

**Teollinen internet valmistuskoneiden  
huollossa ja kunnossapidossa**  
**Industrial internet in manufacturing machinery  
maintenance**

Kandidaatintyö

## TIIVISTELMÄ

<b>Tekijä: Erkka Paavilainen</b>	
<b>Työn nimi: Teollinen internet valmistuskoneiden huollossa ja kunnossapidossa</b>	
<b>Vuosi: 2019</b>	<b>Paikka: Lappeenranta</b>
Kandidaatintyö. LUT yliopisto, tuotantotalous. 31 sivua, 4 kuvaa ja 2 liitettä Tarkastaja: Lea Hannola	
<b>Hakusanat: Teollinen internet, Asioiden internet, IoT</b> <b>Keywords: Industrial internet, Internet of Things, IoT</b>	
<p>Teollinen internet tuo uusia mahdollisuuksia erityisesti ennakoivan huollon saralla. Datan hyödyntäminen vaatii kuitenkin hyvää suunnittelua, jotta siitä saadaan yritykselle hyödyllistä tietoa. Teollinen internet tarjoaa yrityksille enemmän dataa kuin, mitä on koskaan aikaisemmin ollut saatavilla, mutta sen kerääminen, siirtäminen, varastointi ja analysointi vaatii uusien teknologioiden integroimista osaksi yrityksen toimintaa.</p> <p>Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten teollisella internetillä pystytään kehittämään valmistavan teollisuuden yrityksen huoltoa ja kunnossapitoa. Työn lopussa esitetään ehdotus teollisen internetin mahdollistamasta kunnossapitoprosessista. Työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja empiriaosuudesta. Kirjallisuusosuudessa perehdytään teolliseen internettiin, kunnossapitoon, sekä teollisen internetin hyödyntämisestä huollossa ja kunnossapidossa. Empiriaosuudessa mallinnetaan yrityksen nykyinen huoltoprosessi ja esitetään ehdotus uudesta huoltoprosessista.</p>	

# SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto .....	3
1.1	Työn tausta ja tavoite .....	3
1.2	Työn tutkimusmenetelmät ja rakenne .....	4
2	Teollinen Internet.....	5
2.1	Tiedon kerääminen.....	7
2.2	Analytiikka teollisessa internetissä .....	9
2.3	Visualisointi.....	12
3	Kunnossapito .....	13
3.1	Käytettävyys .....	14
3.2	Arvovirtakaavio .....	15
4	Teollisen Internetin hyödyntäminen kunnossapidossa .....	17
4.1	Etävalvonta.....	17
4.2	Ennakoiva huolto .....	18
5	Yritysesittely.....	21
5.1	Nykyinen huoltoprosessi koneen rikkoutuessa.....	21
5.2	Ongelmakohdat nykyisessä huoltoprosessissa .....	22
5.3	Kehitysehdotukset.....	23
6	Johtopäätökset.....	26
	Lähteet.....	28
	Liitteet .....	32

## **Lyhenneluettelo**

**IIoT** Industrial internet of Things. Teollinen internet.

**IoT** Internet of Things. Asioiden internet.

**RFID** Radio frequency identification. Radiotaajuinen etätunnistus.

**SQL** Structured Query Language. Standardoitu kyselykieli.

# 1 JOHDANTO

Ihmiskuntaa ovat muokanneet viimeisen 200 vuoden aikana uudet innovaatiot monella eri tavalla. Teollinen vallankumous muutti tavan, jolla valmistamme tuotteita ja kuinka liikumme. 1950-luvulla alettiin kehittää tietokoneita ja nykyään ne ovat osa jokapäiväistä elämäämme. Internet on mahdollistanut täysin uusia liiketoimintamalleja, kuten Facebookin, jolla on jo yli miljardi käyttäjää. Internet on toinen teollinen vallankumous, koska se on mahdollistanut täysin uudenlaisen ajattelun liiketoimintaan ja tieteeseen. Internet mahdollistaa myös kolmannen teollisen vallankumouksen Teollisen Internetin. Teollinen internet mahdollistaa tuottavuuden parantamisen, kulutuksen vähentämisen ja työskentelykokemuksen parantamisen. (Evans, 2012 s. 7-9) Teollisen internetin sovellusalueita kehitetään nykyisten toimintatapojen jatkoksi ja niitä syntyy jatkuvasti lisää. Nykyisen etävalvonnan päälle kehitetään parempia sovelluksia data-analytiikan, pilvipalveluiden ja big datan avulla. Analytiikka mahdollistaa reaaliaikaisen päätöksenteon sensoreista tulevan tiedon avulla. (Collin & Saarelainen, 2016, s. 50) Ennakoivan huollon odotetaan hyötyvän teollisesta internetistä kaikkein eniten. Sensoreiden tarjoamasta datasta etsitään poikkeamia, joista voi havaita komponenttien rikkoutumista. Analytiikan työkaluilla tehostetaan normaalia huoltotoimintaa ja parannetaan laitteiden käytettävyyttä. (Collin & Saarelainen, 2016, s. 58-61)

Teollinen internet tarjoaa ratkaisuja moniin asioihin, joita valmistavan teollisuuden yrityksissä pohditaan, mutta se myös vaatii paljon. Teknologioiden kehittyessä valmistuskoneista pystytään keräämään tietoa, jota ei aikaisemmin ole ollut saatavilla. Datan määrä teollisessa internetissä on merkittävästi isompi verrattuna yritysten aikaisemmin käyttämään dataan. Tämä aiheuttaa haasteita datan keräämisessä, siirtämisessä ja varastoinnissa. Teollinen internet mahdollistaa valmistuskoneiden kunnan tarkemman ja reaaliaikaisemman seurannan, minkä ansiosta koneita voidaan huoltaa tehokkaammin.

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Työ on toteutettu toimeksiantona suomalaiselle valmistavan teollisuuden yritykselle, joka tarjoaa tuotteitaan yrityksille ja kuluttajille maailmanlaajuisesti. Yrityksellä on tehdas Suomessa, jossa se valmistaa tuotteitaan. Tehtaan huolto ja kunnossapito on ulkoistettu

kokonaan toiselle yritykselle, mutta huollon ja kunnossapidon kanssa tehdään tiivistä yhteistyötä. Nykyistä huolto ja kunnossapitoprosessia ei ole mallinnettu tarkasti.

Työn tavoitteena on esittää kehitysehdotus teollisen internetin mahdollistamasta huoltoprosessista. Jotta nykyistä huoltoprosessia pysytään kehittämään, täytyy se mallintaa tarkasti. Kehitysehdotuksen luomiseksi tutkitaan teorian avulla teollisen internetin mahdollistamia ratkaisuja huoltoon ja kunnossapitoon, sekä rajoitteita ja haasteita, joita se asettaa yritykselle. Työssä ei syvennytä teollisen internetin tietoturvaan.

## **1.2 Työn tutkimusmenetelmät ja rakenne**

Kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena perustuen tieteelliseen kirjallisuuteen ja tutkimuksiin. Empiirisessä osassa hyödynnetään kohdeyrityksen ja huoltoyrityksen substanssiosaamista haastattelemalla heidän työntekijöitään. Kohdeyrityksestä haastateltiin viittä eri työntekijää ja huoltoyrityksestä yhtä.

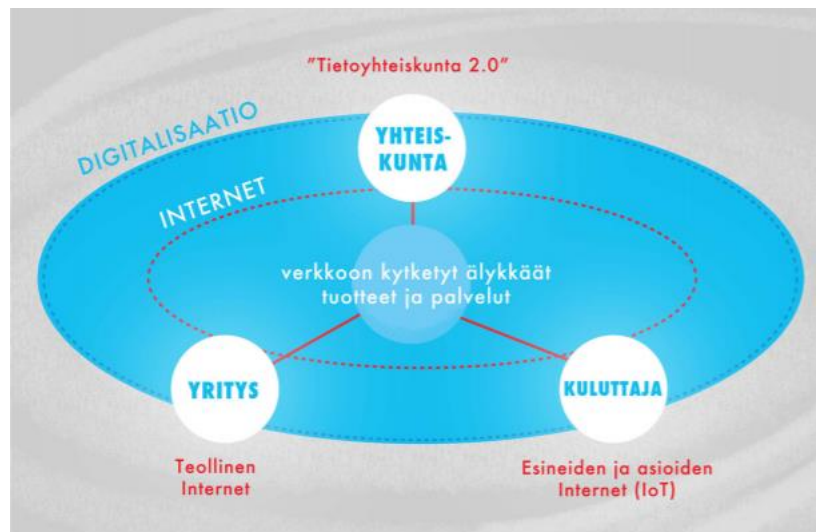
Toisessa luvussa esitellään kirjallisuuteen perustuen teollinen internet ja se, kuinka koneiden tilasta kerättävästä datasta saadaan yritykselle hyödyllistä tietoa. Lisäksi siinä pohditaan hieman teollisen internetin vaikutusta yhteiskuntaan. Kolmannessa luvussa esitellään perinteinen huoltoprosessi. Lisäksi luvussa esitellään käytettävyys, jota voidaan hyödyntää mitattaessa huollon tehokkuutta, sekä arvovirtakaavio, jonka avulla voidaan mallintaa huoltoprosessi. Neljännessä luvussa syvennyttään teollisen internetin hyödyntämiseen valmistuskoneiden kunnossapidossa. Viidennessä luvussa on työn soveltava osuus, jossa esitellään kohdeyrityksen nykyinen huoltoprosessi ja ongelmakohdat nykyisessä prosessissa. Teoriaa ja kohdeyrityksen haastatteluja hyödyntäen esitellään kehitysehdotus tulevasta huoltoprosessista.

