

Tuotannon työkulun seurannan kehittäminen

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (YAMK), Uudistava johtaminen
2024
Kimmo Kosonen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Kosonen, Kimmo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK Sivumäärä 58	Valmistumisaika 2024
Työn nimi Tuotannon työkulun seurannan kehittäminen		
Tutkinto Insinööri (YAMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Tuotantopäällikkö, Teknoware Oy		
Tiivistelmä <p>Kehitystyön tavoitteena oli tutkia Teknoware Oy:n elektroniikkatuotannossa ilmenevää hukka-aikaa, joka aiheutuu työkulun seurannan puutteellisuudesta ja löytää keinoja työkulun seurannan digitalisoimiseksi sekä esittää parhaat vaihtoehdot digitalisoimisen toteuttamiseksi.</p> <p>Kehitystyö toteutettiin case-tutkimustyönä, joka pitää sisällään osioita kvalitatiivisesta sekä kvantitatiivisista tutkimusotteista. Perusaineisto kehitysprojektiin hankittiin tutkimalla työkulun hukka-aikaa keräyslomakkeella, havainnoimalla töiden kulkupisteitä sekä tutustumalla Lean-filosofian, hukan poistamisen sekä digitalisoitumisen teoriaan.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena syntyi kehitysehdotuksia elektroniikkatehtaan työkulun seurannan parantamiseksi sekä digitalisointivaihtoehtoja parantamisen toteuttamiseksi. Kehitysehdotuksessa otettiin huomioon Teknowarelta saadut rajaukset kustannuksista sekä laajuudesta. Tärkeimmäksi yksittäiseksi huomioksi seurannan digitalisoimiseksi muodostui toiminnanohjausjärjestelmään integroiminen, sillä toiminnanohjausjärjestelmän vaihto tai lisäohjelmien hankkiminen ei ollut mahdollista.</p> <p>Kehitystyön aikana tulleilla pienillä kehitysehdotuksilla parannettiin työkulun seuranta. Nämä parannukset olivat nopeita ja helppoja ohjeistuksia, joilla töiden sijainnista saatiin parempi käsitys elektroniikkatuotannossa. Jo nämä kehitykset helpottavat elektroniikkatehtaan verstpäälliköiden toimintaa.</p> <p>Esitettyjen kehitys- ja digitalisointiehtotusten todettiin tuottavan kustannussäästöjä sekä helpottavan ja nopeuttavan useiden työntekijöiden työtä ja toimintaa. Kehitystyön pohjalta elektroniikkatuotannon työkulun digitalisoimista kehitetään viivakoodeja hyväksi käyttäen. Viivakoodien avulla työt olivat helposti integroitavissa toiminnanohjausjärjestelmään sekä viivakoodilla digitalisoiminen koettiin edullisimmaksi ratkaisuksi, joka antaa riittävästi tietoa töidenkulusta tuotantotehtaassa.</p>		
Asiasanat Lean, digitalisoituminen, tuotanto, työkulun seuranta, hukan poisto, hukka-aika		

Abstract

Author(s) Kosonen, Kimmo	Type of Publication Master's Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 58	
Title of Publication Research on the development of production workflow monitoring		
Name of Degree Master of Engineering (UAS)		
Name, title and organization of the client Production Manager, Teknoware Oy		
Abstract <p>The aim of the development work was to investigate the wasted time in Teknoware Oy's electronics production caused by the lack of workflow monitoring, to find ways to digitalise workflow monitoring and to present the best options for implementing digitalisation.</p> <p>The development work was carried out as a case study, which includes parts of qualitative and quantitative research methods. The basic material for the development project was acquired by studying the wasted time in the workflow with a wasted time collection form, observing the workflow points and exploring the theory of Lean philosophy, waste elimination and digitalisation.</p> <p>As a result of the study, development proposals were made to improve workflow tracking in an electronics factory, as well as digitalisation options to implement improvements. The development proposal took into account the cost and scope constraints received from Teknoware. The most important single consideration for the digitalisation of the tracking was the integration into the ERP system as it was not possible to replace the ERP system or to purchase additional software.</p> <p>Small improvements in workflow monitoring were already achieved through small suggestions for improvement during the development work. These improvements were quick and easy instructions to implement, giving a better understanding of the location of jobs in electronics production. These improvements alone make it easier for the workshop managers in the electronics factory.</p> <p>The development and digitalisation proposals put forward were found to deliver cost savings and to make the work and activities of many employees easier and faster. Based on the development project, the digitalisation of the workflow in electronics production will be developed using barcodes. Barcodes made it easy to integrate the work into the ERP system, and barcoding was seen as the most cost-effective solution to provide sufficient information on the workflow in the production plant.</p>		
Keywords Lean, digitalisation, production, workflow monitoring, waste removal, wasted-time		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Lähtökohdat ja ongelman kuvaus	2
1.2	Työn tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset	2
1.3	Teknoware Oy	3
2	Lean	7
2.1	Lean-filosofia	7
2.2	Lean-johtamisen periaatteet ja elementit	7
3	Leanin elementit	14
3.1	Tehokkuuden parantaminen	14
3.2	Laadun parantaminen.....	19
3.3	Jatkuva parantaminen	21
4	Digitalisoituminen.....	22
4.1	Teollisuus 4.0 ja Teollisuus 5.0.....	22
4.2	Digitaalinen transformaatio	25
4.3	Tuotannon seurannan digitalisoinnin työkaluja	26
4.4	Digitaalisen transformaation johtaminen	34
5	Lähestymistavat kehittämistyöhön ja tutkimuksiin	35
5.1	Kvalitatiivinen tutkimusote	35
5.2	Kvantitatiivinen tutkimusote	36
5.3	Case-tutkimus	37
5.4	Havainnointi	38
6	Tutkimuksien toteutus.....	41
6.1	Tutkimustyön aikataulu ja kulku.....	41
6.2	Lähtötilanteen kartoittaminen.....	42
6.3	Hukka-ajan keräys ja tulokset.....	44
6.4	Työnkulkupisteiden havainnointi ja tulokset.....	45
7	Kehitystyön tulokset.....	48
7.1	Seurannan digitalisoinnissa käytettävän työkalun valinta.....	48
7.2	Toiminnanohjausjärjestelmän integrointi työnkulun seurantaan	49
8	Pohdinta	52
8.1	Lean-periaatteet tuotannossa	52
8.2	Kehitystyön tulokset ja työnkulun seurannan toteutus.....	53
8.3	Luotettavuus.....	55
8.4	Työnkulun seurannan jatkotutkimusaiheet ja mahdollisuudet	56

Lähteet58

Liitteet

Liite 1. Hukka-ajan keräyslomake

1 Johdanto

Digitalisointi, digitalisaatio ja teollisuuden uusi 4.0 vallankumous ovat nousseet lähiaikoina yleiseksi puheenaiheeksi teknologiayrityksissä. Digitalisaation haasteet yrityksien toiminnassa ovat merkittävässä osassa yrityksien toimintaa ja menestymistä, ja digitalisaation käsitteiden epäselvyys vaikeuttaa yrityksien digitalisaation kehittymistä. (Rajala 2018, 7–8.) Kehitystyössä kartoitetaan työnkulun seurannan digitalisoimista teknologiayrityksessä ja mahdollisia työkaluja sen toteuttamiseksi sekä seurannan integrointimahdollisuutta toiminnanohjausjärjestelmän kanssa. Seurannan digitalisoimisella pyritään viemään eteenpäin Lean-periaatteita ja poistamaan ylimääräistä hukka-aikaa. Mugge ym. (2020, 29) kertovat artikkelissaan, että digitalisoiminen mahdollistaa organisaatioita parantamaan prosessejaan ja kannustamaan tuottavuuteen. Tehokkaat käyttäytymismallit vähentävät riskejä ohjelmistojen ja tuotteiden palvelukehityksessä.

Lean-periaatteet ja niiden toteuttaminen teollisuusyrityksien tuotannossa vaatii jatkuvaa tarkastelua ja kehitystä, jotta Lean toimintatavoista saatava hyöty saadaan täysivaltaiseen käyttöön. Tehokkuuden säilyttäminen ja lisääntyminen niin laadullisesti kuin myös tuotannollisesti ovat merkittävässä osassa Suomen työkuultuuria ja mahdollistaa työpaikkojen säilymisen Suomessa. Lean-periaateisiin tutustumalla sekä syventymällä Leanin toimintamalleihin, pyritään vaikuttamaan tehokkuuteen esimerkiksi poistamalla ylimääräisiä kustannuksia tuotannosta ja toiminnoista. (Blomberg & Junkkari 2018.) Lean on laaja käsite, joten tässä työssä perehdytään hukkan poistoon ja sen työkaluihin.

Kehitystyö rajautuu selvitykseen edullisesti toteutettavista digitalisointityökaluista ja mahdollisuuksista ilman uuden ohjelmiston käyttöönottoa. Kehitystyö toteutetaan lahtelaisessa Teknoware Oy:ssä. Yrityksen historia ulottuu 1970-luvun alkupuolella vuoteen 1972, jolloin perheyrityksen perustaja Kalervo Virtanen aloitti valmistuksen omakotitalossaan valmistaen bussien ja junien loistevalaisimia sekä niiden elektronisia liitäntälaitteita. Toukokuussa vuonna 1987 Teknoware siirtyi Rauno Mattilan Trafotek Oy:n omistukseen. Vaihdoksen myötä yritys kehittyi luomaan uusia innovatiivisia ratkaisuja asiakkaiden tarpeiden ja odotusten mukaan, jolloin yhtiöstä tuli vielä selkeämmin ongelmien ratkaisija asiakkaiden silmissä. (Teknoware valon vuodet 1972–2012 2012, 14–16.)

Tutkimuksessa saatujen tuloksien pohjalta Teknoware pystyy aloittamaan kehitystyön toteuttamisen työnkulun seurannan digitalisoimisesta. Tuloksena saadut digitalisoimismenetelmät täyttävät vaatimukset, kuten edullisuus ja tarkkuus sekä pystyy hyödyntämään jo käytössä olevaa toiminnanohjausjärjestelmää. Kartoitus organisaation tämänhetkisestä tilanteesta saadaan selville suorittamalla hukka-aikaa havainnoiva tutkimus, jossa käytetään pääsääntöisesti case-tutkimusmenetelmää. Lisäksi toteuttamalla havainnointitutkimus

päästään käsiksi digitalisoinnin kustannuksiin ja töiden kauttakulkupisteisiin, jotka kertovat digitalisoinnin vaatimukset ja digitaaliset töiden kirjauspisteet. Kirjauspisteiltä saatu digitaalinen informaatio kulkeutuu suoraan toiminnanohjausjärjestelmään ilman erillisiä ohjelmistohankintoja.

1.1 Lähtökohdat ja ongelman kuvaus

Teknowarelta tulleen kehittämistyön aiheena oli työnkulun seurannan nykytilan selvittäminen ja parantamisvaihtoehtojen kartoitus elektroniikkatehtaassa. Aihe muodostui oman työpaikkani tarpeesta kehittää elektroniikkatehtaan työnkulun seurantaa. Teknoware on yksi maailman johtavista julkisen liikenteen valaistusratkaisujen toimittajista sekä pohjoisen Euroopan johtava turvavalaisinten toimittaja ja valmistaja.

Elektroniikkatehtaan kasvun takia työnkulun seuranta on vaikeutunut merkittävästi, eikä tällä hetkellä saada tarpeeksi tarkkaa tietoa töiden sijainnista tuotannossa. Kasvun ja asiakasvaatimusten myötä valmistettavien tuotteiden määrä on lisääntynyt ja tuotteiden valmistukseen tarvittavien koneiden määrä on kaksinkertaistunut lyhyessä ajassa. Myös muutto isompiin tuotantotiloihin on vaikeuttanut entisestään töiden seuraamista varsinkin niissä tilanteissa, joissa työ joutuu käymään useammalla koneella valmistuakseen. Monimutkaisimmilla töillä on tällä hetkellä noin 16 eri vaihetta käytävänä lävitse ennen työn valmistumista. Tarkempi kulunseuranta lisää tietoisuutta töiden etenemisestä myös muille osastoille.

1.2 Työn tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Kehitystyön tarkoituksena oli selvittää elektroniikkatehtaan työnkulun seurannan nykytila sekä seurantaan kuluva hukka-aika ja luoda vaihtoehtoja työnkulun seurannan parantamiseksi. Työn tavoitteena oli tutkia tuotantoprosessissa kuluva hukka-aikaa, etenkin töiden etsimiseen kuluva aikaa, ja löytää prosessista suurimmat ylimääräistä etsintää aiheuttavat paikat. Tavoitteena oli myös esittää parannusideoita tuotantoprosessin työnkulun seurannan parantamiseksi, jotka samalla tehostavat ja helpottavat työhönohjausta verstaaspäälliköiden näkökulmasta. Kehitystyössä perehdytään kolmeen eri tutkimusotteeseen, jotka ovat laadullinen- ja määrällinen tutkimusote sekä case-tutkimus. Kehitystyössä perehdytään myös Leanin ja digitalisoinnin teoriaan. Lean-ajattelu on keskiössä kehitystyössä, joten Leanin periaatteisiin ja menetelmiin perehtyminen luo pohjan kehitystyölle.

Kehitystyössä perehdytään myös tutkimusmenetelmiin, jotka ovat käytössä Teknowaressa sekä käytössä olevaan toiminnanohjausjärjestelmään ja sen mahdollisuuksiin. Tarkka työnseuranta mahdollistaa paremman tuotannonohjauksen. Elektroniikkatehtaan verstaaspäällikkö tarvitsee tiedon töiden etenemisestä arvioidessa esimerkiksi toimitusaikoja

myyntiorganisaatioon. Työnkulun seurannalla mahdollistetaan myös tuotannon pullonkaulojen havaitseminen tuotannossa ja konekapasiteetin riittävyys hukka-ajan poistamisen lisäksi. Yhtenä tärkeimpänä hyötynä paremmalla työnkulun seurannalla on priorisoinnin helpottuminen konekohtaisesti. Tehokas seuranta säästää suoraan verstaapäällikön työaikaa ja auttaa häntä työssään sekä tuo näin säästöjä yritykselle.

Päätutkimuskysymyksenä on:

- Miten parantaa työnkulun seurantaa?

Päätutkimusta tukevana alakysymyksinä käytetään:

- Millä toteuttaa digitalinen työnkulun seuranta vähin kustannuksin?
- Mikä on elektroniikkatehtaan nykytila työnkulun seurannan osalta?

Kehitystyön tavoitteena on lisäksi ideoida seurannan parantamisvaihtoehtoja, jotka olisivat yhteen sopivia nykyisin käytössä olevan toiminnanohjausjärjestelmän kanssa. Nykyistä toiminnanohjausjärjestelmää pystytään päivittämään kattavasti, jolloin uusien lisäkenttien ja lisäominaisuuksien tuonti järjestelmään on toteutettavissa yhteistyössä toiminnanohjausjärjestelmää ylläpitävän yrityksen kanssa. Teknowarelta tulleen ohjeistuksen takia kehitystyö rajautuu selvittämään kustannuksiltaan halvimpia vaihtoehtoja. Maailman nykytilateen ja yrityksen markkina-alueen epävarmuuden takia kehitystyön kustannukset halutaan pitää mahdollisimman matalina ja käydä sellaiset parannusvaihtoehdot läpi, jotka ovat toteutettavissa pienin kustannuksin. Pienellä kustannuksella toteutettavat parannusvaihtoehdot luovat hyvän pohjan lähteä tulevaisuudessa luomaan vielä tarkempia työnkulun seurannan vaihtoehtoja.

1.3 Teknoware Oy

Teknoware on osa Teknopower Groupia, johon kuuluu lisäksi kaksi muuta yritystä: Atexor ja FLS Finland. Konsernin yritykset suunnittelevat, kehittävät, markkinoivat, valmistavat valaisinratkaisuja ja valaisimia sekä Led-pohjaisia tietojärjestelmiä vaativiin ympäristöihin ympäri maailmaa. Vaativia ja vaarallisia ympäristöjä, joissa tuotteita käytetään ovat esimerkiksi EX/ATEX-tilat, arktiset olosuhteet sekä vaativat ajoneuvoja turvallisuusstandardit julkisissa ajoneuvoissa ja tiloissa. Konserni toimii Suomesta käsin ja viennin osuus konsernin myynnistä on noin 80 %. Konsernilla on useita tytäryhtiöitä ja toimintaa on myös Ruotsissa, Saksassa, Isossa-Britanniassa, Puolassa, Yhdistyneissä arabiemiirikunnissa, Intiassa, Malesiassa ja Yhdysvalloissa. (Teknopower 2024.)

Teknoware suunnittelee ja valmistaa sisä- ja ulkovalaisinjärjestelmiä julkiseen liikenteeseen ja turvavalaisinjärjestelmiä rakennuksiin sekä laivoihin ympäri maailmaa. Sen liikevaihto on noin 61 M€ ja sen palveluksessa on kokonaisuudessaan noin 500 työntekijää kokonaisuudessaan. Pääkonttori ja päävalmistus sijaitsee Lahdessa. Tuotantotehtaita on myös Male-siassa, Puolassa, UK:ssa ja Yhdysvalloissa. Teknoware myy sekä toimittaa tuotteita ja palveluita yhteensä yli 50 eri maahan. Kuviossa 1. näkyy yrityksen toimipisteet maailmalla.

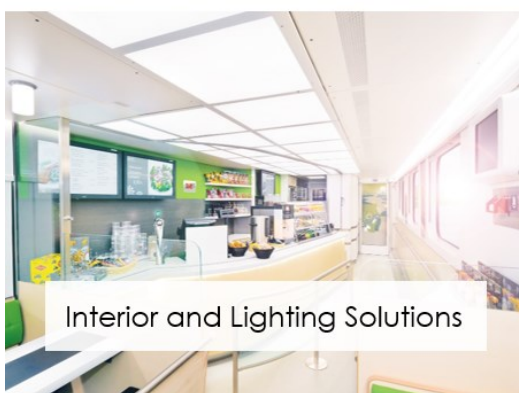


Kuvio 1. Teknoware maailmalla (Teknoware Company Presentation 2024)

Teknoware on jaettu kolmeen eri liiketoiminta-alueeseen. Juna- ja bussiliiketoiminta-alueet keskittyvät alueidensa valaistusjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen. Kuvassa 1 ja 2 on esitetty malleja jo toimitetuista valaistusratkaisuista. Uusina osa-alueina liiketoiminta-alueille ovat tulleet myös sisustuspaneelien ja sisäkattoratkaisujen suunnittelu sekä valmistus. Kyseiset liiketoiminta-alueet toimivat projektilähtöisesti asiakkaiden tarpeiden sekä vaatimuksien mukaan, ja projektit viedään läpi asiakkaan kanssa yhdessä.

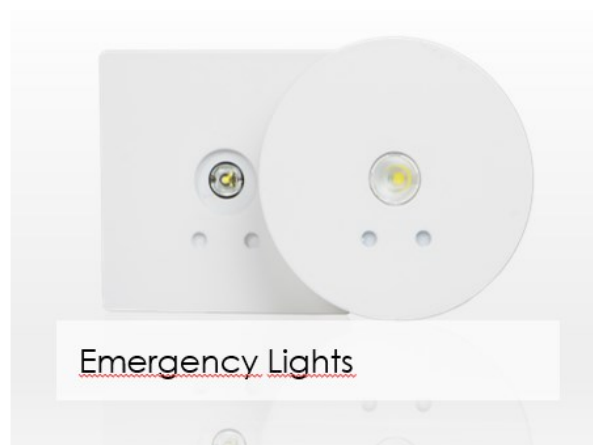


Kuva 1. Bussien valaistusratkaisuja (Teknoware Company Presentation 2024)



Kuva 2. Junavaalaistus ratkaisuja (Teknoware Company Presentation 2024)

Turvavalaistuksen liiketoiminta-alue kehittää, suunnittelee, myy sekä valmistaa turvavalaisin ratkaisuja julkisiin tiloihin, rakennuksiin ja laivoihin. Kuvassa 3 on esitetty turvavaloliiketoiminta-alueen ratkaisuja. Turvavalaistuksen liiketoiminta-alueen myynti on tuotemyyntiä ja asiakkaan kanssa yhteisiä projekteja on harvemmin kuin ajoneuvo puolella. (Teknoware Company Presentation 2024.)



Kuva 3. Turvavalo ratkaisuja (Teknoware Company Presentation 2024)

Kaikki liiketoiminta-alueet tukeutuvat vaativiin standardeihin. Teknoware tarjoaa tuotteiden kaikki suunnitteluvaiheet ideasta valmiiksi tuotteeksi asti. Tuotanto on suunniteltu vastaamaan asiakkaiden tarpeita prosessien automatisoinnilla, tuotantovirran joustavuudella ja edistyneellä toiminnanohjausjärjestelmällä. Teknoware valmistaa kaikki päätyövaiheet itse, joka mahdollistaa hienokuormituksen. Kaikki tuotteet valmistetaan tilausohjautuvasti ilman välivarastoja. (Teknoware Company Presentation 2024.)

2 Lean

2.1 Lean-filosofia

Lean sai alkunsa Toyotan autotehtaasta 40-luvulla ja sen kehittäjänä pidetään tuotantoin-sinööriä Taiichi Ohnoa. Ohnon tehtävänä oli kasvattaa ja kehittää nopeasti Toyotan tuotan-toa Japanissa. Ohno käytti esimerkkinään silloista suurauteollisuusjohtajaa Fordia tarkas-telemalla heidän luomaa liukuhihnaperiaatetta. Liukuhihnamenetelmä oli silloin uutta tuo-tantomenetelmissä. (Aspinen 2021, 16) Hän huomasi Fordin menetelmässä olevan muuta-mia ongelmia kuten joustamattomuuden sekä mahdottomuuden valmistaa eri automalleja, mistä johtuen linjalla ajettiin vain yhtä autoversiota T-Fordia (Laitinen 2019, 3).

Ohno käsitti asiakkaiden tarpeet myös muiden automallien osalta sekä tunnisti heidän ha-luavan myös yksilöllisiä ominaisuuksia. Ohno ymmärsi, että näihin tarpeisiin täytyisi pystytää vastamaan saman tien, kun tarve esiintyy. (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 3 mukaan.) Hän sai ajatuksen yhdistää tehokaiden tuotantolinjojen sekä amerikkalaisten supermarkettien parhaat ominaisuudet. Näiden tekijöiden summana syntyi Toyota Production System (TPS). Lean pohjautuu vahvasti TPS:ään ja on saanut sieltä elementtinsä ja Leanin ytimessä ole-vat periaatteet. (Modig & Åhlström 2013, 72–74.) TPS:stä johdettu Lean tarkoittaa organi-saation kulttuurin muuttamista siten, että sen keskiössä on työntekijät ja jatkuva tekemisen parantaminen. (Businessmap 2024.) TPS tähtää läpimenoaikojen pienentämiseen sekä tuotantolinjojen joustavuuden kehittämiseen. Valmistusprosessin vaiheista pyritään elimi-noimaan kaikki materiaaliset ja aikapohjaiset hukkatekijät. (Laitinen 2019, 3.)

Pelkät menetelmät ja periaatteet eivät ole koko Lean. Lean on määränpää, jota kohti orga-nisaatio voi halutessaan pyrkiä menetelmien, periaatteiden ja työkalujen avulla. (Modig & Åhlström 2016, Nampajärvi 2019, 10 mukaan.) Sen tavoitteena on parantaa työntekijöitä ja organisaatioita kasvattamalla osaamista, ymmärrystä, kokemuksia ja löytää uusia infor-maatio polkuja asiakkaan tarpeiden täyttämiseksi (Modig & Åhlström 2016, Nampajärvi 2019, 10 mukaan).

