisäksi autonomisointi. Yritysten koko arvoketjun on tarkoitus yhdistyä kyberfyysiseksi systeemiksi, jossa kaikki arvoketjun osapuolet, kuten asiakkaat, hankintatoimi ja tuotanto, ovat yhteydessä toisiinsa tietokoneiden avulla. Mikäli koko arvoketju saadaan yhdistettyä, tietokone voi pitää huolen sen toiminnasta jopa ilman ihmisen panosta. Tällöin koko arvoketjun toimintaa voidaan optimoida ja sen tuloksena säästetään aikaa ja rahaa sekä lopputuloksen odotetaan myös olevan parempi.

Vallankumouksen odotetaan siis autonomisoivan myös korkean teknologian suuryritysten tuotekehitysprosessin hyvin suurelta osalta tai jopa kokonaan. Tämä tulee onnistumaan kehittämällä koko tuotekehitysprosessia datan keräämisestä informaation hyödyntämiseen ja näissä vaiheissa tarvittavia metodeja ja työkaluja. Prosessin nopeuttaminen lähtee hyödyllisen informaation asiakkaasta keräämisestä jo aikaisessa vaiheessa. Älytuotteiden, internetin, sosiaalisen median välittämän datan avulla yritykset saavat sunnattoman määrän dataa ihmisten preferensseistä, tuotteiden toimivuudesta ja toimintaympäristöistä. Saatu data on niin sanotusti rikasta, eli se sisältää paljon hyödyllistä tietoa. Tätä dataa analysoimalla erityisesti tekoälyn avulla yritykset saavat tietää, mitä heidän asiakkaansa tarvitsevat ja arvostavat ilman, että heidän tarvitsisi tätä erikseen kysyä haastatteluissa tai kyselytutkimuksissa. Data-analyysin avulla on siis mahdollista lähteä suunnittelemaan ja tuottamaan tarkemmin tuotteita, joita asiakkaat haluavat.

Tekoäly liittyy olennaisesti myös moneen muuhun tuotekehitysprosessin vaiheeseen ja työkaluun. Tekoälyn avulla tuotteet saavat ensisijaisen muodon, sillä tekoäly pystyy jo luomaan kolmiulotteisia malleja tulevasta tuotteesta ja ottamaan huomioon siltä vaaditut ominaisuudet. Tämän ansiosta tuotteen suunnitteluun kuluu vähemmän aikaa ja tulos ei sisällä inhimillisiä virheitä. Suunnitelmaa on myös helpompi ja nopeampi toteuttaa nopean koerakentamisen eli lisäävän valmistuksen avulla. Tällöin tuote voidaan 3D-tulostaa fyysiseksi tuotteeksi nopeasti

ja helposti, ilman käsityötä tai suuria koneinvestointeja. 3D-mallintamisen ansiosta yritykset ovat tulevaisuudessa myös kykeneväisiä valmistamaan jopa yhden tuotteen valmistuseriä kustannustehokkaasti.

Tämän kehityksen avulla tuotekehitysprosessista tulee tehokkaampi, nopeampi ja halvempi. Kehityksen avulla pystytään tavoittamaan kohdemarkkinat ja asiakkaiden tarpeet paremmin valmistamalla heille räätälöityjä tuotteita kilpailukykyiseen hintaan. Juuri tätä yritykset tällä hetkellä tarvitsevat, jotta heiltä vaadittuun kysyntään voidaan vastata. Samalla kun tuotteet vastaavat asiakkaiden tarpeita paremmin, esimerkiksi hukkaan menneiden tuotteiden määrä vähenee ja tällöin yritys rasittaa myös ympäristöä vähemmän.

7 LÄHTEET

Ahmed, M., Pathan, A.K., (2020). Data analytics. Boca Raton; London; New York: CRC Press.

Allison, C., (16.10.2018). Semi-precious: The best smart jewelry. Wareable. [verkkolähde] [viitattu 4.3.2021] Saatavissa: <https://www.wareable.com/fashion/semi-precious-the-best-smart-jewelry-582>

Apilo, T., Taskinen, T., (2006). Innovaatioiden johtaminen. VTT Technical Research Centre of Finland.