## 2 TEOLLINEN INTERNET

Internet of Things (IoT) on termi, joka on viime vuosina esiintynyt useissa eri konteksteissa ja sen odotetaan mullistavan miten ihmiset ja laitteet toimivat yhteistyössä. Atzori et al. (2010) määrittelevät IoT:n siten, että monet laitteet ja asiat ympärillämme, kuten radiotaajuiset etätunnistimet (radio frequency identification, RFID), sensorit ja puhelimet, kommunikoivat keskenään ja toimivat yhdessä tavoitteellisesti (Atzori et al. 2010). Collin & Saarelainen (2016) puolestaan määrittelevät teollisen internetin digitalisaatioksi, jossa fyysinen ja digitaalinen maailma yhtyvät koneissa ja laitteissa olevien sensorien avulla. (Collin & Saarelainen 2016 s. 1) Näiden kahden määritelmän avulla pystytään päättelemään, että teollisuuden internet ja Internet of Things ovat hyvin samankaltaisia käsitteitä, mutta yleisesti IoT käsittää kuluttajarajapinnan ja teollinen internet teollisuuden sovellukset.

Teollinen internet muodostuu kolmesta pääelementistä: 1) älykkäät koneet 2) edistynyt analytiikka 3) ihmiset työssä. Älykkäät koneet ovat kehittyneillä sensoreilla yhdistettynä verkostoon, joilla ne pystyvät kommunikoimaan keskenään. Edistyneessä yhdistyvät ennustavat algoritmit, fysiikkaan perustuva analytiikka, automaatio ja toimialan syvä tuntemus. Teollisen internetin toiminnalle on olennaista, että ihmiset saadaan osaksi verkkoa, josta he saavat tukea tehdäkseen parempia päätöksiä. (Evans, 2012) Juhanko et al. 2015 mukaan teollisen internetin mahdollistavat kolme megatrendiä: 1) globalisaatio 2) digitalisaatio 3) kaupungistuminen.

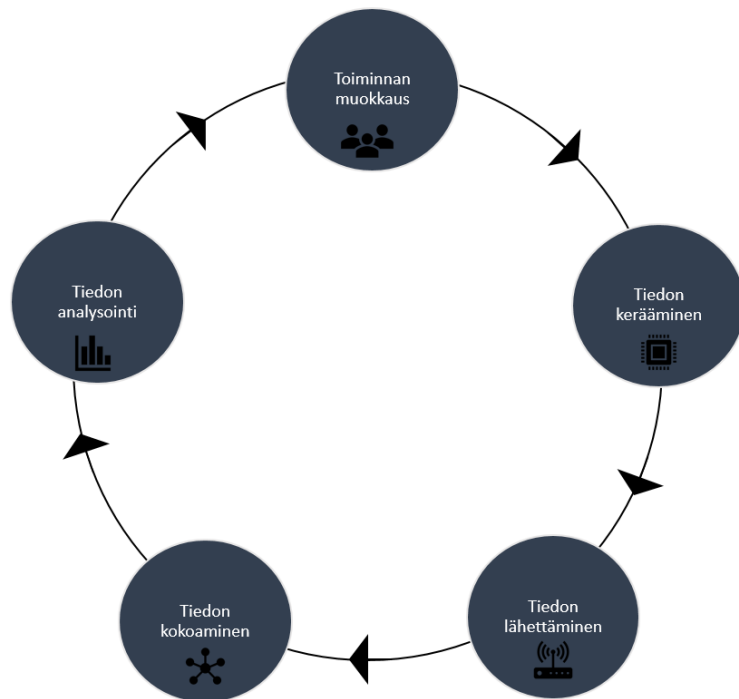
Teollinen internet on maailmanlaajuisesti yksi merkittävimpiä muutoksia. Suomessakin Valtionneuvoston kanslia on nimennyt sen yhdeksi kärkiteemoistaan. Teollinen internet on mahdollisuus niille, jotka hyödyntävät uutta kehittyvää teknologiaa luoden asiakkaille arvoa. Teollinen internet vaikuttaa koko yhteiskuntaan. Se luo uusia mahdollisuuksia, joissa ohjelmistojen älykkyys integroituu tuotteisiin ja palveluihin. Kuvassa 1 kuvataan, kuinka tietoyhteiskunta 2.0:ssa yhteiskunta, teollisuus ja kuluttajat yhdistyvät ja luovat laajemman kokonaisuuden. (Ailisto et al. 2015, s. 7 – 8) Myös teollisuus 4.0 on samankaltainen termi, jossa IoT-laitteet, ihmiset ja koneet toimivat yhteistyössä (Ustundag & Cevikan, 2017, s. 5).



**Kuva 1** Teollisen internetin sijoitus yhteiskunnassa (Ailisto et al. 2015 s. 10)

Pelkästään informaation tuottaminen ei tuo yritykselle lisäarvoa, vaan yrityksen pitää pystyä myös reagoimaan tietoon ja korjaamaan omaa toimintaansa. Kuvassa 2 on esitelty, kuinka tietoa kerätään sensoreilla fyysisestä maailmasta. Kerätty tieto siirretään verkkojen välityksellä eri paikkaan. Eri paikoista ja eri aikana kerättyä tietoa yhdistetään. Tätä tietoa analysoidaan ja pyritään tunnistamaan kaavoja, joilla kuvaillaan fyysisen maailman tapahtumia tai ennustetaan tulevia tapahtumia. Tämän jälkeen fyysisessä maailmassa tehdään päätöksiä näihin malleihin tai ennustuksiin pohjautuen. (Raynor & Cotteleer, 2015) Seuraavissa kappaleissa käydään läpi, kuinka informaatiota kerätään tuotantokoneista ja välitetään tietovarastoihin sekä kuinka informaatiosta tehdään tietoa analytiikan avulla ja miten tieto visualisoidaan työntekijöille hyödylliseksi.





**Kuva 2** Information value loop (muokattu lähteestä Raynor & Cotteleer, 2015)

## 2.1 Tiedon kerääminen

IoT synnyttää enemmän dataa kuin mitä on koskaan aiemmin ollut olemassa. Tämä data pitää tallentaa järkevään muotoon, jotta sitä pystytään käyttämään tehokkaasti. Datan tehokkaaseen tallentamiseen on mahdollista hyödyntää pilvipalveluja. (Karolewicz et al. 2016)

Teollisuudessa tietoa koneista kerätään sensoreilla, jotka muuntavat informaatiota sähköiseen muotoon. Informaatiota voi olla esimerkiksi lämpötilasta, paineesta tai äänestä. Teollisessa internetissä sensori kerää tietoa suoraan laitteesta tai sen ympäristöstä. (Collin & Saarelainen 2016 s. 121 - 122) Holdowsky et al. 2015 sanovat, että sensoreiden ansiosta nykyään on mahdollista tietää koneiden tarkka sijainti ja kunto.

Sensorien hinnat ovat laskeneet huomattavasti ja laskun odotetaan jatkuvan tulevaisuudessa. Sensorien halpuuden takia niitä kannattaa pitää koneissa jatkuvasti, jotta kyetään mittaamaan koneen suoritusta jatkuvasti. Samalla sensoreista on tullut pienempiä ja älykkäämpiä.

Sensoreiden laskentateho on kaksinkertaistunut tasaisesti kolmen vuoden välein. (Holdowsky et al. 2015)

Usein yrityksillä on vanhoja laitteita, joissa ei ole tarpeellisia sensoreita teollista internetiä varten. Uusien koneiden hankkiminen kuitenkin pelkästään sensoreiden takia ei ole järkevää. Markkinoilla on kuitenkin sensoreita, jotka pystytään asentamaan vanhoihin koneisiin. Jälkikäteen koneisiin asennettavat sensorit pystyvät seuraamaan tuotantokoneiden värähtelyä, liikettä sekä tuotannon olosuhteita.