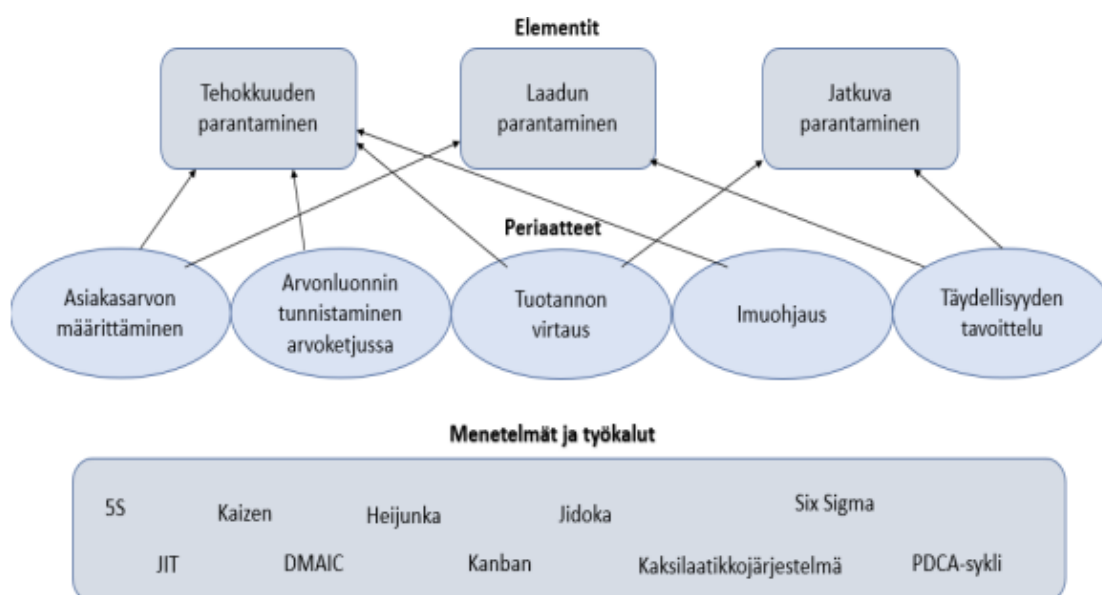
2.2 Lean-johtamisen periaatteet ja elementit

Lean-johtamisen periaatteet syntyivät Toyotan lähtökohdista. Näitä johtamisperiaatteita seuraamalla pyritään saamaan Leanin hyödyt käyttöön organisaatioiden toiminnassa. (Kouri 2010; Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 3 mukaan.) Lean on tehokas malli tiimien joh-tamiseen useilla aloilla, kuten valmistuksessa ja ohjelmistokehityksessä. Sen kokonaisval-taisuuden ansiosta Lean-ajattelulla on kauaskantoinen organisaatioiden vaikutus toimintoi-hin. (Businessmap 2024.) Womackin ja Jonesin (2003) mukaan Leanin käyttöönotto

organisaatiossa vaatii viiden periaatteen haltuunoton (Laitinen 2019, 3–4). Leanin käyttöön-
otossa ja sen rakentamisessa on viisi pääperiaatetta:

1. asiakkaan arvon määrittäminen
2. arvonluonnin tunnistaminen arvoketjussa
3. tuotannon virtaus
4. imuohjauksen toteutus
5. täydellisyden tavoittelu. (Businessmap 2024.)

Lean-johtamisperiaatteet johtavat elementteihin. Periaatteiden avulla saavutetaan elementtejä. Elementit asettavat organisaation toiminnan päämäärän, johon tähdätään. Elementtejä on kolme: tehokkuuden, laadun ja jatkuva parantaminen. Elementit ovat laajempia kokonaisuuksia kuin Leanin periaatteet. Kuviossa 2 on esitetty Leanin eri tasot. Periaatteiden avulla pyritään tavoitteisiin eli elementteihin. Nuolilla on esitetty mitä elementtiä milläkin periaatteella pyritään kehittämään. Alimmassa lokerikossa on menetelmiä ja työkaluja, mitä käytetään Leania toteuttaessa. (Laitinen 2019, 14.) Työkalujen käyttö vaatii organisaatiolta Leanin ja sen periaatteiden sekä elementtien parempaa tuntemista. Työkalut mahdollistavat tavoitteisiin pääsemisen. (Modig & Åhlström 2013, 141.)



Kuvio 2. Leanin tasot (Laitinen 2019, 14)

Asiakasarvon määrittäminen

Asiakas määrittää palvelun arvon organisaatiolle Lean-periaatteessa. Asiakkaan näkökulman hahmottaminen on siksi ensimmäinen vaihe siirryttäessä Leanin käyttöön. (Schwartz 2022.) Sama pätee myös palvelua tai tuotetta suunnitellessa (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 4 mukaan). Tehokas tapa lisätä tuotteiden ja palvelujen arvoja asiakkaille on suunnitella tuotteet kustannustehokkaasti ja paremmiksi käyttämällä Leanin-periaatteita tuotekehitysprosesseissa. Suunnitteluvaiheessa Leanin-periaatteiden toteuttaminen ja laajempi katso-muskanta säästää hukkaa niin materiaaleissa kuin valmistuskustannuksissa tuotteen val-mistusta ajatellen. (Frank ym. 2018.) Asiakkaalla on omat odotukset palvelulle, jotka palve-lun täytyy täyttää. Hyvällä tarkastelulla löytyy myös kohteita, joista voidaan säästää. On myös selvitettävä hinta palvelulle, jonka asiakas on valmis maksamaan. (Schwartz 2022.) Eli palvelua suunnitellessa resurssien jako kannattaa suunnata palvelun ominaisuuksiin, josta asiakas on valmis maksamaan ja näin saamaan lisää arvoa. Asiakkaan näkökulmasta ylimääräisten ominaisuuksien ja liian hyvän laadun tekeminen ei nosta palvelun arvoa asi-akkaalle. (Laitinen 2019, 4.)

Palvelua kehitettäessä asiakkaan näkökulma ja kuuntelu täytyy ottaa huomioon (Womack & Jones 2003; Arthur 2012; Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 4 mukaan). Kehittäessäkin kaikki lähtee liikkeelle asiakkaalle lisäarvon tuottamisesta. Suurimmalle osalle asiakkaista kelpaa hyvin suunniteltu tuotteiden tai palvelujen perusmalli, koska pidemmälle viety kehitys ei tuo lisäarvoa. Toki on asiakkaita, jotka haluavat lisäominaisuuksia ja vaatimuksia. Heidän kuun-telu tuotteiden kehittämisen laajuudessa on tärkeää ylimääräisen työn estämiseksi. Näiden tuotteiden tai palveluiden hinnat ovat huomattavasti korkeammat perusmalliin verrattuna, mutta kehitysversion halunnut asiakas on siitä valmis maksamaan. (Laitinen 2019, 4.)

Kuulemisen lisäksi asiakas on hyvä myös tuntea. Hyvällä asiakkaan tuntemisella ennakoi-daan asiakkaan palvelu- ja tuotetarpeita. Asiakkaat kannattaa näin pitää hyvin lähellä, olla kiinnostunut heistä ja olla jatkuvassa vuorovaikutuksessa heidän kanssaan. Panostaminen asiakkaisiin ja heidän kanssansa käytäviin vuorovaikutustilaisuuksiin antaa asiakkaille ku- van heidän tärkeydestä. Hyvillä väleillä asiakasrajapinnassa saadaan asiakkaat palaamaan neuvottelupöytään heidän uusien tarpeidensa kanssa. Vuorovaikutustilanteissa asiakkaan tärkeiden arvojen selvittämisellä päästään paremmin käsiksi asiakkaiden tarpeisiin, joka helpottaa ennakkointia. (Laitinen 2019, 4.)

Leania rakentaessa asiakkaiden tarpeet ja arvot toimivat pohjana toiminnan käynnistä-miseksi. Kun on tiedossa mitä asiakas haluaa, vaatii ja toivoo, voidaan aloittaa näiden tie-tojen perusteella tuotantotoiminta asiakkaan kaikkiin vaatimuksiin vastaten Lean-periaat-teita käyttäen. Optimoitu palvelu tai tuote tuottaa juuri oikeanlaisen arvon tuoton

asiakkaalle. Tämän jälkeen siirrytään arvonaluonnin tunnistamiseen arvoketjussa. (Laitinen 2019, 4–5.)

Arvonaluonnin tunnistaminen arvoketjussa

Kaikkien toimintojen ketjua, jossa palvelu tai tuote rakentuu yksittäisestä materiaalista ja suunnittelusta lopulliseksi tuotteeksi, kutsutaan arvoketjiksi (Schwartz 2022). Tätä ketjua tarkastellessa ja arvioidessa liikkeelle täytyy lähteä materiaalityöntoimittajista palvelun tai tuotteen luovuttamiseen asti eli koko kokonaisuus huomioiden (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 5 mukaan). Jotta saadaan selville asiakkaalle arvoa tuottavat arvoketjun toiminnot, täytyy toiminnot määrittellä huolella organisaation arvoketjukuvaavuuksessa. Näiden toimintojen määrittelyssä hyödynnetään asiakkaan arvonaluontysperiaatteissa saatua informaatiota. (Laitinen 2019, 5.) Womack ja Jones (2003, Laitinen 2019, 5 mukaan.) jaottelevat arvoketjun toiminnot kolmeen eri luokkaan: Arvoa tuottavat ja tuottamattomat, mutta välttämättömät toiminnot arvoketjulle sekä arvoa tuottamattomat ja arvoketjulle tarpeettomat toiminnot.

Arvoa tuottavat toiminnot ovat organisaatiolla tärkeimmät. Näitä toimintoja organisaation täytyy vahvistaa entisestään ja pitää jatkuvasti huoli näistä toiminnoista. Arvoa tuottavat toiminnot rakentavat mahdollisuuden ja pohjan myynnille, koska ne tuottavat asiakkaan haluamaa arvoa. (Laitinen 2019, 5.)

Arvoa tuottamattomat, mutta välttämättömät toiminnot tekevät arvoa tuottavat toiminnot mahdolliseksi. Nämä toiminnot ovat samalla tavalla organisaation toiminnan kannalta pakollisia, kuten kunnossapito ja HR toiminnot, mutta niiden määrä tulisi pitää mahdollisimman pienenä. (Laitinen 2019, 5.)

Arvoa tuottamattomat ja ketjulle tarpeettomat toiminnot ovat toimintoja, jotka löydetään nimenomaan arvoketjua tunnistessa. Nämä toiminnot ovat hukkaa, joka Lean-ajattelussa pyritään poistamaan ja parantamaan näin tehokkuutta toiminnoissa. (Laitinen 2019, 5.) Mikäli havaitaan arvoa tuottamaton toiminto, se tulee eliminoida pikaisesti (Schwartz 2022).

Organisaation on hyvä ymmärtää seuraavaksi arvonaluontjussa olevan toiminnon tarpeet ja vaatimukset, ettei itse luoda hukkaa arvonaluontjussa eteenpäin mentäessä. Organisaatiot pyrkivät yrityksen sisällä tuottamaan lisäarvoa palveluun tai tuotteeseen monesti vain omasta näkökulmasta kokonaisuutta katsomatta. (Arthur 2012, Modig & Åhlström 2013, 134–135 mukaan.) Organisaatioiden välinen yhteistyö ja tiedonkulku rakentavat palvelua kokonaisuutena, eivätkä aiheuta näin vääranlaista arvoa ja hukkaa, joka joudutaan poistamaan.

Informaatiota tulee jakaa myös materiaalitoimittajille ja alihankkijoille organisaation vaatimuksista ja tarpeista. (Laitinen 2019, 6.)

Tuotannon virtaus

Tuotannon virtaus on kolmas periaate Leanissa ja Lean toimintoihin siirryttäessä. Virtaus luodaan edellisestä vaiheesta jäljelle jääneille toiminnoille. Palvelun tai tuotteen virtaus tulisi rakentaa mahdollisimman nopeaksi, selväksi ja sujuvasti jatkuvaksi niin, ettei tuotanto sisältäisi pysähdyksiä. (Schwartz 2022). Koneiden ja osavaiheiden tulisi olla lähellä toisiaan kuljetusmatkojen lyhentämiseksi. Varastot pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jolloin tilaa säästetään. Kaikista vaiheista ja virtauksesta poistetaan ylimääräinen tuotteiden liikuttelu, odotukset ja tekeminen. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 6 mukaan.) Jatkuvaa virtausta rakentaessa ja sen aikaansaamiseksi on perehdyttävä moneen osa-alueeseen estääkseen edellä mainittuja haittoja. Huollot voivat tehdä lyhyitä katkoksia tuotantoon, mutta niiden vikaantumisen korjaaminen voi kestää pitkiäkin aikoja, jolloin tuotanto pysähtyy ja virtaus katkeaa. Mahdolliset pullonkaulat tulee tunnistaa ja poistaa mahdollisuuksien mukaan. Mikäli siihen ei pystytä, niin niistä huolehtiminen ja kunnossapitäminen luo virtauksen mahdollisimman tehokkaaksi. (Laitinen 2019, 6–7.)

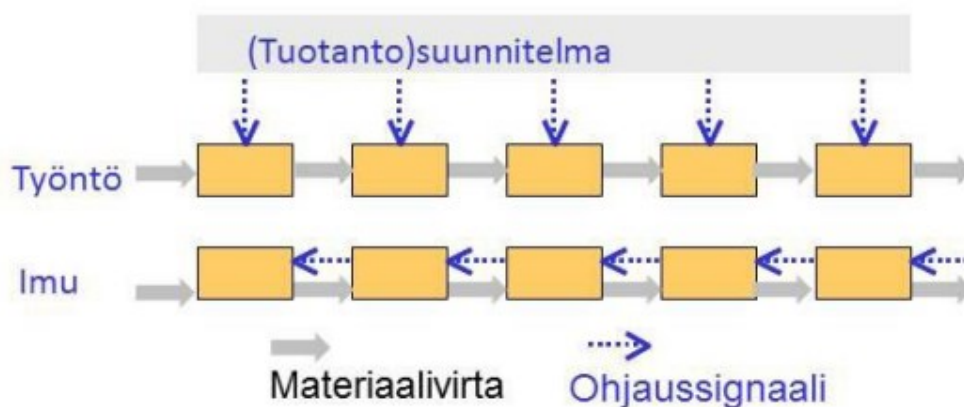
Hyvän virtauksen luominen tuntuu joskus järjenvastaiselta ja tekee sen takia luomisesta haastavaa. Looginen työnkulun jako organisaatiolta tai osastolta toiselle ei välttämättä ole nopein tapa toteutukselle. Paljon osastojen välistä liikuttelua sisältävä virtaus luo turhaa siirtelyä ja aiheuttaa odottelua, mikäli osastot eivät ole täysin samassa tahtiajassa. Pienikin haittatekijä jollakin osastolla aiheuttaa saman tien turhan odotuksen. (Womack & Jones 2003, Laitinen 2019, 6–7 mukaan.) Koko palvelua tai tuotetta harvoin pystytään valmistamaan alusta loppuun yhdellä osastolla, mikä olisi nopein tapa virtaukselle. Osastojen tai organisaatioiden on jaettava tehtävät tasaisesti niin, että kaikki osastot pääsevät samaan tahtiaikaan. Näin päästäisiin ihannetilanteeseen. (Laitinen 2019, 7.)

Tuotannon virtausta voidaan tutkia PFA (production flow analysis) menetelmällä (Hameri 2010, 239). Hameri (2010, 239–240) on todennut tutkimuksessaan PFA-menetelmän hyväksi tavaksi selvittää tuotannon virtausta. Se sopii hyvin monimutkaisten virtojen ja järjestelmien yksinkertaistamiseksi sekä toiminnallisten tuotantosuuntautuneen layoutin tuotesuuntautuneeksi. PFA:n analyysiä käyttäen saman reittiset tuotteet voidaan ryhmitellä tuoterpeiksi (Irani 2020, 37). Menetelmää ei ole vielä laajasti otettu käyttöön, vaikka Hameri (2010, 239) toteaa PFA-menetelmän hyvin tehokkaaksi.

Tuotantotöiden virtauksen ohella on pidettävä huoli myös materiaalien virtauksesta sekä toimivasta informaationkulusta vaiheiden välillä. Informaation tulee kulkea virheettömästi ja oikea-aikaisesti oikeaan paikkaan. Informaation oikeellisuus voi romuttaa koko ketjun, koska väärän tiedon saanti tuotantovaiheessa aiheuttaa haittatekijöitä, jotka vähentävät arvontuottoa. (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 7 mukaan.) Modig & Åhlström (2013) kertovat, että Leanin toimivuuden sekä arvontuoton asiakkaalle tekevät mahdolliseksi hyvä tuotannon jatkuva virtaus.

Imuohjaus

Kun organisaatio ja koko yritys on käynyt läpi periaatteet: asiakasarvon määrittäminen, arvovuonon tunnistaminen arvoketjussa ja tuotannon virtaus sekä viimeistellyt periaatteet, voidaan toteuttaa imuohjausta. Imuohjaus saa ensimmäisen impulssinsa asiakkaalta. (Liker 2006; Kouri 2010; Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 7 mukaan.) Palveluja tai tuotteita valmistetaan tilausohjautuvasti, jolloin ei synny välivarastoja puolivalmisteille eikä lopputuotteille. Tilausohjautuvuus tuo tilakustannussäästöjä vuokrissa, lämmityksissä ja muissa kiinteistöjen kuluissa. (Schwartz 2022.) Tuotteet valmistetaan suoraan vastaamaan kysyntään. Imuohjaus tehostaa tuotannon joustavuutta sekä lyhentää tuotannon läpäisyäikää. Kuviossa 3 on esitetyt imu- ja työntöohjauksen eroavaisuudet. Imuohjauksessa asiakkaalta saapunut impulssi jatkaa organisaatiossa tai yrityksessä matkaansa koko ketjun läpi aina materiaalitöimittäjille asti ja aiheuttaa tällöin imua tuotteeseen, joka kulkee koko tuotantoketjun läpi. Likerin (2006, Laitinen 2019, 8 mukaan.) näkemyksessä loppuun asti hiotussa ja täydellisessä skenaariossa imuohjauksessa palvelut tai tuotteet valmistuvat täydellisesti oikeaan aikaan ilman viivästyksiä. Tällaiseen lopputulokseen tuskin päästään koskaan, joten Ohnon keksimä Kanban tyylinen ohjaus on yleisesti käytössä. Kanbanissa on käytössä esimerkiksi pienille osille vähäinen välivarasto, josta impulssi osien tarpeesta tulee tuotantotosastoille tyhjän laatikon muodossa ja tämä aiheuttaa imun. Tämä sujuvoittaa tuotantoa ja vähentää turhaa odotusta. (Liker 2006, Laitinen 2019, 8 mukaan.)



Kuvio 3. Työntö- ja imuohjauksen ero (Logistiikan maailma 2023)

Täydellisyyden tavoittelu

Viimeisellä periaatteella pyritään täydellisyyteen. Tämä periaate pohjautuu vahvasti jatkuvan kehittämiseen, joka on yksi elementeistä. Organisaation tai yrityksen prosesseista löytyy aina jotain kehitettävää. Niitä tulee tarkkailla ja arvioida jatkuvasti tavoitteena pyrkiä parempaan. Tämä viimeinen periaate sitoo kaikki aikaisemmat periaatteet toisiinsa. (Schwartz 2022.) Asiakkaan imupulssien lisääntyessä imu kasvaa, joka aiheuttaa ketjussa pullonkauloja, joita pitää pystyä purkamaan. Virtauksen lisääntyessä ketjusta saatetaan löytää turhia vaiheita ja toimintoja, jotka eivät tuota lisäarvoa. (Womack & Jones 2003, Laitinen 2019, 9.)

Työntekijöiden sitoutuminen on oleellinen osa täydellisyyteen pyrkimisessä. Kaikkien työntekijöiden mielessä tulee olla halu kehittää omaa tekemistä tavoitteenaan täydellisyys. Työntekijät ovat kehittämisen keskiössä riippumatta siitä, halutaanko kehittää tuottavuutta vai laatua. Jatkuva parantaminen ja kehitys yrityksessä tai organisaatiossa ei saa pysähtyä, vaan toimintoja tulisi toteuttaa parhaalla mahdollisella tavalla ilman laadun kärsimistä. Laitisen (2019, 9.) mukaan laadun ja tehokkuuden seurantajärjestelmien kehityksen avulla lähestytään täydellisyyttä. Laitinen kuitenkin jatkaa, että Leanin toteuttaminen yrityksessä tai organisaatiossa on pitkäaikainen prosessi ja strategia, koska yrityksen tai organisaation toiminta ei ole koskaan täydellinen ja valmis.

3 Leanin elementit

3.1 Tehokkuuden parantaminen

Tehokkuuden parantaminen on yksi kolmesta elementistä. Tämä elementti kytkeytyy vahvasti arvovirtaukseen ja asiakkaalle arvon tuoton periaatteisiin. (Laitinen 2019, 15.) Resurssitehokkuudesta siirryttäessä virtaustehokkuuteen keskeinen toimenpide on tehokkuuden parantaminen. (Modigin ja Åhlström 2013, 10.) Tuotantoprosessiin liittyvä tehokkuus tarkoittaa tuottavuutta, jolla mitataan aikaansaannosta (Aspinen 2021, 19–20). Resurssitehokkuudessa päämääränä on resurssien tehokas ja korkea käyttöaste. Korkeaa käyttöastetta mitataan suorilla tehokkuus- ja käyttötuntimittareilla. (Liker 2006, Laitinen 2019, 15 mukaan.) Virtaustehokkuus keskittyy tuotteeseen ja sen etenemiseen arvoketjussa sekä palvelun tai tuotteen jalostumiseen työpäivän aikana. Virtaustehokkuudessa mitataan siis suoraan asiakkaalle tuotettavaa arvoa päivän aikana. (Laitinen 2019, 15.)

Resurssitehokkuutta lähdetään usein tavoittelemaan, koska se mittaa suoraan resurssien käyttöä ja sillä havaitaan tehottomat pisteet prosessissa, joista aiheutuu turhia kustannuksia organisaatiolle tai yritykselle. Näitä kutsutaan vaihtoehtokustannuksiksi, joita pyritään torjumaan. Käytännön tavoitteena resurssitehokkuudessa on resurssien täydellinen käyttöaste siihen käytetyin panostuksin. Mikäli täydellistä käyttöastetta ei tavoiteta, tulkitaan, että siihen käytetty panostus olisi voitu hyödyntää tehokkaammin toiseen resurssiin. Kaiken keskiössä on mahdollisimman jatkuva prosessi ja sen täydellinen resurssien tehokas käyttö. Palveluihin ja tuotteisiin ei kiinnitetä juuri huomiota. (Modig & Åhlström 2013, 10–11.)

Lean ajattelussa virtaustehokkuus on juuri päinvastainen resurssitehokkuuden kanssa. Palvelu tai tuote on keskiössä virtaustehokkuudessa. Kaikkien tuotantoprosessissa matkalla olevien palveluiden tai tuotteiden jatkuva jalostuminen on ensisijaista, eikä resurssihin kiinnitetä juurikaan huomiota. Resurssien osittain pienempää käyttöastetta ei pidetä tärkeimpänä asiana. Organisaatioiden tai yritysten kannalta paras vaihtoehto olisi sopivasti sekoitettu tehokkuus, joka pitäisi sisällään hyvät puolet resurssitehokkuuden elementeistä ja parhaat puolet myös virtaustehokkuuden elementeistä. Tämän tyyllisen täydellisen ketjun luonti on kuitenkin hyvin haasteellista. (Modig & Åhlström 2013, 13–16.) Hukkia poistamalla Lean-ajattelussa päästään parempaan tehokkuuden parantumiseen, sillä se lyhentää läpimenoaikoja. Työtahdin kiihdyttämisellä ei Leanin mukaan päästä yhtä hyvään tehokkuuden parantumiseen.