Apple, (2021). Small chip. Giant leap. [verkkolähde] [viitattu 6.4.2021] Saatavissa: <https://www.apple.com/mac/m1/>

Aslam, F., Aimin, W., Li, M., Rehman, K., (2020). Innovation in the era of IoT and Industry 5.0: absolute innovation management (AIM) framework. MDPI AG, 11(2)

Bashir, N., Papamachail, K.N., Malik, K., (2017). Use of social media applications for supporting new product development processes in multinational corporations, 120, s. 176.

Bernstein, L., (11.10.2020). What is computer-aided design (CAD) and why it's important. Procore. [verkkolähde] [viitattu 25.2.2021] Saatavissa: <https://www.procore.com/jobsite/what-is-computer-aided-design-cad-and-why-its-important/>

Bhatti, A., Syed, N.A., John, P., (2018). Chapter 5 - Reverse engineering and its applications. In: D. Bahr and V. Azevedo, eds, Omics Technologies and Bio-Engineering. Academic Press, s. 95-110.

Bi, Z., Wang, X., (2020). Computer aided design and manufacturing. New York, N.Y: The American Society of Mechanical Engineers.

Boersma, E., (4.4.2016). How Tesla Motors is changing product development & consumer expectations. LinkedIn. [verkkolähde] [viitattu 2.3.2021] Saatavissa: <https://www.linkedin.com/pulse/how-tesla-motors-changing-product-development-consumer-eric-boersma>

Bourdell, D., Kruth, J.P., Leu, M., Levy, G., Rosen, D., Beese, A.M., Clare, A., (2017). Materials for additive manufacturing. CIRP annals, 66(2), s. 659-681.

Brown, S.L., Eisenhardt, K.M., (1995). Product Development: Past research, present findings, and future directions. The Academy of Management review, 20(2), s. 343-378.

Buchanan, C., Gardner, L., (2019). Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. Engineering structures, 180, s. 332-348.

Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L., Lapini, A., Volpe, Y., (2018). Reverse engineering modeling methods and tools: a survey. Computer-aided design and applications, 15(3), s. 443-464.

Cooper, R.G., (1990). Stage-gate systems: a new tool for managing new products. Elsevier, 33(3), s. 44-54.

Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., Yin, B., (2018). Smart factory of industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. IEEE, 6, s. 6505-6519.

Chui, M., Manyika, J., Miremadi, M., Henke, N., Chung, R., Nel, P., Malhotra, S., (2018). Notes from the AI frontier. Washington, DC.

Evans, J.R., Marthur, A., (2018). The value of online surveys: a look back and a look ahead. Internet research, 28(4), s. 854-887.

Feeman, S.M., Wright, L.B., Salmon, J.L., (2018). Exploration and evaluation of CAD modeling in virtual reality. Computer-aided design and applications, 15(6), s. 892-904.

Gaget, L., (12.10.2018). The future of CAD software. MachineDesign. [verkkolähde] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21837248/the-future-of-cad-software>

Gibson, I., Rosen, D.W., Strucker, B., (2009). Additive manufacturing technologies. Boston: Springer.

Giudice, F., La Rosa, G., Risitano, A., (2006). Product design for the environment: a life cycle approach. CRC Press.

Harmsen, H., Grunert, K.G., Bove, K., (2000). Company competencies as a network: the role of product development. The Journal of product innovation management, 17(3), s. 194-207.

Horvat, A., Granato, G., Fogliani, V., Luning, P.A., (2019). Understanding consumer data use in new product development and the product life cycle in European food firms – An empirical study. Food quality and preference, 76, s. 20-32.

