

Jukka Hissa

TEOLLINEN INTERNET JA SIMULOINTI TUOTANNON
KEHITYKSESSÄ

Tekniikan koulutusohjelma, ylempi AMK
2020

TEOLLINEN INTERNET JA SIMULOINTI TUOTANNON KEHITYKSESSÄ

Hissa, Jukka
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tekniikan ylempi AMK koulutusohjelma
Huhtikuu 2020
Sivumäärä: 68
Liitteitä: 1

Asiasanat: esineiden internet, tuotekehitys, konenäkö, koneoppiminen, simulointi

Opinnäytetyössä tutkittiin kahden teknologian, simuloinnin ja teollisen internetin hyödynnettävyyttä kohdeyrityksessä. Molemmista aiheista tehtiin lyhyet pilottitoteutukset, jonka jälkeen näistä valittiin kohdeyritykselle hyödyllisempi aihe syvemmäksi tutkimisen aiheeksi. Syventäväksi aiheeksi valittiin teollinen internet ja kohteeksi valikoitui laatuongelmista kärsivä tuotantolaite, joka modernisoitiin dataohjatun päätöksenteon piiriin.

Opinnäytetyössä tutkittavat teknologiat ovat tämän hetken kuumia puheenaiheita tuotannon kehittämisessä, mutta niiden hyödyntäminen teollisuudessa voisi olla suurempaakin. Työssä haluttiin käytännön toteutuksen avulla tuoda esiin näiden teknologioiden hyödyntämiseen liittyviä ongelmia tekniseltä kantilta; onko niiden kehittäminen vielä liian kallista, millaista osaamista se vaatii, ovatko teknologiat vielä liian raakeita vai puuttuuko toimiva alusta kaikkien osien integroimiseksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Lisäksi tuotantokoneelle tehtiin laadunparannusprojekti Lean Six Sigma-periaatteiden pohjalta.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin Design science research-metodia, jota hyödyntämällä ensin tutustuttiin molempiin teemoihin tekemällä nopea (ns. fail fast -tyylinen) pilottikokeilu, jonka jälkeen valittiin teollinen internet syvällisemmäksi aiheeksi. Lisäksi toteuttamisessa hyödynnettiin Porterin ja Heppelmannin älykkäiden laitteiden porrasmallia.

Työssä modernisoitiin tuotantolaite teollisen internetin aikakauteen asentamalla siihen konenäkökamera sekä suunnitteleamalla ja toteuttamalla sen toiminnallisuuteen liittyvät mekaaniset-, automaatio- ja IT-järjestelmämuutokset. Konenäköjärjestelmältä saadut mittaustulokset tallennettiin tietokantaan ja niille rakennettiin visualisointi- ja lisäinformaation syöttösivu. Lisäksi tuotantolaitteelle tehtiin laadunparannusprojekti dataa hyödyntämällä. Lopuksi tehtiin paikallisen kehitysorganisaation kanssa yhteistyönä toteutettu koneoppimispilotti oikeaa mittausdataa hyödyntämällä, mutta kuitenkin integroimatta sitä kohdeyrityksen tietojärjestelmiin. Tuotantokoneen laatua saatiin nostettua tavoitteen mukaisesti osille tuotteista ja koneoppimispilotista saatiin varovaisen rohkaisevia tuloksia, mutta ennen kaikkea arvokkaita havaintoja tuleville kehitysprojekteille.

INDUSTRIAL INTERNET AND SIMULATION IN PRODUCTION DEVELOPMENT

Hissa, Jukka

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Master's Degree Programme, Technology

April 2020

Number of pages: 68

Appendices: 1

Keywords: Industrial internet, product development, machine vision, machine learning, simulation

This thesis explored usability of two technologies, simulation and industrial internet in the target company. Both topics were briefly piloted, after which a more useful topic was selected for a deeper exploration. The industrial internet was chosen as an in-depth topic and a production device with quality problems was selected as target machine, which was modernized for data-driven decision-making.

The technologies being studied in this thesis are currently hot topics in the production development, but their utilization in industry could be even greater. The aim of the thesis was to bring out, from a technical point of view, the problems related to the utilization of these technologies; is it still too expensive to develop them, what kind of expertise does it require, are the technologies still too unfinished or does markets lack a working platform for integrating all components into a functional whole. In addition, a quality improvement project for the production machine was made based on Lean Six Sigma principles.

The research method used was Design science research, which first explored both themes by conducting a fail-fast pilot experiment, followed by choosing industrial internet as a deeper topic. In addition, the implementation utilized the Porter and Heppelmann's four-step model for smart products.

The work involved modernizing the production device into the era of the industrial internet by installing a machine vision camera and designing and implementing mechanical, automation, and IT system changes related to its functionality. The measurement results obtained from the machine vision system were stored in a database and a visualization and additional information input page was built. In addition, a quality improvement project was made for the production equipment by utilizing data. Finally, a machine learning pilot was carried out in collaboration with the local development organization, utilizing the real measurement data, but without integrating it into the target company's information systems. The quality of the production machine was improved for certain products in line with the objectives and the machine learning pilot provided cautiously encouraging results, but above all it provided valuable insights into future development projects.

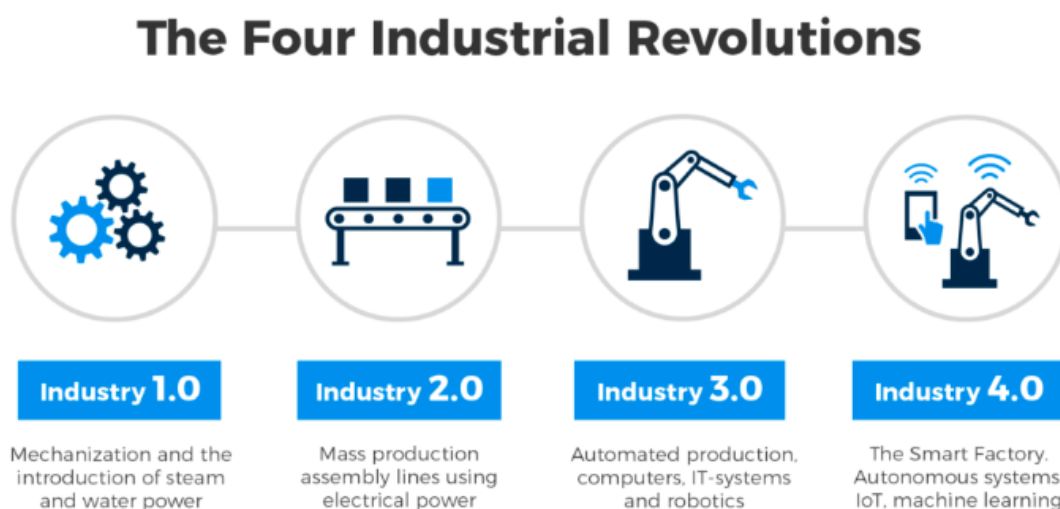
SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NEOREM MAGNETS OY	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Magneettien valmistusprosessi lyhyesti.....	8
3	TYÖN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	10
4	TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	12
5	LYHYET PILOTTITOTEUTUKSET	14
5.1	Simulointi.....	14
5.1.1	Johdanto simulointiin	14
5.1.2	Simuloinnin pilotti.....	15
5.1.3	Johtopäätökset simulointipilotista	16
5.2	Teollinen internet	18
5.2.1	Johdanto teolliseen internetiin	18
5.2.2	Teollisen internetin pilotti	18
5.2.3	Johtopäätökset teollisen internetin pilotista.....	19
5.3	Johtopäätökset piloteista ja syventävän aiheen valinta.....	20
6	TEOLLINEN INTERNET – KARTIOPORAN MODERNISOINTI.....	22
6.1	Awareness of problem	22
6.2	Suggestion.....	25
6.3	Development	27
6.3.1	Mekaaniset muutokset	27
6.3.2	Käyttöönotto	30
6.3.3	Teollinen internet.....	30
6.4	Evaluation	33
6.5	Conclusion	35
7	LEAN SIX SIGMA KEHITYSPROJEKTI	36
8	KONEOPPIMISPILOTTI	40
8.1	Awareness of problem	40
8.2	Koneoppimispilotin tavoitteet.....	41
8.3	Suggestion.....	43
8.4	Development	44
8.5	Evaluation	49
8.6	Conclusion	50
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	54
9.1	Yleistä	54
9.2	Käyttöliittymäsuunnittelu	55

9.3	PoC ja tekninen velka	56
9.4	Yhteistyön merkitys ja sen lieveilmiöt	58
9.5	Liitettävyys ja datan saannin varmistaminen	61
9.6	Loppusanat	65
LÄHTEET		67
LIITTEET		

1 JOHDANTO

Teollisuus 4.0 ja siihen liittyvät termit kuten smart factory, robotisaatio, autonomiset järjestelmät, simulointi, teollinen internet ja data-analytiikka ovat tämän hetken kuumimpia puheenaiheita tuotannon kehittämisessä. Näistä teknologioista puhutaan tällä hetkellä paljon, mutta niiden hyödyntäminen erityisesti pk-yrityksissä voisi olla suurempaakin – referenssejä ei oikein tunnu löytyvän, vaikka moni yritys mainostaakin olevansa ns. aallon harjalla. Kuviossa 1 esitetään teknologisen kehityksen eri vaiheet ja voidaan todeta suuren osan yrityksistä olevan jossain teollisuus 2.0 ja teollisuus 3.0:n välimaastossa.



Kuvio 1. Teknologian kehitysaskeleet (Spectral engines Oy 2018.)

Puhuttaessa vaikkapa teollisen internetin ja data-analytiikan uusimmista saavutuksista ja niiden hyödyntämisestä yrityksissä, voidaan miettiä, onko (älykäs) data-analytiikka vielä liian kallista, puuttuuko yrityksiltä osaamista vai ovatko teknologiat kuitenkin vielä liian raakileita? Vai puuttuuko toimiva alusta kaikkien osien integroimiseksi toimivaksi kokonaisuudeksi? Toimivatko oppivat algoritmit kuten luvataan? Yrityksille referenssit ja ”vertaistuki” ovat kuitenkin asioita, jotka saavat yritykset kiinnostumaan uusista teknologioista – toki visiointi ja mahdollisuuksien herättelykin ovat tärkeitä. Nämä teknologiat voisivat oikein hyödynnettyinä olla se seuraava askel oman tekemisen laadun ja tehokkuuden parantamisessa. Teollisuus 4.0:n tarjoamia teknologioita ja yrityksen omia tietojärjestelmiä hyödyntämällä jatkuvan parantamisen menetelmät,

kuten Lean Six Sigma, saavat merkittäviä apuja, sillä suurin osa sen työkaluista perustuu dataan. Oikeanlaisen datan avulla saadaan perusteellinen ymmärrys ongelmasta, sekä voidaan evaluoida korjaustoimenpiteiden vaikutusta kohteeseen. Avaintekijänä datan hyödyntämisessä on kuitenkin datan eheys ja laatu. (Arcidiacono & Alessandra 2018.)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kahteen näistä uusimmista teknologioista, simulointiin sekä teolliseen internetiin ja sen myötä avautuviin mahdollisuuksiin, tekemällä molemmista lyhyet proof of concept -toteutukset. Niiden perusteella valitaan aihe, jota jatkokehitetään ja johon syvennytään tarkemmin. Syventävässä aiheessa jatketaan valitulla temalla rakentamalla käytännön toteutus aiheesta vieden aihe mahdollisimman pitkälle tämän hetken teknologiaa hyödyntäen.

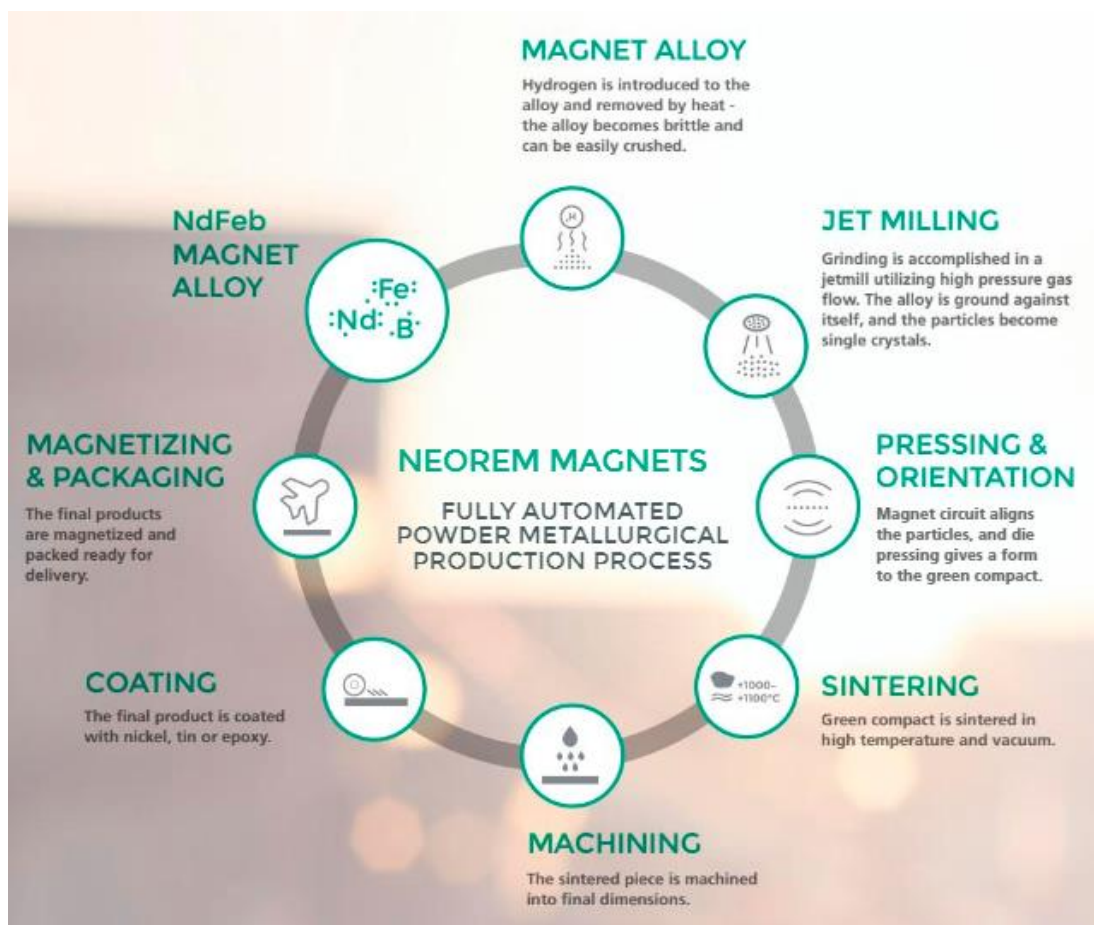
2 NEOREM MAGNETS OY

2.1 Yleistä

Neorem Magnets Oy on suomalainen yhtiö, joka valmistaa sintrattuja NdFeB-kestomagneetteja sekä magneetikokoonpanoja Hitachi Metals -lisenssin alla. Neorem Magnetsin tuotantotehdas ja pääkonttori sijaitsevat Ulvilassa ja se kuuluu saksalaiseen Vacuumschmelze GmbH & Co. KG -konserniin. Neorem Magnets on erikoistunut NdFeB-kestomagneettien sekä suurten sähkömoottori- ja generaattorinapojen valmistukseen erityisesti uusiutuvien energioiden sovelluksissa. (Neorem Magnets Oy 2019.)