Hukat tuotannossa

Toisen maailmansodan jälkeen Japanissa oli pulaa kaikesta, kuten esimerkiksi resursseista. Ohno ymmärsi resurssien käytön tärkeyden. Resursseja täytyi osata käyttää heti ensimmäisellä kerralla oikein ja tehokkaasti. Heikko resurssitilanne synnytti hukka-ajattelun periaatteen. (Liker 2006, Modig & Åhlström 2013, 72–74 mukaan.) Hukkaa pyritään tunnistamaan ja poistamaan prosessista sekä arvoketjusta. Mikäli toiminto tai työ ei tuota lisäarvoa asiakkaalle, se tulkitaan hukaksi. Arvoa tuotetaan, kun asiakas on valmis maksamaan tuotteista enemmän kuin sen tekemiseen kuluu kustannuksia. Hukan poisto on keino, jolla tavoitellaan läpimenon kasvua ja arvon lisäämistä. (Aspinen 2021, 22–23) Hukat tulee poistaa ketjusta järjestelmällisesti ja tehokkaasti. Hukat voidaan jakaa seitsemään eri lokeroon Ohnon luoman TPS:n mukaisesti. Lokeroita ovat:

1. ylituotanto
2. odotus
3. turha tuotteiden liikuttelu
4. laadulliset virheet
5. yliprosessointi
6. liialliset varastot
7. tarpeeton liike. (Liker 2006; Kouri 2010; Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 16 mukaan.)

Mikäli tuotteita tuotetaan resursseja hukkaamalla enemmän kuin olisi tarve ja kysyntä, niin sorrutaan ylituotantoon (Voehl ym. 2014, 67–68). Ylimääräisellä tuotannolla lisätään varastointia, tuotteiden liikuttelua ja keskeneräisten töiden määrää, ja kaikki nämä lisäävät kustannuksien määrää. Ohnon mukaan ylituotanto on kaikista seitsemästä luokasta pahin, koska se luo myös muiden lokeroiden hukkaa. (Liker 2006, Laitinen 2019, 16 mukaan.) Ylituotanto voi aiheuttaa varastoinnilla ja ylimääräisellä liikuttelulla tuotteiden vioittumisia, jolloin asiakkaalle tuottava arvo laskee sekä mahdollisten tuotemuutosten hallinnointi vaikeutuu. (Laitinen 2019, 16.)

Odotus on merkittävä hukan muoto asiakkaan näkökulmasta, koska se aiheuttaa myöhästymisiä, eikä tuota arvoa asiakkaalle. Odottelun aikana tuotannon prosessi ja -resurssit eivät ole toiminnassa. (Voehl ym. 2014, 84.) Odotusta aiheuttava tekijä on usein helposti havaittavissa, koska se nähdään esimerkiksi pullonkaulana, koneen toimimattomuutena,

osapuutteenä tai kunnossapitotoimenpiteenä. Aikaisemmin mainittuihin resurssi- ja virtaus-tehokkuuksien ajattelu malleihin odottelun minimointi on oleellinen tekijä. (Liker 2006, Laitinen 2019, 16 mukaan.)

Hukka, joka aiheutuu helposti ylituotannosta tai epäselvästä virtauksesta, on tuotteiden ylimääräistä liikuttelua. Suunnitellun arvoketjun kuljetusten lisäksi on tällöin jouduttu lisäämään ylimääräisiä kuljetuksia. Puolivalmistetuotteet tai materiaalit voivat harhautua väärään osoitteeseen, mikäli ketju ei ole selkeä tai selkeästi kuvattu ja perehdytetty henkilöstölle. Ylimääräistä liikuttelua aiheuttaa myös huonosti suunniteltu arvoketju, jos kahden vie-reisen työvaiheen välinen siirtymä on liian pitkä. Tuotteiden liikuttelu on pakollinen toiminto, vaikka se ei tuota arvo asiakkaalle. (Liker 2006, Laitinen 2019, 16–17 mukaan.) Se sitoo resursseja, joten liikuttelun ja siirtämisen määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä. (Laitinen 2019, 17.)

Laadullisia virheitä syntyy viallisten tai vaillinaisten palveluiden tai tuotteiden valmistuksesta ja aiheuttaa näin hukkaa. Laadulliset vaillinaiset tuotteet joudutaan korjaamaan tai heittä-mään jopa roskiin. (Voehl ym. 2014, 76.) Näiden lisäksi on riski, että vaillinainen tai viallinen tuote päätyy asiakkaalle ja aiheuttaa näin arvon laskua sekä tyytymättömyyttä asiakkaissa. Tuotantoprosessin suunnittelulla on mahdollista vaikuttaa virheiden määrään ja niiden ha-vaitsemiseen. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 17 mukaan.) Laadulliset virheet ja niitä aiheutta-vat toiminnot tulisi tarkastaa ja kehittää toimintoa siihen suuntaa, ettei kyseisiä virheitä tulisi jatkossa.

Ylituotannon lisäksi tuotteita voidaan ylijalostaa eli tehdä esimerkiksi liian hyvää laatua tai käyttää resursseja turhiin toimintoihin. Näitä hukkia kutsutaan yliprosessoimiseksi. Ylipro-cessointi on kaikki hukkaa eikä tuota arvoa. (Voehl ym. 2014, 80.) Lean-ajattelussa palve-luita tai tuotteita ei kannata tehdä liian hyväksi ja monipuolisiksi vaan vastaamaan suoraan asiakkaan tarpeita ja odotuksia. Palveluiden tai tuotteiden ylimääräiset ominaisuudet tai toi-minnot ovat hukkaa. Tuote tuottaa tällöin juuri oikeanlaista arvoa asiakkaalle oikeanlaiset resurssit hyödyntäen. (Liker 2006, Laitinen 2019, 17 mukaan.)

Liialliset varastot ovat yksi hukan muoto, mikä saattaa aiheutua esimerkiksi ylituotannosta, jolloin varastojen määrää joudutaan lisäämään (Kouri 2010, Laitinen 2019, 17 mukaan). Liialliset varastot aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia sekä pidentävät läpimenoaikoja tuo-tannossa (Voehl ym. 2014, 72). Tyhjänä seisovat varastot kiinnittävät resursseja sekä sito-vat tuotantoon yrityksen pääomaan. Liialliset varastot peittävät myös muita ongelmakohtia kuten tehotonta ja epätasaista tuotantoa sekä tuotannonohjauksen tehottomuutta. Mikäli palveluiden tai tuotteiden kysyntä ei ole täysin kapasiteetin kokoinen, tuotteita voidaan

valmistaa varastoon tehottomasti huomaamatta ongelmaa, joka kysynnän kiihdyttyä nousee esille. (Liker 2006, Laitinen 2019, 17 mukaan.)

Tarpeeton liike tarkoittaa työntekijän suorittamaa arvoa tuottamatonta toimintaa työtä tehdessään ja aiheuttaa näin hukka-aikaa. Turhaa liikettä on myös tiedon liikkeit. (Voehl ym. 2014, 87) Turhia liikkeitä saattaa ilmetä esimerkiksi ylimääräisistä työkalujen hauista ja etsimisestä kesken työvaiheen suorittamisen. Turhia liikkeitä on pyrittävä poistamaan ja minimoimaan. Tarpeettomia liikkeitä voidaan estää työntutkimisella, ohjeistuksilla, työpisteiden suunnittelulla ja valvonnalla. Kokonaisvaltaisella työntutkimisella pystytään työvaiheita tehostamaan joka osa-alueella. (Liker 2006; Kouri 2010, Laitinen 2019, 17 mukaan.)

Näiden seitsemän Ohnon määrittelemän hukan lisäksi on otettu käyttöön myös kahdeksas hukka, joka on työntekijän potentiaali eli hukattu potentiaali. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 17–18 mukaan.) Juuri kyseistä työvaihetta tekevä työntekijä tuntee parhaiten oman työnsä vaiheet ja ongelmat. Työntekijän mukaan ottaminen prosessien kehittämiseen luo mahdollisuuden työntekijälle ja organisaatiolle saada tehokas tapa työskennellä kyseisessä työvaiheessa. (Liker 2006, Laitinen 2019, 18 mukaan.) Henkilöstöressurssien tehokas käyttö hyödyntää henkilöiden innovatiivisuuden, fyysiset ominaisuudet sekä taidot. Tehokkaalla käytöllä työyhteisö kehittyy ja yhtenäistyy sekä motivoi henkilöitä. (Voehl ym. 2014, 94)

Hukan poisto

Jotta tavoite toteutuu ja tehokkuus paranee, täytyy löydetyt hukat poistaa ketjusta ja prosessista. Hukkien poisto on tärkeä osa valmistusprosessin ympäristövaikutusten vähentämisessä ja tuotantokustannussäästöjen mahdollistamisessa. (Morris 2022.) Hukkien poistoon on kehitelty useita työkaluja ja menetelmiä. Koska hukat ovat sidoksissa toisiinsa, myös hukanpoistomenetelmät poistavat useita hukkia kerralla. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan muutamasta hukan poistomenetelmästä.

Imuohjaus on yksi periaate, mutta myös menetelmä poistaa hukkaa. Imuohjaus pakottaa tuotannon odottamaan asiakkaalta tulevaa impulssia, joka estää ylituotannon. Tuotantoprosessin läpi kulkeva imu, jonka mukana tuote kulkee, estää jokaisessa työvaiheissa ylituotannon mahdollisuuden. Imuohjauksessa tuotteita ei synny varastoon, vaan suoraan asiakkaan tarpeisiin. Informaatioimu osastojen välillä on tärkeää sujuvuuden takaamiseksi, kuten esimerkiksi aikaisemmin mainittu Kanban. Imuohjaus estää myös ylimääräisten varastojen syntyä ja vähentää kustannuksia. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 18 mukaan.) Imuohjaus parantaa tuotannon laatua, joustavuutta sekä tehokkuutta, kun palvelut tai tuotteet tehdään asiakkaan tarpeiden mukaan. (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 18 mukaan.)

JIT eli Just-in-time on menetelmä hukkien poistoon. Tässä menetelmässä materiaalit ja puolivalmisteet saapuvat juuri oikeaan aikaan sinne, missä niitä tarvitaan. JIT lyhentää tuotteiden läpimenoaikoja, vähentää ylituotantoa ja hävittävää odotukset prosessista. Läpimenoaikaan vaikuttaa laskevasti tuotteiden tekeminen pienissä erissä ja kesken olevan tuotannon minimoiminen. Tuotteet valmistetaan tässäkin asiakastarpeen, tilausten ja varastosaldojen mukaan, jolloin varastot pysyvät mahdollisimman pieninä. JIT menetelmään pohjautuu myös Jidoka-menetelmä, joka lisää visualisuuden toimintoihin ja niiden väleihin. (Modig & Åhlström 2013, 132.)

Työkaluja ja menetelmiä on paljon hukkien poistamiseksi, ja yritysten sekä organisaatioiden täytyisi kehittää omia työkaluja sisäisesti hukkien poistoon. Burton ja Boeder (Burton & Boeder 2003, Laitinen 2019, 19 mukaan.) kertovat teoksessaan toimenpiteitä eri hukkien poistoon. Listassa on mainittu hukka ja toimenpide hukkan poistamiseksi:

1. Ylituotanto: Lyhennä asetusajoja, pienennä valmistuseriä, tee prosessien yksinkertaistus ja eliminoin turha informaatio.
2. Odotus: Opeta työntekijöitä laaja-alaisesti, jotta voit yhdistää työvaiheita, tarkista osastojen tahtiaika tasaiseksi ja lisää visualisuutta.
3. Turha tuotteiden liikuttelu: Suunnittele layout niin, että osastot ovat lähelle toisiaan ja kaikki työvälineet, tarvikkeet ja materiaalit ovat lähellä ja helposti saatavilla. Pienennä materiaalityöimittäjien lukumäärää ja hanki toimittajat läheltä, jos mahdollista.
4. Laadulliset virheet: Luo tarkat laatu ehdot sekä dokumentoi, ohjeista ja standardisoi tuotantoa.
5. Yliprosessointi: Standardisoi työmenetelmät ja vähennä työvaiheita. Suunnittele palvelu tai tuote uudelleen kustannustehokkaaksi, ja yksinkertaista työvaiheet sekä toiminnot.
6. Liialliset varastot: Tarkista osastojen sekä toimintojen tahtiaika ja sovita ne sopimaan yhteen. Laske valmistus erien kokoa, ja lisää resursseja kumoamaan kysynnän huippuja.
7. Tarpeeton liike: Suunnittele layout niin, että osastot ovat lähellä toisiaan, ja yhdistä osastoja, jos mahdollista. Lopeta materiaalien sekä informaation etsiminen.

Tehokkuuden parantamisen tunnusmerkit

Yrityksen ja organisaation tehokkuuden tämänhetkisen tilan ja kehityksen saa selville hyvin luoduista mittareista ja tunnusmerkeistä. Tunnusmerkkejä ovat kustannuksien lasku, materiaalihukan vähentyminen ja tuotannon läpimenoajan lyhentyminen. Mittareilla päästään käsiksi tuotannon tehokkuuteen sen takaamiseksi. Lean-ajattelussa tuotannon mittareita ovat esimerkiksi saanto, laadun saavuttaminen, läpimenoaika, kesken olevan tuotannon määrä ja materiaalien hukka sekä ylimääräisen työn määrä. Mittareiden avulla huomataan poikkeavuudet. Mittareiden tuloksia vertailemalla päästään käsiksi muutoksiin. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 20 mukaan.)

Kustannuksien vähentyminen on yksi tunnusmerkki tehokkuuden parantumisesta. Yrityksissä tai organisaatioissa, joissa on panostettu resurssitehokkuuteen, keskiössä on yksikkökustannuksien laskeminen. Vaarana on turhien toimintojen lisääntyminen, joka aiheuttaa kustannuksien kasvamisen. Yrityksellä tai organisaatiolla, joka toteuttaa Lean-ajattelun tehokkuutta, on mahdollista yhtäaikaisesti vähentää kustannuksia ja parantaa laatua. (Vuorinen 2013, Laitinen 2019, 20 mukaan.)

3.2 Laadun parantaminen

Laadun parantaminen vaatii ensisijaisesti, että yritys tai organisaatio on kirjannut ylös, mitä laadulla haetaan sekä selvittänyt asiakkaan laadun tarpeet ja odotusarvon. Laadun parantamien liittyy vahvasti täydellisyyden pyrkimisen ja asiakasarvon määrittämisen periaatteisiin. Leanissa löytyy runsaasti menetelmiä ja työkaluja, joilla parantaa laatua. Niin kuin aikaisemmassa luvussa kerrottiin, organisaation ja koko yrityksen täytyy itse jatkuvasti kehittää työkaluja sekä menetelmiä kehittyäkseen ja myös laatua parantaakseen. Reklamaatioista ja virheistä oppiminen on hyvä sysäys laadun parantamiseksi sekä kehittämiseksi. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 20–21 mukaan.)

5S on yksi yleisimmin käytössä oleva laadun parantamismenetelmä, joka samalla poistaa hukkaa organisaation toiminnasta. 5S-menetelmällä tavoitteena on kehittää standardisointia, yhdenmukaisuutta ja selkeyttää toimintaa. Hyvin suunnitellussa 5S-menetelmää toteutavassa organisaatioissa virheiden havaitseminen tapahtuu nopeammin ja estää näin reklamaation kustannuksia. 5S-nimitys syntyy viidestä japaninkielisestä sanasta: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu ja Shitsuke. Seiri-vaiheessa keskitytään työkaluihin sekä materiaaleihin ja niiden tarpeellisuuteen osaston alueella. Osastolta tai työpisteeltä poistetaan kaikki tarpeeton materiaali ja työkalut. Seiton-vaiheessa työkalut ja materiaalit sijoitellaan osastolle tai työpisteelle niin, että taataan niiden helppokäyttöisyys ja havaitseminen. Esimerkiksi

työkaluille on merkitty omat paikat, ja materiaalit ovat sijoiteltu lähelle käyttökohdettaan tai käyttöjärjestykseen. Seiso-vaiheen tarkoitus on ylläpitää osaston ja työpisteiden siisteyttä sekä taata jatkuva toiminta esimerkiksi koneiden kunnossapidolla ja huolloilla. Seitsuke-vaihe standardisoi menetelmät ja kaikki edellisissä vaiheissa käydyt asiat. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 21–22 mukaan.)

Työntekijät perehdytetään käyttämään menetelmiä sekä noudattamaan ohjeita ja työskentelytapoja. Shitsuke-vaihe pitää 5S-toiminnot käynnissä ja tarkastelee niiden toimivuutta ja käyttöä esimerkiksi sisäisillä auditoinneilla. Kolmen ensimmäisen vaiheen tarkastelu ja pyörittäminen kehittää menetelmää entisestään ja pitää 5S-toiminnot ajan tasalla. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 21–22 mukaan.) 5S-menetelmien lisäksi on nykyään lisätty kuudes S-kirjain, joka on safety. Safety-vaihe keskittyy nimensä mukaan työturvallisuuteen ja ergonomiaan. Työpisteistä katsotaan läpi työasentoja ja niiden rasittavuutta.

Toinen laadun parantamismenetelmä on Six Sigma. Six Sigmassa tavoitteena on vähentää virheiden määrää ja jopa päästä eroon niistä. Virheiden tavoitelukuna on 3,4 virhettä miljoonassa tuotteessa. Six Sigma pohjautuu täysin mitattavaan informaatioon. Tuotannon standardisointi on keskiössä, joka pienentää hukan määrää sekä parantaa laatua. Six Sigma-menetelmässä seurataan laatua toistuvasti ja pyritään parantamaan sitä DMAIC-menetelmän keinoin. DMAIC-menetelmä pitää sisällään viisi osa-aluetta:

- Määrittäminen (Define)
- Mittaus (Measure)
- Pohdinta (Analyze)
- Kehitys (Improve)
- Ohjaus (Control).

Määrittämisvaiheessa määritetään ongelma, jota lähdetään selvittämään. Mittaus kohdassa ongelmasta kerätään informaatiota, joista tehdään havainnollistava yhteenveto ja kaaviot. Pohdintavaiheessa tulokset analysoidaan ja pohditaan laatua parantavat toimenpiteet, joita lähdetään jalkauttamaan. Kehitysvaiheessa tuotantoa lähdetään konkreettisesti kehittämään ja poistamaan virheen aiheuttajaa. Viimeisessä ohjausvaiheessa tarkastellaan saatuja tuloksia ja vakioidaan toiminnot. (Burton & Boeder 2003, Laitinen 2019, 21 mukaan.)

Niin kuin työkaluista huomataan, Leanissa on tärkeää osallistaa työntekijät kehittämään toimintoja ja laatua. Yrityksellä tai organisaatiolla tulee olla selkeät kanavat työntekijöille ilmoittaa virheistä tai kehitysideoista.

3.3 Jatkuva parantaminen

Viimeisenä Leanin elementtinä on jatkuva parantaminen. Tätä elementtiä toteuttaa yritys tai organisaatio, jonka tähtäimessä on hioa prosessistaan mahdollisimman täydellinen. Organisaatiolla on jatkuvalla parantamisella halu pyrkiä täydellisyyteen ja tavoite asettaa jatkuva parantaminen keskiöön organisaation kulttuurissa (Morris 2022). Jatkovaa parantamista voidaan rakentaa kahdella eri tyylillä, jotka ovat inkrementaalinen ja läpimurtomainen tyyli. Inkrementaalinen tyyli on pitkäkestoinen tyyli toteuttaa jatkuvaa parantamista. Tässä tyylissä kehittämistä rakennetaan pienissä osissa pidemmän aikajanan aikana. Sen sijaan läpimurtomaisessa tyylissä kehitys on tarkoitus toteuttaa nopeasti kertaluontoisesti tekemällä isompia muutoksia. Yrityksen tai organisaation täytyy itse kartoittaa muutostyyliinsä omien tarpeiden mukaan. Molemmat tyylit ovat toimivia oikein käytettyinä. (Duffy 2013, Laitinen 2019, 22–23 mukaan)

Jatkuvan parantamisen menetelmistä yksi tunnetuin on nimeltään Kaizen. Tällä menetelmällä tavoitellaan organisaation hukkien havaitsemista ja poistoa sekä lisäarvon tuottamista prosessissa. (Burton & Boeder 2003; Liker 2006, Laitinen 2019, 23 mukaan.) Kaizen pohjautuu vahvasti työntekijöihin ja niiden mahdollisuuteen kehittää omaa tekemistään. Työntekijöille täytyy antaa avaimet ja vapaus kehittää menetelmiä sekä prosessia. Ongelmanratkaisu, tiedon tallentaminen ja pohdinta ovat taitoja, joita työntekijöiltä vaaditaan kehittäessään omaa tekemistä ja oman osaston prosessia. (Kouri 2010, Laitinen 2019, 23 mukaan.) Kaizen-menetelmän lisäksi voidaan käyttää myös muita menetelmiä esimerkiksi PDCA-sykliä. PDCA-syklissä ensin etsitään kehityskohde ja pohditaan menetelmä sekä tavoitteet. Seuraavaksi tehdään muutos ja analysoidaan muutoksen vaikutus sekä dokumentoidaan muutokset. Viimeisenä tehdään viimeistely, jotta päästään tavoitteeseen. (Liker 2006, Laitinen 2019, 23 mukaan.)

4 Digitalisoituminen

4.1 Teollisuus 4.0 ja Teollisuus 5.0

Lähiaikoina teknologiset innovaatiot ovat kehittäneet uusia teknologioita. Esimerkiksi tekoälyn, pilvitekniikan, koneoppimisen ja valmistusteollisuuden innovaatiot sekä kehittyminen ovat vauhdittaneet uusien teknologioiden syntymistä (Tambare ym. 2021). Uudet teknologiat ovat syntyneet vastaamaan tuotantoprosessin haasteita ja tehneet teollisuudesta tarpeeksi älykkään haasteiden selättämiseksi. Teollisuudessa ja tuotantoprosesseissa esiin nousseita haasteita ovat valmistuskustannuksien laskeminen, tuotannon ja koko organisaation kustannustehokkuus, asiakkaan parempi kokonaisvaltainen palveleminen, laatuvaatimukset ja asiakkaiden yksilölliset vaatimukset palveluille tai tuotteille. (Tambare ym. 2021.) Teollisuus 4.0 on teollistumisen neljäs vallankumous, joka pitää sisällään kuusi pääkomponenttia: digitalisoituminen, automaatio ja mukautuminen tarpeisiin, tuotannon kustomointi ja tehostaminen, työntekijöiden ja tuotantokoneiden yhteen toimivuus, lisäarvoa tuottavat palvelut ja digitaalinen tiedonkulku ja yhteistyö (Tambare ym. 2021). Peräkkäiset vallankumoukset ovat syntyneet ICT:n jatkuvasta kehitymisestä ja käytön lisääntymisestä automaatiassa sekä informaation kehitymisestä ja määrästä (Tambare ym. 2021).

Ensimmäinen teollinen vallankumous alkoi 1784, jonka aikana syntyi koneistuminen ja höyryvoima. Tällöin tuotantoprosessissa tuotantokoneita ja koko prosessia valvoi ja ohjasi yksi prosessinohjaaja, joka pystyi käyttämään ja ohjaamaan koneita vain koneiden läheisyydessä. Tällöin prosessinhoitajan täytyi kiertää ympäri tehdasta kerätäkseen informaatiota tuotantokoneista ja niiden tiloista sekä valvoakseen tuotantoprosessia ja laitteita. Toinen teollinen vallankumous Teollisuus 2.0 syntyi 1800-luvun lopussa. Teollisuus 2.0:n aikana tuotantotehtaat sähköistyivät, joka mahdollisti tuotantoprosessien pyörimisen vuorokauden ympäri sekä suuret massatuotannot. Tuotantokoneita ja prosessia pystyttiin ohjaamaan keskitetyistä ohjaamoista. Teollisuus 3.0 on kolmas teollinen vallankumous. Tämän vallankumouksen aikana tietokoneet tulivat mukaan valmistusteollisuuteen ja prosesseihin sekä mahdollistivat tuotantoprosessien automatisoinnin. Tuotanto- ja valmistusprosessit ja järjestelmät, jotka ovat tietokonepohjaisia, pitävät sisällään monia laitteita kuten logiikoita, kauko-ohjattuja robotteja sekä informaation keräysjärjestelmiä. (Tambare ym. 2021.)