Sensoreista saatava tieto pitää pystyä välittämään tietovarastoon, koska yksittäisen sensorin tuottama tieto ei yleensä ole hyödyllistä. Sensorit pitää kytkeä verkkoon, jotta tietoa saadaan välitettyä. Verkkoon kytketyt laitteet pitää kyetä erottamaan toisistaan, jotta voidaan tietää mistä laitteesta tieto on tullut. Verkot ovat langallisia tai langattomia. Langattomien verkkojen etuna on tietoturvallisuus ja varmuus, mutta sitä ei pystytä hyödyntämään laajalla verkolla. Langattomat verkot puolestaan tarjoavat jatkuvan tiedon välittämisen fyysisestä paikasta huolimatta. (Holdowsky et al. 2015) Collin & Saarelainen puolestaan sanovat, että verkkoteknologioiden määrää pitää pyrkiä supistamaan, jotta eri teknologioita on helpompi hallita. He myös ehdottavat, että tietoliikenteelle kannattaa tehdä keskitettyjä solmukohtia, joissa eri verkkoyhteyksistä saapuva data kerätään yhteen ja välittää data yhtenäisessä muodossa eteenpäin. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 129)

Verkot voidaan jakaa kolmeen osaan riippuen niiden teknologioiden maantieteellisestä ulottuvuudesta. Kaikilla kattavuusalueilla on langallisia ja langattomia teknologioita.

- PAN/WPAN (Personal Area Network/Wireless PAN) Lyhyen kantaman teknologiat, joissa verkkoteknologiana on yleensä Bluetooth. Datansiirtonopeus noin 1 megabitti sekunnissa.
- LAN/WLAN Lähiverkko, joka voi olla langallinen tai langaton tai niiden yhdistelmä. Kantama on noin metriä. Datan siirtonopeus noin kymmenen gigabittiä sekunnissa.
- WAN/WWAN Laajan alueen tietoverkko. Datan siirtonopeus satoja megabittejä sekunnissa. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 130)

Teollisen internetin synnyttämä data on erittäin arvokasta, mutta se aiheuttaa myös haasteita. Datan prosessointi ja säilyttäminen tehokkaasti ja tietoturvallisesti on teollisen internetin suurimpia haasteita. Ison datamäärän takia on lähes välttämätöntä hyödyntää pilvipalveluja datan säilyttämiseen. Teollisessa internetissä syntyy kuitenkin tietoa, joka pitää käsitellä mahdollisimman reaaliaikaisesti. Tämän takia pilvipalvelujen lisäksi pitää hyödyntää ”fog computing”, jossa pilven palveluja tuodaan lähemmäs käyttäjää. Osa datasta käsitellään paikan päällä ja osa lähetetään pilveen, josta se on käyttäjien saatavilla. (Fu et al. 2018)

Tiedon varastoinnissa pitää ottaa huomioon myös millaiseen muotoon se tallennetaan. Perinteisessä relaatiotietokannassa tieto on hyvin strukturoitua ja homogeenistä. Tällaista tietokantaa kutsutaan SQL-tietokannaksi (Structured Query Language). Teollisessa internetissä tulee dataa sensoreista hyvin strukturoidussa muodossa, mutta myös videota ja kuvia. Kuvien ja videoiden tallentamiseen tarvitaan toisenlaista tietokantaa, eli NoSQL-tietokantaa. (Collin & Saarelainen, 2015 s. 152) Berthelsen mukaan NoSQL-tietokannassa tietoa on varastoitu vapaammassa muodossa, jolloin tietokantaan pystytään tallentamaan erilaisista lähteistä tulevaa dataa. NoSQL tietokantaan voidaan tallentaa strukturoidun sensoridatan lisäksi kuvaa, ääntä ja luonnollista kieltä. Teollisessa internetissä tarvitaan edelleen relaatiotietokantoja, mutta NoSQL-tietokannat mahdollistavat joustavamman tietojen varastoinnin. (Berthelsen, 2014)

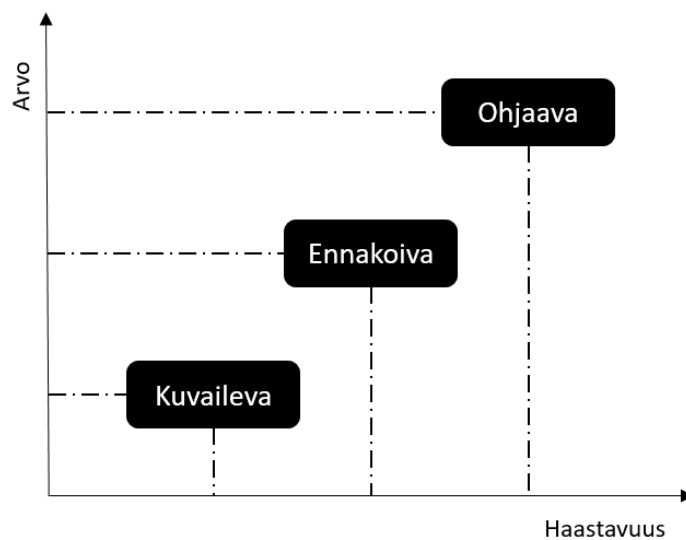
Teollisessa internetissä tiedon kerääminen valmistuskoneista sensoreilla ei ole uutta, mutta tiedon määrä on kasvanut huomattavasti. Tämä aiheuttaa haasteita tiedon välittämisessä ja sen varastoinnissa. Samaan aikaan myös pilvipalvelut ovat kehittyneet ja tarjoavat ratkaisun tiedon tallentamiseen. Perinteiset tietokannat toimivat teollisessa internetissä vielä melko hyvin, mutta jotta teollisesta internetistä saadaan kaikki hyöty irti pitää tietokantoihin pystyä tallentamaan myös kuvaa ja videota.

## **2.2 Analytiikka teollisessa internetissä**

Kuten aikaisemmin mainittu, pelkästään data ei tuo yritykselle lisäarvoa vaan siitä pitää saada tietoa. Collin & Saarelainen mukaan haaste teollisessa internetin analytiikassa ei ole itse data

eikä algoritmien tekeminen vaan se, että tuloksista saadaan tietoa, joka on tuottaa lisäarvoa liiketoiminnalle (Collin & Saarelainen, 2016 s. 159). Jotta teollisesta internetistä saadaan mahdollisimman paljon hyötyä, pitää hyödyntää data-analytiikan metodeja. Edistyneellä analytiikalla saadaan datasta informaatiota, jolla voidaan ohjata tuotantokoneita ja seurata niiden kuntoa. (Kan et al. 2018)

Tiedon saaminen datasta edellyttää analysointia. Datan analysointiin käytetään analytiikan keinoja. Alimman tason keino on kuvaileva analytiikka, jossa visualisoidaan isoja datamääriä erilaisilla työkaluilla. Ennustavassa analytiikassa historiadataa tutkimalla pyritään ennustamaan tulevaisuuden tapahtumia. Ennustavassa analytiikassa hyödynnetään isoja datasettejä, joiden avulla rakennetaan malleja. Ennustavien mallien rakentamisessa hyödynnetään koneoppimista. Korkeimman tason analytiikka on ohjaava analytiikka, jossa luodaan malleja optimointiin ja suunnitteluun. (Holdowksy et al. 2015) Collin & Saarelainen lisäävät kuvailevan ja ennakoivan analytiikan väliin vielä diagnostisen analytiikan, jossa selvitetään miksi jotain on tapahtunut (Collin & Saarelainen, 2016 s. 160)



**Kuva 3** Analytiikan hyödyt ja vaatimukset (muokattu lähteistä Holdowksy et al. 2015, Collin & Saarelainen 2016 s. 160)

Collin ja Saarelainen jakavat analytiikan menetelmät kahteen; levossa olevan datan analytiikkaan ja nopeaan analytiikkaan, joka analysoi sensoreista ja muista lähetistä tulevaa

dataa lähes reaaliajassa. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 161) Reaaliaikainen analytiikka mahdollistaa koneiden kunnan seuraamisen, minkä johdosta on mahdollista myös toteuttaa ennakoivaa huoltoa (Verma et al. 2017).

Sensortechnologioiden kehittymisen ansiosta datan määrä on lisääntynyt räjähdysmäisesti. Datan lisääntymisen ansiosta monia prosesseja pystytään seuraamaan erittäin tarkasti. Koneoppimisen ansiosta pystytään automatisoimaan päätöksentekoa ja ratkaisemaan vaikeitakin ongelmia. (Huang et al. 2006, s. 1)

Koneoppiminen on pohjimmiltaan algoritmeja, jotka pystyvät oppimaan datasta ja tekemään sen perusteella ennusteita, sekä tunnistamaan malleja suuresta määrästä tietoa ja luokittelemaan tietoa sen perusteella. Koneoppimista käytetään usein tapauksissa, joissa perinteinen ohjelmointi on liian haastavaa tai epäkäytännöllistä. Toisin kuin perinteisessä ohjelmoinnissa, jossa ohjelma palauttaa tietyllä syötteellä jonkun tuloksen, koneoppiva ohjelma tunnistaa käyttää dataa tehdäkseen malleja, joilla se palauttaa oikean tuloksen. Koneoppivan mallin tarkkuus perustuu pääosin sen opettamiseen käytettävän datan määrään ja oikeellisuuteen. (Amazon Web Services 2019) Luger puolestaan määrittää koneoppimisen algoritmeiksi, jotka muuttuvat uuden datan myötä ja jotka kykenevät tekemään yleistyksiä aiemmin oppimistaan asioista (Luger, 2008 s. 387 – 388).