2.2 Magneettien valmistusprosessi lyhyesti

Kuviossa 2 esitetään kestromagneetin valmistusprosessi. Magneetin valmistaminen aloitetaan vetyhajoituksella, jonka jälkeen partikkelit jauhetaan halutun kokoiseksi. Tämän jälkeen magneettipulveri puristetaan, jolloin määräytyy aihion muoto ja magneetin orientointisuunta. Seuraavaksi aihiot sintrataan uunissa, jonka jälkeen aihiot siirtyvät työstöosastolle, jossa tuotteet työstetään tarkkoihin loppumittoihin. Lopputuotteiden mittatarkkuudet ovat pääsääntöisesti millimetrin kymmenyksiä, mutta millimetrin sadas- ja tuhannesosatkaan eivät ole poikkeuksia tuotannossa. Materiaalin työstäminen tapahtuu hiomalla, sillä materiaali on sen verran kovaa ja haurasta, ettei se kestä lastuavaa työstöä. Materiaali on muutoin verrattavissa kovametalliin, joka on myös puristettu ja sintrattu, mutta kovametallissa on lisäksi sidosaineita, jotka mahdollistavat materiaalin työstämisen lastuamalla. Työstöosastolla on käytössä useita erityyppisiä hiontakoneita mm. kaksi centerless-hiomakonetta (throughfeed- ja plunge-asetuksilla), tasohionta, double disc -hionta sekä pituushionta comechhiomakone.



Kuvio 2. Magneettien valmistusprosessi (Neorem Magnets Oy 2019)

Tämä opinnäytetyö sijoittuu pääasiassa työstöosastolle, jossa eräälle tuotteelle työstehtään kartionmuotoinen reikä keskelle tuotetta. Osa ongelmista, joita tässä opinnäytetyössä nostetaan esille, juontaa kuitenkin juurensa jo puristus- ja sintrausosastoilta.

3 TYÖN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Alun perin työn tavoitteena oli tutkia nykyaikaisten teknologioiden, simuloinnin ja teollisen internetin hyödyntämistä opinnäytetyön aloituksen aikaan erittäin pinnalla olleen koneinvestoinnin tukena, sekä valita organisaation kannalta hyödyllisempi teema syventäväksi aiheeksi. Matkan varrella työn luonne muuttui pikemminkin tuotantokoneen modernisoinniksi teollisen internetin kannalta. Tätä aihetta ei alun perin edes huomattu ehdottaa, mutta aihe kypsyi työtä tehdessä kuin itsestään.

Alkuperäisenä tavoitteena oli myös lisätä ja syventää niin omaa kuin myös organisaation tietämystä aiemmin mainituista teknologioista. Alkuperäisen tutkimuksen sekundaarisena tavoitteena oli lisätä käytännön kokemusta ennestään anturoimattoman koneen saattamiseksi dataohjatun päätöksenteon ja teollisen internetin piiriin. Kuitenkin työn edetessä iteratiivisella menetelmällä sekundaarinen aihe nousi selvästi mielenkiintoisemmaksi aiheeksi ensisijaisten aiheiden jäädessä sivummalle tilanteiden muuttuessa.

Tutkimuksessa haetaan vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat simuloinnin eri abstraktiotasot, joita voidaan hyödyntää organisaatiossa?
2. Mitkä ovat teollisen internetin ja erityisesti älykkään data-analytiikan käyttökohteet organisaatiossa ja voidaanko niillä saavuttaa esimerkiksi kustannussäästöjä (ennakoiva huolto)?
3. Tuoko teollinen internet ja datalla johtaminen jotain koneinvestoinnissa huomioitavaa?
4. Minkälaista osaamista älykäs data-analytiikka vaatii ja löytyykö insinööritaisoisella perusosaamisella käytettävää tuotetta?
5. Onko teknisesti valmista, vakaata ja kustannustehokasta kaupallista ratkaisua saatavilla?

Opinnäytetyön tuloksia voidaan toki käyttää osana tulevien koneinvestointien hankintaprosessia (myynnin tuki, vaatimusmäärittely sekä layout-suunnittelu) ja tuloksista pyritään myös saamaan lisää käytännön kokemusta erityisesti teollisen internetin ja älykkään data-analytiikan käyttöönottamisesta organisaatiossa sekä niiden soveltamisesta myös muihin toteutuksiin. Työn edetessä opinnäytetyön alkuperäinen otsikko, eli hyödynnettävyys koneinvestoinnissa jäi kuitenkin melko vähäiseksi, joskin jotain hyödyllistäkin tästä näkökulmasta asiaan löytyi, mutta sitäkin tärkeämmäksi nousi osaaminen iot-järjestelmien kehityksestä.

Tämänkaltaisen iot-järjestelmän kehitys syntyy vain poikkitieteellisen yhteistyön avulla ja tuskin on olemassa yksittäistä työntekijää, joka voisi hallita kaikki osa-alueet, mutta on hyötyä, jos projektin vetäjällä on vähintään perustietämystä useammastakin aihealueesta. Tämän vuoksi järjestelmän rakentamiseen on osallistunut useampia kollegoja ja koneoppimispuolelle on myös hankittu osaamista ostopalveluna.

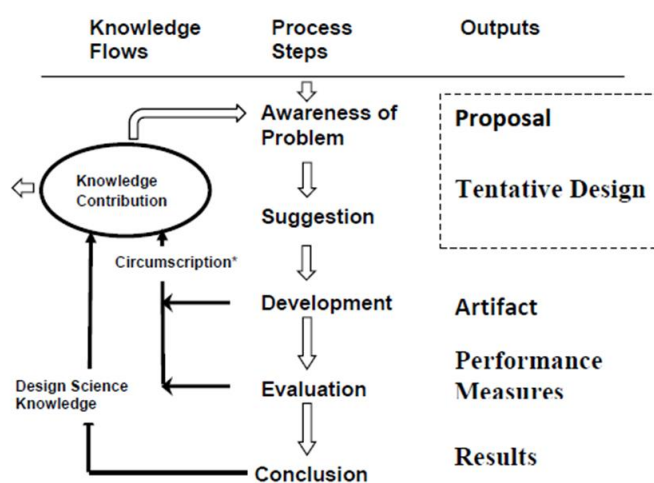
Tarkoituksena ei ole pyrkiä olemaan minkään yksittäisen osa-alueen syvällinen asiantuntija, vaan ennemminkin oppia valmistamaan toimiva poikkitieteellinen järjestelmäkokonaisuus saatavilla olevia resursseja ja yhteistyötä hyödyntäen.

Opinnäytetyössä rajataan pois seuraavat aiheeseen liittyvät aihealueet:

- Tietoturva; aihe itsessään on sen verran laaja teollisen internetin näkökulmasta, että se päätettiin rajata pois.
- Suunnitteluprosessi ja detaljisuunnittelun raportointi; vaikka työssä tehtiin suunnittelua, niin tässä ei kuitenkaan paneuduta itse suunnitteluprosessiin yksityiskohtaisella tasolla.
- Koneoppimismallin kehitys ja data scientistin osuus; tämä aihealue on liian suuri käsiteltäväksi tässä opinnäytetyössä, eikä kohdeyrityksellä ole tämän alan osaamista, vaan tämä vaihe on toteutettu ostopalveluna yhteistyössä paikallisen kehitysorganisaation kanssa.

4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimusmenetelmänä käytettiin Design Science Research -metodia (myöhemmin DSR), jota hyödyntämällä ensin tutustuttiin molempiin teemoihin tekemällä nopea (ns. fail fast -tyylinen) pilottikokeilu, jonka jälkeen nähtiin, kummassa teemassa on organisaation näkökulmasta enemmän potentiaalia syvällisempään tarkasteluun. Samalla saatiin kokemusta tutkimusmenetelmän käyttämisestä. Ensivaiheen jälkeen valittiin toinen teemoista, johon syvennyttiin tarkemmin. Kuviossa 3 esitellään DSR-metodin toiminta ja periaatekuva.



Kuvio 3. Design Science Research -prosessin kuvaus (Vaishnavi & Kuehler 2004)

Metodille on olemassa suomenkielinenkin vastine, suunnittelututkimus, mutta kovin laajasti se ei vaikuttanut olevan käytössä, joten tässä työssä käytetään sen englanninkielistä versiota ja sen mukaisia vaiheita. Tästä syystä myös otsikoinnissa käytetään englanninkielisiä vaiheita, jotta kukin vaihe on helpommin yhdistettävissä metodin prosessikuvaukseen. Seuraavassa lyhyt kuvaus metodin eri vaiheista:

- Awareness of problem; tässä vaiheessa esitellään tutkimusongelma. Tämän vaiheen lopputuloksena on muodollinen tai epävirallinen ehdotus tutkimustyöksi.
- Suggestion; tässä luovassa vaiheessa esitellään ehdotus tai konseptisuunnitelma tutkimusongelman ratkaisemiseksi, joko esittämällä kokonaan uusi toiminnallisuus tai yhdistelemällä elementtejä uudesta ja vanhasta.

- Development; tämä on vaihe, jossa alustavaa ehdotusta tai konseptia kehitetään ja jatkojalostetaan kohti lopullista tavoitetta. Toteutustavassa ei tarvitse olla mitään erityistä, vaan uutuusarvo tulee puhtaasti lopputuloksesta.
- Evaluation; kun lopullinen tuotos on tehty, se arvioidaan ennalta määriteltyjen odotuksien perusteella. Arviointiperusteet ovat aina epäsuoria ja ne on usein tuotu ilmi Awareness of problem-vaiheessa. Poikkeamat odotuksiin nähden arvioidaan ja ne selitetään alustavasti. Toisin sanoen arviointivaihe sisältää analyttisen alavaiheen, jossa uudet hypoteesit luodaan lopputulemasta. DSR:ssä alustavat odotukset lopputulemasta harvoin osuvat täysin oikeaan. Perinteisesti tässä vaiheessa tuloksen analysointi joko vahvistaa, tai on ristiriidassa hypoteesin kanssa, mutta DSR:ssa arviointivaiheen tulos sekä sen rakentamisesta saatu kokemus käytetään hyväksi ja aloitetaan uusi kierros alusta hyödyntämällä näitä tietoja. Hyvinkin laajoja hypoteeseja siis hylätään harvoin, vaan ne pikemminkin muokataan vastaamaan uusia havaintoja.
- Conclusion; Tämä vaihe voi olla joko vain yksittäisen tutkimussyklin päätös tai kokonaisen tutkimusurakan päätös. Loppupäätelmänä on kuitenkin usein tyytyminen tutkimustoiminnan lopputulokseen. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka lopputuloksen käyttäytymisessä olisi edelleen useitakin poikkeamia ja epätäydellisyyksiä, niin tulokset ovat kuitenkin tarpeeksi hyviä. Pelkkä lopputulos ei ole kaikkein tärkeintä, vaan myös työn tekemisestä saadut havainnot ovat arvokkaita, sillä matkan varrella on saatettu löytää hyväksi tai huonoksi todettuja keinoja, joita voidaan soveltaa myös muualla, tai on havaittu jokin jatkuva epänormaali käyttäytyminen, jolle ei tunnu löytyvän järkevää selitystä, mutta joka voi hyvinkin toimia jatkotutkimuksen kohteena. (Vaishnavi & Kuehler 2004.)

5 LYHYET PILOTTITOTEUTUKSET

Suunnitelman mukaisesti, ensin tehtiin pilottitoteutukset molemmista teknologioista. Toteutukset pyrittiin tekemään sellaisella vaativuustasolla, että niiden todellinen potentiaali saatiin tuotua esille.

5.1 Simulointi

Simuloinnilla tässä kontekstissa tarkoitetaan erityisesti tapahtumapohjaista, niin sanottua discrete event- tyyppistä simulointia, jossa mallintamalla tuotantovaiheita ajan suhteen ja määrittämällä eri prosessit oikeilla tahtiajoilla, saadaan hyvin realistinen ja myös visuaalinen näkemys niin tuotantotavasta kuin kapasiteetistakin (Choi & Kang 2013, ss. 4-10). On myös olemassa muunkaltaisiakin simulointityökaluja mm. Outotec:n kemiallisiin reaktioihin perustuva simulaattori (HSC Sim), mutta erityyppisiin simulaattoreihin ei paneuduta tässä opinnäytetyössä tämän enempää.

5.1.1 Johdanto simulointiin

Simulointiin tutustuminen aloitettiin valitsemalla simulointiohjelmisto kolmesta vaihtoehdosta. Vaihtoehdot olivat Siemens PLM:n simulointiohjelmistoista Process simulate, Tecnomatix Plant Simulation sekä Visual Components 4.0. Lyhyen tutustumisen jälkeen päätettiin tutustua Visual Components 4.0 -ohjelmaan, sillä tarkoituksena oli tuottaa melko nopealla aikataululla oikeaa myyntitilannetta varten simulaatiovideo, josta todettiin Visual Componentsin olevan tähän tarkoitukseen paras vaihtoehto. Visual Componentsista ei ollut aikaisempia käyttökokemuksia, mutta ohjelmisto oli kuitenkin entuudestaan tuttu. Visual Components on alun perin suomalaisten suunnittelema ohjelmisto, jonka robottivalmistaja Kuka on ostanut vuoden 2017 loppupuolella (Visual Components Oy 2017).

Simulointiohjelmaksi siis valittiin Visual Components, sillä se oli tarvittaessa tarpeeksi yksityiskohtainen ja näyttävä, mutta geneerisillä works-kirjaston komponenteilla mallinnus on nopeaa asiakkaille näytettäväksi, kunhan ohjelman peruskäyttö on

hallinnassa. Youtubessa ja valmistajan nettisivuilla olevilla videoilla ohjelman opettelu onnistui helposti. Ongelmiin törmätessä, niistä oli yleensä olemassa video tai valmiiksi aloitettu keskustelu foorumilla ja näin päästiin etenemään vallon hyvin. Geneeristä tarkempaa simulointia tehdessä ohjelmasta löytyy lukuisia valmiiksi mallinnettuja robotteja, joiden sopivuutta omaan tuotantoon on kätevää testata simuloimalla. Tämä tosin vaatii hieman enemmän perehtymistä simuloinnin rakentamiseen.