Teollisuus 4.0 on neljäs todellinen teollisuuden vallankumous, joka on saanut tutkijoiden huomion maailmanlaajuisesti (Tambare ym. 2021). Teollisuus 4.0 keskittyy painopisteellään jatkuvasti kehittyvässä teknologiassa. Kehittyvällä teknologialla on suuri vaikutus tuotantoprosesseihin (Tambare ym. 2021). Vaidyan, Ambadin ja Bhoslen (Mäkinen 2021, 36.)

mielestä uusin vallankumous on sekä realistinen ja visionäärinen käsite, jonka olennaiset elementit ovat:

1. Big data ja analytiikka
2. Itsenäisesti toimivat robotit
3. Simulaatio
4. Systeemi-integraatiot
5. Teollisen esineiden internetin
6. Kyberturvallisuus
7. Pilvipalvelut
8. Lisäävä valmistus
9. Lisätty todellisuus.

Näiden lisäksi Tambare ym. (2021) mainitsevat Teollisuus 4.0 aikana syntyneitä tuotantoprosesseihin vaikuttaneita merkittäviä innovaatioita olevan myös virtuaalitodellisuus, 3D-tulostus, dronit, nanoteknologia ja liiketoimintaäly. Kyseiset innovaatiot mahdollistavat tuotantoprosessien räätälöinnin asiakkaiden tarpeiden mukaiseksi sekä vaikuttavat esimerkiksi tuotteisiin, palveluihin, markkinoihin, liiketoimintamalleihin ja talouteen sekä työympäristöön (Tambare ym. 2021).

Teollisuus 4.0 kehittää kyberfyysistä tuotantojärjestelmää (CPPS) käyttäen apunaan Internet of Things (IoT) -tekniikkaa. CPPS järjestelmää pidetään Teollisuus 4.0:n pääteknologiana. Tämä pääteknologia pitää sisällään useita muita teknologioita kuten tekoälyn, IoT:n ja langattomat sulautetut verkkojärjestelmät. Tutkimuksissa on nähty, että Teollisuus 4.0 mahdollistaa digitalisille laitoksille kilpailuetua normaaliin valmistustekniikkaan verrattuna. Pääteknologia eli CPPS puolestaan tarjoaa älykkäille tuotantolaitoksille mahdollisuuden informaation siirtämiseen järjestelmien ja tuotantolaitoksien välillä internetin avulla. Kehittynyt tietotekniikka ja sen käyttäminen sekä kehittyneet ohjelmistot yhdistävät fyysistä ja virtuaalista maailmaa. Tätä yhdistelmää kutsutaan kyberiksi Älykkäässä tuotannossa ja valmistuksessa tuotannon eri toiminnot ovat integroituja toisiinsa, ja eri osa-alueet pystyvät nopeasti reagoimaan asiakkaiden tarpeisiin, muuttuviin edellytyksiin ja toimintaympäristöihin. (Tambare ym. 2021.)

Teollisuus 4.0 luo paljon mahdollisuuksia tuotantolaitoksissa ja mahdollisuudet voidaan jakaa muutamaaan pääalueeseen: joustavuus, joka tulee kysymykseen pienien tuotantoerien valmistuksessa; tuotannonkapasiteetti; prototuotteiden nopeus; laadun paraneminen; parempi koneiden käyttöaste; pienet asennuskustannukset ja parempi asiakastyytyväisyys palveluihin sekä tuotteisiin. Teollisuus 4.0 on synnyttänyt teollisuuteen muitakin digitaalisia vallankumouksia, jotka hyödyntävät älykkäitä ratkaisuja ja menetelmiä kuten Laatu 4.0. (Tambare ym. 2021.)

Keski-Euroopassa on runsaasti keskisuuria yrityksiä, jotka ovat omalla toiminta-alueellaan markkinajohtajia. Nämä yritykset käyttävät toimissaan Lean-valmistusta ja toimintoja menestyäkseen. Suuri osa yrityksistä kamppailee kuitenkin Leanin käyttöönoton kanssa. Näiden yritysten on löydettävä ratkaisu Lean haasteiden selättämiseksi, ja Teollisuus 4.0 on yksi vaihtoehto löytää ratkaisu. Teolliset ja akateemiset tahot ovat suorittaneet tutkimuksia Teollisuus 4.0:aan liittyvien teknologioiden mahdollisista yhteyksistä Lean-valmistusta silmällä pitäen. On todettu, että Teollisuus 4.0 ratkaisut tarjoavat hyvät välineet Leanin toteuttamiseksi, mutta toimenpiteet vaativat investointeja, joihin kaikki keskisuuret yritykset eivät ole valmiita. Lean-valmistus ja Teollisuus 4.0 teknologiat toimivat hyvin yhdessä ja hyvin integroituna luovat edellytykset tehokkaaseen toimintaan. (Sanders ym. 2016, 812–813.) Teollisuus 4.0:n integroitujen tieto- ja viestintäjärjestelmien avulla voidaan poistaa hukkaa sekä korjata käytäntöjen puutteita tehostaen tuottavuutta. Yrityksellä on tällöin käytettävissä uusien teknologioiden reaaliaikaiset hyödyt ja järjestelmä hukan syntymisen estämiseksi. Uusien Teollisuus 4.0:n teknologioiden tuomat laskentatehon parannukset sekä komponenttien pieneminen luovat jatkuvasti teknologioiden kehittymistä. Näiden tuoreiden teknologioiden käyttömahdollisuudet on analysoitava ennen niiden jalkauttamista yrityksen toimintoihin. (Sanders ym. 2016, 829.)

Teollisuus 5.0

Teollisuus 4.0:n perässä on tullut Teollisuus 5.0., joka on Euroopan komission julkaisema käsite. Teollisuus 5.0:n tavoitteena on ihmiskeskeinen, mukautumiskykyinen ja kestävä eurooppalainen teollisuus, joka tähtää tulevaisuuteen. Lisäksi Teollisuus 5.0 ajattelumalli kehittää hyödyntämään mukautumiskykyisiä ja ketteriä uusia teknologioita. (Huang 2022, Aarvala 2023, 16–17 mukaan.) Teollisuus 5.0 pääpaino on keskittyä työntekijöiden ominaisuuksiin, tietämykseen ja kykyihin työskennellä automatiikan kanssa yhdessä, ja yhdessä työskentelyn avulla luoda mukautumiskykyä tuotannonprosesseihin ja ympäristöllisiin vaikutuksiin (Zizic 2022, Aarvala 2023). Ympäristön näkökulmasta Teollisuus 5.0 tukeutuu kestävyiden osalta YK:n kestävä kehityksen tavoitteisiin (Leng 2022, Aarvala 2023, 17

mukaan). Viides teollinen vallankumous keskittyy arvopohjaiseen muuttumiseen eikä ole teknologiavetoinen vallankumous (Aarvala 2023).

4.2 Digitaalinen transformaatio

Digitaalinen transformaatio muokkaa maailman eri toimialoja kuten terveydenhuoltoa, lääketiedettä, maataloutta ja teollisuutta. Se mahdollistaa yrityksille onnistuessaan etulyöntiaseman, ja monet yritykset jäävätkin jälkeen kehityksessä. Digitaalista transformaatiota suurimmat yritysjohtajat pitävät merkittävimpänä huolenaiheena maailmalla. (Mugge ym. 2020, 27.) Digitaalinen transformaatio pitää sisällään uusien ja jo käytössä olevien teknologioiden hyödyntämistä uuden liiketoiminnan ja liiketoiminnan transformaation kehittämisessä. Nykyään uuden liiketoiminnan mallin pohjana käytetään digitaalisen median ja internetin tarjoamia pohjia. Uudet liiketoiminnat tuottavat entistä enemmän palveluja sekä lopputuotteita ja uudenlaisia prosesseja, joilla kyseisiä palveluja sekä lopputuotteita jalostetaan. Yrityksellä tai organisaatiolla täytyy olla taitoa ja kyvykkyyttä haastaa omaa toimintaansa sekä tarvittaessa uudistaa keskiössä olevaa toimintaa, digitaalisia keksintöjä ja innovaatiota päästäkseen digitaaliseen transformaatioon. Edellä mainittu tapahtuma vaatii yritykseltä ja organisaatioilta resursseja, ja vaikuttaa kaikkien näiden toimijoiden toimintoihin. Digitaalinen transformaatio vaatii onnistuakseen kehittyneempää asiakkaan ymmärtämistä, joka on yksi olennainen osa Lean-filosofiaa, ja tätä kautta asiakkaan tarpeita jalostavien toimintojen kehityksen läpiviemistä. Onnistunut digitaalinen transformaatio tarkoittaa tilannetta, jossa yritys tai organisaatio kehittää toimintaansa digitaalisesti ja tämän avulla rakentaa uutta taloudellisesti kannattavaa liiketoimintaa. Digitaalisen transformaation määränäänä on tuottaa kehittyneempiä ja parempia tuotteita sekä palveluita asiakkaille, ja tämän avulla kasvattaa yrityksen tai organisaation positiivista käyttäjäkokemusta. Asiakkailta saatu hyvä käyttäjäkokemus pitää sisällään paljon enemmän kuin pelkän kokemuksen ja asiakkaiden tarpeisiin vastaamisen. Käyttäjäkokemuksen kautta myös innovaatiot nousevat esille ja voivat parantaa asiakkaiden kokemuksia positiivisesti. (Piela 2018, 9–10.)

Digitaalinen transformaatio on kokonaisvaltaista digitalisoimista ja näkemys yrityksen tai organisaation toiminnan uudistamiseksi, eikä pelkästään tietyn osa-alueen tai prosessin digitalisoimista. Digitaalinen transformaatio suuntautuu niin operatiiviseen toimintaan kuin koko yrityksen strategiaan sekä se on yrityksen tai organisaation jatkuvaa ja vaatimukset täyttävää transformaatiota. Sen avulla luodaan ja innovoidaan koko liiketoimintaa uudelleen. Uuteen innovoituun liiketoimintaan ja sen tarpeisiin organisaatiot rakentavat uudet toimintamallin, rakenteen, roolin ja osaamistarpeet. Fitzgeraldin suorittamassa tutkimuksessa vuonna 2013 nousee esiin digitaalisen transformaation leviäminen kaikille aloille. Digitaalisessa transformaatiossa kehitettyjen teknologioiden ymmärtämisestä ja sisäistämisestä ei

yrietyksien ja organisaatioiden ole varaa jäädä jälkeen. Markkinoiden kehittyessä ja kiristyessä sekä asiakkaiden tietoisuus muista mahdollisuuksista edellyttää jatkuvaa uusien liiketoimintamallien ja toimintojen keksimistä. Jatkuva kehitys vaatii henkilöstöltäkin jatkuvaa koulutusta, jotta heidän toimintansa pysyy innovoivana ja transformaation mukana. (Piela 2018, 10.)

On yrityksiä ja organisaatioita, jotka eivät jalosta tai kehittä digitaalisia tuotteita ja palveluita tai asiakas ei vaadi kehittymään digitalisesti. Myös näillä toimialoilla digitaalinen transformatio näkyy toiminnassa. Näissä organisaatioissa on kuitenkin osia, joiden digitalisoiminen on mahdollista ja kannattavaa. Tämän kaltaisilla teollisuuden toimialoilla digitaalinen transformatio koskee vain tuotantoprosesseja ja sen toimintoja. Näissä tuotantoprosesseissa ja palveluissa sekä tuotteissa voi kuitenkin tapahtua muutoksia digitaalisen transformaation takia. Fyysiset tuotteet ja palvelut voivat jatkossa sisältää digitaalisia osia, jotka transformatio on tuonut mukanaan. Tuotantokoneiden toiminnot ovat usein jo siirtyneet digitalisiin ohjelmistoihin, toimintoihin ja tuotannon jalostavat tuotteet sisältävät varsin yleisesti jo digitaalisia komponentteja. Näihin tuotantokoneisiin voidaan digitalisoitumisen avulla ottaa yhteys tietoliikenneverkon kautta, ja sama pätee myös tuotteisiin tai palveluihin, jotka sisältävät digitaalisia komponentteja. Kyseiset digitaaliset laitteet ja tuotteet luovat samalla palvelurajapinnan, jonka kautta ulkopuolinen tai sisäinen palveluntarjoaja pääsee käsiksi lopputuotteisiin tai laitteisiin. Digitaalinen transformatio on näin muuttanut palveluita ja rajapintoja. Digitalisoitumisen myötä ohjelmistoista on syntynyt tärkeä keskeinen osa kaikkien toimialojen liiketoimintaa. Jokaisessa yrityksessä ja organisaatioissa digitaalisuus näkyy eri tavalla. Digitalisaation toimittajina ovat ulkopuoliset tai sisäiset IT-organisaatiot tai yksityishenkilöt, ja muut toimijat ovat digitalisaation hyödyntäjiä, jotka digitalisoivat omia prosessejaan, tuotteitaan ja toimintojaan digitalisaation toimittajien avulla. (Piela 2018, 10–11.)

Digitaalinen transformatio voi luoda merkittäviä taloudellisia hyötyjä tai haittoja, kuten lisäkustannuksia. Taloudelliset tulokset ja digitaalinen valmius luodaan sitoutumisella, investoinneilla ja hyvällä johtajuudella. Yritykset, jotka ovat digitaalisesti hyvässä tilanteessa luovat realistisia prioriteetteja sekä tekevät töitä saavuttaakseen hyvän digitaalisen valmiuden. Digitaalisen valmiuden toteuttamiseksi edellytetään yrityksen oppimista omasta digitaalisesta toimintaympäristöstä. Digitaalisen valmiuden saavuttaminen vaatii lisäksi yrityksen johtajilta ja työntekijöiltä jatkuvaa intuitiivista toimintaa. (Mugge ym. 2020, 33–34)

4.3 Tuotannon seurannan digitalisoinnin työkaluja

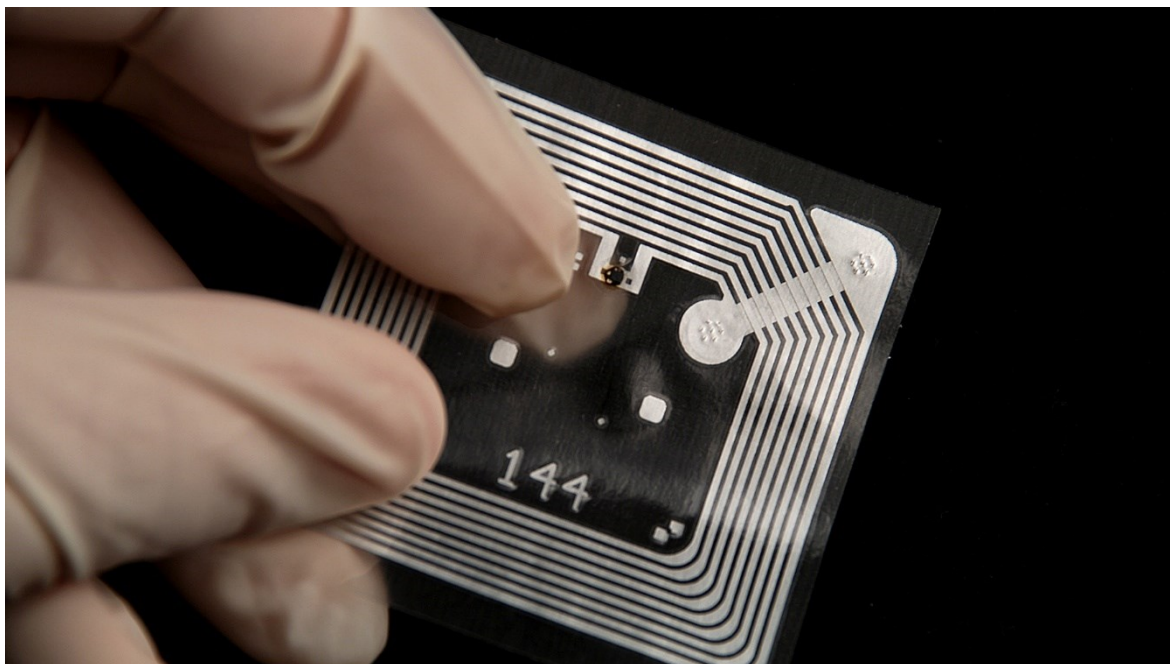
Digitalisoinnin työkaluja käytetään siltana analogisen ja digitaalisen tiedonsiirron välillä. Työkaluja valittaessa on ensin kartoitettava yrityksen tai organisaation osa-alueet, joita

ollaan lähdössä digitalisoimaan. Kartoituksen perusteella päästään valitsemaan digitalisoinnin työkaluja. (Siitari 2023.)

Kehitystyössä perehdytään kolmeen yleisimpään digitalisoinnin työkaluun: RFID, QR-koodi ja EAN-viivakoodi. Niiden avulla digitalisointi ja integroiminen toiminnanohjausjärjestelmään on saavutettavissa, koska kyseiset työkalut sisältävät tarvittavat tiedot seurannan digitalisoimiseksi.

RFID

RFID (Radio Frequency Identification) tunnetaan myös nimellä etätunniste. Kuvassa 4 on esitetty malli yksinkertaisesta RFID-kortista. Etätunnisteet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään passiivisiin, semipassiivisiin ja aktiivisiin. Esimerkki aktiivisesta etätunnisteesta on tavallisen radion mukaan toimiva etätunniste. Alun perin RFID suunniteltiin pienen ja lyhyen kantaman tiedon ja sen määrän tunnistamiseen. RF-kirjaimet viittaavat radiotekniikassa n.100kHz taajuuteen, tosin nykyään tunnisteet käyttävät huomattavasti suurempia taajuuksia. RFID eroaa huomattavasti perinteisestä viivakoodista EAN:stä. Etätunniste voidaan verrata radioon, jolla on mahdollista kerätä informaatiota prosessointiin ja salaamiseen sekä se sisältää hieman muistia. Etätunnistimeen voidaan yhdistää lisäkomponentteja kuten näyttö, antureita ja näppäimistö. Tämä mahdollistaa RFID monipuolisimman käytön ja laajentaa mahdollisuuksia. (Seppä 2011, 8.)



Kuva 4. RFID-kortti (Temera 2023)

Passiivinen etätunniste ei sisällä omaa erillistä virtalähdettä vaan passiivinen tunniste saa tarvitsevanaan energian lukulaitteen synnyttämästä energiakentästä ja pystyy näin kommunikoidaan ja tarjoamaan tietoa lukulaitteelle. Passiiviset etätunnisteet ovat yleisimmin käytössä olevia etätunnisteita ja edullisia verrattuna aktiivisiin tunnistuksiin. (Idesco 2023.) Pienellä virtalähteellä kuten patterilla tai akulla toimivia etätunnisteita kutsutaan semipassiiviksi. Oma pieni virtalähde mahdollistaa pidemmän tiedonlukeutaisuuden sekä se pystyy toimimaan ilman lukulaitetta ja sen tuomaa energiakenttää. Semipassiivinen etätunniste ei kuitenkaan voi toimia täysin ilman lukulaitetta, koska se ei voi lähettää informaatiota kuten itsenäinen radio. RFID tunnistuksissa semipassiivisten tunnistusten käyttö on lisääntymässä, koska tunnistuksiin lisätään informaatiota keräviä antureita. Antureita sisältävän semipassiivisen tunnistuksen käyttökohteita ovat esimerkiksi logistiikan ja laadun valvonta, kiinteistöjen ja rakenteiden kunnon valvonta sekä ihmisten terveydentilan seuraaminen. (Seppä 2011, 9.)

Etätunniste on kommunikointimenetelmä, joka perustuu heijastusperiaatteeseen (Idesco 2023). Lukulaite toimii keskustelun keskipisteenä. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki RFID-käsilukulaitteesta. Se lähettää moduloitua tai normaalia kantoaaltoa ja kuuntelee samanaikaisesti tai heti moduloinnin jälkeen etätunnisteen moduloimaa signaalia. Etätunniste moduloi amplitudia tai vaihetta, kun taas lähettimen modulaatio on aina amplitudimodulaatiota. Lukulaitteeseen saapuva signaalin taajuus on tärkeä olla täysin sama kuin lähetetty signaali, vaikka se onkin heijastunut. Näköyhteyttä etätunnistimeen ei vaadita, koska radiotaajuuksien ominaisuuksien käyttö mahdollistaa informaation kulun ilman näköyhteyttä. RFID tunnistuksen ja optisen tunnistuksen erona ovat juuri edellä mainitut kaksi asiaa. (Seppä 2011, 9.)



Kuva 5. RFID-käsilukija (Finn-ID 2023)

Etätunnisteiden heikkoutena on niiden haavoittuvaisuus kaappauksille ja häirinnälle. Lukijan lähettämää tietoa on mahdollista lukea ja kuunnella, vaikkakin tunnisteiden luku onnistuu vain lyhyen etäisyyden päästä. Häirintä ja kuuntelu onnistuu kuitenkin huomattavasti kauempaa kuin lukeminen. Etätunnisteet myös häiritsevät toisiaan, mikä on otettu huomioon standardeissa samalla tavalla kuin muukin langaton liikenne. Lukijan lähettävä signaali ei pidä sisällään etätunnisteen informaatiota, joka tekee kaapatun signaalin väärinkäyttömahdollisuudet pieniksi. (Seppä 2011, 9.)

Etätunnistin sisältää kolme erillistä osaa: piisirun, antennin ja tarralaminaatin. CMOS-pohjainen piisiru on kustannuksiltaan hyvin halpa. Piisirun valmistukseen ei vaadita uusia tuotantotiloja, laitteita ja menetelmiä, vaan puolijohdevalmistajat voivat valmistaa siruja edullisin kustannuksin. RFID-tekniikan nopean kasvun ja merkityksellisyyden lyhyiden matkojen tiedonkulussa ovat mahdollistaneet edullisuus sekä toimiminen ilman erillistä energianlähdettä. Etätunnistimen antenni on tärkein osa tunnistimen toimintaa ja sen kapasiteetti on riippuvainen antennista. Suuria taajuuksia käytettäessä suurtaajuusantenni pystytään liittämään mikropiiriin, mutta haittapuolena on lyhyt lukuetaisyys. Lukuetaisyyden kasvaessa etätunnistimien kokokin kasvaa. Etätunnisteet on mahdollista rakentaa hyvin ohuiksi, jolloin niiden piilottaminen on helppoa, eikä käyttäjät välttämättä huomaa etätunnisteen läsnäoloa. Etätunnisteita on laitettu jo ihmisten ihon alle, mutta antennin pieni koko rajoittaa lukuetaisyyttä. (Seppä 2011, 9.) Käytössä olevat taajuudet määritellään viranomaistaholta ja ne on standardisoitu. HF- (High Frequency, 13,56MHz) ja UHF- (Ultra High Frequency, 865 MHz Eurooppa – 950 MHz Japani) alueilla toimivat etätunnistimet on määritellyt viestintäviranomaiset sekä luonut säännöt etätunnistimien taajuuksien käyttöön. Taajuuksia tulee koko ajan lisää, joten uusia standardisointeja on tulossa. RFID-antureiden standardisointi on vielä tulossa, vaikka alue kehittyikin koko ajan. Syy sille, että RFID kehittyy, vaikka standardisointia ei ole vielä luotu, on se, että RFID-antureissa käytetään hyväksi HF tai EPC- (Electronic Product Coding) standardeja. EPC-etätunnisteet ovat suojaukseltaan hyvin heikkoa tasoa. (Seppä 2011, 10.)