Koneoppiminen jaetaan kolmeen osa-alueeseen:

- Ohjattu oppiminen, jossa koneelle annetaan oikea vastaus opetusdatassa.
- Ohjaamaton oppiminen, jossa kone pääättelee oikean vastauksen datassa olevien säännönmukaisuuksien ja suhteiden pohjalta.
- Vahvistusoppiminen, jossa koneelle annetaan palautetta, kuinka onnistuneesti se toimii eri tilanteissa, mutta sille ei anneta oikeita vastauksia. (Merilehto, 2018 s. 15, Huang et al. 2006, s. 1 – 2)

Koneoppimista voidaan hyödyntää teollisessa internetissä esimerkiksi ennakoivassa huollossa, toimitusketjun optimoinnissa ja prosessien tehostamisessa. Kun datan määrä kasvaa, koneoppivien mallien arvo korostuu ja jossain vaiheessa niiden hyödyntäminen on lähes välttämätöntä datamassojen käsittelemisessä. (Lade et al. 2017)

### 2.3 Visualisointi

Teollisen internetin hyödyt tulevat esille vasta lopullisessa käyttöliittymässä, josta ihmiset pystyvät tekemään päätöksiä datan pohjalta. Useimmat työntekijät, jotka hyötyisivät datasta eniten, eivät saa analytiikasta hyötyä ilman käyttöliittymää, jossa tiedot on selkeästi visualisoitu. Raporttien pitää olla mahdollisimman reaaliaikaisia ja niiden pitää olla käyttäjäryhmälle sopivia. Käyttöliittymän pitää toimia niillä laitteilla, joita työntekijät käyttävät työssään. (Collin & Saarelainen, 2016, s. 173)

Ihmiset pystyvät käsittelemään monimutkaisia sarjoja huomattavasti nopeammin visuaalisessa kuin numeerisessa muodossa (Nielsen, 2016). Lohse 1997 toteaa, että visuaalisen datan avulla ihmiset pystyvät ratkaisemaan tehtäviä nopeammin kuin numeerisessa muodossa. Myös datan esitysmuodolla on merkittävä vaikutus siihen, kuinka nopeasti ihmiset pystyvät ratkaisemaan tiettyjä tehtäviä. Esimerkiksi väreillä ja kaavioiden selkeydellä on merkittävä vaikutus siihen, kuinka haastavia tehtävät ovat ihmisille.

Ihmisten ja koneiden pitää toimia yhdessä niin, että molemmat tekevät tehtäviä, joissa ne ovat parhaimmillaan. Tietokoneet ratkaisevat numeerisia tehtäviä huomattavasti ihmisiä paremmin, mutta monissa asioissa ihmiset ovat edelleen välttämättömiä. Tämän takia datan visualisoiminen on tehokas työkalu ihmisten ja tietokoneiden yhteistyössä. (Nielsen, 2016)

### 3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on teollisuudessa tuotantolaitoksen laitteiston ja ympäristön kunnossapitoa. Kunnossapidossa pyritään ylläpitämään laitteiden toimintakuntoa, takaamaan käytön turvallisuus, pitämään laitteen laaduntuotantokykyä yllä, hallitsemaan laitteen elinjaksoa ja modernisoimaan laitteita. Oikealla kunnossapidolla pystytään pienentämään investointitarvetta laitteisiin, koska laitteet toimivat tehokkaammin, ja täten se vaikuttaa yrityksen kilpailukykyyn. (Järviö et al. 2007, s. 13 – 15) Kunnossapitokustannukset ovat nykyään suuri osa tehtaiden muuttuvista kustannuksista (Moblely, 2004 s. 1).

Ennen kunnossapito oli hyvin yksinkertaista. Koneet olivat yksinkertaisia ja niitä korjattiin, kun ne vikaantuivat. Koneiden yksinkertaisuuden ansiosta vian määrittäminen ja korjaaminen olivat helppoja toimenpiteitä. Ennakoiva kunnossapito koostui lähinnä koneiden puhdistamisesta, säätämisestä ja voiteluhuollosta. Nykyään koneet ovat huomattavasti monimutkaisempia ja niiden automaatiotaso on korkeampi. Nämä asiat nostivat tuotantokoneiden hintoja, minkä johdosta puutekustannukset koneen ollessa vikaantunut, ovat isommat kuin kunnossapito ja korjauskustannukset. (Järviö et al. 2007, s. 17 – 20) Monimutkaisemmat koneet ovat nostaneet kunnossapidon kustannuksia niin paljon, että kunnossapidon optimoinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä (Moblely, 2004 s. 1). Chan et al. 2003 mukaan valmistuskustannuksista 15 – 40 %, johtuu huollosta ja kunnossapidosta. Heidän tutkimuksessaan elektroniikkakomponentteja valmistavassa yrityksessä 33 % huolto- ja kunnossapitokustannuksista oli turhaa.

Kunnossapitotyöt on jaoteltu suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjauksiin. Suunniteltu kunnossapito suoritetaan ennen vikaa, joko määrääikaan perustuvana kunnossapitona tai kuntoon perustuvana kunnossapitona. Häiriökorjaukset on edelleen jaoteltu välittömiin häiriökorjauksiin ja siirrettyihin häiriökorjauksiin. Joissain tehtaissa on myös ”Run to Failure” laitteita, jotka eivät ole ehkäisevän kunnossapidon piirissä, vaan ne korjataan tai korvataan, kun ne rikkoutuvat. (Järviö et al. 2007, s. 17 – 20) Todellisuudessa lähes kaikkiin koneisiin tehdään joitain huoltotoimenpiteitä käyttäjien toimesta, kuten voitelua tai asetusten säätöä, joten ne eivät ole ”Run to Failure” koneita (Moblely, 2004 s. 2).

Määräaikaishuollot ovat sananmukaisesti huoltotoimenpiteitä, jotka tehdään tietyin väliajoin. Määräaikaishuollot voivat olla hyvin pieniä, kuten koneiden voitelua tai säätöä, tai jopa isoja huoltotoimenpiteitä. Huoltotoimenpiteiden väli voi olla koneesta riippuen esimerkiksi aika, ajettu matka tai tuotettujen tuotteiden määrä. Ennakoivassa huollossa olennaista on, että kaikki huoltotoimenpiteet kontrolloidaan niin, että ne tehdään juuri oikeaan aikaan. (Mobley, 2004 s. 3 – 4; s. 12 – 13)

Sensorit mahdollistavat ennakoivan kunnossapidon, jossa pyritään maksimoimaan aika huoltotoimenpiteiden välissä. Valmistuskoneita monitoroidaan ja niistä pyritään tunnistamaan vikaantumisia ja korjaamaan ne ennen koneen vikaantumista. Sensoreiden lisäksi työntekijöiden pitää tarkkailla koneen kuntoa ja tehdä säännöllisiä tarkastuksia koneisiin. Sensorit kuitenkin mahdollistavat koneiden jatkuvan seuraamisen ja ne huomaavat pieniä muutoksia esimerkiksi koneiden tärinän voimakkuudessa. (Mobley, 2004 s. 14) Järvilehto et al. kuitenkin huomauttavat, että sensorit ja ohjelmistot pitää myös lisätä kunnossapidon piiriin, koska niiden toiminta on äärimmäisen olennaista ennakoivan huollon kannalta (Järvilehto et al. s. 20)

### 3.1 Käytettävyys

KNL-laskenta (eng. overall equipment effectiveness, OEE) mittaa yhden valmistuskoneen tuottavuutta. KNL-laskenta on kolmiosainen analysointityökalu, jossa mitataan koneen käytettävyyttä, nopeutta ja laatua. Se on hyvä työkalu koneen tehokkuuden mittaamiseen, koska siitä selviää syy koneen tehottomuuteen. (Muchiri & Pintelon, 2008) Anvari et al. toteavat, että KNL-laskennassa verrataan valmistuskoneen suorituskykyä siihen suorituskykyyn, joka samalla koneella olisi optimaalisissa olosuhteissa (Anvari et al. 2010).

KNL laskentakaava:

$$KNL = \text{Käytettävyys} * \text{Nopeus} * \text{Laatu}$$

(Muchiri & Pintelon, 2008).



Käytettävyys on laskelma, jossa verrataan aikaa, jonka kone todellisuudessa tuottaa, aikaan joka sen oli suunniteltu tuottavan (Zammori et al. 2010). Käytettävyys mittaa paljonko menetetään aikaa valmistuskoneiden seisokkien takia. Seisokkeja aiheutuu koneen vikaantumisesta, jolloin menetetään aikaa ja tuotetaan vähemmän tuotteita. Käytettyä vähentää myös koneiden asetukset, jolloin ei tuoteta tuotteita. (Muchiri & Pintelon, 2008)

Käytettyyden laskentakaava:

$$\text{Käytettyyys} = \frac{\text{Kone ajossa (h)}}{\text{Käytettävissä oleva aika (h)}}$$

(Muchiri & Pintelon, 2008).