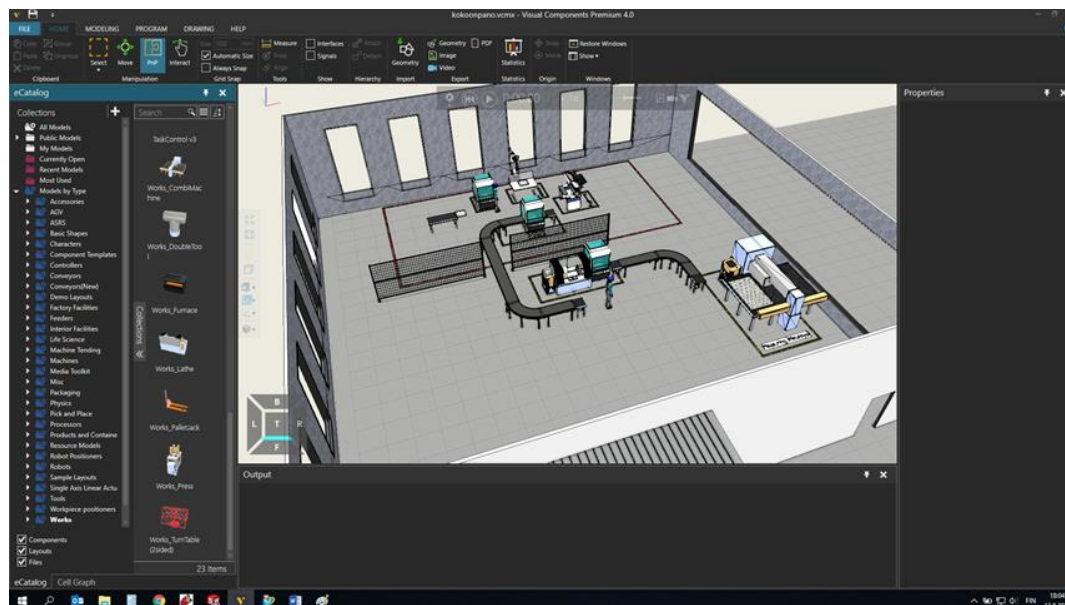
Siemensin versio olisi vaatinut enemmän työtä, vaikkakin sen peruskäyttö nopeasti arvioituna oli myös suhteellisen helppoa. Siemensin peruskäytöllä ei kuitenkaan mielestäni saanut näyttävää materiaalia kustannustehokkaasti myynnin tueksi. Kattavaa vertailua eri simulointiohjelmien välillä ei kuitenkaan tässä työssä tehty.

5.1.2 Simuloinnin pilotti

Simuloinnin tekeminen aloitettiin tutustumalla simulointiohjelmaan sekä kokeilemalla sen eri ominaisuuksia ja suorittamalla ohjelman tutorial-osuudesta löytyviä harjoituksia. Melko pian huomattiin tarkan mallin tekemisen olevan suhteellisen paljon aikaa vievää työtä, mutta Visual Components mahdollistaa myös nopean mallinnuksen käyttämällä works-kirjaston komponentteja. Simulointia alettiin tehdä works-kirjaston komponentteja käyttämällä ja tämä osoittautuikin hyväksi päätökseksi, sillä simulointivideon tarkoituksena oli pääosin vain visualisoida ajateltu valmistusmenetelmä todellisia tahtiaikoja hyödyntäen, joten tässä pystyttiin käyttämään geneerisiä komponentteja tai pelkkiä ”works process” -prosesseja. Works-kirjaston komponenttien tai ”works process”-prosessien päälle on helppo lisätä oikeiden koneiden 3D-malleja, mutta itse visuaalisen mallin ei tarvitse simuloinnissa välttämättä tehdä mitään, vaan usein tai ainakin tässä tapauksessa riittää, että ”kappale menee paikkaan x, johon kuuluu y aikayksikköä”.

Tässä vaiheessa järjestettiin myyntijohtajan kanssa määrittelypalaveri, jossa käytiin läpi, mitä simuloinnin halutaan tekevän. Tämän jälkeen aloitettiin rakentamaan simulaatiota ja aina ongelmaan törmätessä hyödynnettiin opetusvideoita, joita löytyi suhteellisen hyvin valmistajan sivuilta (Visual Components 2020). Näiden avulla päästiin

etenemään ja löydettiin kätevä tapa rakentaa simulaatiota. Kuvassa 1 kuvakaappaus simuloinnin rakentamisesta.



Kuva 1. Simuloinnin rakentamista

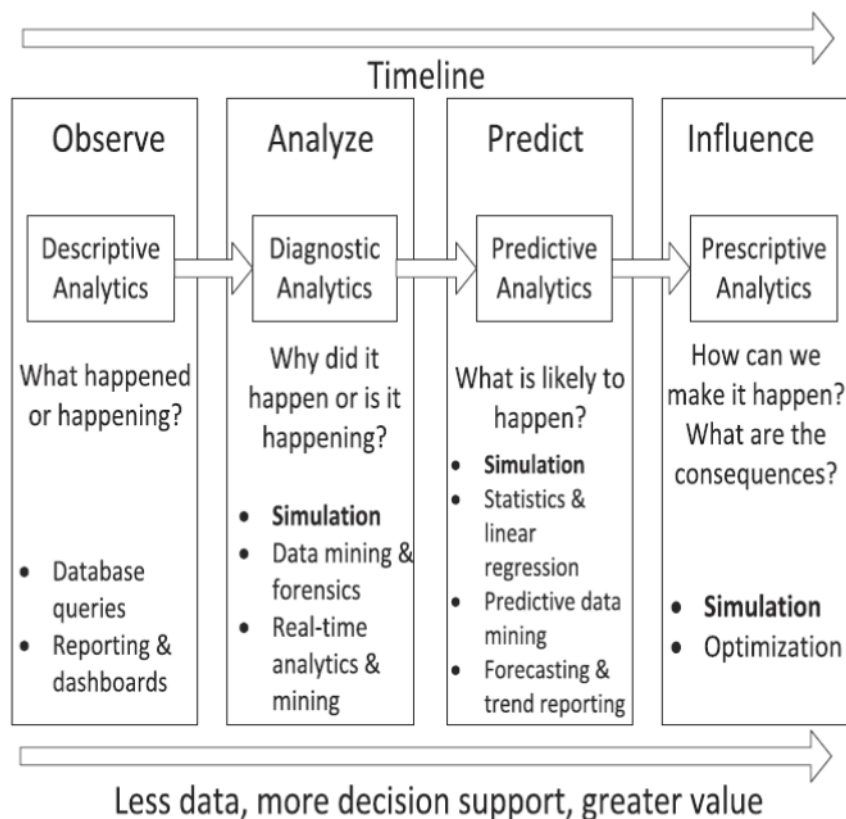
5.1.3 Johtopäätökset simulointipilotista

Myyntijohtaja esitteli tehtyä simulaatiovideota asiakkaalle ja he olivat kuuleman mukaan tyytyväisiä näkemäänsä. Tämä antoi selkeyttä ja uskottavuutta tarjoukselle läpimenoaikojen ollessa suhteellisen todellisia sekä osoittamalla, että tarjouksen eteen on nähty vaivaa.

Simulointi on erityisesti valmistavassa teollisuudessa erittäin hyödyllinen työkalu. Omassa organisaatiossa simulointityökaluille voi nähdä useita mahdollisuuksia:

1. Myyntivaiheen tuki; tämä on ehkäpä hyödyllisin vaihe kohdeorganisaatiossa, jolla ajateltu tuotantokonsepti, vasteajat sekä eri vaiheet voidaan visualisoida ja todentaa simuloimalla.
2. Oman tuotannon muutokset (esimerkiksi lean ja virtautus) sekä niiden evaluointi.
3. Päätöksenteon tukena ja uskonvahvistuksena laiteinvestoinnissa.

4. Ehkä kuitenkin mielenkiintoisin ja ehdottomasti lisätutkimisen arvoinen käyttökohde olisi teollisen internetin ja data-analytiikan hyödyntämisessä, jossa simulointiohjelmaa itsessään voi käyttää analysointityökaluna, tai käyttää sitä datageneraattorina yhdessä kolmannen osapuolen analyysiohjelmien kanssa tai niiden vertailuun, kuten Kuviossa 4 esitetään (Jain, Shao & Shin 2017).



Kuvio 4. Simuloinnin roolit data-analytiikassa (Jain, Shao & Shin 2017)

Tämäntyyppisten simulointien edut tulevat varmasti paremmin esille tarkkaan viilatussa sarjavalmistuksessa, kuten vaikkapa autotehtaassa. Tällöin on hyödyllistä, että omilla suunnitteluinsinööreillä olisi käytettävissään simulointityökalut, jolla voi optimoida niin tuotantoa kuin evaluoida layout-muutoksiakin, sekä käyttää simulointia investointien tarjouspyyntöjen pohjana ja esisuunnitteluvaiheessa.

Myös suunnittelutoimistot hyötyisivät simuloinnista mm. myyntivaiheessa, sekä lisäämällä palveluliiketoimintaa konsultointina sekä tuotannon muutoksissa ja niiden evaluoinnissa.

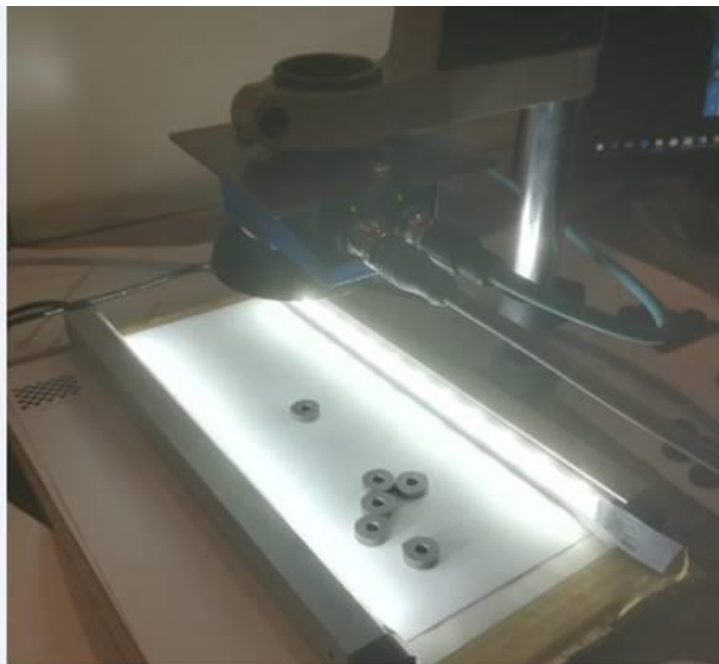
5.2 Teollinen internet

5.2.1 Johdanto teolliseen internetiin

Teollisen internetin piiriin voidaan laskea kuuluvan monenlaista teknologiaa koko teknologiapinon alueelta (Kuvio 6). Myös terminologian suhteen ollaan hieman harmaalla alueella, eikä aina välttämättä eroteta, mikä teknologia on erikseen suunniteltu erityisesti teollisuuden tarpeisiin ja mikä kuluttajille. Teollisesta internetistä on ollut aikoinaan käytössä eri termejä kuten IIoT (Industrial internet of Things), jolla pyrittiin erottumaan erityisesti teollisuuden käyttöön, mutta nykyisin terminologia taitaa olla suhteellisen vakiintunut IoT:ksi, joka kattaa molemmat, teollisuuden ja kuluttajat, ja on käyttäjän vastuulla arvioida, soveltuuko tuote teolliseen käyttöön vai ei. Tässä opinäytetyössä laitteina käytetään teolliseen käyttöön suunniteltua älykameraa, yrityksen tietoliikenneyhteyksiä ja datavarastoja sekä kolmannen osapuolen analytiikkaohjelmistoja.

5.2.2 Teollisen internetin pilotti

Pienen harkinnan jälkeen teollisen internetin harjoitusaiheeksi valikoitui pilotti, jossa tutkittiin kartioporan modernisointia teollisen internetin aikaan. Työ aloitettiin hankkimalla testattavaksi konenäkökamera, jolle rakennettiin testausympäristö (Kuva 2).



Kuva 2. Alkuvaiheen testiympäristö

Seuraavaksi aloitettiin opettelemaan SICK:n SOPAS-ohjelmiston käyttöä. Kun ohjelmisto alkoi tulla tutuksi, hankittiin koetuotteita, joilla lähdettiin testaamaan, saadaanko kyseisellä kameralla mitattua tuotteelle asetettu valmistustarkkuus riittävän tarkasti. Testattiin eri kameroita, eri linsejä, eri korkeuksia, fokusointia, valaistusta (dome, taustavalo, ”sivuvalaistus”), toistettavuutta (tuotteen asemointi ja paikoitus), kalibrointia, kappaleen esikäsittelyn tarvetta (hiekkapuhalluksella ja ilman). Tässä vaiheessa varmistettiin myös, että konenäöltä saadaan mittaustulokset järjestelmään, mutta pääpaino oli kuitenkin itse kuvauksen laadussa.

5.2.3 Johtopäätökset teollisen internetin pilotista

Projekti ei ollut tällä konenäkökokemuksella helppo, sillä reikä, jota on tarkoitus mitata, ei ole koskaan absoluuttisen pyöreä ja toleranssit ovat tarkkoja. Tähän löytyi kuitenkin ratkaisuja, joilla valikointi saatiin onnistumaan riittävällä tarkkuudella. Konenäkö ajateltiin tässä vaiheessa pelkkänä ”anturina”, joka tekee valikoinnin. Testien perusteella löytyi sopiva kokoonpano niin asemoinnin, valaistuksen, linssien kuin muidenkin ominaisuuksien suhteen. Vaikka tässä vaiheessa ei kiinnitetty juuri huomiota

siihen, mitä mittausdataa kamerasta saadaan pihalle, testi voitiin ajatella onnistuneeksi ja siinä nähtiin suurta potentiaalia.

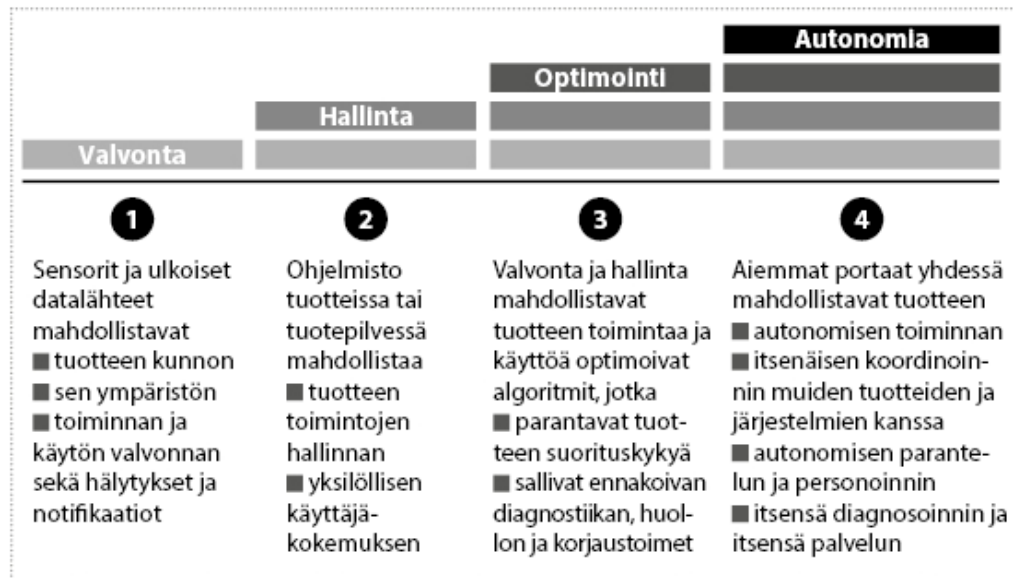
PoC:sta (proof of concept) saaduista kokemuksista päätettiin lähteä modernisoimaan pora- ja konenäköä. Aluksi oli pelkkä ”tyhmä” tuotantolaitte, jonka suorituskykyyn, tuottavuuteen tai laatuun ei ole ollut kunnollista läpinäkyvyyttä, mutta lisäämällä järjestelmään konenäkö sekä siirtämällä siitä saadut mittaukset tietokantaan jalostettavaksi, saadaan dataa hyödynnettäväksi. Tämä vaihe tuotti lukuisten kokeilujen kautta hyvät suunnitteluperusteet ja auttoi komponenttivalinnoissa mm. valaistustekniikkaan: punainen alavalon, sekä kameraan punaisen värin kaistanpäästösuodin. Lisäksi opittiin ohjelman ”nappulatekniikka”, sekä konenäköalgoritmien (reseptien) kehitystä kohdeyrityksen käyttökohteessa.