IBM Cloud Education, (15.7.2020). Machine Learning. IBM. [verkkolähde] [viitattu 6.3.2021] Saatavissa: <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning>

Institute of Entrepreneurship Development, (30.6.2019). The 4 Industrial Revolutions. [verkkolähde] [viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>

Ismail, K., (26.10.2018). AI vs. algorithms: What's the difference? CMSWire. [verkkolähde] [viitattu 6.3.2021] Saatavissa: <https://www.cmswire.com/information-management/ai-vs-algorithms-whats-the-difference/>

Isoniemi, J., (4.12.2020). Virtuaalitodellisuus tekee tuloaan teollisuuteen. Tekniikka&Talous. 40/2020 s. 4

ITU-T, (2012). Overview of the Internet of Things.

Jordan, J., (7.9.2020). All you need to know about the future of 3D modeling. Narrasoft. [verkkolähde] [viitattu 25.2.2021] Saatavissa: <https://narrasoft.com/all-you-need-to-know-about-the-future-of-3d-modeling/>

Knud, L., (19.11.2020). State of the IoT 2020: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time. IoT Analytics. [verkkolähde] [viitattu 11.3.2021] Saatavissa: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/>

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., Hoffmann, M., (2014). Industry 4.0 business & information systems engineering, 6(4), s. 239-242.

Li, C.H., Lau, H.K., (2017). A critical review of product safety in industry 4.0 applications. IEEE, s. 1661-1665.

Lindwall, A., Dordlofva, C., Öhrwall Rönnbäck, A., (2017). Additive manufacturing and the product development process. International Conference on Engineering Design, Vancouver, Canada, Volume: 5

Loomis, D.K., Paterson, S., (2018). A comparison of data collection methods: Mail versus online surveys. Journal of leisure research, 49(2), s. 133-149.

Lubik, S., Lim, S., Platts, K., Minshall, T., (2012). Market-pull and technology-push in manufacturing start-ups in emerging industries. Journal of manufacturing technology management, 24(1), s. 10-27.

Mani, I., Chouk, I., (2016). Drivers of consumers' resistance to smart products. Informa UK Limited.

Mattson, C.A., Sorensen, C.D., (2019). Product development - Principles and tools for creating desirable and transferable designs.

Mazon, S., (1995). The history of the microcomputer-invention and evolution. Proceedings of the IEEE, 83(12), s. 1601-1608.

Mokyr, J., Strotz, R.H., (2.4.2014). The second industrial revolution, 1870-1914.

Nahvandi, S., (2019). Industry 5.0 - a human-centric solution. MDPI AG, 11(16)

Nobelius, D., (2004). Towards the sixth generation of R&D management. International journal of project management, 22(5), s. 369-375.

NPD Solutions, (2019). Product development toolkit. [verkkolähde] [viitattu 20.4.2021]
Saatavissa: <https://www.npd-solutions.com/npdsoftwaretools/pdtoolkit>

Nunes, M.L., Pereira, A.C., Alves, A.C., (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. Procedia manufacturing, 13, s. 1215-1222.

Pessoa, P., Jauregui, B., Vinicus, M., Juan, M., (2020). Smart design engineering: a literature review of the impact of the 4th industrial revolution on product design and development. Research in engineering design, 31(2), s. 175-195.

Porter, M.E., Heppelmann, J.E., (2015). How smart, connected products are transforming companies the operations and organizational structure of firms are being radically reshaped by products' evolution into intelligent, connected devices. HBR.ORG.

Raff, S., Wentzel, D., Obwegeser, N., (2020). Smart products: conceptual review, synthesis, and research directions. The Journal of product innovation management, 37(5), s. 379-404.

Raja, V., Fernandes, K.J., (2008) Reverse Engineering. 1. Aufl. ed. Springer Verlag London Limited.

Redana, S., Kaloxylou, A., (2016). 5G PPP architecture working group - View on 5G Architecture. Version 1.0. Zenodo.

Rojko, A., (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. iJIM – Vol. 11, No. 5

Sakin, M., Kiroglu, Y.C., (2017). 3D Printing of buildings: construction of the sustainable houses of the future by BIM. Energy procedia, 134, s. 702-711.