Käytettyyys on hyvä työkalu huoltoprosessien kehittämisessä. Huoltoprosesseja muutettaessa voidaan mitata muutosten vaikutusta tuotantokoneiden käytettyyteen ja täten selvittää tehostavatko muutokset koneiden toimintaa.

### 3.2 Arvovirtakaavio

Arvovirtakaavio on kuvaus, jossa kuvataan tuotteen kulku materiaalista asiakkaalle. Arvovirrassa on kaikki asiat, jotka pitää tehdä, jotta tuotteet saadaan valmistettua ja toimitettua asiakkaille. Arvovirtakaavio mahdollistaa useamman kuin yhden prosessin mallintamisen. Arvovirtakaaviota luodessa pitää ensin luoda prosessin nykytilan kuvaus, josta tunnistetaan ongelmakohdat, ja tämän jälkeen luodaan tulevan tilan kaavio, jonka avulla prosessia voidaan kehittää. Arvovirtakaaviosta käy ilmi materiaali- ja informaatiovirta. Molemmat ovat erittäin tärkeitä prosessissa. Arvovirtakaaviota tehdessä on erittäin olennaista, että pohjatyö tehdään tehtaassa, prosessin välittömässä läheisyydessä. (Rother & Shook, 1999 s. 8 – 9) Vaikka arvovirtakaavio on alun perin kehitetty valmistavan teollisuuden tarkoitukseen, sitä hyödynnetään nykyään muillakin toimialoilla (Shou et al. 2017).

Arvovirtakaaviota tehdessä pitää prosesseista tunnistaa arvoa tuottavat prosessin vaiheet sekä vaiheet, jotka eivät tuota yritykselle arvoa. Tämän ansiosta arvovirtakaaviosta selviää, missä

kohtaa prosessia syntyy hukkaa. Kun nykyisestä tilasta tunnistetaan vaiheet, jotka synnyttävät hukkaa, luodaan tulevan tilan arvovirtakaavio, jossa ongelmakohtat ovat ratkaistu. Näin menetellessä pystytään kehittämään prosesseja. (Kumar et al. 2018)

Huoltoa on kehitetty siten, että valmistuskoneiden kapasiteettia pyritään hyödyntämään mahdollisimman hyvin. Arvovirtakartoitusta voi hyödyntää huoltoprosessin analysoinnissa, mutta sitä pitää hieman muokata, jotta se sopii huoltoprosessin mallintamiseen. Erityisesti korjaavan huollon tapauksessa voidaan mitata aikaa, joka kuluu siitä, kun vika huomataan siihen, että kone toimii taas normaalisti, jotta tunnistetaan hukkaa huoltoprosessissa. (Sawhney et al. 2009)

## **4 TEOLLISEN INTERNETIN HYÖDYNTÄMINEN KUNNOSSAPIDOSSA**

Teollisen internetin odotetaan mullistavan valmistuskoneiden huollon. McKinseyn (2015) mukaan ennakoivan huollon avulla voidaan saavuttaa 40 %:n kustannussäästöjä tehtaiden huollossa ja kunnossapidossa.

Automaation asiantuntijat ovat käyttäneet teollista internetiä jo kauan ennen kuin sitä kutsuttiin teolliseksi internetiksi. Sen ansiosta saavutetaan vähemmän seisokkiaikaa, pienempi määrä vikoja, sekä säästettiin energiaa. Teollinen internet mahdollistaa myös valmistustyöntekijöiden etätyöskentelyn ja reaaliaikaisella analytiikalla pystytään valvomaan tuotantolinjastojen laatua jatkuvasti. (Hoske, 2016)

Teollinen internet mahdollistaa analytiikan käyttämisen ennakoivassa huollossa, mutta monimutkaisten tilanteiden ratkaisemiseen tarvitaan ihmisten ja ohjelmistojen saumatonta yhteistyötä. Tärkeintä on yhdistää analytiikka nykyisten työntekijöiden ammattitaitoon. Data-analytiikasta tulevien tietojen pitää kertoa ihmisille prosessien ongelmista ja ammattitaitoisten ihmisten pitää pystyä tekemään päätöksiä analytiikan pohjalta. Ohjelmistot pitää integroida koneisiin saumattomasti, jotta asiantuntijat pystyvät tekemään päätöksiä esimerkiksi järjestyksestä, jossa koneet huolletaan. Tämän takia on erittäin olennaista, että analyttikot, jotka ovat tekemässä teollisen internetin ratkaisua, omaavat myös hyvän tietämyksen koko valmistusprosessista. (Truong, 2018) Jokaiseen tehtaaseen pitää tehdä erikseen IoT-projekti, eikä samoja analytiikan malleja voida suoraan siirtää tehtaasta toiseen. Parhaaseen tulokseen päästäkseen pitää yhdistää data-analytiikka, substanssiosaaminen ja paikallistuntemus tehtaasta. (Tekniikka & Talous, 2017)

### **4.1 Etävalvonta**

Ensimmäinen askel teollisen internetin hyödyntämiseen valmistuskoneiden huollossa ja kunnossapidossa on antureiden asentaminen laitteeseen ja niiden kytkeminen verkkoon. Tällöin laitteesta saadaan reaaliaikaista dataa, josta voidaan katsoa laitteiden nykyinen tila. Laitteiden

reaaliaikaisen nykyisen tilan tunteminen mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon. Laitteiden kunnan lisäksi pystytään valvomaan laitteiden käyttäjiä. Koneen vääränlainen käyttö rekisteröityy järjestelmään ja tämän avulla voidaan todeta, että käyttäjät tarvitsevat lisäkoulutusta laitteen käytöstä. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 51)

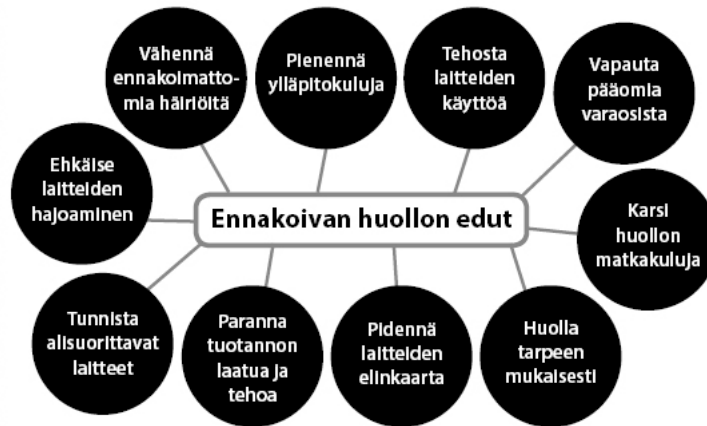
Etävalvonnan avulla pystytään tekemään parempaa yhteistyötä, jos huolto on ulkoistettu toiselle yritykselle. Perinteisesti koneiden vikaantuessa on tehty vikailmoitus huoltoyritykselle ja heidän on pitänyt tulla paikan päälle tarkastamaan laitteen kunto ja huollon tarve. Etävalvonnan huoltoyritys pystyy tarkastamaan laitteen kunnan ja arvioimaan huoltotarpeen etänä. (Mori et al. 2008)

Kun laitteiden suorituskykyä seurataan reaaliaikaisesti, pystytään niiden tuotantoa optimoimaan tehokkaammin kuin mitä aikaisemmin oli mahdollista. Koneiden ollessa verkossa, pystytään niiden asetuksia säätämään etänä. Etäoptimoinnin avulla voidaan pilotoida koneilla asetuksia ja tarvittaessa vaihtaa kaikkien koneiden asetukset samanaikaisesti. Tuotantokoneiden antureiden asetuksia pitää muuttaa ajoittain, jotta saadaan mahdollisimman tarkkoja mittauksia koneista. Sensoreiden ollessa verkossa myös niiden asetuksia voidaan muuttaa etäpäivityksillä. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 52 – 55)

## **4.2 Ennakoiva huolto**

Ennakoivan huollon avulla saavutetaan suurimmat säästöt huollossa ja kunnossapidossa (McKinsey, 2015). Ennakoivassa huollossa säästöt saavutetaan parantamalla koneiden tuottavuutta vähentämällä odottamattomia tuotantokatkoksia ja turhia huoltotoimenpiteitä. Kuvassa 4 on esitelty ennakoivan huollon etuja. Iso osa ennakoivan huollon eduista tulee siitä, että voidaan kokonaan välttää koneiden vikaantumista oikea-aikaisella huollolla, mutta kustannussäästöjä voidaan saavuttaa muillakin tavoilla. Kun laitteita seurataan jatkuvasti, pystytään tunnistamaan alisuorittavat laitteet ja tehostamaan niiden toimintaa. Jos osien vikaantumista pystytään ennakoimaan, voidaan pienentää varaosien varastointikustannuksia. Ennakoiva huolto vähentää tarpeetonta ja liiallista huoltamista, koska siinä huollot tehdään

koneen todellisen kunnan mukaan. Tällöin pystytään myös optimoimaan huollot niin, että laitteen elinkaari on mahdollisimman pitkä. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 58 – 61)