5.3 Johtopäätökset piloteista ja syventävän aiheen valinta

Vertaamalla näitä kahta lyhyttä pilottia (simulointi ja teollinen internet), voidaan todeta, että simuloinnin käyttö yrityksessä olisi kuitenkin todennäköisesti sen verran vähäistä, että sille ei vielä löytyisi järkevää hankintaperustetta. Lisäksi tuotanto koostuu pääosin erikoistuotteista eräkokojen ollessa melko pieniä, eivätkä tarkkaan optimoidut läpimenoajat ole välttämättä kaikkein kriittisin asia. Jos simulointi auttaisi saamaan lisää isoja kauppia, niin silloinhan hankintaperuste voisi alkaa löytyä. Yleisellä tasolla voidaan myös todeta, että simulointeja tulisi alkaa vaatia enemmän myös laitehankinnoissa riskin pienentämiseksi, sekä kapasiteetin ja kokonaisuuden parempaan arviointiin (vaikkapa lean-virtautusten evaluointiin).

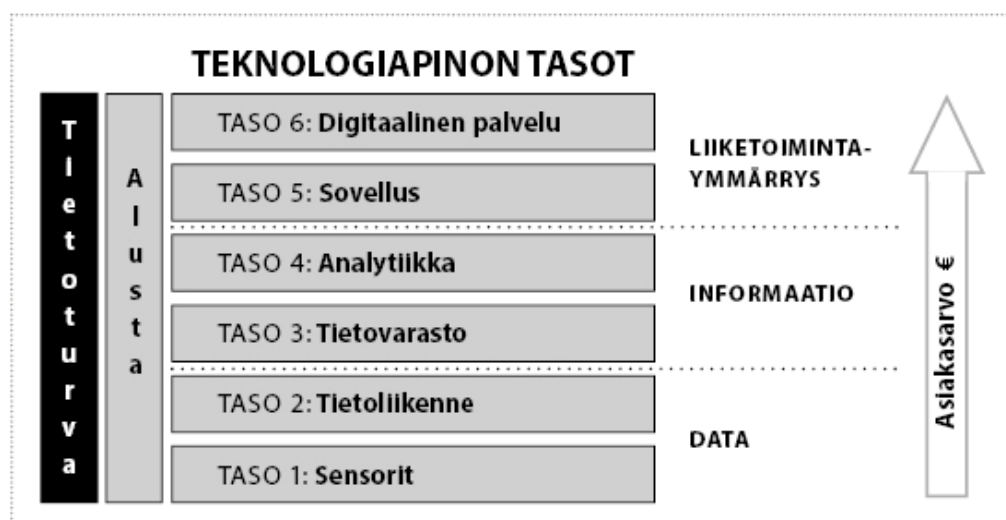
Konenäköpilotin tulokset olivat sen verran rohkaisevia, että päätettiin tehdä syventävä aihe tästä aiheesta. Konenäön hyödyntämisessä nähdään lukuisia mahdollisuuksia, mutta samalla tämä tarjoaa mahdollisuuden rakentaa ensimmäinen koko teknologiapiiri hyödyntävä teollisen internetin sovellus data-analyseineen. Onnistuneen pilotin rakentamisen jälkeen sen tuloksia voidaan hyödyntää muidenkin laitteiden suorituskyvyn visualisointiin, datan analysointiin ja sen avulla laadun parantamiseen.

Kartioporaä kehitetään ja kuvataan design science research -menetelmällä sekä hyödyntämällä Porterin ja Heppelmannin porrasmallia (Kuvio 5). Tässä opinnäytetyössä kuvataan poran kehitysaskleet tasolle 3.



Kuvio 5. Älykkäiden verkkoon kytkettyjen tuotteiden kehittymistä kuvaava Porterin ja Heppelmannin porrasmalli (Porter & Heppelmann 2015; Collin & Saarelainen 2016)

Porrasmallin mukaan edeten saadaan samalla proof of concept -toteutus koko teknologiapinosta (Kuvio 6).

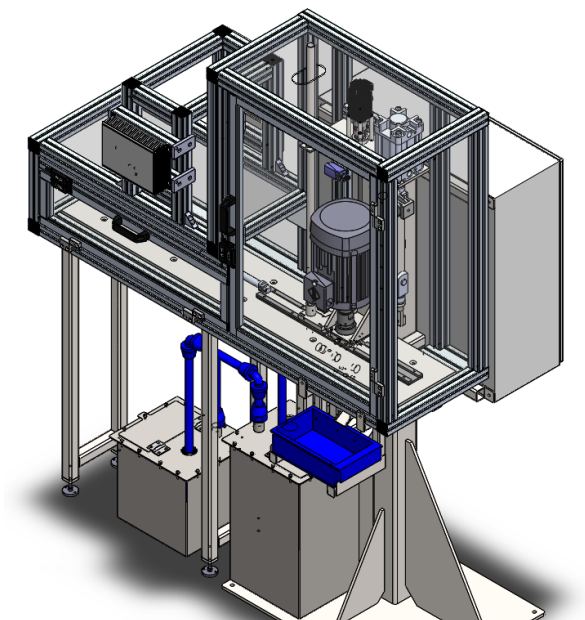


Kuvio 6. Teknologiapino alhaalta ylöspäin (Collin & Saarelainen 2016)

6 TEOLLINEN INTERNET – KARTIOPORAN MODERNISOINTI

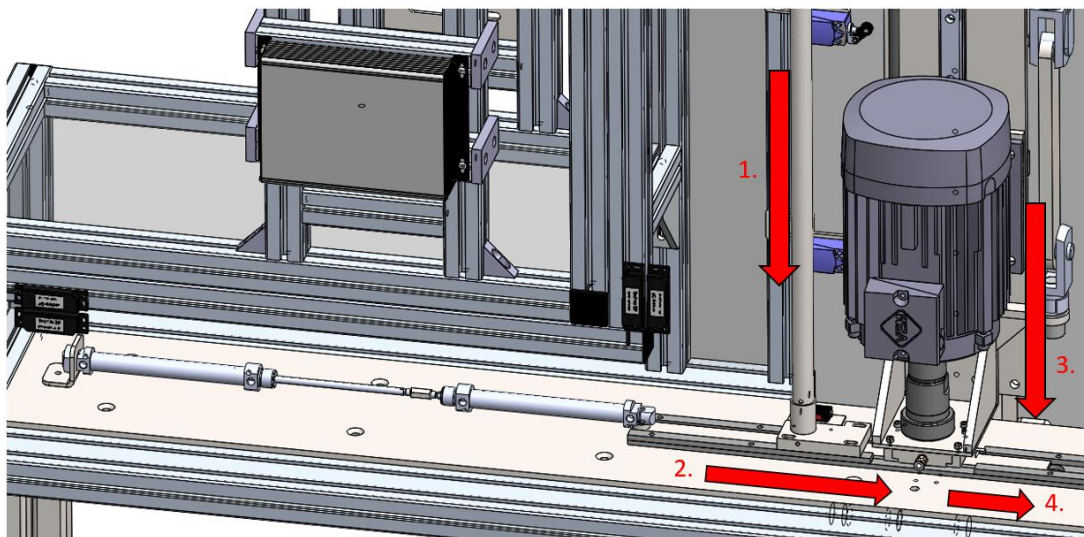
6.1 Awareness of problem

Erään tuotteen valmistuksessa tuotteeseen porataan kartioporalla (Kuva 3) kartion muotoinen, tarkasti toleroitu reikä, jonka suuruutta voidaan säätää poran pystysuuntaisella liikkeellä. Oikeastaan käytettävä työstötekniikka ei ole porausta, eli lastuavaa työstöä, vaan terän rintakulma on negatiivinen eli teknisesti ottaen se on viilausta. Poraus-sanan käyttö on kuitenkin kohdeyrityksen arkikielessä sen verran vakiintunut, että sitä käytetään myös tässä opinnäytetyössä.



Kuva 3. Alkuperäinen kartiopora

Aihiossa on valmiina jo puristuksessa tehty alkureikä, jota hyödynnetään porauksen kohdistamisessa ja toisena hyötynä materiaalin poisto on mahdollisimman vähäistä, joten poraustapahtuma on suhteellisen lyhyt, jolloin terä tai tuote eivät kuumene merkittävästi. Kuviossa 7 esitetään alkuperäisen kartioporan toimintaperiaate visualisoi-
tuna, jonka lisäksi jokainen vaihe selitetään erikseen kuvan alla. Porausprosessin vai-
heaika on noin 30 sekuntia ja tulevilla muutoksilla ei ole vaiheaikaan vaikuttavia teki-
jöitä, vaan pullonkaulana porausprosessissa on hitaanpuoleinen poraus, sillä materiaali
on erittäin kovaa ja haurasta.



Kuvio 7. Kartioporan toimintaperiaate lyhyesti

1. Pyöreät (halkaisija \varnothing 15 mm, paksuus 5 mm) tuotteet asetetaan päällekkäin syöttöputkeen. Tuotteen keskellä oleva alkureikä on halkaisijaltaan noin 2 mm.
2. Perusasennossa olevassa kaksitoimisessa sylinteri-luisti -yhdistelmässä on hie-man tuotetta suurempi aukko, johon uusi tuote tippuu painovoimaisesti syöttö-putkesta. Tämän jälkeen ykkössylinteri tekee liikkeen, joka kuljettaa tuotteen porausasemaan. Seuraavaksi tuote keskitetään terän kanssa linjaan alhaalta paineilmasylinterin avulla nousevalla keskittimellä.
3. Pora suorittaa porausliikkeen, jossa tuotteen keskelle porataan kartionmuotoi-nen reikä. Syvyysuuntaista liikettä hallitaan paineilmasylinterillä ja servo-moottorilla. Sylinterillä tehdään nopea ja suurpiirteisempi liike liikuttamalla lineaarikiskoilla olevaa pohjalevyä, jossa on kiinnitettyä sekä poran pyöritys-moottorina toimiva oikosulkumoottori, että loppuliikettä kontrolloiva servo-moottori. Pohjalevyssä olevan tallan avulla porattava tuote saadaan pidettyä paikoillaan porauksen aikana ja samalla poranterä saadaan tuotua lähelle kap-paletta. Sylinteriliikkeen jälkeen servomoottori pyörittää kuularuuvia, joka lii-kuttaa kiskolla olevaa oikosulkumoottoria ja tekee samalla tarkasti kontrol-loidun porausliikkeen. Porattavan reiän suuruutta voidaan säätää servon pyöri-misliikkeen määrää muuttamalla.
4. Porauksen jälkeen kakkossylinteri tekee liikkeen, joka kuljettaa tuotteen pois-toaukkoon.

Ongelmana kartioporan tuotantoprosessissa lähtötilanteessa oli se, että kyseessä on itsevalmistettu tuotantolaite, jossa ei ole automaattista laadunseurainta. Operaattori suorittaa satunnaistarkastuksia mekaanisella tulkilla sekä silmällä arvioiden tuotannon käydessä. Tämän jälkeen tuotteet menevät laaduntarkkailuun tarkistettavaksi kalvolla. Tämä mahdollistaa sen, että tilanteesta riippuen saattaa kulua pitkään aika, jolloin kone tuottaa heikkolaatuista tuotetta ennen kuin operaattori havaitsee tilanteen – jos havaitsee. Tällöin on tuotettu jo huomattava määrä romua vähentäen saantoa. Laadullisten ongelmien selvittämiseen kuluu paljon aikaa ja laadun määrittäminen on liian virhealtista inhimillisyyteen perustuen. Paljaalla silmällä tehtävä laadunvarmistus on epätarkkaa, silmiä rasittavaa sekä henkilön ominaisuuksista, vireystilasta sekä olosuhteista (mm. valaistus) riippuvaista. Kiiltävien kappaleiden konenäköjärjestelmiä kehittävä tamperelainen Helmee Imaging Oy listaa mm. seuraavia asioita omassa julkaisussaan:

- Ihmisen ei ole helppoa havaita hitaita laatupoikkeamiamuutoksia.
- Sykli aika ei vastaa automaattista tuotantolinjaa, ihmiset ovat liian hitaita.
- Fysikaaliset tosiasiat, kuten silmän sokea piste, rajoittavat kykyä.
- Työ on hyvin monotonista, mitä monet ihmiset eivät halua tehdä sillä ja myös sillä on vaikutus tarkastusmenettelyyn.
- Mikä on kulloinkin käytettävä standardi, sillä laadunvalvonta ja päätös perustuvat yhden ihmisen mielipiteeseen? Se voi toisissa tuotteissa olla yhdelle työntekijöille hyväksyttävä, mutta toinen työntekijä voi arvioida sen hylätyksi. Lisäksi molemmilla voi olla eroja heidän mielipiteissään eri päivinä. (Helmee Imaging Oy, 2016)

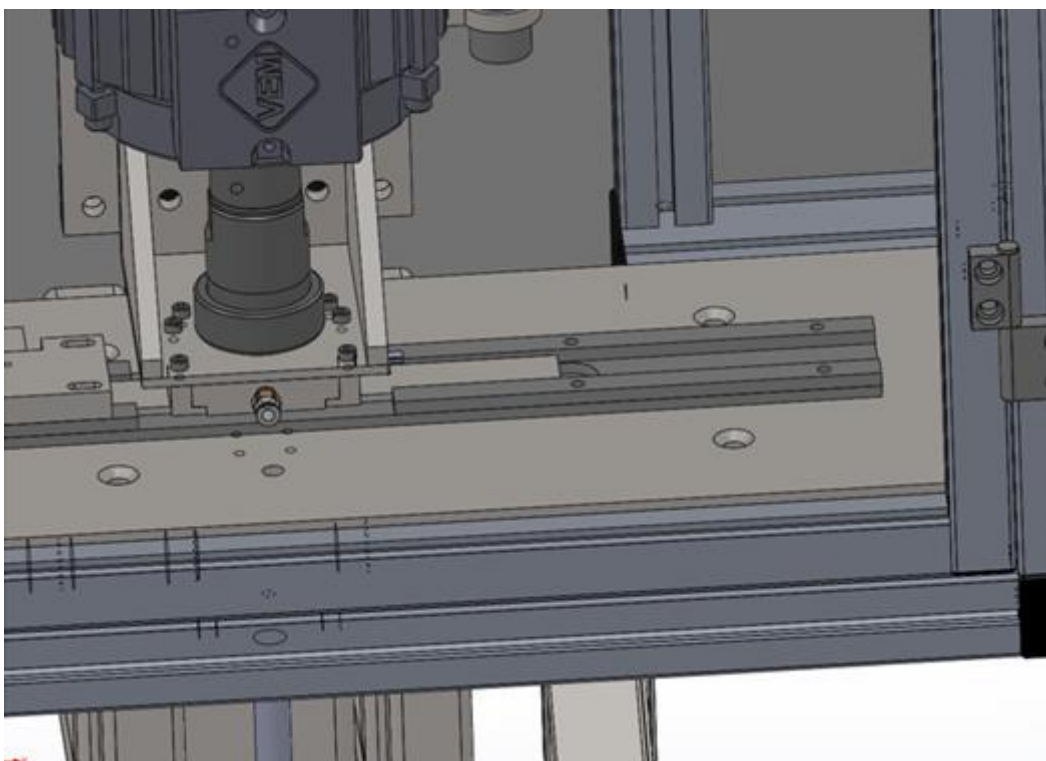
Laadullisten ongelmien selvittämiseksi kone on saatettava dataohjatun päätöksenteon piiriin, jotta koneen tämänhetkinen laatutaso voidaan määrittää. Myöskään ilman mitattavia arvoja, laadullisen suorituskyvyn nosto ei ole mahdollista. Samalla tuotantokoneen digitalisointiastetta lähdetään nostamaan asteittain kohti Porterin ja Heppelmanin neljättä porrasta.