Etätunniste on siis muistipiiri, joka sisältää tietoa ja sitä voidaan lukea sekä muuttaa langattomasti. Standardi vaatii, että mikropiirin muisti on aina pysyvää eikä sitä voi jälkikäteen muuttaa. Tämän takia kahta samanlaista etätunnistetta ei ole. Käyttäjä voi syöttää etätunnisteisiin informaatiota sekä omaa tuotantoa käsittelevän lukitun koodin. Muisti mahdollistaa hyvin pitkiä koodeja, joten käyttäjä voi luoda jokaiselle asialle oman koodinsa, eivätkä ne lopu kesken. Esimerkiksi 96 bittiä on $n.10^{29}$ erilaista koodia. Yleisesti piirit sisältävät myös uudelleen kirjoitettavaa muistia. Tätä muistia muokattaessa tarvitaan suojaus salasanalla sekä muistille syötettävä informaatio täytyy kryptata. Kryptauksen turvallisuustasoja on monia ja ne vaihtelevat standardien ja ohjelmiston mukaan. Hyviä esimerkkejä salauksien

eritasoista ovat autonavaimet ja kännyköissäkin oleva NFC (Near Field Communication). NFC on hyvin suojattu ja sisältää tehokkaan salausjärjestelmän, koska sitä käytetään esimerkiksi maksamiseen, kun taas auton avaimissa salaus on hoidettu vaihtuvalla salasanalla. (Seppä 2011, 10.)

Sovelluksia ajatellen etätunnisteiden muistin määrä ja mahdollinen tiedonsiirtonopeus ovat merkittävässä asemassa. Vasteaika on hyvin lyhyt yhteyden saamiseksi ja tiedonsiirtämiseksi, ja esimerkiksi logistiikan puolella se on noin 1 ms ja peruskuluttajan käytössä noin 1 s. Logistiikassa vasteaja täytyy olla lyhyt, koska lukijat voivat lukea satoja tunnisteita samanaikaisesti. Jokaisessa piirissä on oma tunnistenumero, jotta saatu informaatio ei mene sekaisin. RFID-tekniikassa tiedonsiirtonopeus on ratkaisevassa osassa, ei niinkään muistin määrä. RFID-piirejä on erilaisia. Joissakin piireissä on digitaalinen väylä, joka mahdollistaa monimutkaisia mikroprosessorin ohjaamia järjestelmiä, joiden tehonsyöttö tapahtuu RFID-rajapintaan lukulaitteen avulla. (Seppä 2011, 11.)

RFID- tekniikka ja ala on kasvanut valtavasti viime vuosien aikana. Miljardeista tunnisteista käytössä on lyhyt- ja pitkäkestoisia versioita. Lyhyt- ja kertakäyttöisiä käytetään logistiikassa, kun taas pitkäkäyttöisiä käytetään esimerkiksi matkalipuissa. RFID-tekniikka vaikuttaa yhteiskuntaan monilla aloilla erilaisten sovellutuksien ja niiden laajuuksien kautta. Näitä aloja ovat esimerkiksi teollisuuden tarpeet, logistiikka, kaupan ala, palvelut ja kuluttajat. Teollisuuden tuotannon tarpeisiin RFID vastaa monella osa-alueella. Sen avulla voidaan lisätä tuottavuutta ja helpottaa sisäistä logistiikkaa. Kokoonpanossa tarvittavat osat saadaan käyttöpisteelle juuri silloin kuin kyseisiä osia tarvitaan. Tuotannossa RFID avulla tuotteet voidaan yksilö merkitä, joka on käytössä ainakin lentokoneteollisuudessa turvallisuuden takia. (Seppä 2011, 17.) Myös osa julkisen junaliikenteen valmistajista maailmalla ovat ottaneet käyttöön tuotteiden yksilöidyn merkkauksen nimenomaan turvallisuus- ja takuuasioiden takia. Seppä (2011, 17.) kertoo myös julkaisussaan, että tuotannossa RFID:n käyttö mahdollistaa myös säästöjä. Hävikkien määrä kuljetuksissa vähenee, varastointikustannukset pienenevät, inventaariot helpottuvat ja nopeutuvat sekä RFID avulla tuotannonkulun ja tehokkuuden seuraaminen on mahdollista. Erillisten antureiden avulla voidaan parantaa prosessia. Anturit havaitsevat esimerkiksi tärinää, kosteutta ja lämpötiloja sekä monia muita prosessissa tapahtuvia muutoksia. Yksittäisissä tuotteissa olevat tunnisteet vaikeuttavat ja estävät myös tuoteväärennöksiä. Tuotteeseen laitetaan salasanalla suojattu RFID-tarra, jonka avulla voidaan seurata tuotteiden kulkua. RFID-tarran avulla myös kuluttaja voi saada tietoa tuotteesta. (Seppä 2011, 17.)

NFC-tekniikka

Yleisin RFID-lukija, joka on lähes jokaisen ihmisen käytettävissä, on puhelimissa oleva NFC (Near Field Communication). NFC on RFID-lukija, joka pystyy simuloimaan niin lukijaa kuin etätunnistinta. Tämä mahdollistaa kahden puhelimen välisen yhteyden ja informaation siirron. NFC-tekniikka on kehittymässä ja sen käyttöä laajennetaan erilaisiin sovellutuksiin. NFC-tekniikan standardeissa on rajattu lukuteho, joka mahdollistaa luennan vain noin 4 cm:n päästä, mutta signaalia voi kuunnella useiden metrien päästä. NFC-tekniikassa on panostettu erityisesti suojaukseen, koska tekniikkaa käytetään esimerkiksi maksamiseen. (Seppä 2011, 11.)

Kuluttajille yleisin NFC ominaisuus mahdollistaa kuluttajan siirtämään kortit ja matkaliput yms. suoraan puhelimeen. NFC-standardi on rakennettu näitä toimintoja ajatellen. Nykyään monesti käytössä olevat elektroniset avaimet esimerkiksi autoihin ja asuntoihin on mahdollista siirtää puhelimella toimiviksi. Käyttäjän on mahdollista käyttää puhelimessa olevia kortteja, vaikka puhelin olisi kiinni, koska puhelimen NFC saa tarvittavan energian lähettimeltä. NFC-tekniikka mahdollistaa myös helpompia toimintoja esimerkiksi vanhuksille. Tuotteiden tiedot kaupasta ovat helposti luettavissa ja sovellutuksien avulla käyttäjä voi aktivoida palveluita. Esimerkiksi koskettamalla fyysistä etätunnistetta, käyttäjä voi pyytää apua, eikä puhelinta tarvitse etsiä tai ottaa esiin. Elektroninen avain on yksi esimerkki NFC-tekniikasta (ks. kuva 6.). Tämä on mahdollista luoda ihon päälle laitettavalla etätunnistelaitteella, jossa on antureita. Tällöin apupyyntö lähtee suoraan ilman erillisen laitteen painallusta anturien reagoidessa poikkeavaan terveystietoon. RFID on luonut kytköksen digitaalisen ja fyysisen maailman välille. (Seppä 2011, 18.)



Kuva 6. Elektroniset avaimet toimivat RFID-tekniikalla (Idesco 2023)

Viivakoodi yleisesti ja EAN (European Article Numbering Association) -viivakoodi

Viivakoodi on fyysisesti näkyvä ja tietokoneella luettavissa oleva informaatio. Lukeminen onnistuu viivakoodiskannereilla tai koneellisesti kuvalla. Informaation siirtyä skannerin avulla päätelaitteelle, esimerkiksi tietokoneelle. AIDC (Automatic Identification & Data Capture) on laaja automaattisen tunnistamisen sekä informaation keräyksen käsite, jonka keskeinen osa viivakoodi on. Viivakoodien käyttö on levinnyt yritysten tilaus- ja toimitusketjujen kontrolloimisessa. Viivakoodia on alettu käyttää myös muissa yhteyksissä uusien viivakoodimallien myötä. Uusia EAN-viivakoodin rinnalle tulleita viivakoodimalleja ovat esimerkiksi QR-koodi sekä GS1 DataMatrix matriisikoodi, jotka mahdollistavat laajemman tietomäärän tallentamisen pienempään tilaan. Viivakoodit tunnetaan laajimmin käytössä olevana automaattisen tunnistuksen teknologiana. (GS1 Finland 2023.)

Optinen viivakoodi on myös etätunniste. Suomessa yleisimmin käytössä oleva viivakoodi on EAN-koodi (ks. kuva 7). Viivakoodi on nopeasti luettavissa esimerkiksi kaupan laserpohjaisilla lukijoilla. Vaikka viivakoodin lisäksi on tullut RFID, joka mahdollistaa paljon enemmän toimintoja, se ei kuitenkaan vielä uhkaa perinteisen viivakoodin käyttöä päivittäisissä toiminnoissa kuten kaupoissa. (Seppä 2011, 8–9) EAN-koodi ei kuitenkaan tulevaisuudessa pysty vastaamaan tietosisällön tarpeisiin (GS1 Finland 2014, 3). EAN-koodissa tiedon määrä rajataan avainten sekä käyttäjien sisäisten vaihtuvamittaisten tuotteiden tunnistamiseen (GS1 Finland 2023, 1.4 viivakooditaulu suomi).

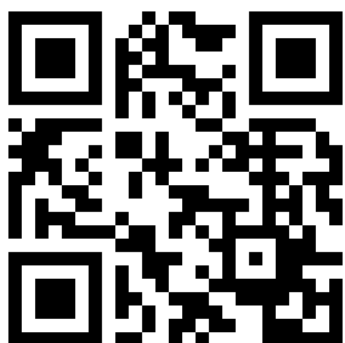


Kuva 7. EAN-13 viivakoodi (GS1 2023)

QR (Quick Response Code) -koodi

QR-koodi on niin ikään viivakoodi (ks. Kuva 8). QR-koodi soveltuu hyvin käyttäjien linkittämiseksi verkkosivustoille. Sivustolta käyttäjä voi löytää tietoa tuotteesta tai palvelusta sekä tarjoaa näin laajemman informaation saannin jopa tuotteiden tai palveluntarjoajien kanssa.

GS1 Digital Link -standardin täyttävä informaatio sisältö on mahdollistanut QR-koodin hyödyntämisen aiempien käyttötarkoitusten lisäksi myös tilaus-toimitusketjuissa. QR-koodi on tullut EAN-koodin rinnalle yhdeksi suosituimmaksi viivakoodiksi. Kuluttajien ja käyttäjien mobiililaitteilla olevat kameran sovellukset ovat mahdollistaneet QR-koodin nopean kasvun. Kameran sovelluksien helppokäyttöisyys on edesauttanut QR-koodien yleistymisessä. GS1 Digital Link -standardin mukainen QR-koodi voi sisältää myös tarkempia lisätietoja tuotteista tai palveluista, kuten valmistuspäivämäärä, erätunnus ja viimeinen voimassaolopäivä. Kyseisten ominaisuuksien takia QR-koodin käyttö on joustavaa ja mahdollistaa laaja-alaisen käyttökohteiden toteuttamisen viivakoodin avulla. (GS1 Finland 2014, 5.)



Kuva 8. QR-koodi (Laitinen 2023)

GS1 DataMatrix matriisikoodi

GS1 DataMatrix -viivakoodi on DataMatrix-viivakoodin muunnos, jossa käytetään GS1 sovellustunnuksen rakennetta (ks. kuva 9). Tämä tunnus mahdollistaa informaation luvun viivakoodista kaikilla viivakoodin lukulaitteilla. Lukijalaitteet lukevat informaation samalla tavalla, eivätkä ole riippuvaisia informaation järjestyksestä ja määrästä viivakoodin sisällä. QR-koodiin verrattuna GS1 DataMatrixin etuna on sen luotettavuus lukuvarmuudessa. GS1 DataMatrix sisältää laadukkaan virheenkorjauksen ja informaation sisällön pakkaus on tehokas. Etuna on myös sen mahdollisuus toimia monimuotoisena. Koodin tulostus voi olla neliö tai suorakulmainen, joka mahdollistaa koodin laiton paikkoihin, joihin ei neliötuloste mahdu. Tämä ei heikennä luettavan informaation luotettavuutta, mutta vaikuttaa informaation määrään laskevasti. (GS1 Finland 2014, 6.)



(01)03453120000011

(17)291030

(10)ABC123

Kuva 9. Suorakulmainen GS1 DataMatrix-viivakoodi (GS1 DataMatrix Guideline 2023)

Tämä matriisikoodin käyttötarkoitus on ensisijaisesti toimitusketjuissa ja niiden tarpeissa. GS1 DataMatrix-koodi vie vähän tilaa ja tarjoaa paljon informaatiota käyttäjälle. Koodista tuleva informaatio on myös yksiselitteistä ja GS1-standardin mukaista. GS1 DataMatrix-viivakoodia suositellaan käytettäväksi, mikäli tavoitteissa on parantaa pelkästään toimitusketjun tehokkuutta, saldojen hallintaa ja hävikkien määrää. (GS1 Finland 2014, 6.)

4.4 Digitaalisen transformaation johtaminen

Muutokset tapahtuvat nykyaikana nopeasti sekä ovat laajoja (Worley & Mohrman 2014, Wallin 2020, 5–6 mukaan). Muutoksien johtaminen on haastavaa ja vaatii organisaatiolta sekä johtajilta paljon panostusta (Westerman 2014, Wallin 2020, 6 mukaan).

Worleyn ja Mohrmanin mukaan organisaatioihin kohdistuu neljä vaatimusta: Selviytyä nykytilanteesta ja tehdä päivityksiä tulevaisuutta ajatelle, käyttää hyväkseen vahvuuksia ja kehittää uusia osa-alueita, optimoida nykyiset toiminnot ja kyettävä tarjoamaan modifioituja ratkaisuja sekä vähentää hiilijalanjälkeä muuttamalla prosesseja ja toimintoja kestävän kehityksen käytäntöjä noudattaen. Näiden neljän vaatimuksen lisäksi digitaalisessa transformaatiossa organisaation täytyy ottaa huomioon myös digitalisoinnista johtuvat haasteet ja prosessien datavetoisuus. (Wallin 2020, 6) Organisaatioiden on kehityttävä ja sopeuduttava toimimaan uusien teknologioiden kanssa parantaen uusien teknologioiden avulla automaatiota ja prosesseja (Fischer 2020, Wallin 2020, 6 mukaan). Digitaalisen transformaation johtaminen pohjautuu prosessijohtamisen teoriaan, mutta prosessijohtamisen teorian lisäksi on otettava huomioon digitalisoinnin mukana tulevat haasteet (Fischer 2020, Wallin 2020, 6 mukaan).

5 Lähestymistavat kehittämistyöhön ja tutkimuksiin

5.1 Kvalitatiivinen tutkimusote

Kehitystyön alussa perehdyttiin eri tutkimusotteisiin. Tutkimusotteiden ääripäitä on kaksi, kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimusote ja kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimusote. Tutkimusotteen valinnassa keskitytään ongelmalähtöisyyteen, koska tutkimusotteen ja sen menetelmien tulee keskittyä tutkittavaan tapahtumaan. Kvalitatiivista tutkimusta käytetään sitä todennäköisemmin mitä vähemmän itse tutkimuskohteesta tiedetään ennakkoon. Trochim ja Donnelly (Kananen 2012, 29.) jakavat 2008 valmistetussa teoksessa kvalitatiivisen tutkimuksen soveltuvuuden viiteen eri luokkaan, joihin kvalitatiivinen tutkimus sopii parhaiten:

1. Tutkittavasta ilmiöstä ei ole tietoa etukäteen, vaan kohteena on uusi ilmiö.
2. Tutkittavasta ilmiöstä halutaan saada tarkka ja perusteellinen näkemys.
3. Silloin kun ollaan rakentamassa uusia teorioita ja olettamuksia.
4. Kun käytetään sekoitettua tutkimusstrategiaa.
5. Tutkittavasta ilmiöstä halutaan saada tarkka kuvaus.

Kvalitatiivinen tutkimus ei käytä lukuja, vaan se pohjautuu sanoihin, joiden avulla päästään tuloksiin. Kvalitatiivinen tutkimus ei myöskään käytä hyväksi tilastoja ja määreitä. Kvalitatiivinen tutkimus pyrkii kuvaamaan tapahtuman ja antamaan tarkan ymmärryksen ilmiöstä. Tutkimus suoritetaan ja aineisto tulkitaan prosessina, jossa ei ole tarkkoja sääntöjä, viitekehystä ja ohjeistusta. Tämä prosessi on joustava eikä noudata tiettyä kaavaa, vaan prosessissa voidaan hyppiä edestakaisin vaiheista toisiin. Tutkimusprosessissa harvoin edetään lineaarisesti alusta loppuun. Prosessin aikana tutkija voi hyppiä varsinaisen tutkimuksen teosta pohtimaan teorioita ja siirtyä hetken päästä takaisin suorittamaan suoranaista tutkimuksen tekoa. Tutkimus kulkee tuloksien mukaisesti eli tällöin tutkimusta ohjaa saadut tulokset. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkija määrittää tulokset ja tulkinnan, jolloin ei ole vain yhtä tarkkaa ja oikeaa tulkintaa tuloksista. Vaikka saadut kvalitatiivisen tutkimuksen tulokset ovatkin riippuvaisia tutkijasta se ei merkitse sitä, että ne olisivat vääriä. (Kananen 2012, 29–30.)

Koskisen, Alasuutarin ja Peltosen (Kananen 2012, 30.) mukaan kvalitatiivinen tutkimus ja kvantitatiivinen tutkimus eli määrällinen tutkimus linkittyvät usein toisiinsa. Laadullisella tutkimuksella voidaan ensin suorittaa esitutkimus kohteeseen tai tapahtumaan, jolloin

saadaan hyvä pohja määrällisen tutkimuksen suorittamiseen. Kvalitatiivisella tutkimuksella voidaan myös tarkentaa sekä syventää kvantitatiivista tutkimusta ja sen tuloksia. Molemmilla tutkimuksilla on omat parhaat kohteet ja niillä pyritään saamaan aina laadukkaita tuloksia, jotka kestävät kritiikkiä, joten niitä on turhaa asettaa vastakkain. Tutkimustapa määräytyy tutkittavasta ilmiöstä ja ongelman luonteesta. (Kananen 2012, 30.)

5.2 Kvantitatiivinen tutkimusote

Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimusote pohjautuu määriin ja lukuihin. Kvantitatiivisen tutkimuksen suorittaminen vaatii etukäteen ymmärryksen tapahtumasta, ilmiöstä, teoriasta ja mallista. Siksi laadullinen tutkimus on hyvä pohja määrälliselle tutkimukselle. Tapahtumasta tai ilmiöstä täytyy olla selvillä sen ulkoiset sekä sisäiset vaikuttajat ja muuttujat. Määrällisessä tutkimuksen merkintöjä ja laskelmia ei voida suorittaa, jos ei tiedetä tarkkaan, mitä ollaan laskemassa. Määrällinen tutkimus on deduktio eli se suuntaa yleisestä yksityiseen, kun taas laadullinen tutkimus on induktio, joka suuntaa yksityisestä yleiseen. (Kananen 2012, 31.)

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa on ennalta tiedossa tutkimuskysymykset ja mitä ollaan tutkimaan. Tutkimuskysymykset johdetaan suoraan ilmiön teorioista ja malleista. Tapahtumasta tai ilmiöstä ja niiden muuttujista johdetut tutkimuskysymykset ovat tutkimuksen kohde. Esimerkiksi, jos tutkimuskysymyksenä on autojen korimallit, ovat muuttujana korimalli, jolla on ominaisuuksina farmari, sedan, pakettiauto, avoauto ja niin edelleen. Tutkimuksessa lasketaan eri ominaisuuksien määriä kappaleina tai osuuksina kaikkien tutkittujen kohteiden määräst. Saaduille tuloksille voidaan tehdä matemaattisia toimenpiteitä ja jakaumia, koska tulokset on esitetty lukuina. Tuloksista voidaan ottaa myös suoria jakaumia esimerkiksi, jos tutkimuksesta selviää myös autojen värit. Mikäli tutkimuksessa tutkitaan autojen korimallia ja värejä kyseessä on kahden muuttujan ristikkäinen tarkastelu eli ristiintaulukointi. Tällöin tuloksena saadaan tietoa värien suhteesta auton korimalleihin ja onko korimallilla merkitystä auton väriin. (Kananen 2012, 32.)

Kun tutkimusta lähdetään käytännössä suorittamaan, tutkijan ei tarvitse tehdä tarkkaa jakoa näiden kahden tutkimusotteen välillä. Tutkija itse päättää, kumpaa tutkimusotetta käyttää. Tutkimus voi sisältää osia ja osioita sekä määrällisestä että laadullisesta tutkimuksesta. Monisyinen tutkimusongelma voi johtaa siihen, että parhaaseen lopputulokseen päästään käyttämällä molempia tutkimusotteita. Laadullisessa tutkimuksessa saadut mallit ja teoriat eivät ole pysyviä, vaan tiede haastaa sekä epäilee jatkuvasti saatuja tutkimustuloksia ja niiden luotettavuutta. Samalla tavalla toimintaympäristöt muuttuvat, jotka vaikuttavat myös teorioihin. Laadulliseen tutkimukseen joudutaan palaamaan, mikäli teoria on menettänyt

luotettavuutensa, jotta saadaan oikeanlainen ymmärrys takaisin tapahtumasta tai ilmiöstä. (Kananen 2012, 33.)

5.3 Case-tutkimus

Case-tutkimus eli tapauskohtainen tutkimus tutkii yhtä tai useampaa tapahtumaa. Case-tutkimuksessa kohteena voi olla melkein mikä tahansa kohde, jota tarkastellaan kohteen omassa ympäristössä reaaliaikaisesti. Case-tutkimuksessa on usein piirteitä laadullisesta ja määrällisestä tutkimuksesta. Tämän vuoksi case-tutkimusta pidetään lähestymistapana eikä suorana yksittäisenä tutkimuksena. (Kananen 2012, 34–35.)

Case-tutkimuksessa informaation keräysmenetelmät ovat hyvin monipuolisia, eikä yhtä tiettyä menetelmää tiedonkeruuseen ole. Case-tutkimuksessa käytetään hyväksi kaikkea tietoa, mikä ilmiöstä on saatavilla kuten arkistot, haastattelut, havainnoinnit ja niin edelleen. Menetelmät ovat monenlaisia ja suorilla rajoilla niiden välillä ei ole. Yrityksen tilastot ja luvut saattavat olla tiedon lähteenä case-tutkimuksessa, ja tällöin menetelmä on lähellä kvantitatiivisen tutkimuksen periaatteita, mutta tutkittava ilmiö on yritys. Mikäli case-tutkimuksen tavoitteena on parantaa toimintaa, voidaan puhua kehittämistutkimuksesta. (Kananen 2012, 35.)

Case-tutkimuksessa informaatiota kerätään useista tietolähteistä, jotka yhdistetään. Tällöin tutkimuksessa käytetään aineisto triangulaatio muotoa tutkimusstrategiana. Case-tutkimuksessa ei käytetä vain yhtä informaation lähdettä, vaan informaatiota kaivetaan kaikista mahdollisista lähteistä, joita on saatavilla. Tämä on yksi peruslähtökohta ja edellytys case-tutkimukselle. Toinen edellytys on aineisto, jota tutkimuksessa käytetään ja sen dokumentointi. Aineiston täytyy olla selkeästi tulkittavissa ja muiden ymmärrettävissä, jotta tutkimukselle saadaan uskottava luotettava näkökanta ulkopuolisten silmissä. (Kananen 2012, 35.)

Case-tutkimuksessa on myös omat haasteensa. On määriteltävä tarkasti, mitä ollaan tutkimaan eli selvitettävä, mikä on tutkimuksen case. Case-tutkimuksessa ei myöskään ole tiettyä otantaa, jonka aikana tutkimusta suoritetaan niin kuin kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Ongelma johtaa yleistettävyyteen. Jokaisen tutkijan suorittama tulkinta tapauksesta tai ilmiöstä on oikein ja case-tutkimuksen avulla saatua lopputulosta ei voi pitää yleispätevänä koskemaan muitakin vastaavanlaisia tapauksia ja ilmiöitä. (Kananen 2012, 35.)