**Kuva 4** Ennakoivan huollon edut (Collin & Saarelainen 2016 s. 61)

Ennakoiva huolto rakennetaan etävalvonnan päälle. Ennakoiva huolto edellyttää, että koneita pystytään valvomaan etänä. Jotta etävalvonnasta saadaan eniten hyötyä, olisi hyvä, että koneita pystyttäisiin myös hallitsemaan, optimoimaan ja päivittämään etänä. Ennakoiva huolto perustuu siihen, että pystytään jatkuvasti seuraamaan missä kunnossa koneet ovat. Ennakoiva huolto on kuitenkin huomattavasti vaativampaa kuin pelkkä etävalvonta, koska se edellyttää analytiikkaa. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 59)

Tuotantokoneiden energian kulutusta on mitattu jo pitkään ja tällä tiedolla on pyritty säästämään energiaa ja tutkimaan koneiden toimimista. Samoja mittauksia voidaan hyödyntää ennakoivaan huoltoon. (Potluri, 2018) Alkeistasolla ennakoivassa huollossa voidaan asettaa raja-arvoja, joiden rikkoutuessa ohjelma hälyttää viasta. Analytiikalla etsitään sensorien datasta poikkeamia, jotka viestivät koneiden vikaantumisesta. Poikkeamia voidaan etsiä reaaliaikaisesta datasta tai historiadatasta. Poikkeamien etsinnästä pyritään tekemään pitkälle automatisoitua, koska muuten ennustaminen vaatisi jatkuvaa päivystämistä. (Collin & Saarelainen, 2016 s. 59)

Sensoreilla pystytään seuraamaan tärinää, painetta, lämpötilaa, ääntä ja monia muita asioita, jotka vaikuttavat koneen kuntoon. Tämä tieto mahdollistaa koneen komponenttien kunnan seuraamisen ja vikojen ennustamisen. Koneiden ennakoivaan huoltoon voidaan hyödyntää koneoppimista. Jos saatavilla ei ole paljoa historiadataa koneen kunnosta, ennakoivan huollon mallien rakentamiseen voidaan hyödyntää ohjaamatonta oppimista. (Amruthnath & Gupta, 2018) Ennakoivan huollon onnistumiseksi ja mallien tekemiseksi vaaditaan pitkiä aikasarjoja koneiden käyttäytymisestä (Collin & Saarelainen, 2016 s. 60).

Ennakoiva huolto tuo eniten hyötyä yrityksille, mutta se myös vaatii analytiikkaa ja substanssiosaamista. Isoissa yrityksissä huolto- ja kunnossapitokustannukset ovat kuitenkin niin isoja, että investointi ennakoivaan huoltoon on kannattavaa.

## 5 YRITYSESITTELY

Yritys X on suomalainen valmistavan teollisuuden yritys, joka tarjoaa tuotteitaan yrityksille ja kuluttajille maailmanlaajuisesti. Yrityksellä on tehdas Suomessa. Tässä työssä perehdytään yhden linjan huoltoon ja kunnossapitoon.

Yritys X:n tehtaan huolto on ulkoistettu Yritys Z:lle, joka toimii samoissa tiloissa. Yritys X:n omat työntekijät tekevät vain käyttäjäkunnossapitoa. Huollon piirissä on noin 200 konetta. Yritys Z:lla on 11 huoltotyöntekijää ja 3 tiiminvetäjää. Huoltotyöntekijöillä on erilaisia ammattitaitoja ja kaikki työntekijät eivät pysty huoltamaan kaikkia koneita. Huoltotöiden kirjaamiseen käytetään Q3-järjestelmää.

Noin 60 – 70 %:a huollosta on määräaikaishuoltoa. Määräaikaishuoltojen aikataulu on konekohtaista ja osaan koneista määräaikaishuoltojen minimiväli tulee ulkopuolisten määräysten kautta. Määräaikaishuollot suunnitellaan niin, että ne häiritsevät tuotantoa mahdollisimman vähän. Myös määräaikaishuollot tallennetaan Q3-järjestelmään. Määräaikaishuoltojen yksityiskohtia ei tallenneta yhtä hyvin kuin korjaavissa huoltotoimenpiteissä. Koneisiin tilataan varaosia niiden kriittisyyden, toimitusajan ja hinnan perusteella. Tämän ansiosta korjausaikojen on todettu lyhenevän. Q3-järjestelmässä tiedot on tallennettu tekstimuodossa luonnollisella kielellä, joten datan etsiminen sieltä vaatii työtä.

Tuotannon koneet on luokiteltu sen mukaan kuinka kriittisiä ne ovat valmistusprosessin kannalta. Kymmenen tärkeintä konetta ovat ”kymppikoneita”. Koneiden luokat ovat vakioitu, eikä luokitusta vaihdeta sen hetkisen tilanteen mukaan.

### 5.1 Nykyinen huoltoprosessi koneen rikkoutuessa

Koneen vikaantuessa sen operaattori pyrkii analysoimaan vian ja tekee vikailmoituksen Q3-järjestelmään, johon hän valitsee koneen paikan, koneen nimen, merkin ja mallin. Lisäksi järjestelmässä on kenttä, johon voi kirjata vian tai työn määrittelyn. Viestikentässä määritellään vian kiireellisyys, jonka mukaan koneiden korjauksia priorisoidaan. Järjestelmässä

on mahdollisuus kirjata vian ilmoittaja ja yhteyshenkilö, vian luokka, sekä valita suunniteltu korjauspäivämäärä. Liitteessä 1 on esitelty Q3-vikailmoitus. Kaikkien kiireellisimmistä vikailmoituksista lähtee tekstiviesti Yritys Z:n työntekijöille. Järjestelmässä tehdyt vikailmoitukset näkyvät Yritys Z:lla ja huoltotiiminvetäjä priorisoi korjaustyöt ja määrittää niille tekijät. Yritys Z:n huoltotyöntekijä vastaanottaa työtehtävän järjestelmässä ja merkitsee työn aloitetuksi. Koska laskutus menee eri järjestelmän mukaan, työtehtävän aloitus saattaa jäädä kirjaamatta. Koneen rikkoutuessa siihen saattaa tulla vikakoodi, josta pystyy tarkastamaan vian syyn, mutta usein se ei ole täysin oikea. Huoltotyöntekijä tutkii koneen ja keskustelelee koneen operaattorin kanssa vian laadusta. Useimmat huoltotyöntekijät korjaavat viat oman kokemuksensa avulla, mutta Q3-järjestelmästä pystyy hakemaan huoltohistoriasta tietoa vioista. Vian määrittämisen jälkeen huoltotyöntekijä määrittää tarvittavat varaosat ja sen, onko ne saatavilla varastosta. Jos korjaukseen ei tarvita varaosia, korjaus suoritetaan heti. Mikäli varaosia on saatavilla varastossa, hakee huoltotyöntekijä tarvittavat varaosat ja korjaa vian. Jos varaosia ei ole saatavilla, ne pitää tilata ja huoltotyö suoritetaan varaosien saavuttua. Vian korjattua tehdään ilmoitus työn valmistumisesta Q3-järjestelmään. Koska laskutus suoritetaan eri järjestelmällä, saattaa tämä välillä jäädä tekemättä.

Joissakin tapauksissa vian korjaaminen kestää yli työvuoron. Korjausta pyritään jatkamaan päivän seuraavassa vuorossa, mutta aina tämä ei ole mahdollista. Tällaisissa tapauksissa Yritys Z:n työntekijät ilmoittavat Yritys X:n työnjohdolle työn viivästymisestä.

Merkittävä osa pienistä huoltotoista tapahtuu myös niin, että Yritys X:n työntekijät ilmoittavat Z:n huoltotyöntekijöille pienestä viasta ja Z:n työntekijät korjaavat vian saman tien. Tällaisissa tapauksissa ei kirjata mitään Q3-järjestelmään.

## **5.2 Ongelmakohdat nykyisessä huoltoprosessissa**

Nykyisessä huoltoprosessissa on tällä hetkellä joitakin ongelmia, joista suurin on informaation kulku. Informaatio ei tavoita kaikkia työntekijöitä, jotka sitä tarvitsevat. Työntekijöiden haastattelun perusteella koneiden operaattorit kokevat, että he saavat informaatiota koneiden huoltojen kulusta oikeaan aikaan. Työnjohtaja puolestaan ei koe saavansa tarvittavaa tietoa. Iso



osa työnjohtajan työstä on selvittää koneiden tila. Työnjohtaja selvittää koneiden nykyistä tilaa kävelemällä koneen luokse. Tämän takia, työnjohtajan tieto koneen tilasta ei ole reaaliaikaista, minkä takia tieto saattaa olla väärää.