6.2 Suggestion

Ratkaisuna koneen laadullisen suorituskyvyn lähtötason selvittämiseksi koneeseen päätettiin asentaa konenäkökamera, jotta arviointi saadaan yhdenmukaistettua ja tulokset saadaan numeeriseen muotoon. Lähestymistavasta riippumatta laatu tulisi saattaa numeroituun muotoon. Näin tehdään sen vuoksi, että yrityksellä olisi käytettävissä mitattavissa olevat kriteerit, jonka perusteella voidaan muodostaa yhteinen näkemys siitä, mikä on laatua. (Helme Imaging Oy 2016.)

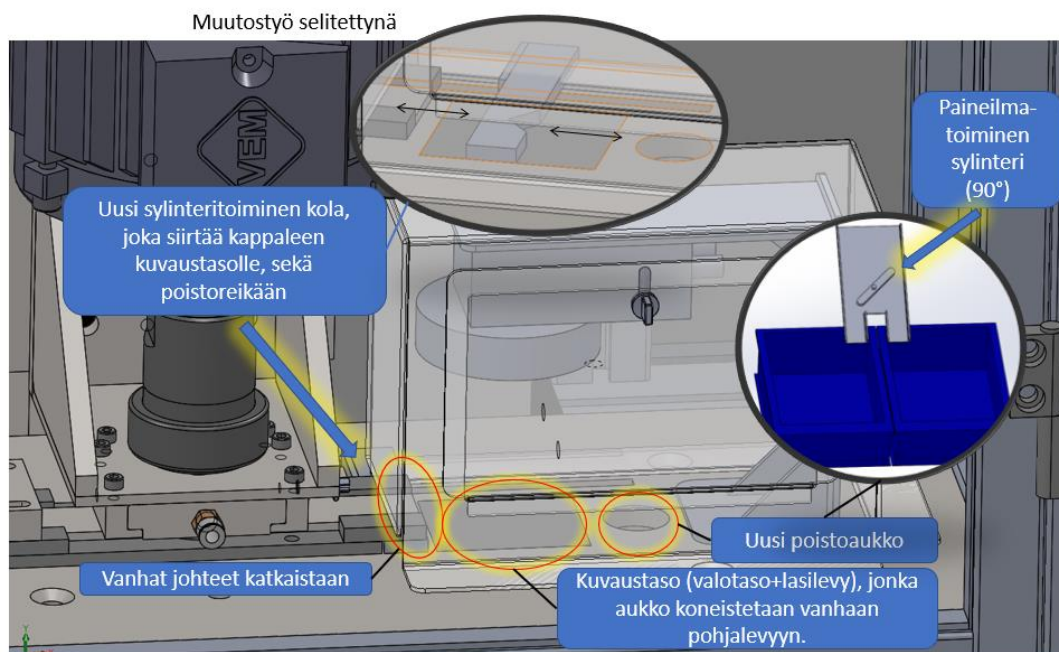
Konenäköjärjestelmällä saatavat mittaustulokset tallennetaan tietokantaan ja data visualisoidaan, jolloin nähdään vaihteluita ja trendejä. Numeerisia arvoja hyödyntämällä koneelle voidaan laskea suorituskykyarvo ja koneelle tehtäviä muutoksia on helpompi lähteä arvioimaan, kun muutoksista saadaan dataa. Tämä on perusedellytys koneen ja laadun kehittämiseksi, sillä mittausvaiheessa todennetaan ongelma ja pyritään tunnistamaan ongelman juurisyitä. Mittausvaiheessa on erityisen tärkeää varmistaa datan laatu. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2019.)

Seuraavaksi tehtiin konseptisuunnitelma muutoksista. Alun alkaen konenäköjärjestelmä ajateltiin sijoitettavaksi poran ulkopuolelle, mutta päädyttiin kuitenkin lopulta kameran kompaktin rakenteen myötä sijoittajamaan se poran sisälle, heti poraustapah-tuman jälkeen. Kuvassa 4 esitetään poran alkuperäinen rakenne, jonka oikealla puolella näkyy sopiva tyhjä tila konenäkökameralle ja siihen liittyville mekanismeille.



Kuva 4. Alkuperäinen pora

Kuviossa 8 nähdään poralle suunnitellun muutostyön konsepti, jossa koneen rakennetta ja pohjalevyä on muutettu sen verran, että konenäköjärjestelmä ja siihen liittyvät muut rakenteet mahtuvat poran oikealla puolella olevaan tyhjiin tilaan.



Kuvio 8. Muutostyön konsepti

Koneeseen päätettiin tehdä seuraavat mekaaniset muutokset:

- 1) Vanhat johteet lyhennetään.
- 2) Lisätään uusi ”kola”/siirtäjä, jolla tuote siirretään kuvaustasolle vakioituun kohtaan ja sieltä edelleen poistoreikään. Siirtäjä voi olla joko paineilma- tai sähkötoiminen, joka sijoitetaan pohjalevyn alle.
- 3) Pohjalevyyn koneistetaan aukko kuvaustasolle. Kuvaustason päälle asetetaan helposti vaihdettava lasilevy naarmuuntumisen ehkäisemiseksi.
- 4) Koneistetaan uusi poistoaukko, johon tuotteet siirretään kuvaustapahtuman jälkeen.
- 5) Aukkoon tiputtuaan kappaleet lajitellaan konenäöllä suoritetun valikoinnin perusteella paineilmatoimisella kääntölaitteella, jota käännetään aina välittömästi kuvaustapahtuman jälkeen.

Teollisen internetin osuus:

- 6) Kun mekaaniset muutokset on saatu käyttöönotettua, kytketään kamera sisäverkkoon ja tallennetaan mittaustapahtumat tietokantaan.
- 7) Rakennetaan sisäverkossa toimiva visualisointisivu, jonka avulla poran mitaustuloksia voidaan seurata niin operaattoreiden kuin käyttö- ja kehitysosaston toimesta.

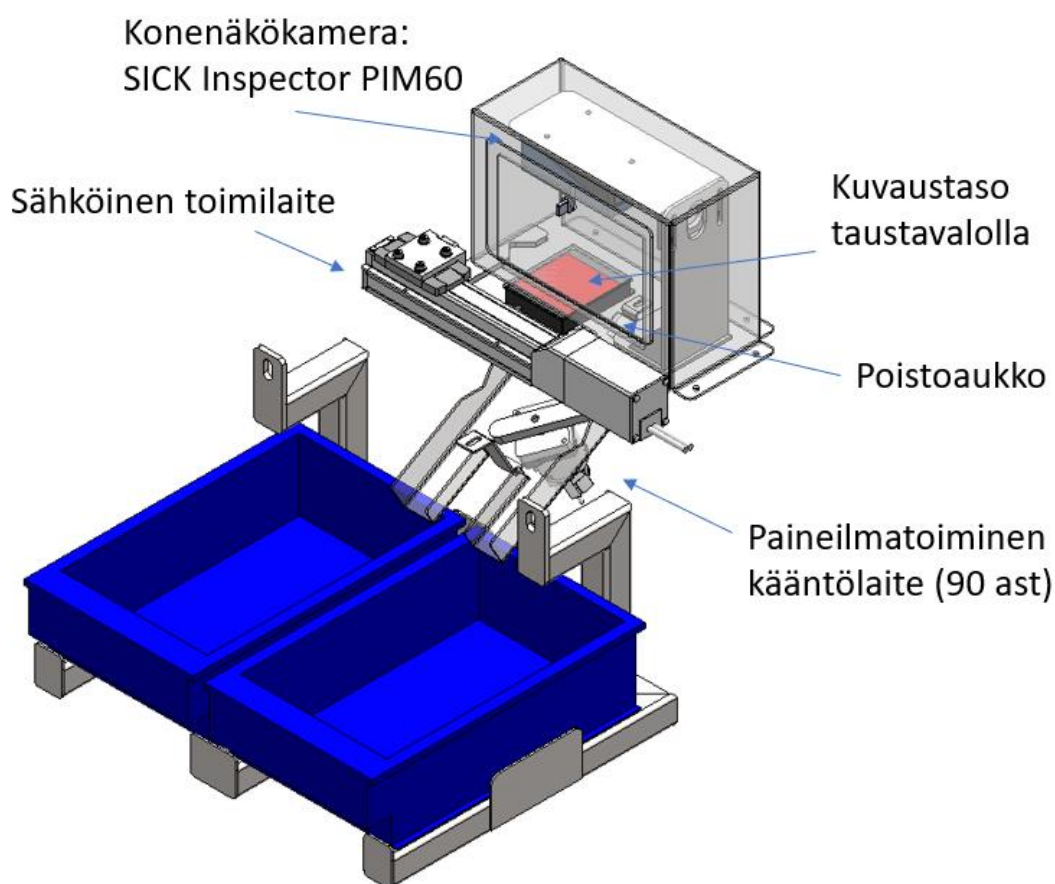
6.3 Development

6.3.1 Mekaaniset muutokset

Ensimmäinen vaihe kartioporan modernisoinnissa teollisen internetin kannalta on konenäkökameran lisääminen järjestelmään, jolloin järjestelmä saavuttaa Porterin ja Heppelmannin porrasmallin (Kuvio 5) mukaisen tason 1. Konenäkö voidaan mieltää vielä tässä vaiheessa pelkäksi anturiksi, jolla ei ole ulkoisia yhteyksiä.

Konenäkökamerana toimii SICK:n PIM60, joka on ns. älykamera, joka toimii täysin itsenäisesti koostuen mm. kamerakennosta ja sisäänrakennetusta tietokoneesta sekä

siinä ajettavasta kuvankäsittelyohjelmasta, joka tulkitsee kuvan automaattisesti. Koneköresepti (kuvantunnistusalgoritmi) tehdään tietokoneella erillisellä ohjelmalla ja siirretään kameran muistiin. Kuvassa 5 esitetään lisättävät koneköjärjestelmän komponentit.

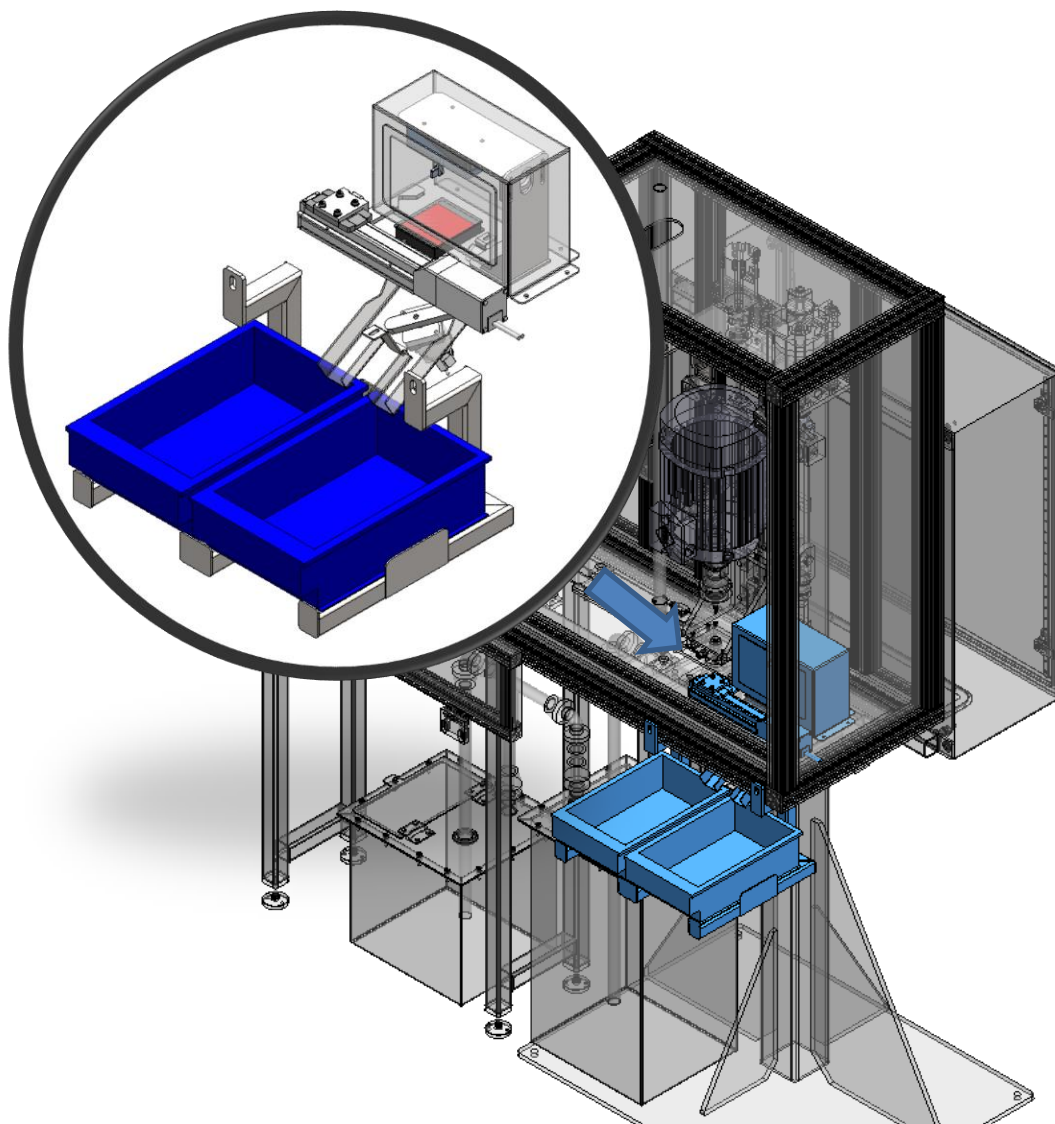


Kuva 5. Lisättävien koneköjärjestelmän komponentit detaljisuunnitteluvaiheessa

Sähköiseen toimilaitteeseen on kiinnitetty siirtokola, jonka tarkoituksena on liikuttaa kuvattava kappale tarkasti asemoituna kuvaustasolle, jonka jälkeen siirtokola siirtyy pois edestä kuvan ottamisen ajaksi. Toimilaitetta ohjataan PLC:llä (Programmable logic controller).