Case-tutkimus käsittelee aina vain yhtä kohdetta kerrallaan. Case-tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää syvällisesti ja kokonaisvaltaisesti yksi tapaus sekä sen ilmiön toimintaprosessit ja toimintalogiikka sekä pyrkiä perinpohjaiseen kuvaukseen ilmiöstä. Laadullisessa tutkimuksessa on hyvin samanlaiset tavoitteet, mutta case-tutkimuksessa ilmiön tai tapauksen laajuus on suurempi ja monimutkaisempi, tämän vuoksi case-tutkimusta pidetään

syvätutkimuksena. Case-tutkimus on mahdollista toteuttaa myös tutkimuksena, jossa tutkimusyksiköitä on useampia. Tällaisen monicase-tutkimuksen tuloksia pidetään luotettavimpina kuin peruscase-tutkimuksen tuloksia. Monicase-tutkimuksessa useampi tutkimusyksikkö antaa tutkimustietoa, mutta riskinä on tuloksien tulkitseminen ristiriitaisesti. Määrällinen tutkimus on lähellä monicase-tutkimusta, mikäli tutkimusyksiköitä on tarpeeksi. (Kananen 2012, 36.)

Kun vertaillaan eri tutkimusotteita, huomataan niiden rajojen olevan häilyviä. Varsinkin case-tutkimuksen ja kvalitatiivisen tutkimuksen erot ovat hyvin pieniä. Merkittävimpänä erona näiden kahden välillä on tutkijan toimintatapa. Case-tutkimuksessa itse tutkija ei osallistu millään tavalla ilmiöön tai tapahtumaan, vaan toimii täysin ulkopuolisena henkilönä ja tutkijana. Case-tutkimuksessa ei myöskään pyritä suoranaisesti parannuksiin tai muutoksiin, vaan tulokset jäävät analysointitasolle ja toteamukseksi. Mikäli tutkimuksessa lähdeään tekemään muutoksia ilmiöön tai tapahtumaan tutkimuksen ollessa käynnissä, tällöin on edetty jo kehittämis- tai toimintatutkimus tasolle. Case-tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan toimeksiantajalle antaa kehitys- ja parannusehdotuksia, vaikka ne eivät suoranaisesti sisälly case-tutkimuksen persoonallisuuteen. (Kananen 2012, 37.)

5.4 Havainnointi

Havainnointi on yksi informaation ja tiedonkeräyksen menetelmä. Sen avulla voidaan tarkkailla ihmisten toimintaa ja tekemistä. Havainnointia tapahtuu jatkuvasti, mutta tutkinnallisessa tarkoituksessa havainnointi on järjestelmällistä havaintojen tekemistä ja tarkkailua. Sen tuloksena saadaan suoraan tietoa yrityksen tai organisaation tavoista, toiminnoista ja prosessista sekä sen toteuttamisesta. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024.) Havainnoimista voidaan toteuttaa muiden tutkimusmenetelmien apuna ja lisänä tai itsenäisenä havainnointitutkimuksena. Havainnoimisessa päästään toiminnan omaan miljööseen, ja se käy hyvin kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmäksi. Havainnoimisessa nopeat tilanteen muutokset ja ennakoimattomat sattumat eivät ole haitaksi, vaan tällöin saadaan talteen niiden tekijät. Havainnointitilanteessa toimijoiden kanssa vuorovaikutustilanteet eivät ole pakollisia, näin havainnointi ei ole suoraan tutkittavasta riippuvainen. (Hirsjärvi ym. 2004, Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024 mukaan.)

Havainnointi voidaan kohdistaa melkein mihin tahansa tapahtumaan, kohteeseen tai toimintaan. Se voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: suoraan havainnointiin, joka on ei-osallistavaa tai osallistavaan havainnointiin. Ei-osallistavassa havainnoimisessa tutkija ei liity millään tavalla tekemiseen tai tutkittavaan asiaan, vaan toimii sivusta pelkkänä tutkijana tehden havaintoja. Osallistavassa havainnoimisessa tutkija on mukana toiminnassa, jota ollaan tutkimassa ja suorittaa havaintoja tekemisen ohessa. Tätä havainnointimenetelmää

käytetään usein toiminnallisessa tutkimuksessa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024.)

Havainnointitekniikoissa on myös eroja. Havainnointitekniikka voi olla hyvin järjestelmällinen ja vakioitunut tai ei järjestelmällistä. Järjestelmällisessä tekniikassa tutkijalla on tiedossa etukäteen ongelma, jota hän tutkii, sekä esimerkiksi etukäteen valmistellut tiedonkeräystä varten luokitellut dokumentit. Tällöin tutkittavasta asiasta, ongelmasta ja miljööstä täytyy olla hyvin tietoinen, jotta voidaan tehdä päätös, koska havainnoidaan ja mitä havainnoidaan. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024.) Ei järjestelmällistä tekniikkaa käytetään, kun etukäteen on tiedossa hyvin vähän informaatiota ongelmasta tai asiasta, jota tutkitaan. Tämän tekniikan avulla saadaan monipuolista taustainformaatiota nopeasti. Kun tutkittavasta asiasta ei ole ennakkoon tietoa, etukäteisjärjestelyjä ja luokitteluja ei voida tehdä. Tällöin joudutaan hyödyntämään tutkittavan ilmiön teoriaa. Teoriassa tehdään etukäteisolettamuksia tulevista tapahtumista ja näiden perusteella havainnoidaan tapahtumat. Havainnointia tehtäessä ja sen tekniikasta riippumatta havainnoinnille päätetään tarkkuus ja tavoitteet sekä niitä tarkennetaan tutkimuksen edetessä. Tutkijalla täytyy olla paljon tietoa tutkittavasta toiminnosta tai asiasta, myös sellaisista asioista, joita tutkimuksessa ei selviä, jotta hän ymmärtää tarkasti mitä hänen tekemät havainnot kertovat. (Anttila 1996; Flick 1998, Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024 mukaan.)

Tutkijan rooli havainnointitutkimuksessa on ensimmäisiä päätettäviä asioita. Flick (1998) jakaa roolit neljään eri kategoriaan:

- täysin osallistuva
- osallistuja havainnoitsijana
- havainnoitsija osallistujana
- täysin havainnoitsija. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024.)

Havainnoitsija ei saa häiritä tutkittavaa tai tutkittavan toiminnon suorittajaa läsnäolollaan. Tämä takia havainnointimenetelmiä on arvosteltu negatiivisesti. Havainnointitutkimuksen kohteena olevien henkilöiden on joissakin tutkimuksissa huomattu muuttavan omaa toimintaansa tutkijan saapuessa paikalle. Tällöin ei saada toivottua tutkimusta tehtyä. Tätä ilmiötä lieventääkseen tutkijan olisi hyvä tutustua ja käydä tutkimuspaikalla useampaan kertaan ennen tutkimuksen suorittamista. Havainnoinnin yhtenä haasteena voi olla myös tutkijan tunnepohjainen kiintyminen tutkittavaan ryhmään, joka heikentää tutkimuksen luotettavuutta. (Hirsjärvi ym. 2004, Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024 mukaan.) Havainnointia voidaan suorittaa myös esimerkiksi videoinnin avulla, joka tuo tarkemmin esiin tutkittavien eleitä ja ilmeitä. Videolta havainnoinnissa etuna on mahdollisuus toimintojen ja

asioiden uudelleentarkasteluun. Havainnoidessa tutkija ei pysty tallentamaan kaikkea informaatiota ja muistamaan kaikkia tapahtumia. Videointia apuna käyttäen tutkija voi fokuksitua tarkemmin tutkimuksen ydinasiaan, koska videolta on mahdollista katsoa tilanteet jälkikäteen uudelleen eikä muita muistiinpanoja tarvitse tehdä tutkimuksen ollessa käynnissä. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2024.)

Kehitystyössä on käytetty case-tutkimusta. Case-tutkimus pitää sisällään osia kvalitatiivisesta ja kvantitatiivisesta tutkimusotteista. Tämän vuoksi kehitystyön aikana perehtyminen myös kyseisiin tutkimusotteisiin oli oleellista. Case-tutkimukseen päädyttiin, koska kyseiseen kehitystyöhön ei soveltunut suoraan laadulliseen tai määrälliseen tutkimusotteeseen. Tutkija ei ollut mukana ilmiön toteuttamisessa. Kehitystyön lopputuloksena syntyvät vaihtoehdot ovat kehitysideoita, joita on saatu analysoimalla tutkimuksen tuloksia sekä tutkimalla vaihtoehtoja toiminnan parantamiseksi.

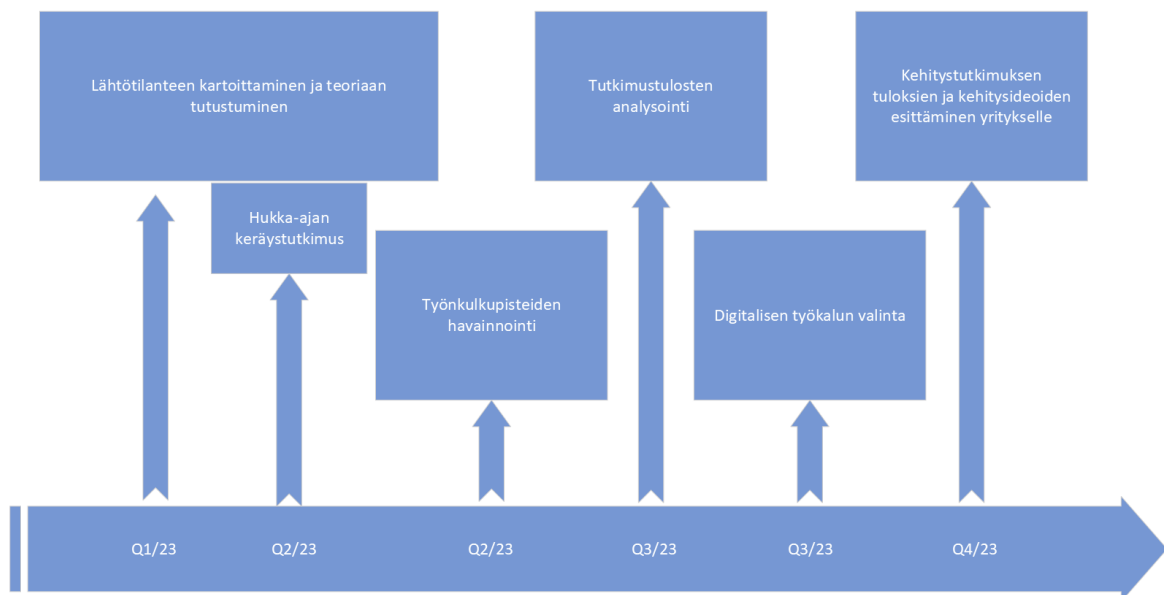
Tutkimusmenetelmiksi valittiin havainnointitutkimus ja tiedonkeräyslomake. Havainnointitutkimuksen avulla pystytään löytämään tarvittavat töiden kauttakulkupisteet. Havainnoinnilla saadaan sopiva informaatio työnkulun tapahtumista ja mahdollisista poikkeavuuksista. Tutkimus voidaan suorittaa suoraan havainnointina, joka mahdollistaa tutkijan keskittymisen tapahtumien kirjaamiseen. Tutkijalla on myös vahva käsitys töiden oletetuista etenemispaikoista, jolloin havainnointipöytäkirjan pohja oli helppo suunnitella etukäteen. Tiedonkeräyslomake valikoitui menetelmäksi, jolla tutkitaan etsimiseen kuluva hukka-aikaa. Tiedonkeräyslomakkeen avulla saadaan laajennettua tutkimus koskemaan koko elektroniikkatuotantoa ja sen toimia. Lisäksi keräyslomake osallistaa työntekijöitä tutkimuksen tekemiseen ja poikkeavuuksien tarkkailuun.

6 Tutkimuksien toteutus

6.1 Tutkimustyön aikataulu ja kulku

Tutkimustyön tarkoituksena ja tavoitteena oli tehdä selvitys elektroniikkatehtaan työkulun seurannan nykytilasta ja siihen kuluvaan hukka-ajasta sekä luoda vaihtoehtoja työkulun seurannan parantamiseksi. Samalla oli tavoitteena tutkia tuotantoprosessissa kuluvaan hukka-aikaa, mikä syntyy töiden etsimisessä, ja löytää prosessista suurimmat ylimääräistä etsintää aiheuttavat paikat sekä esittää parannusideoita tuotantoprosessin työkulun seurannan parantamiseksi. Kehittämistutkimus oli aikataulutettu tehtäväksi vuoden 2023 aikana. Kuviossa 4 on esitetty suunniteltu aikataulu prosessin kululle.

Tutkimuksellisen kehittämistyön aikataulu ja kulku



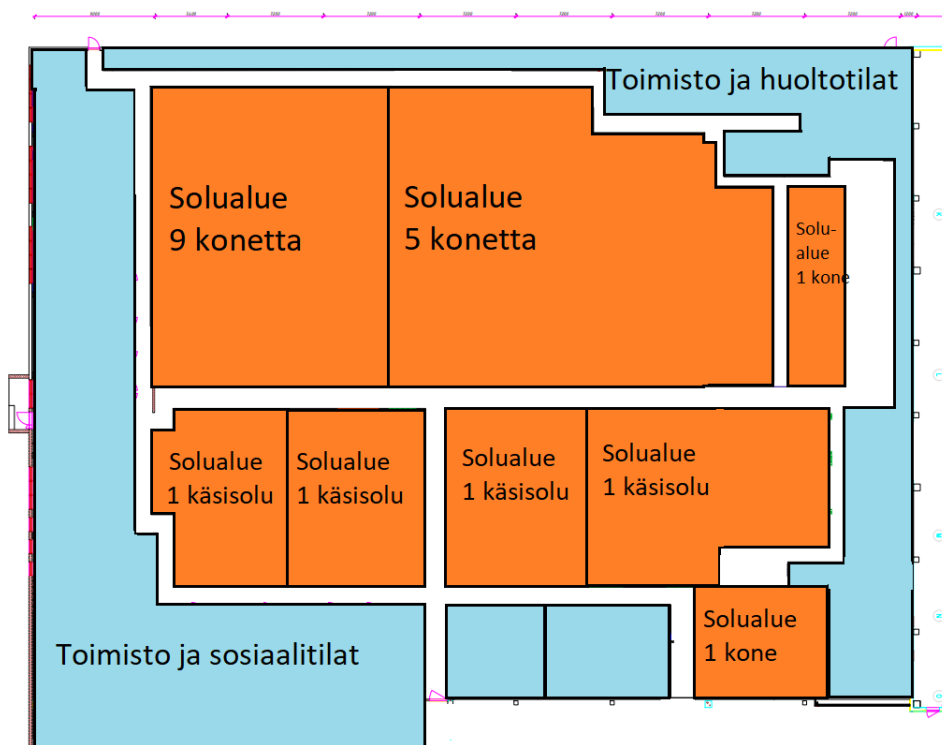
Kuvio 4. Kehitystyön suunniteltu aikataulu ja vaiheet

Kehitystyönprosessi alkoi Leanin ja digitalisoinnin teoriaan tutustumisella sekä lähtötilanteen kartoittamisella, josta selvisi seurantajärjestelmän nykyinen tilanne. Mikäli kehitystyössä saatu kehitysidea toteutetaan, voidaan lopputulosta verrata helposti lähtötilanteen kartoittamisessa saatuihin tuloksiin. Hukka-ajan kerääminen on yksi osa lähtötilanteen kartoittamista. Hukkaan kulunutta aikaa selvitettiin suorittamalla tutkimus, jossa työntekijät keräsivät lomakkeelle ylös hukkaan kulunutta aikaa. Lähtötilanteen kartoittamisen jälkeen selvitettiin töiden kauttakulkupisteet. Nämä pisteet antavat tiedon kulun seurannan toteuttamiseksi tarvittavista pisteistä, joista toiminnanohjausjärjestelmään lähtee informaatio työn etenemisestä. Edellisten vaiheiden tutkimuksissa saadut tulokset laskettiin yhteen sekä

analysointiin. Ylimääräisiä kauttakulkupisteitä poistettiin, jos kyseiseltä pisteeltä saatava informaatio ei tuonut lisäarvoa seurantajärjestelmään. Hukka-ajan keräystutkimuksen tulokset laskettiin yhteen, jolloin saatiin tietoon hukka-ajasta kertyvät kustannukset ja lähtökohta. Digitalisoinnin työkalunvalinnassa kartoitettiin vaihtoehtoja työkulun digitalisoimiseksi. Työkalujen ja lopulta koko kehitystyön ratkaisussa suurin painoarvo oli vähäisissä kustannuksissa niin investointien kuin myös konkreettisen tekemisen sekä toteuttamisen osalta. Vuoden 2023 lopussa tutkimuksissa saadut tulokset esiteltiin yrityksessä sekä tuotiin esille paras vaihtoehto järjestelmän toteuttamiseksi, joka täyttää annetut vaatimukset ja tavoitteet.

6.2 Lähtötilanteen kartoittaminen

Elektroniikkatehtaan tuotanto ja sen eri toiminnot on jaettu tuotantosoluihin. Tuotannon työn etenemisestä saadaan tietoa solualueiden mukaan, mutta solun sisällä olevien töiden kuluista ja siitä, missä mikäkin on, ei saada tarvittavaa tietoa. Keskeneräiset tuotteet saattavat kulkea kuuden eri solun läpi, ja työlle saatetaan tehdä 16 eri vaihetta näiden kuuden solun aikana. Esimerkkinä tuotantosolu, joka sisältää 9 tuotantokonetta. Tällä hetkellä työnjohtaja ei saa tietoa työnkulusta eikä siitä, millä tuotantokoneella mikäkin työn on etenemässä. Kappalemäärällisesti suuri työ saattaa viedä koneen kapasiteetista kokonaisen päivän. Näitä töitä verstaapäälliköiden olisi tärkeä päästä ohjaamaan ja ajoittamaan toimitusvarmuuden paranemiseksi. Kuviossa 5 on esitetty nykyisen elektroniikkatuotannon eri solualueet ja solualueella sijaitsevien koneiden lukumäärä.



Kuvio 5. Solujenalueet elektroniikkatehtaan layout kuvassa

Aikaisemmin kyseistä ongelmaa oli parannettu ohjeistuksilla. Ohjeistuksessa ohjattiin työntekijät merkkamaan toiminnanohjausjärjestelmään tietty kirjain sen työn kohdalle, mihin pisteeseen he olivat vieneet keskeneräisen työn (ks. Kuvio 6).

Prio	Teki.	Pakk	Pan id	Nim.tunnus
A	sta	jk		XW77003
A	hke	jtk		TST1533
B	AKo	j		TS89401B
D	sta	j		TST1733B
B	sta	j		TST8020BM
B	AKo	j		TMK3034C
C	hke			TST9601
B	EHY, AK	j		TS98281
A	AKo	j		TMB0239
B	sta	j		TMK3473B
B	sta	j		TM97156C
C	sta			TST8063
A	sta			TST8010BM
D	EKu	j		TST8010B
C	AKo	j		TMK3034B

Kuvio 6. Toiminnanohjausjärjestelmään työntekijöiden lisäämä paikkatieto

Verstaspäälliköiden työnkulun seuranta parannettiin, jonka jälkeen työnkulun seuranta ja sen merkitsemistä alettiin kehittää ja digitalisoida. Digitaalisen työnkulun seurannan avulla voidaan havaita myös pullonkauloja tuotannossa ja ennakoida niiden syntymistä. Toiminnanohjausjärjestelmän kautta verstaspäällikölle tuleva informaatio mahdollistaa tehokkaan tuotannonohjauksen ja resurssien lisästarpeet, mikä estää pullonkaulojen syntyä. Ennakoiminen pullokaulojen ehkäisyssä on oleellista varsinkin tuotantokonesoluissa, joissa konekapasiteettia ei voida hetkessä lisätä vaan resurssien lisäys tapahtuu työaika muutoksilla ja lisävuoroilla. Työaikamuutokset ja lisävurojen lisäys voi johtaa rekrytointeihin, joissa saattaa kestää useampi viikko. Työvuorojen muutoksien ilmoitusaika työntekijöille on kaksi viikkoa. Työntekijöiden rekrytointi ei auta pullonkaulan purkuun, vaan uusi työntekijä tarvitsee perehdytysjakson ennen kuin hän pystyy itsenäiseen ja tehokkaaseen työskentelyyn. Perehdytys on tärkeässä osassa uuden henkilön rekrytoinnissa ja työyhteisöön istutuksessa. (Turunen ym. 2023, 58)

6.3 Hukka-ajan keräys ja tulokset

Keskeneräisten tuotteiden etsimiseen kuluva hukka-ajan määrää tutkittiin tiedonkeräyslomakkeella (Liite 1.). Tiedonkeräyslomakkeet jaettiin elektroniikkatuotantoon liittyville henkilöille, joille paremmasta työnkulun seurannasta olisi hyötyä. Tällaisia ovat esimerkiksi tuotannon omat työntekijät, laatu- ja inventaarihenkilöt ja varastotyöntekijät. Yhteensä tutkimukseen osallistui 75 henkilöä ja tutkimus toteutettiin kuukauden periodina vuoden 2023 helmikuussa. Tiedonkeräyslomakkeeseen merkittiin lomakkeen täyttäjän tai tuotantosolun, jotta saatiin lisäinformaatiota tuotantosolujen eroavaisuuksista hukka-ajan osalta. Näin päästiin pureutumaan myös tuotantosolujen tehokkuuteen. Lisäksi lomakkeeseen täyttäjän merkittiin tuotteen nimikkeen, jota oli lähdetty etsimään. Nimiketiedolla päästiin käsiksi toistuviin nimikkeen etsintätapahtumiin. Tällöin tarkastettiin nimikkeelle syötetty työnkulku epäselvyyksien poistamiseksi. Nimikkeen työnkulkupisteet on merkitty tuotteiden mukana kulkevaan paperiseen työkorttiin. Kulunut aika -sarakeeseen täyttäjän kirjasi etsimiseen kuluksen ajan minuutteina. Tällä sarakkeella päästään suoraan käsiksi kuluneeseen hukka-aikaan, mitä lähtökohtaisesti lomakkeen täytöllä on lähdetty hakemaan.

Mistä löytyi? -sarake kertoo tuotteiden löytöpaikan. Löytöpaikkatiedolla saatiin kulunseurantaan tukevaa tietoa mahdollisista epäselvyyksistä töiden kuluissa työntekijöille. Viimeiseen sarakkeeseen täyttäjän kirjasi etsintöihin osallistuvien henkilöiden määrän, sillä kulunut hukka-aika kertaistuu etsivien henkilöiden määrällä ja aiheuttaa näin jopa moninkertaiset hukkakustannukset. Tutkimus kesti yhteensä neljä viikkoa, jonka jälkeen lomakkeet kerättiin yhteen ja analysoitiin tulokset sekä hukka-ajan laskenta työntekijöittäin ja tuotanto soluittain. Lopuksi kaikki saadut hukka-ajat laskettiin yhteen ja saatiin hukkaan kulunut työaika kokonaisuudessaan. Nämä saadut hukka-aika minuutit kerrottiin organisaation omakustanneminuuttihinnalla. Lopputuloksena oli hukattu euromäärä, johon voidaan verrata työnkuluseurannan kehitykseen ja laitteisiin kuluva kustannusta. Vertailun lopputuloksena saatiin takaisin maksuaika työnkulun seurannan kustannuksille.