Q3-järjestelmää ei hyödynnetä nykyisessä prosessia optimaalisesti. Yritys Z:n työntekijät voivat kuitata työtehtävät vastaanotetuiksi järjestelmässä. Kuittaukset näkyisivät yritys X:n työntekijöille ja he tietäisivät, että työtehtävä on vastaanotettu. Koska tätä ominaisuutta ei hyödynnetä, yritys X:n työntekijät ovat epätietoisia siitä, mitkä työtehtävät ovat huomioitu yritys Z:ssä.

Yritys Z:n työntekijät eivät pysty tällä hetkellä tekemään Q3-järjestelmään ilmoitusta työn aloittamista korjauspaikalla, vaan heidän pitää tehdä se tietokoneella eri paikassa. Tämän takia ilmoitusta työn aloittamisesta ei aina tehdä. Myöskään työn lopettamista ei kirjata järjestelmään aina heti työn ollessa valmis ja se saattaa välillä jäädä jopa kokonaan tekemättä. Työn aloituksen ja lopetuksen kirjaamisen satunnaisuus aiheuttaa sen, että järjestelmässä oleva tieto ei ole luotettavaa. Koska Yritys X:n työntekijät ovat epätietoisia korjaustöiden etenemisestä, he usein merkkäavat vikailmoitukseen korkeammaksi prioriteetiksi kuin vika todellisuudessa on.

Korjaustöitä ei seurata tarkasti, koska kirjaukset eivät ole ajan tasalla ja osa korjaustöistä tehdään ilman, että niitä kirjataan Q3-järjestelmään ylös. Tämän takia koneiden huollon aiheuttamaa seisokkiaikaa ei pystytä tarkasti seuraamaan. Tämä myös vaikeuttaa korjausprosessin kehittämistä, koska ei tiedetä, kuinka tehokasta toiminta on tällä hetkellä. Q3-järjestelmässä on melko kattavasti koneiden huoltohistoria, mutta se on kirjattu luonnollisella kielellä. Tämän takia sen hyödyntäminen analytiikalla on lähes mahdotonta.

### **5.3 Kehitysehdotukset**

Huoltoprosessissa on vikoja, joista osan voi korjata helposti nykyisellä järjestelmällä muuttamalla toimintatapoja. Esimerkiksi ilmoitukset työtehtävien aloittamisesta ja lopettamisesta voidaan tehdä nykyisellä järjestelmällä melko helposti. Ilmoitusten tekemistä helpottaisi se, että ne olisi mahdollista tehdä korjauspaikalla. Nykyinen Q3-järjestelmä ei

skaalaudu hyvin matkapuhelimen näytölle, mutta jo tabletilla se olisi käytettävä. Myös vikailmoitusten kuittaaminen on helposti tehtävissä ja se auttaisi Yritys X:n ja Yritys Z:n välisessä kommunikoinnissa. Yritys X:n pitäisi myös sopia yhteiset standardit kiireellisyyden arviointiin, jotta koko tehtaalla arvioitiin koneen vikaantumisen kriittisyyttä samalla asteikolla. Tällä hetkellä tehtaalla on lähes kilpailu siitä, mitkä viat ovat kriittisimpiä ja korkeimman prioriteetin vikoja.

Ennen huoltoprosessin muuntamista pitää mitata nykyisen huoltoprosessin tehokkuus. Koneiden käytettävyys antaa hyvän kuvan nykyisestä tehokkuudesta, mutta pitää myös erikseen mitata huoltotöistä johtuva seisokkiaika.

Koneisiin kannattaa mahdollisimman nopeasti, koska etuja saavutetaan etävalvonnasta heti. Valmistuskoneiden tilasta saadaan reaaliaikaista tietoa, eikä työnjohtajan tarvitse kävellen tarkastaa kaikkien koneiden tilaa. Vanhoihin koneisiin voidaan ostaa erikseen asennettavat sensorit. Sensorien tulee lähettää langattomasti tietoa, koska koko tehtaaseen asennettavat langalliset yhteydet eivät ole järkeviä. Etävalvonnan avulla myös tehtaan muut henkilöt, kuten tuotannonohjaaja ja -suunnittelija saavat reaaliaikaista dataa koneiden tilasta ja tekemään parempia päätöksiä tiedon avulla.

Etävalvonnan ollessa toimiva pitää alkaa kerätä dataa valmistuskoneista. Kattavalla ja oikealla datalla pystytään arvioimaan konerikkoihin johtavia seikkoja. Datan keräämiseen vaaditaan kuitenkin tarkoitukseen sopiva tietokanta. Kohdeyrityksen tarkoitukseen riittää todennäköisesti perinteinen SQL tietokanta, koska koneiden kunnosta viestivät värinä, lämpötila ja ääni voidaan tallentaa numeeriseen muotoon. Kattava tietokanta mahdollistaa ennustavien mallien tekemisen koneiden kunnosta.

Ennakoivan huollon käyttöönotto vaatii merkittäviä investointeja. Kohdeyrityksen tehtaalla ei ole tällä hetkellä tarvittavaa osaamista ennakoivan huollon mallien tekemiseen. Markkinoilla on kuitenkin tarjolla yrityksiä, jotka ovat erikoistuneet teollisen internetin analytiikkapalveluihin.

Teollinen internet helpottaisi kohdeyrityksen huoltoa ja kunnossapitoa, mutta se vaatisi merkittäviä investointeja. Etävalvonta sujuvoittaisi jo merkittävästi tehtaan toimintaa pienillä investoinneilla, mutta ennakoiva huolto vaatii suuria investointeja. Ennakoiva huolto tuo kuitenkin mukanaan merkittäviä kustannussäästöjä, vähentäisi seisokkiaikoja ja pidentäisi valmistuskoneiden elinkaarta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kandidaatintyössä selvitettiin, miten teollisella internetillä pystytään kehittämään valmistavan yrityksen huoltoa ja kunnossapitoa. Lisäksi työssä selvitettiin millaisia haasteita ja mahdollisuuksia teollisen internetin implementointi yrityksen toimintaan tuo. Aihetta käsiteltiin keräämällä työn alkuun teoriaa teollisesta internetistä, huollosta ja kunnossapidosta, sekä teollisen internetin hyödyntämisestä huollossa ja kunnossapidossa. Työssä esiteltiin käytettävyys, koska se on mainio tapa mitata valmistuskoneiden toimintaa ja täten huollon ja kunnossapidon tehokkuutta. Lisäksi huoltoprosessien mallintamiseen hyödynnettiin arvovirtakaaviota, jolla voidaan tunnistaa hukkaa prosesseista. Substanssiosaamista huoltoon ja kunnossapitoon saatiin haastatteleamalla kohdeyrityksen ja huoltoyrityksen työntekijöitä.

Teollinen internet tuo valmistavan teollisuuden yrityksille uusia mahdollisuuksia. Koneiden kuntoa ja suorituskykyä pystytään mittaamaan tarkasti. Koneiden kunnan reaaliaikainen arviointi mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon, jossa pystytään korjaamaan koneet ennen niiden vikaantumista juuri oikeaan aikaan. Teollinen internet vaatii kuitenkin uusien teknologioiden hyödyntämistä datan keräämisessä, siirtämisessä, tallentamisessa ja analysoinnissa. Teollisen internetin projektit pitää toteuttaa aina tehdaskohtaisesti, koska hyvään lopputulokseen vaaditaan substanssiosaamista.

Tässä kandidaatintyössä mallinnettiin kohdeyrityksen nykyinen huoltoprosessi koneen vikaantuessa, tunnistettiin ongelmakohdat ja esitetään kehitysehdotus prosessin kehittämisestä teollisen internetin avulla. Nykyisessä huoltoprosessissa on ongelmana erityisesti informaation kulku kohdeyrityksen ja huoltoyrityksen välillä. Osa ongelmista olisi helposti korjattavissa nykyisellä järjestelmällä muuttamalla toimintatapoja. Yhteiset toimintatavat huoltoprosessin aikana tekevät nykyisessä järjestelmässä olevan tiedon luotettavaksi ja täten hyödylliseksi.

Teollisen internetin ensimmäiset hyödyt saavutettaisiin kohdeyrityksissä jo melko pienillä investoinneilla. Valmistuskoneissa olevat sensorit, jotka mittaavat koneen kuntoa reaaliajassa ja lähettävät sitä eteenpäin, sujuvoittaisivat tehtaan toimintaa ja tekisivät informaation kulusta

helpompaa. Ennakoiva huolto mahdollistaisi koneiden korjaamisessa merkittäviä kustannussäästöjä, mutta vaatisi merkittäviä investointeja.