Saniuk, S., Grabowska, S., Gajdzik, B., (2020). Personalization of products in the Industry 4.0 concept and its impact on achieving a higher level of sustainable consumption. *Energies* (Basel), 13(22), s. 5895.

Santos, K., Loures, E., Piechincki, F., Canciglieri, O., (2017). Opportunities assessment of product development process in Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 11, s. 1358-1365.

Sawh, M., (16.4.2018). The best smart clothing: From biometric shirts to contactless payment jackets. *Wareable*. [verkkolähde] [viitattu 4.3.2021] Saatavissa: <https://www.wareable.com/smart-clothing/best-smart-clothing>

Schwab, K., (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Cologny/Geneva: World Economic Forum.

Shunmugam, M.S., Kanthababu, M., (2019). *Advances in simulation, product design and development*. Singapore: Springer Singapore Pte. Limited.

Sony, M., Anthony, J., Doughlas, J.A., (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0. *TQM journal*, 32(4), s. 779-793.

Statista, (11/2020). Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030. [verkkolähde] [viitattu 11.3.2021] Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>

Storås, N., (5.3.2021). Mikrosirut loppuivat kesken. *HS Visio*. [verkkolähde] [viitattu 6.3.2021] Saatavissa: <https://www.hs.fi/visio/art-2000007834084.html?share=f0ffab641073471ac7263ad6af7c94dc>

Subin, S., (23.1.2021). Is 2021 finally the year for smart glasses? Here's why some experts still say no. *CNBC*. [verkkolähde] [viitattu 4.3.2021] Saatavissa: <https://www.cnbc.com/2021/01/23/why-experts-dont-expect-smart-glasses-to-surge-in-2021.html>

Sulaiman, Sasono E.J., Susilo S., Suharto, (2017). Factors affecting shipbuilding productivity. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(7), s. 961–975

Suomen virallinen tilasto (SVT), (30.11.2018). Tietotekniikan käyttö yrityksissä 5. Big data. Tilastokeskus. [verkkolähde] [viitattu: 11.3.2021] Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/ict/2018/ict_2018_2018-11-30_kat_005_fi.html

Talagani, F., Dormohammadi, S., Dutton, R., Godines, C., Baid, H., Aabdi, F., Kung, V., Compton, B.G., Simunovic, S., Duty, C.E., Love, L.J., Post, B.K., Blue, C.A., (2015). Numerical simulation of big area additive manufacturing (3D Printing) of a full-size car. *S.A.M.P.E. journal*, 51(4).

Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S.C., Nee, A.Y.C., (2019). Digital twin-driven product design framework. *International journal of production research*, 57(12), s. 3935-3953.

The Editors of Encyclopaedia Britannica, (21.2.2021). Industrial revolution. *Encyclopedia Britannica*. [verkkolähde] [viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>

The World Bank, (2021). Final consumption expenditure (current US\$). [verkkolähde] [viitattu 27.2.2021] Saatavissa: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.CON.TOTL.CD>

Tzokas, N., Hultinek, E.J., Hart, S., (2004). Navigating the new product development process. *Industrial marketing management*, 33(7), s. 619-626.

Upcounsel, (2021). Reverse engineering patent infringement. [verkkolähde] [viitattu 15.3.2021] Saatavissa: <https://www.upcounsel.com/reverse-engineering-patent-infringement>

Wielki, J., (2017). The impact of the internet of things concept development on changes in the operations of modern. *Polish Journal of Management Studies*, 15(1), s. 262-274.

Zahay, D., Griffin, A., Fredericks, E., (2004). Sources, uses, and forms of data in the new product development process. *Industrial marketing management*, 33(7), s. 657-666.

Zorriassantine, F., Wykes, C., Parkin, R., Gindy, N., (2003). A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B, Journal of engineering manufacture, 217(4), s. 513-530.

Östman, J., (12.4.2019). 3D-biotulostimella valmistetaan jo sarveiskalvoa, ja kohta myös ihoa ja ihmisen varaosia. YLE. [verkkolähde] [viitattu 25.3.2021] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10737002>