Täyttäjien ohjeistaessa ilmeni, että aikaisemmin tehty ohjeistus toiminnanohjausjärjestelmään lisättävästä kirjaimesta oli auttanut keskeneräisten töiden etsintää, joten jos kyseinen tiedonkeräyslomake olisi toteutettu jo ennen ensimmäistä parannusta, tuloksista olisi havaittu vielä suurempia hukka-aikoja. Toiminnanohjausjärjestelmään lisättävillä kirjaimilla ei kuitenkaan päästä tuotantokonekohtaiseen tarkkuuteen, vaan käsisolukohtaiseen tarkkuuteen. Käsisolut eli missä suoritetaan käsin kasausta ovat ainoat, jotka käyttivät ensimmäistä kehitysastetta. Solujen sisältä ei saada sijaintitietoa ja hukka-aikaa syntyy turhilla etsinnöillä. Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto hukka-ajan keräyksen tuloksista.

Töiden etsimiseen kulunut aika yhteenveto				
Täyttäjä (solut/henkilö):	Tuotantosolut	Verstaspäälliköt yht: (2kpl.)	Materiaali henkilö	Varasto henkilö
Eri nimikkeiden määrä keskimäärin verrattuna etsintä määrään:	1	1	1	1
Etsintöihin kulunut aika:	210min.	245min.	120min.	10min.
Keskeneräisten töiden löytöpaikkojen määrä verrattuna etsintä määrään:	1	2	1	1
Tarkennus löyty alueesta:	Valinnaisten työnkulku pisteiden alueet	Solu 16 alue ja valinnaisien työnkulku pisteiden alueet	Valinnaisten työnkulku pisteiden alueet	Solu 16 alueet

Taulukko 1. Yhteenveto töiden etsimiseen kuluneesta ajasta

Tuloksista havaitaan, että suurimmat hukka-ajat kohdistuvat tuotanto-organisaation toimintoihin. Valinnaiset työnkulkupisteet, jotka eivät ole mukana oletustyönkulussa aiheuttavat sekaannuksia ja etsintää. Näistä pisteistä tarvitaan tieto verstaspäälliköille, jotta pystyvät reagoimaan poikkeavaisuuksiin tuotannossa. Toinen sijainti, mikä nousi esiin, on solun 16 alue. Tämä ei tullut yllätyksenä, koska kyseisen solun alueella sijaitsee useita koneita ja työjonopaikkoja. Kyseinen konesolu aiheuttaa myös tällä hetkellä pullonkauloja tuotantoon. Pullonkaulat aiheuttavat lisääntynyttä keskeneräisen työn etsintöihin, koska useiden keskeneräisten töiden seasta on vaikea havaita juuri tiettyä työtä. Näitä pullonkauloja on lähdettä järjestelmällisesti poistamaan tehostamalla tehokasta koneiden käyntiaikaa ja lisäämällä tarvittaessa vuoroja koneille.

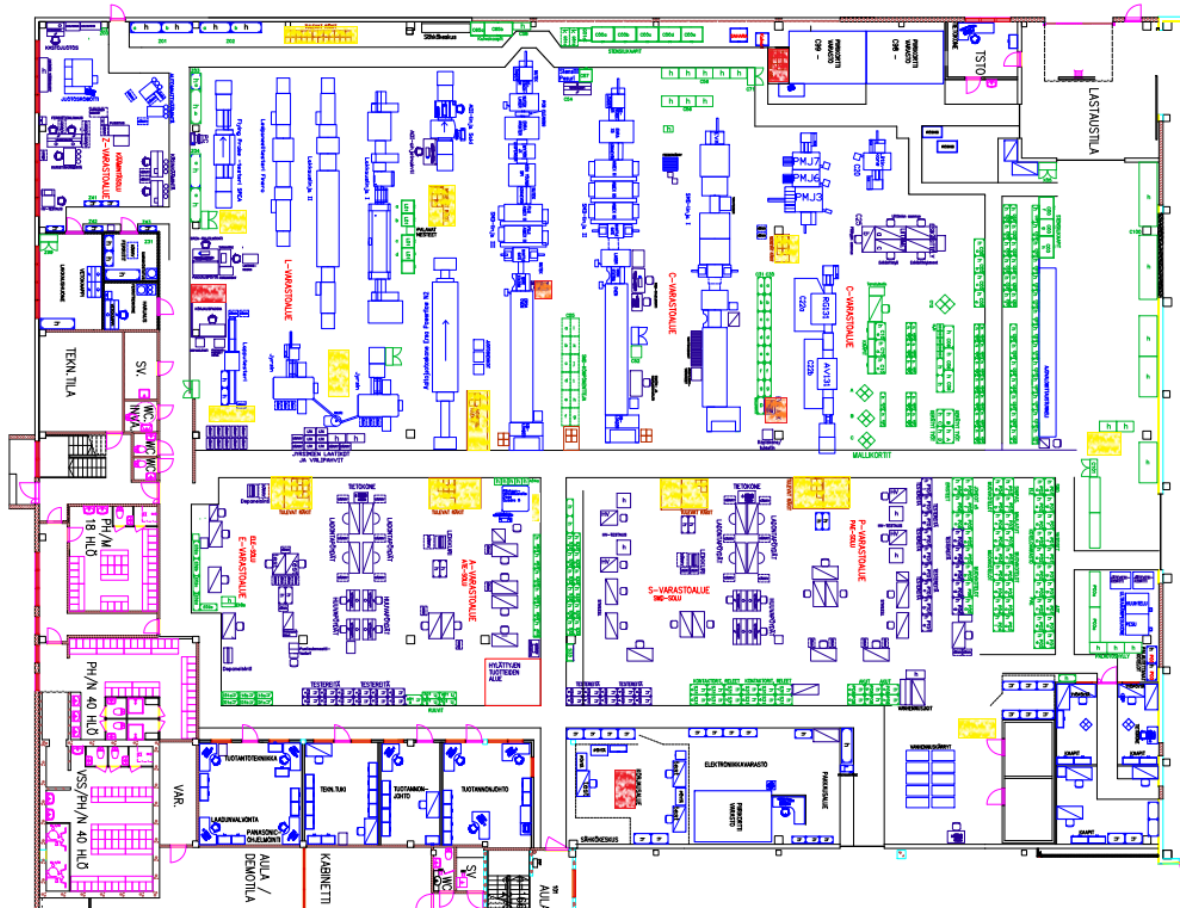
Minuutti määrällisesti hukkaan mennyt aika ei vaikuta kovinkaan paljolta kuukausitasolla, mutta jokainen etsintään kulutettu minuutti on turha lisäkustannus. Täydellisyyteen pyrittäessä juuri nämä organisaatioiden hukat tulee poistaa. Jokainen etsintä aiheuttaa myös keskeytyksen niin verstaspäälliköille kuin tuotantotyöntekijöille. Varsinkin verstaspäälliköille tulevat keskeytykset aiheuttavat ongelmia työnohjauksessa ja henkilöiden johtamisessa. Informaation saaminen työkulun tilanteesta verstaspäälliköille on ensisijaisen tärkeää priorisoinnin vuoksi sekä tiedon eteenpäin saattamiseksi muihin yrityksen organisaatioihin.

6.4 Työnkulkupisteiden havainnointi ja tulokset

Työkulun seuranta parantaessa on oleellista löytää oikeat kirjaamispisteet, joiden kautta keskeneräiset työt kulkevat. Pisteiden löytämiseksi suoritettiin havainnointitutkimus, jossa

kirjattiin ylös keskeneräisten töiden kauttakulkupisteet elektroniikkatehtaan layout-kuvaa hyödyntäen. Havainnoinnissa kävi ilmi, että kirjauspisteitä täytyy olla kahdenlasia: vakituisia kulkupisteitä ja valinnaisia kulkupisteitä. Vakituiset kulkupisteet pitävät sisällään oletustyönkulkupisteet, joiden kautta keskeneräiset työt kulkevat. Jokainen tuote ei kulje samojen kulkupisteiden kautta ja varsinkaan samassa järjestyksessä, joten työnkulkupisteet määritellään tuotekohtaisiksi eri tuotteille. Vaikka työnkulkupisteitä on eri tuotteilla eri määrä ja eri järjestyksessä, vakiotilanteessa ne kulkevat vakituisien kulkupisteiden kautta. Valinnaisiksi kulkupisteiksi kutsutaan pisteitä, jotka eivät ole mukana tuotteiden työnkulussa. Valinnaisia kulkupisteitä ei voida laittaa tuotteiden työnkulkujärjestykseen, koska nämä toteutuvat vain poikkeustilanteessa. Esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa tuotteiden valmistuksessa on tapahtunut virhe ja tuotteet viedään korjausalueelle korjattavaksi. Tuotteille on myös asiakasvaatimuksia esimerkiksi lattia-ajan suhteen. Mikäli lattia-aika ylittyy, tuotteet joudutaan viemään valinnaiseen kulkupisteeseen eli kuivauskaappiin liiallisen kosteuden estämiseksi. Keskeneräinen sarja voi missä työnkulun vaiheessa tahansa päätyä valinnaiseen kulkupisteeseen ja tästä tarvitaan tieto tuotannonohjaukseen, koska kyseessä on normaalisti prosessista poikkeava tapahtuma.

Havainnointipisteiden määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman alhaisena Lean-periaatteita noudattaen. Jokainen kulkupiste tuo lisäkustannuksia ja ylimääräistä työtä. Tarkan töiden kauttakulkupisteiden valinta ohjaa tuotantoprosessia automaattisesti tehokkaaseen toimintaan ilman ylimääräistä liikuttelua ja mutkia. Elektroniikkatuotannossa saattaa olla samanaikaisesti satoja keskeneräisiä töitä eri vaiheissa, jolloin on tärkeää sijoittaa pisteet juuri oikeisiin paikkoihin, ettei synny jopa fyysisiä tukoksia liian ahtaan kauttakulkupisteen vuoksi. Sopivan kokoiseksi luotu töiden kauttakulkupiste ohjaa toimintaa ja paljastaa myös pullonkauloja verstaapäälliköille menevän digitaalisen informaation lisäksi. Kuviossa 7 on näytetty elektroniikkatuotannon layout-kuva ja merkitty valitut työnkulun seuranta- ja lukupaikat. Keltaisella merkityt laatikot ovat vakituisia kulkupisteitä, joista muodostuu tuotteen oletuskulkureitti. Punaiset laatikot ovat valinnaisia lukupisteitä, joiden käyttöä pyritään välttämään. Oranssilla merkityt laatikot ovat töiden aloituslukupisteet, kaikki työt alkavat kyseisistä paikoista, jolloin toiminnanohjausjärjestelmä osaa tulkita työn aloitetuksi.



Kuvio 7. Layout kuvaan merkity töiden seurannan lukupisteet

7 Kehitystyön tulokset

7.1 Seurannan digitalisoinnissa käytettävän työkalun valinta

Kehitystyössä digitalisoinnissa käytettävän työkalun valinnassa vertailtiin aikaisemmin esiteltyjä työkaluja, joilla tiedonsiirto paperisesta informaatiosta saadaan siirrettyä digitaaliseen muotoon ja tietokoneella nähtäväksi eli EAN-koodi, RFID-järjestelmä ja QR-koodi. Vertailu painottui hyvin vahvasti kustannuspohjaiseksi maailman tämänhetkisen tilanteen takia. Vertailussa otettiin huomioon myös toiminnanohjausjärjestelmän mahdollisuudet ja sen integroiminen digitalisoinnin työkalun kanssa.

RFID-järjestelmän mahdollisuudet ovat laajat, mutta sen integroiminen tämänhetkiseen toiminnanohjausjärjestelmään vaatisi huomattavia panostuksia, joka nostaisi kustannukset reilusti korkeammaksi kuin muiden vertailussa olevien työkalujen käyttöönotto. RFID-laitteiden hankinta ja niihin tutustuminen sekä käyttöönotto lisää myös kuluja entisestään. RFID-pohjaisen tuotannon seurantajärjestelmän mahdollisuuksia ei kuitenkaan kannata unohtaa, vaan laittaa tulevaisuuden näkökannalta mahdolliseksi vaihtoehdoksi. RFID-lukijoilla varustetut kauttakulkupisteet voisivat mahdollistaa tuotannon, jossa työntekijöiden ei tarvitsisi käydä tietokoneella tekemässä kirjauksia. Tällöin RFID-lukijat integroituna toiminnanohjausjärjestelmän kanssa osaisivat itse suorittaa tarvittavat kirjaukset, joita verstpäällikkö tarvitsee ohjatakseen tuotantoa ja sen toimintoja sekä resursseja. RFID-järjestelmä käytäisi pohjana tuotenimikkeiden vaiheistusvaiheessa luotua työnkulkujärjestystä. Näin jokaisen kauttakulkupisteen lukulaite antaisi tiedon toiminnanohjausjärjestelmälle, missä pisteessä kyseinen työ etenee. Tämän perusteella toiminnanohjausjärjestelmä osaisi kuitata aikaisemman työvaiheen tehdyksi. Tällä hetkellä tuotannossa tämä toiminta tehdään käsin kirjauksena tietokoneelle. Näin RFID-järjestelmää apuna käyttäen töiden aloitus ja valmistuminen tapahtuisi automaattisesti kauttakulkupisteiden avulla. Aikaisemmin mainituista valinnaisista kauttakulkupisteitä tulisi myös automaattisesti tieto verstpäällikölle, joka osaisi tämän perusteella tehdä tarvittavat toimenpiteet.

Jäljelle jäävät QR-koodi sekä EAN-viivakoodi ovat hyvin samanlaisia ja toimivat samalla periaatteella. Näiden kahden työkalun käyttöönoton kustannukset ovat hyvin alhaiset sekä täyttävät työnkulun seurantaan tarvittavat tiedonsiirtomahdollisuudet. QR-koodi tarjoaa huomattavasti laajemman informaatiotiedon ja sopii parhaiten esimerkiksi tuotetietojen jakoon. EAN-koodilla saadaan siirrettyä vain yksikertainen informaatio digitaaliseen muotoon ja se riittää tässä tarkoituksessa. Valintaa käyttää EAN-koodia työnkulun seurannantyökaluna vahvasti tuotannossa jo käytössä olevat EAN-koodit. Tämä tarkoittaa, että suuria muutoksia toiminnanohjausjärjestelmään ei tarvitse tehdä sen integroimiseksi. Langattomia

lukulaitteita löytyy valmiiksi tuotannon käytöstä sekä työn mukana kulkeva paperinen työkortti pitää jo sisällään luettavan EAN-koodin, jolla työnkulun seuranta onnistuu. Paperisen työkortin poistaminen täysin tuotannosta ei onnistu laatuvaatimuksien takia. Samaisesta EAN-koodista luetaan tällä hetkellä jo osa tuotteista testauslaitteille, jotka tallentavat testaustiedot. Periaatteessa EAN-koodilla on mahdollista luoda vastaavanlainen järjestelmä kuin RFID:llä, mutta työnkulun luenta kauttakulkupisteillä tapahtuu fyysisellä lukijalla työntekijän toimesta. Yhden viivakoodin luentaan kuluva aika on hyvin pieni, joten suurta kustannusta tästä luennasta ei tule verrattuna RFID:n automaattiseen lukulaiteluentaan.

QR-koodia ei kannata unohtaa. Se mahdollistaisi pienen kokonsa puolesta töiden sijaintiluennan, joka tapahtuisi tuotantokoneen sisällä. Tuotantokoneeseen täytyisi tuolloin hankkia ja integroida QR-koodin luentaverho, joka lukisi tarvittavan tiedon koneen sisällä kulkevasta elektroniikkakortin aihioista. Elektroniikkatuoteaihioon olisi tällöin laseroitava oikeanlainen QR-koodi tuotannon alkuvaiheessa. Laser-merkinnän lisääminen onnistuisi tuotannossa jo tällä hetkellä, koska laserilla merkataan tuotteisiin tuotetiedot sekä muut merkinnät, jotka laatuvaatimukset tai asiakkaat vaativat. Tuotannon käsityösoluissa ja valinnaisissa seurantapisteissä kuitenkin työnkulun seurantaluenta tapahtuisi samalla menetelmällä kuin EAN-koodilla. Eri tuotantokoneiden runsas määrä ja koneisiin asennettavien lisälaitteiden räätälöinti saattaisi vaikeuttaa järjestelmän perustamista ja koneiden kunnossajo ja ylläpitoa. QR-koodin käyttöönotto seurannassa saattaakin olla toinen askel seurannan kehityksessä, sillä EAN-pohjainen järjestelmä toimii valmiiksi hyvänä pohjana QR-koodipohjaisille tuotantokoneiden sisällä tapahtuvalle luentajärjestelmälle. Koneen sisällä tapahtuva luenta muuttaa keskeneräisten tuotteiden kauttakulku- ja luentapisteitä, jolloin ne ovat tuotantokoneiden sisällä eikä niin sanotussa koneen työjonoparkissa.

7.2 Toiminnanohjausjärjestelmän integrointi työnkulun seurantaan

Selvitys toiminnanohjausjärjestelmän integroimisesta digitaaliseen työnkulun seurantaan käynnistettiin pitämällä palaveri toiminnanohjausjärjestelmän vastuuhenkilön ja toimittajan Roima Intelligencen kanssa. Aluksi keskusteltiin nykyisin käytössä olevan toiminnanohjausjärjestelmän version mahdollisuuksista digitaaliseen seurantaan ja sen avulla tehtäviin toimintoihin kuten priorisointi ja työjärjestyksen luominen. Nykyinen versio saadaan integroitua työnkulun seurantaan ja digitalisointiin pienillä räätälöinneillä. Nykyisin käytössä oleviin vaiheisiin, jotka ovat tuotantosolukohtaisia (ks. Kuvio 8), sisällytettäisiin useampia työtehtäviä. Työtehtävät pitäisivät sisällään yhden tuotantokoneen toiminannon kuten esimerkiksi juotos, tarkastus, testaus, lakkaus tai jrsintä. Työn edetessä kauttakulkupisteiden kautta, joka pisteellä kuitattaisiin digitaalisen työkalun avulla työtehtävä suoritetuksi. Kun kaikki työnvaiheen sisällä olevat työtehtävät on suoritettu ja siirrytään seuraavaan vaiheeseen eli

tuotantosoluun, toiminnanohjausjärjestelmä osaisi kuitata ja valmistaa työvaiheen tehdyksi ja aloittaa seuraavan vaiheen automaattisesti. Työn edettyä viimeisen vaiheeseen ja sen viimeiseen työtehtävään, seuraava kuittaus valmistaa koko työn tehdyksi toiminnanohjauksen työkannasta ja tuotteiden valmistusmäärä siirtyy kyseisen nimikkeen varastosaldoihin, josta tuotteet voidaan toimittaa asiakkaille maailmanlaajuisesti.

TWOY Vaihemallin vaiheet - Lean System

Lomake Muokkaa Työkalut Järjestys Näytä Rivi Ikkuna Ohje

Hae Uusi Tallenna Poista Pyyhi Tiedot Std.aika

Vaihemalli: TWT0554 Versio: 0 Nimi: POWER SUPPLY UNIT 110VDC 6 Määrä: 1 Yks.: K

Vaihemalli	Versio	Vaihetunn.	Vaiheen nimi	i	t	d	h	Järj	Lask.st	Kryhmä	Valm.aika	Yks.aika
TWT0554	0	EVA	Esivalmistelu	i				1	<input checked="" type="checkbox"/>	EVA	25	8,7
TWT0554	0	JTV	Juotos, testaus, vanha					2	<input checked="" type="checkbox"/>	16	9,37	3,51
TWT0554	0	PAE	Prosessori/akku elek	i				3	<input checked="" type="checkbox"/>	PAE	70	15,09
TWT0554	0	JUN	Junavalaisin aloitus	i				4	<input checked="" type="checkbox"/>	JUN	1,61	2,19
TWT0554	0	PAE2	Prosessori/akku elek					5	<input checked="" type="checkbox"/>	PAE	5	0

Kuvio 8. Esimerkki nykyisistä nimikkeen vaiheista

Seurannan luominen vaatii lisää tuotannollistajalta, joka luo uudelle nimikkeelle vaiheet ja työtehtävät, lisää työtä. Aikaisemmin uudelle tuotteelle luotiin vain vaiheet, jota työ seurasi. Uusille vaiheille tulevat työtehtävät saataisiin luotua toiminnanohjausjärjestelmään valmiiksi palikoiksi, joista tuotannollistaja poimii vaiheille oikeat valmistuksessa tarvittavat työtehtävät. Näiden valmiiksi luotujen palikoiden lisääminen vaiheiden sisälle ei kuitenkaan lisää tuotannollistajan työkuormaa merkittävästi, jolloin työtehtävien lisäämisestä on ehdottomasti hyötyä, koska se mahdollistaa digitaalisen työnkulun seurannan. Suurin kuorma tuotannollistajalle syntyy, kun vanhoihin, jo olemassa oleviin töiden vaiheisiin, joudutaan lisäämään työtehtävät. Aktiivisia tuotenimikkeitä on elektroniikkapuolella tällä hetkellä n. 2700 kappaletta. Olemassa oleviin nimikkeiden vaiheisiin syötettävien työtehtävien toteutus pyritään toteuttamaan massa-ajona, jolloin tuotannollistajan työmäärä muutoksessa vähenisi huomattavasti. Kyseistä massa-ajoa aletaan työstämään toiminnanohjausjärjestelmän vastuuhenkilön kanssa, kun ensimmäiset uudella työnkulun seuranta mahdollistavalla tavalla syötetyt vaiheet on todettu toimiviksi ja saatu ensimmäiset kokeilut käyttöön.

Toiminnanohjausjärjestelmän toimittajan kanssa käydyssä palaverissa käytiin myös läpi seurannassa tarvittavia materiaaleja ja niiden hankkimista. Seurannan toteuttamiseksi on kaksi eri mahdollisuutta tekniikan kannalta. Joko jokaiselle tuotantokoneelle lisätään tabletti/tietokone tai tuotantohalliin hankitaan yksi keskustietokone, joka on yhteydessä korvamerkattuihin lukijalaitteisiin. Näistä ehdottomasti jälkimmäinen vaihtoehto todettiin nopeasti yhdessä paremmaksi menetelmäksi. Eli seurannassa käytettävän työkalun eli viivakoodin lukulaitteita korvamerkitään jokaiselle työtehtävälle (juotos, tarkastus, testaus, lakkaus ja jysintä) ja jokaiselle tuotantokoneelle. Näiden korvamerkattujen lukulaitteiden avulla tuotannonohjausjärjestelmä kuittaa työtehtäviä ja vaiheita tehdyiksi ja valmiiksi.

Verstaspäälliköille on mahdollista räätälöidä näkymät toiminnanohjausjärjestelmään keskeneräisen työn eri vaiheisiin ja sen työtehtäviin. Tämän näkymän avulla verstaspäälliköt pystyvät seuraamaan eri töiden kulkupisteitä ja saamaan tiedon keskeneräistentöiden sijainnista. Roima Intelligencen toimittamasta ja ylläpitävästä toiminnanohjausjärjestelmästä on saatavilla myös uudempi versio, joka mahdollistaa samat toiminnot kuin vanha versio, mutta visuaalinen puoli sopisi paremmin keskeneräistentöiden seurantaan. Uusi versio sisältää myös paljon muita lisäominaisuuksia ja mahdollisuuksia, joita vanhassa versiossa ei ole. Todettiin, että kyseisiä ominaisuuksia ei töiden seurannassa tarvita. Päädyttiin toteuttamaan töiden kulunseuranta aluksi vanhemmalla versiolla. Jatkotoimenpiteenä on mahdollista pyörittää uuden toiminnanohjaus version demoa vanhan version taustalla. Demoa lähdetään työstämään vasta kun vanhalla versiolla toteutettu järjestelmä on saatu hiottua täysin valmiiksi ja muutoksesta aiheutuvat ongelmat saatu ratkottua.