Tämä kandidaatintyö antaa hyvän yleiskatsauksen teolliseen internettiin ja sen hyödyntämiseen huollossa ja kunnossapidossa. Työssä käsitellään teollisen internetin tuomia hyötyjä huoltoon ja kunnossapitoon, sekä sen käyttöönottamisen vaatimuksia. Jokaiseen tehtaaseen pitää kuitenkin tehdä erikseen teollisen internetin projekti, jotta päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Ennen teollisen internetin käyttöönottoa tulee suunnitella huolellisesti eri teknologioiden yhteensopivuus.

## LÄHTEET

Ailisto, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Collin, J., Halén, M., Juhanko, J., Jurvansuu, M., Koivisto, R., Kortelainen, H., Simons, M., Tuominen, A. & Uusitalo, T. Suomi – Teollisen Internetin Piilaakso. 2015. Valtionneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja.

Amazon Web Services. 2019. What is Artificial Intelligence. [WWW-dokumentti]. [viitattu 23.3.2019]. Saatavissa: [https://aws.amazon.com/machine-learning/what-is-ai/?nc1=h\\_ls](https://aws.amazon.com/machine-learning/what-is-ai/?nc1=h_ls)

Anvari, F., Edwards, R. & Starr, A. 2013. Evaluation of overall equipment effectiveness based on market. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Volume 16, nro 3 s. 256 – 270

Amruthnath, N. & Gupta, T. A Research Study on Unsupervised Machine Learning Algorithms for Fault Detection in Predictive Maintenance. 2018. 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications. S. 355 – 361.

Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. 2010. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*. Volume 54, nro 15, s. 2787 – 2805.

Berthelsen, E. Why NoSQL databases are needed for the Internet of Things. 2014. Machina Research. Research Note.

Chan, F., Lau, H., Chan, H. & Kong, S. 2003. Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*. Volume 95, nro 1, s. 71 – 94

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen internet. Helsinki, Talentum. 300 s.

Evans, C. & Annunziata, M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. *General Electronics*, [viitattu 7.2.2019] [https://www.ge.com/docs/chapters/Industrial\\_Internet.pdf](https://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf)

Fu, J., Liu, Y., Chao, H., Bhargava, B. & Zhang, Z. Secure data Storage and Searching for Industrial IoT by Intergrating Fog Computing and Cloud Computing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2018. Volume 14, nro. 10, s. 4519 – 4528

Holdowsky, J., Mahto, M., Raynor, M. & Cotteleer, M. *Inside the internet of things*. 2015. Deloitte University Press. 43 s.

Hoske, M. 2016. Quantified benefits of Industrial Internet of Things implementations. [WWW-dokumentti]. [viitattu 11.3.2019]. Saatavissa: <https://www.controleng.com/articles/quantified-benefits-of-industrial-internet-of-things-implementations/>

Huang, T., Kecman, V. & kopriva, I. 2006. *Kernel Based Algorithms for Mining Huge Data Sets: Supervised, Semi-supervised, and Unsupervised Learning*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Juhanko, J., Jurvansuu, M., Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Sallinen, M., Simons, M. & Tuominen, A. 2015. *Suomalainen teollinen internet - haasteesta mahdollisuudeksi: taustoittava kooste*. Helsinki: Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA. 64 s.

Kan, C., Yang, H. & Kumara, S. 2018. Parallel computing and network analytics for fast Industrial Internet-of-Things (IIoT) machine information processing and condition monitoring. *Journal of Manufacturing Systems*. Volume 46, s. 282 – 293

Karolewicz, K., Beben, A., Batalla, J., Mastorakis, G. & Mavromoustakis, C. 2016. On efficient data storage service for IoT *International Journal of Network Management*. Volume 27, nro 3

Kumar, S., Dhingra, A. & Singh, B. Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Volume 96, nro 5, s. 2687 – 2698

Lade, P., Ghosh, R. & Srinivasan, S. 2017. Manufacturing Analytics and Industrial Internet of Things. *IEEE Intelligent Systems*. Volume 32, nro 3, s. 74 – 79

Lohse, G. 1997. The role of working memory on graphical information processing. *Behaviour & information technology*. Volume 16, nro 6, s. 297 – 308

Luger, G. 2008. *Artificial intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. 6. Painos. Boston, Addison-Wesley Publishing Company. 754 s.

McKinsey. 2015. *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*. McKinsey Global Institute.

Merilehto, A. 2018. *Tekoäly: matkaopas johtajalle*. Helsinki, Alma Talent. 220 s.

Mobley, K. 2004. *Maintenance Fundamentals*. 2. Painos. Burlington, Elsevier. 425 s.

Mori, M., Fujishima, M., Komatsu, M. Zhao, B. & Liu, Y. 2008. Development of remote monitoring and maintenance for machine tools. *CIRP Annuals – Manufacturing Technology*. Volume 57, s. 433 – 436

Muchiri, P., Pintelon, L. 2008. P Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*. Volume 46, nro 13 s. 3517 – 3535

Nielsen, B. 2016. Visualization: A Mind-Machine Interface for Discovery. *Trends in Genetics*. Volume 32, s. 73 – 75

Potluri, S. 2018. Energy monitoring, predictive maintenance, and IoT *Control Engineering*. Volume 65, nro 7.

Raynor, M. & Cotteleer, M. The more things change: Value creation, value capture, and the Internet of Things. [WWW-dokumentti]. [viitattu 14.2.2019]. Saatavissa:



<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/deloitte-review/issue-17/value-creation-value-capture-internet-of-things.html>

Rother, M. & Shook, J. 2009. Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda. The lean enterprise institute. 117 s.

Sawhney, R., Kannan, S. & Li, X. 2009. Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. Volume 4, nro 3, s. 229 – 240

Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X. & Chong, H. 2017. A cross-sector review use of the value stream mapping. *International Journal of Production Research*. Volume 55, nro 13 s. 3906 – 3928

Tekniikka & Talous. 2017. [WWW-dokumentti]. [viitattu 14.2.2019]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/tuhannet-anturit-tuottavat-arvokasta-dataa-anjalan-paperitehtaalla-auttaa-ehkaisemaan-tuotantohairioita-6677784>

Truong, H. 2018. Integrated Analytics for IIoT Predictive Maintenance Using IoT Big Data Cloud Systems. *IEEE International Conference on Industrial Internet*.

Ustundag, A. & Cevikan, E. 2018. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer. 286 s.

Verma, S., Kawamoto, Y., Fadhullah, Z., Nishyama, H. & Kato, N. 2017. A Survey on Network Methodologies for Real-Time Analytics of Massive IoT Data and Open Research Issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Volume 19, nro 3. S. 1457 – 1477

Zammori, F., Braglia, M., Frosolini, M. 2012 Stochastic overall equipment effectiveness. *International Journal of Production Research*. Volume 49, nro 21, s. 6469-6490.

# LIITTEET

## Liite 1 Q3-vikailmoitus

Kpaikka  Haku

- 1 Osavalmistus [redacted]
- 2118 Exner -
- KONEISTUS Osavalmistus [redacted]
- 0321 CNC-sorvi Index G200 G
- 0326 Tomos Behler D 06-
- 0328 CNC-sorvi Index G200 G**
- 0329 CNC-sorvi Index G200 G
- 0330 CNC-sorvi Index G200 G
- 0331 CNC sorvi Index AS32B
- 0332 CNC-SORVI TRAUB TMI
- 0333 CNC-Sorvi Index C100 -
- 0334 CNC-automaatti STAR S
- 0337 CNC-sorvi Index C100 K
- 0806 Diedesheim -
- 0822 Työstöautomaatti Ensto -
- 0826 Mazak H400N -
- 0827 Työstökeskus Hydromat
- 0828 Sanganvalmistusautoma
- 0837 Työstökeskus Hydromat
- 0839 Fanuc Robodriill alfa-T2fi
- 0843 Mazak FH-4800 -
- 0845 FanucRobodriill -
- 0846 Työstökeskus Hydromat

0328 CNC-sorvi Index G200

Vika- ja työilmoitus Perustiedot Tekniset tiedot Huoltoaikataulu Toimenpidehistoria Materiaalihistoria Varaosat Dokumentit

Vika- ja työilmoitus

Kpaikka	Nimi	Merkki ja malli	Sopimusnumero
0328	CNC-sorvi Index G200	G 200	

Vian tai työn määrittäminen

testitilauksen kunnossapito

Kiireellisyys	Ilmoituspvm	Ilmoittaja	Luokka
Kone seis	21.03.2019	[redacted]	Mekaaninen
Suunn. korjauspvm	Viite	Yhteyshenkilö	Puhelin
21.03.2019		[redacted]	

Lähetä

Maaraaikaishuollot ja tehdyt ilmoitukset / 5 ensimmäistä

Kiireellisyys	Vian tai työn määrittäminen	Ilmoituspvm	Ilmoittaja	Toimituspvm	Luokka	Työn tila
---------------	-----------------------------	-------------	------------	-------------	--------	-----------

### Liite 2 Arvovirtakaavio nykyisestä huoltoprosessissa