Kuvaustaso sisältää taustavalon, joka lähettää punaista aallonpituutta ja vastaavasti älykamera on varustettu kaistanpäästösuotimella, joka vastaanottaa vain punaista aallonpituutta. Näin tuotteen kuvaus on saatu tarkaksi ja suojattua ulkopuolisilta valonlähteiltä sekä heijastumilta. Taustavalo on suojattu lasilevyllä, joka estää taustavalon pinnan naarmuuntumisen ja on helposti vaihdettavissa.

Järjestelmässä on vielä poistoaukon jatkeeksi lisätty paineilmatoiminen kääntölaite, jota ohjataan myös PLC:llä. Komponentin tarkoituksena on kääntää flipperimallista valikointiohjuria haluttuun suuntaan, jotta tuotteet voidaan valikoida painovoimaisesti omiin laatikkoihinsa. Suunniteltu järjestelmäkokonaisuus lisättynä alkuperäiseen kartioporaan esitetään Kuvassa 6.



Kuva 6. Konenäköjärjestelmä lisättynä kartioporaan

Toimintaperiaatteen muutokset:

- Poraustapahtuma itsessään säilyi alkuperäisenä, ei vaikutusta tahtiin.
- Poistoaukon sijasta, uudessa järjestelmässä tuote tipahtaa ensin pohjalevyille, jossa sähköisellä toimilaitteella siirretään kappale tarkasti kuvaustasolle.

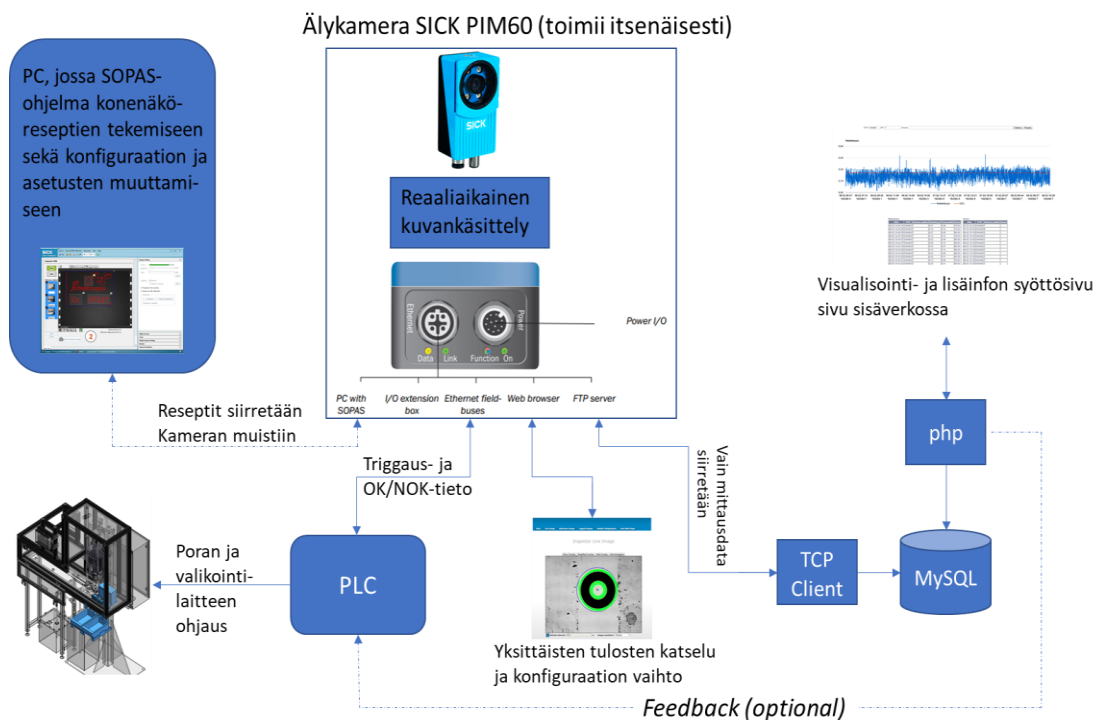
- PLC antaa kameralle triggauskäskyn (otetaan kuva)
- Kuvauksen perusteella annetaan PLC:lle valikointitieto (OK/NOK), jonka seurauksena kääntölaite käännetään haluttuun asentoon.
- Tämän jälkeen tuote siirretään toimilaitteen avulla poistoaukkoon, josta se valikoituu oikeaan laatikkoon kääntölaitteen avulla.

6.3.2 Käyttöönotto

Käyttöönottovaihetta ei tässä opinnäytetyössä kuvata sen syvemmin, mutta pääpiirteittäin käyttöönotto sujui hyvin. Käyttöönottovaiheen alkupuolella törmättiin vaihteleviin ja epämääräisiin ongelmiin, joiden syistä ei muodostunut täyttä yhteisymmärrystä. Ongelmat saatiin lopulta selvitettyä hyödyntämällä vikapäiväkirjaa, johon merkattiin jokainen tuotantolaitteen pysähdys ja kaikki mahdollinen tieto sen hetkisestä tilasta. Tästä listasta muodostettiin pareto-diagrammi, jossa ongelmat voitiin kategorisoida esiintymistiheyden mukaan ja eliminoida järjestelmällisesti aina lukumääräisesti eniten pysäytyksiä aiheuttanut ongelma.

6.3.3 Teollinen internet

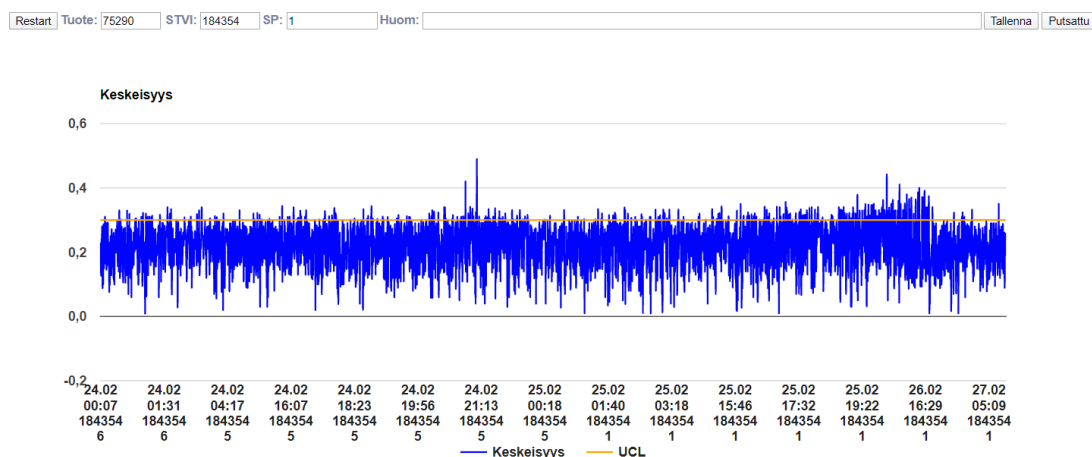
Seuraavassa vaiheessa älykamera yhdistettiin sisäverkkoon ja pelkkä numeerinen mitaustulos tallennetaan tietokantaan, jolloin saavutettiin Porterin ja Heppelmannin porasmallin (Kuvio 5) 2 mukainen järjestelmä. Seuraavassa järjestelmän arkkitehtuurikuvaus (Kuvio 9):



Kuvio 9. Konenäköjärjestelmän arkkitehtuurikuvaus

Verkkoon kytkemisen jälkeen konenäön yksittäisiä kuvia voidaan tarkastella sisäverkosta älykameran sisäänrakennetun web-serverin avulla ja saman hallintasivun kautta operaattorit voivat myös vaihtaa ennalta tehtyjä konenäköreseptejä.

Operaattoreita varten rakennettiin myös sivusto (Kuva 7), johon mittausdata on visualisoitu ja sivuston kautta voidaan myös liittää mittausdataan lisäinformaatiota kuten tuote-eräkohtaista lisäinfoa ja tietoa koneen puhdistushuollosta, terän vaihdosta tai muista erityistilanteista. Sivulta voi yhdellä silmäyksellä tarkastaa sen hetkisen tuotantotilanteen, sekä hylkäyssyyt erikseen jaoteltuina.



STVI	Sintraus paikka	Tuote	Yhteensä	Hyväksytyt	Porausreikä	Keskeisyys	Ei löydetty	Hylättyjä yhteensä
184354	1	75290	2062	1335 (64,74 %)	169 (7,71 %)	205 (9,94 %)	363 (17,6 %)	727 (35,26 %)
184354	5	75290	1671	1416 (84,74 %)	67 (4,01 %)	108 (6,46 %)	80 (4,79 %)	255 (15,26 %)
184354	6	75290	1443	1284 (88,98 %)	54 (3,74 %)	50 (3,47 %)	55 (3,81 %)	159 (11,02 %)

Mittaukset:

Aika	STVI	Tuote	Sintraus paikka	Keskeisyys	Score	Porausreikä	Aika	STVI	Tuote	Sintraus paikka	Huom
27.02 05:33:40	184354	75290	1	0,26	92,00	5,05	25.02 00:57	184354	75290	1	
27.02 05:33:22	184354	75290	1	0,19	72,00	6,11	24.02 02:36	184354	75290	5	
27.02 05:33:05	184354	75290	1	0,25	72,00	6,05	24.02 02:03	184354	75290	1	

Kuva 7. Mittausdatan visualisointi- ja lisäinformaation syöttösivu

Nyt yksittäiset mittaustulokset yhdistettynä lisäinformaatioon voidaan tallentaa tietokantaan, mikä mahdollistaa tietokannassa olevan datan analysoinnin ja visualisoinnin.

Poran kehitysvaiheessa 1 (Kuvio 5) konenäkökameran katsottiin olevan ”vain tyhmä anturi” ilman ulkoisia yhteyksiä, mutta teknisesti ottaen jo älykamera itsessään voidaan lukea edge computing -periaatteella toimivaksi täysveriseksi teollisen internetin sovellukseksi. Edge computing on nimitys tekniikasta, jossa dataa voidaan analysoida suoraan datavirrasta lähellä sen syntypaikkaa, ilman tarvetta ensin varastoida sitä johonkin. Tätä tekniikkaa käytetään erityisesti kohteissa, joissa vaaditaan nopeaa vasteaikaa ilman eri järjestelmien aiheuttamia viiveitä. Samalla saadaan vähennettyä verkon ylimääräistä kuormitusta. (Collin & Saarelainen, 2016.)

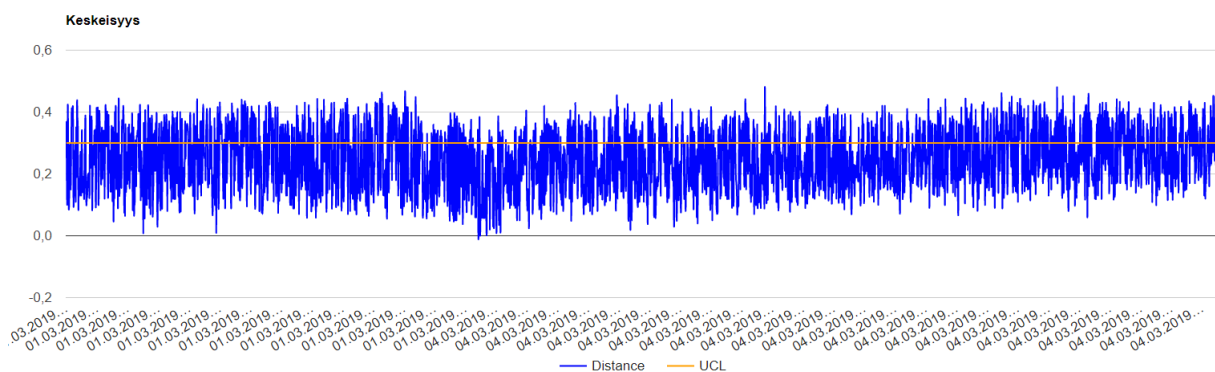
Edellä esiteltyä tekniikkaa on hyödynnetty myös tässä sovelluksessa ja näin saadaan erittäin luotettava ja lähes reaaliaikainen valikointi, jossa ei olla riippuvaisia sisäverkon toimivuudesta eikä myöskään ylikuormiteta verkkoa lähettämällä kuvia analysoitavaksi muualle. Järjestelmässä vain numeerinen mittaustulos lähetetään eteenpäin.

6.4 Evaluation

Rakennetun järjestelmäkokonaisuuden tarkkuutta evaluoitiin suorittamalla toistettavuusmittauksia sekä suorittamalla tuotteille mittaukset myös CMM-mittalaitteella (Coordinate-measuring machine). Mittausteknisesti haastavaa, mittausepävarmuutta lisäävää ja oikeaoppisen mittaustavan vastaista tässä evaluoinnissa on se tosiasia, että koneistettua pintaa joudutaan vertaamaan ulkokehään, joka on sintrattu pinta - ja näin ollen siis koneistamaton ja epämuodostunut. Myös tuotteiden ulkokehän alaosassa saattaa esiintyä epämuodostumaa (tasainen kohta muutoin pyöreässä tuotteessa), jonka vaikutusta keskeisyysmittauksiin tulee arvioida huolella. Tärkeintä oli kuitenkin löytää yhtäläinen mittaustekniikka, jossa käytetään samaa tai mahdollisimman samankaltaista ympyränsovitusalgoritmia ympyrämuodon approksimoinnissa.

Mittaustulosten vertailu osoittaa, että konenäköjärjestelmän tulokset olivat kohtuullisen hyviä ja luotettavia, joskin muutaman sadasosamillimetrin ylityksiä oli joukossa. Tätä tilannetta voidaan kuitenkin kompensoida tekemällä muutoksia konenäköjärjestelmän reseptiikkaan ja näin ollen konenäköjärjestelmän raja- ja kompensointiarvot saadaan kalibroituja.

Pelkästään mittaustulosten visualisoinnin ja yksinkertaisen analysoinnin avulla voidaan todeta, että kartioporauslaite ei ole mekaaniselta suorituskyvyltään teollisen keskiarvon mukaisella tasolla. Kuviossa 10 näkyvä keltainen viiva on sisäinen ylätoleranssin raja, joka ylitetään valitettavan usein. Tästä johtuen seuraavaksi koneen luotettavuutta ja suorituskykyä päätettiin parantaa Lean Six Sigma-menetelmien avulla, joka kuvataan kohdassa 7.