8 Pohdinta

8.1 Lean-periaatteet tuotannossa

Leanin-periaatteet ovat vahvasti läsnä Teknowaren tuotannossa, mutta periaatteiden täydellinen noudattaminen ja toteuttaminen on haastavaa high mix-low volume-tuotannossa. Tuotannon virtaukseen elektroniikkatuotannossa vaikuttaa eniten erilaisien tuotteiden runsas määrä. Parhaassa mahdollisessa tapauksessa tuotantokoneet olisivat sijoitettu peräkkäin muodostaen yhden pitkän tuotantolinjan. Tällöin tuotteet valmistuisivat kerralla ilman väli siirtoja. Erilaisien tuotteiden takia näin ei ole pystytty rakentamaan tuotantoa. Esimerkiksi led-korttien lakkausta ei tule kaikkiin tuotteisiin, joten kyseisiä tuotteita on turha ajaa lakkauskoneen läpi ja tällä tavalla tehdä hukkaa. Tuotantovirtaukseen pyritään panostamaan koneiden sijoittelulla, tuotantohallin layoutilla ja seuraamalla materiaalivirtoja tuotantohallissa, aina alusta valmiiseen tuotteeseen asti.

Teknowaren tuotannon toiminta perustuu imuohjaukseen, joka lähtee liikenteeseen myynnin syöttämästä tilauksesta toiminnanohjausjärjestelmään. Myynnin syöttämä tilaus ja materiaalien tarkastuskäsky antaa ensimmäisen impulssin toiminnanohjausjärjestelmälle sekä aloittaa imuohjauksen. Toiminnanohjausjärjestelmä avaa puolivalmisteille ja lopputuotteille työt hyväksytyin materiaalitarkastuksen jälkeen. Tuotanto valmistaa työt täysin tilausohjautuvasti eli valmistuotevarastoa ei ole. Imuohjauksen on rakennettu täysin toiminnanohjausjärjestelmän sisään ja sitä ohjataan parametreja muuttamalla. Puolivalmisteosia, joiden menekki on suuri, on laitettu profiiliohjaukseen. Tällöin parametreihin on syötetty tiedot minimi varastosaldoista ja tilauserän koosta. Toiminnanohjausjärjestelmä suorittaa materiaalien tarkastusvaiheessa kyseisien puolivalmisteosien varastosaldon tarkastuksen ja aukaisee työt vain, jos puolivalmisteosan varastosaldo alittaa annetun minimirajan. Tämä varmistaa, että tuotteita on aina saatavilla ja täydennys tulee tarpeiden mukaan. Tuotannossa on imuohjauksella varmistettu, että ylimääräisiä varastopaikkoja ei syntyisi.

Teknowarella on luotu aloitejärjestelmä, jolla pyritään parantamaan toimintaa koko yrityksen tasolla ja pyritään näin täydellisyyteen. Aloitejärjestelmällä kannustetaan koko yrityksen henkilöstöä parantamaan organisaatioiden toimintoja ja kehittämään tekemistä laadukkaammaksi sekä tehokkaammaksi. Aloitteilla haetaan taloudellisia hyötyjä aika- ja / tai kustannussäästöjä. Säästöjen lisäksi aloitteet voivat myös lisätä tuloja.

Jatkuvaan parantamiseen, joka on vahvasti yhteydessä täydellisyyden pyrkimiseen, on panostettu yrityksessä rekrytoimalla tuotannollistajia. Tuotannollistajien päätehtäviä on kehittää tuotantoa verstaapäällikön kanssa, tehdä tutkimuksia tuotannon toiminnoista ja suorittaa normaaliaikatutkimuksia tuotteiden valmistuksesta. Täydellisyyteen pyritään luomalla

myös kehitysprojekteja pullonkaulojen välttämiseksi. Hukan havaitseminen tutkimuksilla tuotannosta ja siitä informointi verstaspäällikölle on yksi oleellinen tehtävä tuotannollistajalla. Verstaspäällikkö ja tuotannollistaja aloittavat tutkimuksen perusteella toimenpiteet havaittujen hukkien poistamiseksi. Jatkuva parantaminen ja täydellisyyteen pyrkiminen on siis jatkuva prosessi yrityksessä, ja siihen on sitoutettu koko yrityksen henkilöstö.

8.2 Kehitystyön tulokset ja työnkulun seurannan toteutus

Kehitystyöstä saadut tulokset vastasivat hyvin tavoitteisiin, koska tutkimuksista saatiin vaadittu työnkulun seurannan tarkkuus ja löydettiin kustannustehokas vaihtoehto seurannan toteuttamiseksi, joka pystytään rakentamaan ilman tuotantokatkoksia. Päättökysymyksenä oli, miten parantaa työkulunseurantaa. Työnkulun seurantajärjestelmä on paras toteuttaa digitalisoimalla EAN-viivakoodijärjestelmän avulla. Järjestelmä pystytään toteuttamaan integroimalla se nykyiseen toiminnanohjausjärjestelmään. Tällöin täyttyy järjestelmän edellytykset järjestelmän kustannustasosta ja tarkkuudesta. Laskelmat seurannan toteuttamiskustannuksista esitettiin Teknowarelle. Alatutkimuskysymyksenä oli, millä toteuttaa digitaalinen työnkulun seuranta vähin kustannuksin. Laskelmien perusteella todettiin kustannuksien pysyvän halutulla tasolla EAN-viivakoodi menetelmällä. Toisena alatutkimuskysymyksenä oli, mikä on elektroniikkatehtaan nykytila työnkulun seurannan osalta. Elektroniikkatehtaasta ei tällä hetkellä saada tarpeeksi tarkkaa informaatiota töiden etenemisestä, joka aiheuttaa hukka-aikaa ja kuluja turhan työn tekemisestä. Työnkulun seuranta kannattaa lähteä parantamaan. Samalla kehitystyön tuloksena syntyi muita vaihtoehtoja, joilla seuranta pystytään kehittämään tulevaisuudessa.

Kuviossa 9. on esitetty kehityshankkeen pohjalta suoritettu kysely, johon on vastannut elektroniikkatehtaan toinen verstaspäällikkö. Kehityshankkeen perusteella rakentuva järjestelmä tulee pääsääntöisesti verstaspäälliköiden käyttöön, jotka saavat parhaan mahdollisen hyödyn uudesta järjestelmästä ja prosessista. Jatkotoimenpiteenä kannattaa pohtia edellisessä kappaleessa mainittuja kehityskohteita etenkin järjestelmän laajentamisen ja QR-koodipohjaisen seurannan osalta. Nämä jatkokehitystoimet kasvattavat kustannuksia, joten niitä on verrattava uudelleen saatavan hyödyn määrään QR-koodi ja EAN-viivakoodi järjestelmien välille.

Verstaspäällikön palautekysely



Kuvio 9. Palautekyselyn tulokset

Työkulun seurannan toteutus

Työkulun seurantajärjestelmän toteutus on suositeltavaa aloittaa rauhallisesti vaiheittain edeten ilman, että se häiritsee normaalia tuotantoa ja sen laatua tai tehokkuutta. Ensimmäisessä vaiheessa on kartoitettava tarvittava laitteisto seurannan toteuttamiseksi. Tässä tapauksessa laitteistona toimii EAN-lukijat ja keskustietokone, joiden avulla seurantatiedot saadaan digitaliseen muotoon toiminnanohjausjärjestelmään. Lukupisteitä ei tarvitse kaikkia ottaa heti käyttöön, vaan kokeiluja kannattaa suorittaa digitalisoimalla osa lukupisteistä. Tällöin seurannan kehitysprojekti ei haittaa tuotannon normaalia toimintaa. On myös mahdollista, että digitaalista seuranta lähdetään toteuttamaan ensin muutamalla eri tuotteella, jolloin muutoksien teko seurantajärjestelmään on nopeampaa ja ongelmakohtien selvitys helpottuu. Kun ensimmäiset digitaliset paikan lukupisteet on saatu toimimaan moitteettomasti ilman ongelmia, on hyvä suorittaa kysely järjestelmän käyttäjille heidän kokemuksistaan ja kehitysehdotuksista. Kyselyn läpikäynti kehitystiimin kanssa ja mahdollisten

vartenotettavien ehdotuksien toteutukset on suositeltavaa ottaa käyttöön ja koekäyttää ennen digitaalisten lukupisteiden monistamista ja lisäämistä koko elektroniikkatuotannon alueelle. Seurantajärjestelmää on hyvä kehittää ja pitää yllä Leanin jatkuvan parantamisen periaattein sekä työkaluja käyttäen yhdessä muun tuotantotoiminnan kanssa. Ennen digitaalisen seurantajärjestelmän käyttöönottoa muissa tuotantotehtaissa on tarkoin varmistettava sen soveltuvuudesta muihin tehtaisiin ja todettava, että digitaalisessa seurantajärjestelmässä on saavutettu tavoitteet sen toiminnassa.

8.3 Luotettavuus

Kehitystyötä ja tutkimuksia suorittaessa pyrittiin minimoimaan virheiden mahdollisuus ja syntyminen, jolloin on perusteltua arvioida kehitystyön luotettavuutta ja toistettavuutta. Tieteellisissä tutkimuksissa luotettavuutta tarkastellaan kahdella käsitteellä, validiteetillä ja reliabiliteetillä. Validiteetti ja reliabiliteetti kertoo, kuinka luotettava tutkimus on ollut ja voidaan sen tuloksia pitää toistettavina. Validiteetti kertoo tutkimuksen oikeellisuudesta, eli onko tutkittu oikeita asioita. Reliabiliteetti kertoo tutkimuksen luotettavuudesta, eli saataisiinko uudella tutkimuksella samanlaiset tulokset. (Kananen 2015, Juntila 2020, 65 mukaan) Tutkimuksen suorittamisen perustaan kuuluu käsitellä tutkimuksen todennettavuus ja toistettavuus. Case-tutkimuksessa saatu aineisto sekä aineiston keräämisen luotettavuus pitää olla helposti lukijan varmennettavissa. (Salmi & Järvenpää 2000, 271–272.) Tutkijan on tutkimuksessa kerrottava selkeästi tutkimuksen teosta sekä kuinka tuloksiin päästiin (Hirsjärvi ym. 2009, 227).

Tutkimusten tulokset eroavat toisistaan hieman luotettavuuden osalta. Havainnointitutkimuksessa saadut tulokset ovat helposti toistettavissa eivätkä ole riippuvaisia tutkijasta. Sen sijaan hukka-ajan keräilyssä saatuihin tuloksiin vaikuttavat monet tekijät. Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- työkanta, mitä tuotteita ja kuinka paljon niitä valmistetaan
- työntekijät, jotka ovat tutkimuksen aikana olleet töissä
- tuotantosolujen kuormitusaste.

Elektroniikkatuotannosta valmistuu viikon aikana noin 250 eri työtä ja kappaleita yhteensä noin 20000, joten se millaisia tuotteita kyseisen tutkimuksen aikana on ollut valmistuksessa vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. Hukka-ajan keräystutkimukseen osallistui elektroniikkatuotannon työntekijät, yhteensä noin 70 henkeä, sekä inventaarihenkilö ja kaksi verstpäällikköä. Henkilömäärällisesti tutkimus oli kattava, ja siitä saadut tulokset ovat varsin luotettavia kuukauden otannon perusteella. Tutkijan eli toisen verstpäälliköistä oli helppo

seurata lomakkeiden täyttöä oman toimen ohessa. Kehitystyön ja sen tutkimuksien tuloksia voidaan pitää luotettavina ja toistettavina.

8.4 Työnkulun seurannan jatkotutkimusaiheet ja mahdollisuudet

Tulevaisuuden jatkotutkimusaiheita sekä mahdollisuuksia löytyy laajan ja globaalin tuotannon takia runsaasti. EAN-viivakoodi tarjoaa tämänhetkisiin tarpeisiin sopivan paketin edullisuuden vuoksi, mutta jatkossa töiden seuranta olisi mahdollista toteuttaa tuotantokoneiden sisällä olevilla lukulaitteilla QR-koodia käyttäen. Seuraavan askeleen ottaminen ei edellyttäisi suuria kustannuksia, koska QR-koodi toimii hyvin samalla periaatteella EAN-viivakoodin kanssa. QR-koodin laserointi on jo nyt mahdollista ja käytössä tuotannossa, eli QR-koodin muokkaaminen oikeanlaiseksi mahdollistaa tarvittavan tiedonsiirron toiminnanohjausjärjestelmään, josta nähdään keskeneräisten töiden sijainti tuotannossa.

Seuraavana kehitysaskelena on mahdollista siirtyä RFID-laitteiden käyttöön. Tämä vaatii enemmän kustannuksia ja täyttä panostusta, koska sopivien laitteiden kartoittaminen ja hankinta on haastavaa sekä aikaa vievää erilaisten laitemahdollisuuksien ja tarjonnan takia. RFID-tekniikkaan siirryessä on kannattavaa harkita koko elektroniikkatuotannon kattavaa seurantajärjestelmää. Rakennetaanko järjestelmä töiden lukupisteisiin pohjautuvaksi vai olisiko mahdollista rakentaa järjestelmä, joka päivittyy reaaliaikaisesti? Onko nykyinen toiminnanohjausjärjestelmä riittävä tässä tapauksessa vai olisiko mahdollista kartoittaa täysin uutta ohjelmistoa, jossa käytettäisiin elektroniikkatuotannon layouttia pohjana ja työt liikkuisivat kartalla reaaliaikaisesti päivittyen? Kartalla näkyvä seuranta kutistaisi etsimisestä aiheutuvat hukka-ajat minimiin. Reaaliaikainen seuranta karttapohjalla on huomattavasti kalliimpi toteuttaa kuin aikaisemmin mainitut järjestelmät. Organisaation onkin tässä vaiheessa tärkeä punnita saatua hyötyä kustannuksiin nähden.

Ennen kuin ensimmäisestä loppuun hiotusta EAN-viivakoodipohjaisesta järjestelmästä lähdetään siirtymään muuta tekniikkaa käyttäviin järjestelmiin, olisi suositeltavaa ottaa työkulunseurantajärjestelmä käyttöön myös muissa yrityksen tuotanto-osastoissa ja soluissa. Samakaltaisia ongelmia töiden seurannassa on havaittu myös muissa tuotannonosastoissa, kuten metalli- ja loppukokoonpano-osastoilla, koska Lahdessa sijaitsevasta tuotannosta valmistuu n.4000 eri työtä viikossa. Työnkulun seuranta olisi myös mahdollista ottaa käyttöön yrityksen muissa tuotantotehtaissa ympäri maailmaa, koska jokainen tuotantolaitos käyttää samaa toiminnanohjausjärjestelmää. EAN-viivakoodi mahdollistaa yksinkertaisuudellaan muidenkin tuotanto-osastojen ja tehtaiden töiden nopean integroimisen seurantaa mahdollistavaksi. Tuotantotyöntekijöiden perehdytys vaatii kuitenkin aikaa ja tarkkaavaisuutta perehdyttäjältä sekä verstaapäälliköiden on valvottava toimintaa, koska kaikki työnkulutapahtumat ovat työntekijälähtöisiä.

Teknowaren Lahden tehdas pitää sisällään neljä erillistä tuotantorakennusta. Puolivalmisteosat kulkevat rakennuksien välillä yhdysliikenneautolla useamman kerran päivässä. Töiden seuranta olisi mahdollista lisätä myös puolivalmisteiden kulunseurantaan rakennuksesta toiseen. Eri rakennuksien lähettämö- ja vastaanottopisteiltä saatava tieto tuotteiden lähettamisestä ja saapumisesta mahdollistaisi informaation saannin puolivalmisteiden saapumisesta rakennuksiin. Tämä myös mahdollistaisi tuotteiden nopeamman etsinnän mahdollisissa häviämistapauksissa. Samalla olisi suositeltavaa selvittää tavaran vastaanotto- ja hyllytysvaiheessa tapahtuvan luennan mahdollisuudet. Hyllypaikkatiedon antaminen puolivalmisteille voisi toimia samalla EAN-viivakoodi periaatteella, jolloin puolivalmisteen hyllypaikkatiedon lisääminen toiminnanohjausjärjestelmään tapahtuisi täysin digitaalisesti. Näin säästettäisiin hyllyttäjän työaikaa manuaalisen hyllypaikkasyötön poiston takia ja virheiden määrä hyllypaikkojen suhteen vähentyisi.

Lähteet

Aarvala, A. 2023. Siirtyminen teollisuus 4.0:sta kohti teollisuus 5.0:aa valmistavassa teollisuudessa. Lappeenranta: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT.

Aspinen, V. 2021. Lean – johtamisen implementointi. Vaasa: Vaasan yliopisto.

Blomberg, U. & Junkkari, J. 2018. Lean turha työ vähemmäksi. Kajaani: Intotalo. Viitattu 5.4.2024 Saatavissa <https://www.intotalo.com/wp-content/uploads/2018/03/OPAS-Lean-1.pdf>

Businessmap. 2024. The 5 Lean Principles: Reduce Waste and Drive Growth. Sofia: Businessmap. Viitattu 18.4.2024. Saatavissa <https://businessmap.io/lean-management/implementing-lean-principles>

Finn-ID 2023. RFID-käsilukija. Vantaa: Viitattu 16.7.2023 Saatavissa <https://kauppa.finn-id.fi/tuote/rfd9030-sr/>

Frank, A., Tortorella, G., Netland, T. 2018. Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. Amsterdam: Elsevier B.V. Viitattu 27.3 Saatavissa <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.saimia.fi/science/article/pii/S0925527318302731?via%3Dihub>

GS1 Finland 2023. 1.4+viivakooditaulu_suomi. GS1 Finland. Dokumentti. Viitattu 16.7.2023 Saatavissa <https://web.archive.org>

GS1 Finland 2014. Tekniset vaatimukset 2D-viivakoodien käyttöönotolle. Helsinki: GS1 AISBL. Viitattu 16.7.2023 Saatavissa https://gs1.fi/sites/default/files/2021-11/GS1_2D_tekniset_vaatimukset_opas.pdf

GS1 Finland 2023. EAN-13 viivakoodi. Helsinki: GS1 AISBL. Viitattu 16.7.2023 Saatavissa <https://gs1.fi/fi/asiakastuki/tunnisteet-ja-viivakoodit/viivakoodit>

GS1 Finland 2023. GS1 DataMatrix Guideline. Helsinki: GS1 AISBL. Viitattu 18.7.2023 Saatavissa <https://www.gs1.org/standards/gs1-datamatrix-guideline/25#2-Encoding-data+2-1-The-encoding-structures>

Hameri, A. 2010. Production flow analysis- Cases from manufacturing and service industry. Amsterdam: Elsevier.

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. Jyväskylä: Gummerus

Idesco 2023. Elektroniset avaimet toimivat RFID-tekniikalla. Oulu: Idesco. Viitattu 16.7.2023. Saatavissa <https://idesco.fi/fi/mita-rfid-tunnistuksessa-tapahtuu/>

Irani, S. 2020. Job Shop Lean: An Industrial Engineering Approach to Implementing Lean in High-Mix Low-Volume Production Systems. Milton: Taylor and Francis.

Junttila, N. 2020. Alakoulun opettajien näkökulmia luontosuhteen tukemiseen opetuksessa. Oulu: Oulun yliopisto. Viitattu 15.3.2024 Saatavissa [Pro gradu -tutkielma \(oulu.fi\)](#)

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Laitinen, O. 2019. Lean-ajattelun käyttöönotto valmistavan teollisuuden tuotantojärjestelmissä. Tampere: Tampereen yliopisto. Viitattu 26.8.2023 Saatavissa <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27465/Laitinen.pdf?sequence=4>

Laitinen, P. 2023. TVT-laitteet. Viitattu 18.7.2023 Saatavissa <https://tumpelolaitinen.wordpress.com/mobiililaitteet-2/qrcode/>

Logistiikan maailma. 2023. JIT (Just-In-Time) ja imuohjaus. Helsinki: Reijo Rautauoman säätiö. Viitattu 27.8.2023 Saatavissa <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Modig, N. & Åhlström, P. 2013. Tätä on Lean: Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Tukholma: Rheologica Publishing.

Morris, S. 2022. What is lean manufacturing? The top 7 principles for manufacturers to improve processes. The Manufacturer. Hennik Research. Viitattu 18.4.2024. Saatavissa <https://www.themanufacturer.com/articles/what-is-lean-manufacturing-the-top-7-principles-for-manufacturers-to-improve-processes/>

Mugge, P., Abbu, H., Michaelis, T., Kwiatkowski, A., Gudergan, G. 2020. Patterns of digitization, A practical guide to digital transformation. Research-Technology Management.

Mäkinen, M. 2021. Digitalisaatio valmistavan teollisuuden yrityksissä ja playbook sen edistämiseen. Vantaa: Laurea. Viitattu 27.11.2023 Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/503913/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_MarjaLeenaM%c3%a4kinen.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Nampajarvi, N. 2019. Lean-tutkimus tietoliikenneorganisaation toimitusosastolle. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

- Piela, R. 2018. Digitalisointi, digitalisaatio ja digitaalinen transformaatio: vaikutukset organisaation osaamistarpeisiin ja ohjelmistoprosessin räätälöintiin. Helsinki: Helsingin yliopisto. Viitattu 2.3.2024 Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/96da6b4d-40b3-441b-b4b7-b774c80d6e07/content>
- Rajala, K. 2018. Digitalisaation vaikutukset ja haasteet asiakaspalvelussa. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Viitattu 5.4.2024. Saatavissa <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/58709/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-201806253334.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saaranen-Kauppinen & Puusniekka. 2024. 6.4 Havainnointi. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, Menetelmäopetuksen tietovaranto. Viitattu 29.11.2023 Saatavissa [KvaliMOTV - 6.4 Havainnointi \(tuni.fi\)](#)
- Salmi, T & Järvenpää, M. 2000. Laskentatoimen case-tutkimus ja nomoteettinen tutkimusajattelu sulassa sovussa. Viitattu 14.3.2024 Saatavissa http://lta.lib.aalto.fi/2000/2/lta_2000_02_a5.pdf
- Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J. 2016. Industry 4.0 implies Lean manufacturing: Research activities Industry 4.0 function as enablers for Lean manufacturing. Journal of industrial engineering and management.
- Schwartz, B. 2022. The 5 Lean Principles: Definitions & How to Use Them. Texas: ProjectManager. Viitattu 18.4.2024. Saatavissa <https://www.projectmanager.com/blog/lean-principles>
- Seppä, H. 2011. RFID-etätunnistus – mahdollisuudet ja uhat. Helsinki: Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 9/2011. Viitattu 8.7.2023. Saatavissa https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_9+2011.pdf
- Siitari, E. 2023. Digitalisointi on työkalu - ei itseisarvo. Helsinki: YourDigiGuide. Viitattu 6.4.2024. Saatavissa <https://omadigiopas.fi/digitalisointi-tyokaluna/>
- Tambare, P., Meshram, C., Lee, C., Ramteke, R., Imoize, A. 2021. Performance Measurement System and Quality Management in Data-Driven Industry 4.0. Basel: MDPI. Viitattu 29.12.2023 Saatavissa <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/1/224>
- Teknopower. 2024. Turku. Viitattu 13.1.2024. Saatavissa <https://www.teknopower.fi>
- Teknoware Oy. 2012. Valon vuodet 1972–2012. Teknoware Oy:n 40-vuotishistoriikki. Lahti: Teknoware Oy.

Teknoware Oy. Teknoware Company Presentation 2024. Teknoware intranet. Viitattu 13.1.2024.

Temera 2023. RFID-kortti. Florence: Temera srl. Viitattu 16.7.2023. Saatavissa <https://temera.it/en/technologies/rfid.html>

Turunen, J., Remes, J., Pehkonen, I., Lindström, S. 2023. Töissä palvelualoilla. Työterveyslaitos. Helsinki. Viitattu 16.4.2024. Saatavissa <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/145930/TTL-978-952-391-063-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C., Charron, R. 2014. The lean six sigma black belt handbook: Tools and Methods for Process Acceleration. Florida: CRC

Wallin, T. 2020. Digitaalinen transformaatio ja sen johtaminen. Tampere: Tampereen yliopisto.