Kuvio 10. Mittaustuloksia

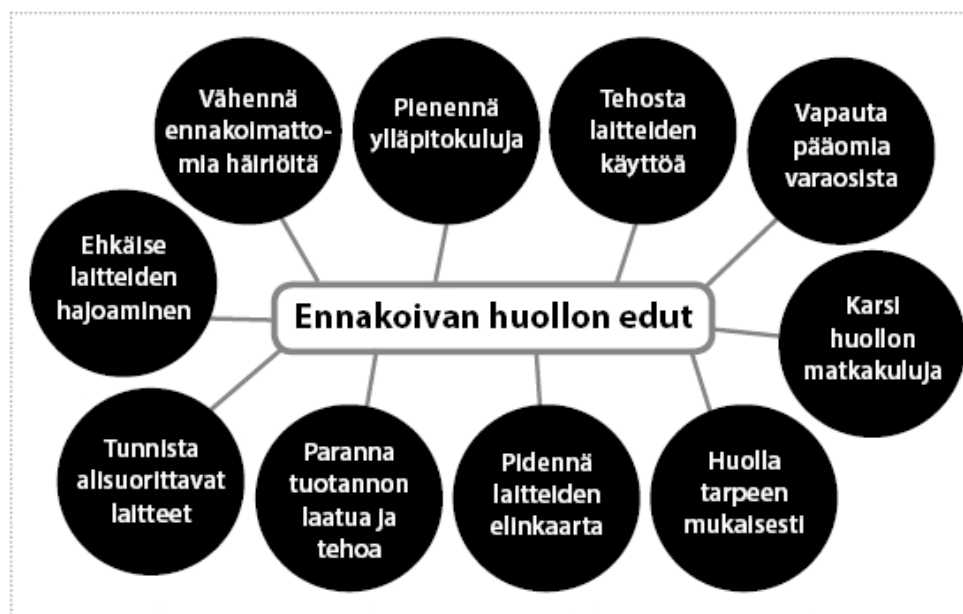
Ongelmia esiintyi myös IT-infrastruktuurissa, erityisesti Linux-palvelimella sijaitsevassa TCP-clientissa, joka lakkaa toimimasta tietyin väliajoin. TCP/IP protokolla käyttää client/server -viestintämallia, jossa käyttäjälle tai koneelle (client) tarjotaan palvelua tai dataa toisen verkon tietokoneelta (server). (TechTarget Inc. 2019.) TCP-clientin ollessa vikatilassa myös mittaustulokset jäävät tallentamatta tietokantaan, mikä osaltaan aiheuttaa datan laatuun ongelmia.

Oman haasteensa datan luotettavuuteen tuo myös manuaalisesti lisättävä lisäinformaatio. Se on erittäin arvokasta lisätietoa, mutta aina kun ihmisen tulisi muistaa lisätä jotain tai painaa jotain painonappia muistinvaraisesti, on se usein altis unohdukselle tai viitsimättömyydelle. Tämä aiheuttaa ongelmia datan laatuun, jolloin datan analysointi ja johtopäätökset ovat epäluotettavia. Tämänkaltaisia ongelmia voidaan kuitenkin poistaa lisäämällä automatiikkaa vaikkapa RFID- (radio frequency identification) tai viivakoodilukijaa hyödyntämällä, sekä lisäämällä käyttöliittymään helposti hyödynnettäviä pikavalintoja painonapeilla. On myös mahdollista lisätä koneen käyttöliittymään erilaisia muistutustapahtumia, jotka pitää kuitata ennen koneen käynnistymistä.

Kuitenkin jo pelkkä laitteen saattaminen dataohjatun päätöksenteon piiriin visualisoidulla data nettisivustolle, antaa organisaatiolle läpinäkyvyyttä ja tietoa koneen suorituskyvystä. Sen lisäksi se antaa operaattoreille arvokkaan työkalun koneen toiminnan arvioimiseksi.

6.5 Conclusion

Mikäli kartiopora ja data kuitenkin saataisiin luotettavalle tasolle, kone voitaisiin nostaa seuraavalle kehitysportaalle (Porterin ja Heppelmannin portaalle 3 (Kuvio 5)), jolloin järjestelmään voitaisiin myös lisätä esimerkiksi ennakoivan huollon koneoppimismalli, jonka edut olisivat kiistattomat (Kuvio 11). Poran tapauksessa selkeimmät hyödyt olisivat laitteiden rikkoutumisen ehkäiseminen ja tarpeen mukainen huolto, joilla voidaan välttää koneen yllättävästä rikkoutumisesta johtuvat tuotantoseisakit, sekä tuotannon laadun parantaminen.



Kuvio 11. Ennakoivan huollon edut (Collin & Saarelainen 2016)

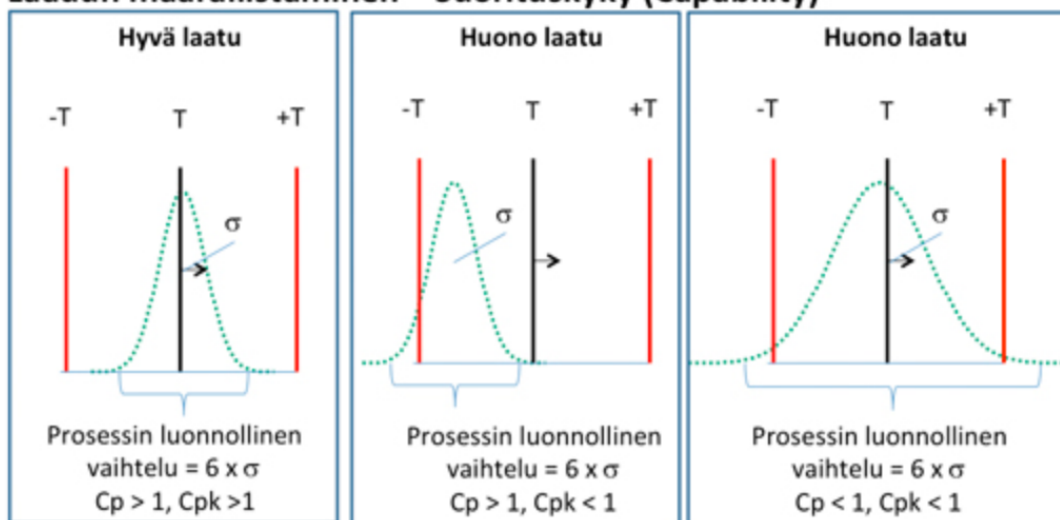
Koneoppimismallin lisäksi lisäämällä järjestelmään takaisinkytkentä PLC:lle, joka esimerkiksi säätää automaattisesti poraussyvyyttä mittaustulosten perusteella oikeankokoisen sisäreiän saavuttamiseksi, kone voisi toimia tämän suhteen autonomisesti, jolloin se voitaisiin ajatella toimivan Porterin ja Heppelmannin portaalla 4 (Kuvio 5). Tätä vaihetta ei kuitenkaan nähdä tarpeelliseksi tähän tuotantolaitteeseen, eikä sen rakentamisen uskota maksavan itseään takaisin, vaan jo pelkkä mittaushistoria ja datan visualisointi tuovat koneelle kaivatun avun. Koneoppimisesta haluttiin kuitenkin tehdä pilotti, joka kuvataan kohdassa 8. Seuraavaksi koneelle päätetään tehdä laadunparannusprojekti konenäöltä saadun mittaustiedon perusteella.

7 LEAN SIX SIGMA KEHITYSPROJEKTI

Poralta saadun datan myötä voidaan visualisoinnin ja data-analyysin avulla todeta koneen toimivan suorituskyvyllä, joka ei edusta hyvää teollista tasoa.

Cpk mittaa, kuinka hyvin prosessi suoriutuu suhteessa sille annettuihin spesifikaatio-rajoihin luonnollinen vaihtelu huomioiden. Mitä suurempi luku, sitä suurempi todennäköisyys, että kaikki tuotteet ovat spesifikaatio-rajojen sisällä. Tyypillisesti Cpk 1.33 (4 sigma) tai suurempi riittää suurimmalle osalle asiakkaista. (Hessing 2014.)

Laadun määrällistäminen – Suorituskyky (Capability)



$$C_p = \frac{(+T) - (-T)}{6x\sigma} = \text{suorituskyky (Capability)}$$

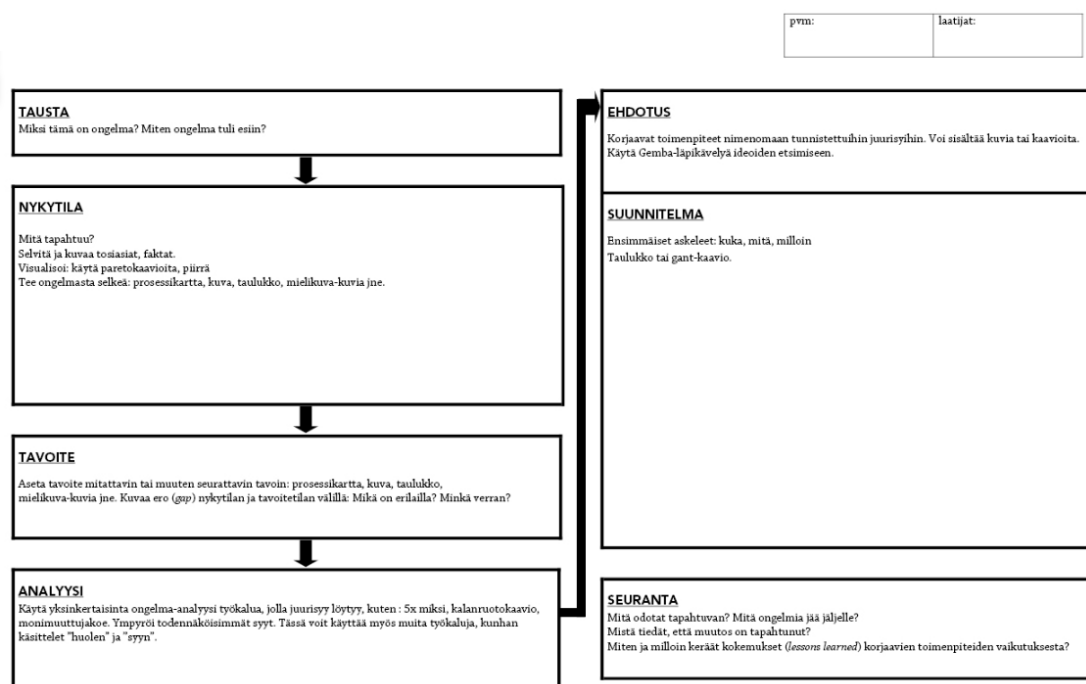
$$C_{pk} = \frac{(+T) - \text{keskiarvo}}{3x\sigma} \quad \text{tai} \quad C_{pk} = \frac{\text{keskiarvo} - (-T)}{3x\sigma}$$

Cpk : si valitaan pienempi tulos

Kuvio 12. Laadun määrällistäminen suorituskykyä kuvaavilla tunnusluvuilla. Suorituskyvyn (Cp ja Cpk) määrittely (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2019)

Koneen huonosta suorituskyvystä johtuen järjestettiin tekniikkaryhmän kesken pala-
veri, jossa käytiin poran parannuskohteita läpi Lean Six Sigman A3-raportin (Kuvio
13) avulla. Raportti hyödyntää DMAIC-menetelmää, jonka avulla pyritään löytämään
prosessista sen suorituskykyyn vaikuttavat tekijät ja kehittämään niitä. Lyhenne
DMAIC muodostuu seuraavista sanoista, jotka ovat samalla kyseisen ratkaisumenetel-

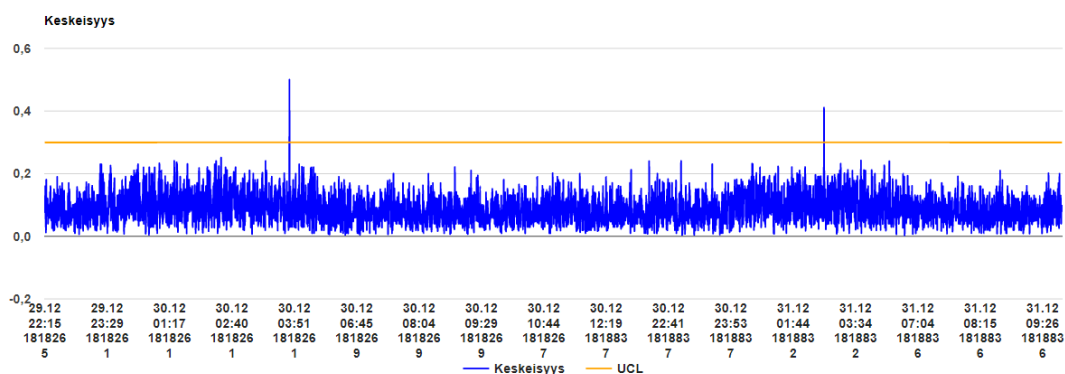
män eri vaiheiden nimet: Define (määrittely), Measure (mittaus), Analyze (analysointi), Improve (parannus) ja Control (ohjaus). (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2019.)



Kuvio 13. A3-ongelmanratkaisumenetelmän rakenne (Torkkola 2015)

DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän avulla voidaan parantaa tuotannon laatua ja suorituskykyä järjestelmällisellä ja loogisella tavalla kohti juurisyitä ja sen ratkaisua. Seuraavana lyhyt kuvaus menetelmän vaiheista:

- Define; määrittelyvaiheessa tunnistetaan ongelma ja asetetaan tavoite.
- Measure; mittausvaiheessa todennetaan ongelma mittaustietojen avulla ja tunnistetaan mahdolliset kehityskohteet.
- Analyze; analysointivaiheessa tutkitaan kerättyä dataa ja pyritään tunnistamaan ongelmien juurisyitä sekä syy-seuraussuhteet.
- Improve; parannusvaiheessa suunnitellaan ja implementoidaan ratkaisut, joilla juurisyitä saadaan ratkaistua. Laaditaan ratkaisuille toteutus suunnitelma ja kekeillaan niiden toimivuus.
- Control; ohjausvaiheessa pyritään luomaan käytännöt, jolla saavutettu tila voidaan ylläpitää ja tarvittaessa tehdään uusi DMAIC-kierros, mikäli tavoitettua suorituskykyä ei saavutettu. (Quality Knowhow Karjalainen Oy 2019.)



STVI	Sintraus paikka	Tuote	Yhteensä	Hyväksytyt	Porausreikä	Keskeisyys	Ei löydetty	Hylättyjä yhteensä
181883	6	75260	638	633 (99,22 %)	2 (0,31 %)	0 (0 %)	3 (0,47 %)	5 (0,78 %)
181883	2	75260	682	674 (98,83 %)	3 (0,44 %)	2 (0,29 %)	3 (0,44 %)	8 (1,17 %)
181883	7	75260	756	743 (98,28 %)	10 (1,32 %)	1 (0,13 %)	2 (0,26 %)	13 (1,72 %)

Mittaukset:						Huom:					
Aika	STVI	Tuote	Sintraus paikka	Keskeisyys	Score	Porausreikä	Aika	STVI	Tuote	Sintraus paikka	Huom
31.12 09:54:34	181883	75260	6	0,10	90,00	5,02	31.12 06:47	181883	75260	6	
31.12 09:54:18	181883	75260	6	0,08	90,00	5,03	31.12 00:27	181883	75260	2	

Kuva 8. Kartioporan suorituskyky Lean Six Sigman-projektin jälkeen.

On kuitenkin muistettava, että porattava tuote on erittäin hankala porattava sintratun epämuodostuneen reiän ansiosta, joten tämä suorituskyky saavutetaan vain tietyillä tuotteilla ja koneen huollot asianmukaisesti suoritettuina. Koneita on joka tapauksessa tarkkailta sekä rakennettava ominaisuuksia, jotka varoittavat laadun heikkenemisestä tai väärin koneenosien käytöstä eri tuotteilla. Koneen osalta mittava määrä koneen laadullista suorituskykyä parantavia toimenpiteitä on tehtynä, joten seuraavaksi kehityskohteeksi tulee laajentaa myös puristus- ja sintrausprosessi. Koneen ja prosessin parantaminen ei kuitenkaan ole tämän opinnäytetyön pääasiallisena tarkoituksena, vaan pikemminkin tässä haluttiin harjoitella ja hyödyntää järjestelmällistä sekä johdonmukaista tapaa kehittää asioita.

8 KONEOPPIMISPILOTTI

8.1 Awareness of problem

Koneoppimisella tarkoitetaan tietojenkäsittelytieteen ja tekoälytieteen osa-aluetta, joka on peräisin 50-luvun tekoälytutkimuksesta. Sitä pidetään tärkeänä osa-alueena teollisen internetin sovelluksissa, koska sen avulla voidaan luoda ennustemalleja esimerkiksi ennakoivan huollon sovelluksissa tai tuotannon laadun heikkenemisen ennustamisessa. Dataa on oltava paljon ja sen oltava laadukasta, jotta siitä voidaan muodostaa sääntöjä, jonka avulla datasta voidaan etsiä poikkeamia. Koneoppimismallit perustuvat algoritmeihin, joiden oppimismenetelmiä ovat: ohjattu oppiminen, vahvistusoppiminen sekä ohjaamaton oppiminen. Seuraavana kuvataan eri oppimismenetelmien peruseriaatteet:

- Ohjattu oppiminen; tässä menetelmässä haluttu lopputulos tiedetään ennalta ja kehitettävää algoritmia opetetaan datasta saaduilla poikkeamilla, esimerkiksi vikaantumisiin liittyvällä anturidatalla, sekä joukolla koneen normaalia toimintaa sisältävää dataa, johon ei sisälly poikkeamia. Algoritmi oppii erottamaan normaalin ja poikkeamia sisältävän tilanteen, jonka perusteella se luo ennustemallin, jota hyödyntämällä se osaa havaita datavirrasta mahdollisia poikkeamatilanteita ja ilmoittaa niistä ennen kuin tilanne pääsee kehittymään liian pitkälle.
- Vahvistusoppiminen. Toisin kuin ohjatussa oppimisessa, vahvistusoppimisen menetelmässä mallidataa ei välttämättä ole olemassa ollenkaan. Mallin opettaminen perustuu vuorovaikutukseen, jossa algoritmia opetetaan palautteen perusteella. Hyvästä ratkaisusta annetaan myönteistä palautetta ja huonosta ratkaisusta annetaan vastaavasti kielteistä palautetta. Palautteen antamisessa ei välttämättä ole olemassa oikeaa tai väärää, mutta mitä osuvampi mallin ehdottama ratkaisu on, sitä voimakkaampaa palautetta annetaan. Annettujen palautteiden perusteella algoritmi rakentaa itselleen politiikan, joka ohjaa sen toimintaa.

- Ohjaamaton oppiminen; tätä pidetään vaikeimpana menetelmänä, sillä tässä menetelmässä luodaan algoritmi, joka pyrkii löytämään ennalta tuntemattomasta, suuresta datamäärästä samankaltaisuuksia ja muodostamaan näistä dataluokkia hyödyntämällä mm. itseorganisoituvia karttoja, klusterointia ja neuroverkkoja. Tätä menetelmää voidaan esimerkiksi hyödyntää teollisen internetin tapauksissa, jossa big datasta pyritään löytämään poikkeamia, jotka voivat olla varhaisia vikaantumisen oireita (Collin & Saarelainen 2016).

Vaikka opinnäytetyön aikana poran prosessia ei kaikilla tuotteilla saatu tarpeeksi luotettavalle tasolle, haluttiin kuitenkin rakentaa koneoppimisen PoC-toteutus poralta saadusta mittausdatasta. Tämän avulla nähdään, kuinka hyvin malli saadaan toteutettua ja minkälaista hyötyä siitä voisi olla tuotantokoneella vaikkapa ennakoivan huollon ja laaduntuoton kannalta tulevaisuudessa tai muissa sellaisissa kohteissa, joissa vaaditaan tai on hyödyllistä tehdä lähes reaaliaikaista datan analysointia ja päätelmiä. Onnistunut pilotti lisää ymmärrystä koneoppimisen mahdollisuuksista myös muihin kohteisiin, sillä tuotannosta kerätään dataa erittäin suurina määrinä. Onnistunutta koneoppimismallia voidaan soveltaa erilaisissa tuotannon sovelluksissa.

Pilotin tarkoituksena oli:

- kerätä tietoa ja lisätä ymmärrystä mitä koneoppimismallin tekeminen vaatii ja kuinka paljon työtä vaatii uuden erikoistapauksen opettaminen (mikäli datasta opitaan jokin uusi poikkeama, joka halutaan saada kiinni mahdollisimman nopeasti)
- tarkastella minkälaista insinööriosaamista se vaatii
- tarkastella mitä vaatimuksia se asettaa IT-infralle

8.2 Koneoppimispilotin tavoitteet

Koneoppimispilotin tavoitteena on rakentaa koneoppimismalli oikeaa dataa hyödyntämällä. Mallille opetetaan datasta kuvitteelliset kaksi tapausta: ”kone vaatii putsausta” (keskiarvolle nouseva trendi), sekä ”terän vaihto” (keskihajonta kasvaa).

Järjestelmään rakennetaan myös data streamer, jonka avulla järjestelmään voidaan syöttää oikeaa (tai haluttaessa manipuloitua) dataa excel-tiedostona, integroimatta sitä kohdeyrityksen tietojärjestelmiin. Data streamia tarvitaan myös siksi, että kohdassa 6.4 todetun poran suorituskykyongelmien vuoksi reaaliaikaisesta datasta olisi hankaluuksia ajoittaa juuri halutunlainen data oikeaan aikaan, jotta opettaminen ja evaluointi olisi mahdollista. Tavoitteena on:

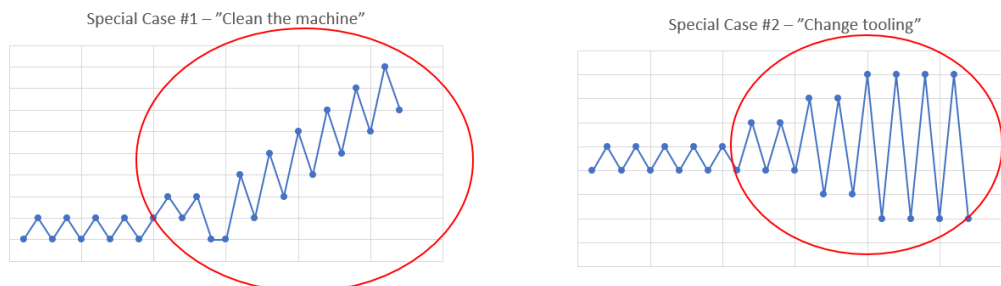
- 1) rakentaa koneoppimismalli oikeaa mittausdataa hyödyntämällä. Mallille opetetaan normaalitila, sekä kaksi poikkeamaa, joihin reagoidaan tietyllä tapaa. On huomioitava, että yksinkertaiset kontrollirajat eivät ole riittäviä, vaan vähintään datan trendiä ja hajontaa on myös seurattava. Myös datan keskiarvo saattaa vaihdella, joten mallin on mukauduttava eri normaalidataan.
- 2) rakentaa malli, joka tarkkailee data streamia reaaliajassa ja hälyttää, kun jokin edellä opetettu tilanne erottuu datakohinasta. Reagoinniksi riittää notifiikaatio tai vastaava hälytystapahtuma.
- 3) rakentaa datan sisään syötölle datageneraattori; koska tarkoituksena on rakentaa PoC-toteutus, niin järjestelmää ei integroida kohdeyrityksen järjestelmiin. Tästä johtuen rakennetaan tämän työn simulointiosuudessa havaitun (Kuvio 4) mukainen datageneraattori. Koneoppimismalli siis evaluoidaan rakentamalla yksinkertainen datageneraattori, joka lähettää csv/Excel-tiedostosta mittaustietoa mallille määritellyin aikavälein.

Seuraavana esimerkki normaalista datakohinasta (Kuvio 15):

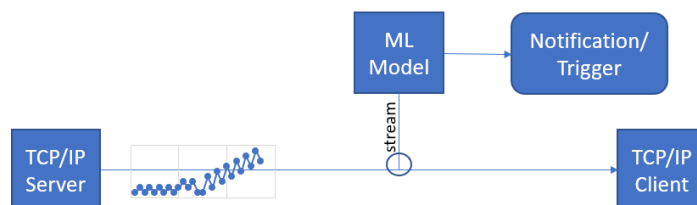


Kuvio 15. Esimerkkikuva normaalidatasta

Kuviossa 16 esitetään yksinkertaistetut esimerkkitapaukset sekä periaatekuva data streameristä ja koneoppimismallista.



- Teaching machine learning cases like the one above (these cases will be delivered later)
- The machine learning model is evaluated by simulating the production machine by producing a data generator that transmits manipulated "measurement data" to the client at specified time intervals.
- Then we can see how the Machine Learning model triggers sample cases from the datastream.



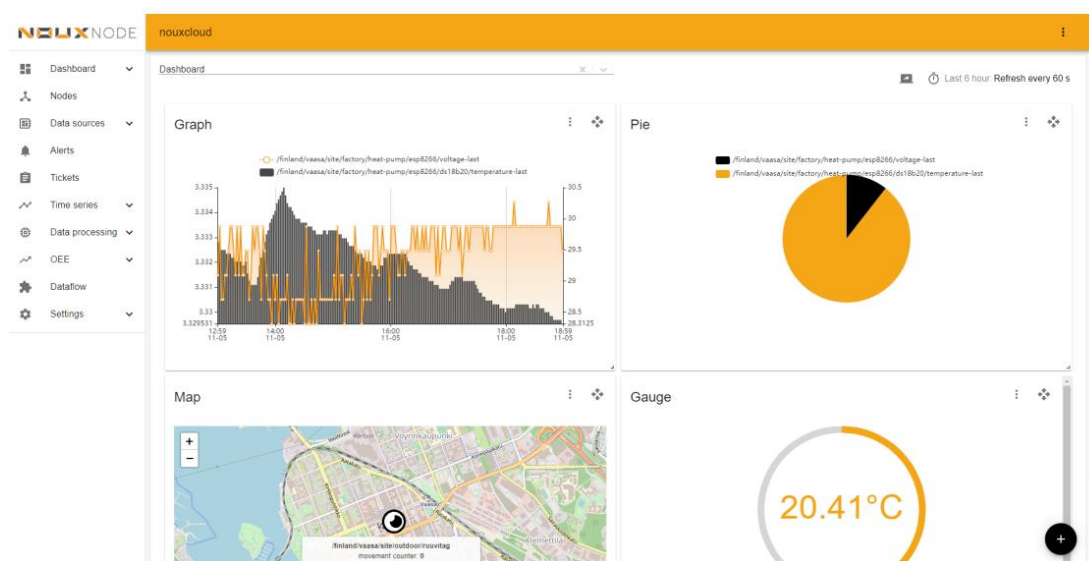
Kuvio 16. Koneoppimismallin periaatekuva

8.3 Suggestion

Koska organisaatiossa ei ole varsinaista koneoppimispuolen osaajaa, niin PoC-toteutus päätettiin rakentaa yhteistyössä paikallisen kehitysorganisaatio Prizztech Oy:n kanssa. PoC toteutettiin julkisrahoitteisesti hyödyntämällä paikallisen kehitysorganisaatio Prizztech Oy:n kehityshankkeita. Kilpailutus päätettiin järjestää ns. haastekilpailuna, jonka avulla etsittiin parasta haasteen ratkaisijaa. Haasteesta laadittiin esitys, jonka Prizztech lähetti verkostoilleen. Haasteeseen saatiin kaksi ratkaisuehdotusta, joista huolellisen arvioinnin jälkeen toteuttajaksi valikoitui Noux Node Oy. Noux Node Oy:llä vaikutti olevan monipuolisin, kokonaisuutena parhaiten haasteeseen so-piva sekä taloudellisesti järkevin ratkaisuehdotus.

Ratkaisuehdotuksessa ehdotetaan käytettävän heidän omaa, kehitysvaiheessa olevaa IoT-alustaansa ja näin ollen ratkaisuna ei ole pelkästään tätä varten räätälöity tuote. Alustan tuotekehitystä on kuitenkin takana jo jokunen vuosi, joten tuotteessa on myös enemmän ominaisuuksia ja työkaluja, joita tässä projektissa ei olla haluttu tai osattu

määritellä. Tällainen yhdistelmä sopii erityisen hyvin julkisrahoitteisen projektin toteuttajaksi ja lisäksi voittajayritys saa mahdollisuuden kehittää omaa tuotettaan oikean, teollisuudesta tulleen casen avulla. Lisäksi he saavat näkyvyyttä ja verkostoitumismahdollisuuksia esitellessään projektin tuloksia eri tilaisuuksissa. Kuvassa 9 näkyy järjestelmän yleisnäkymä, jossa on myös kätevä ominaisuutena selaimella käytettävä dashboard-näkymä, johon voidaan konfiguroida eri käyttäjäryhmille tarpeellisia näkymiä.



Kuva 9. Esimerkinäkymä dashboard-sivulta.

8.4 Development

Seuraavassa kuvataan lyhyesti koneoppimismallin kehitystä. Tarkempi raportti työn tekemisestä ja tuloksista löytyvät liitteenä olevassa, Noux Noden Oy:n toimittamassa, loppuraportissa (Liite 1).

Toimittajalle toimitettiin kymmenen datasettiä valikoitua tuotantodataa, joista seitsemän koostui puhtaasta normaalidatasta ja kolme settiä sisälsi poikkeamia (keskiarvon muutos, keskihajonnan muutos ja viimeinen sisälsi molempia poikkeamia samaan aikaan). Datasetit haettiin tietokannasta sellaiselta ajanjaksolta, jossa data käyttäytyi hallitusti ja oli laadukasta. Jokainen erä sisälsi noin 6000 näytettä ilman aikaleimatietoja.

Järjestelmää testataan kahdella eri lähestymistavalla:

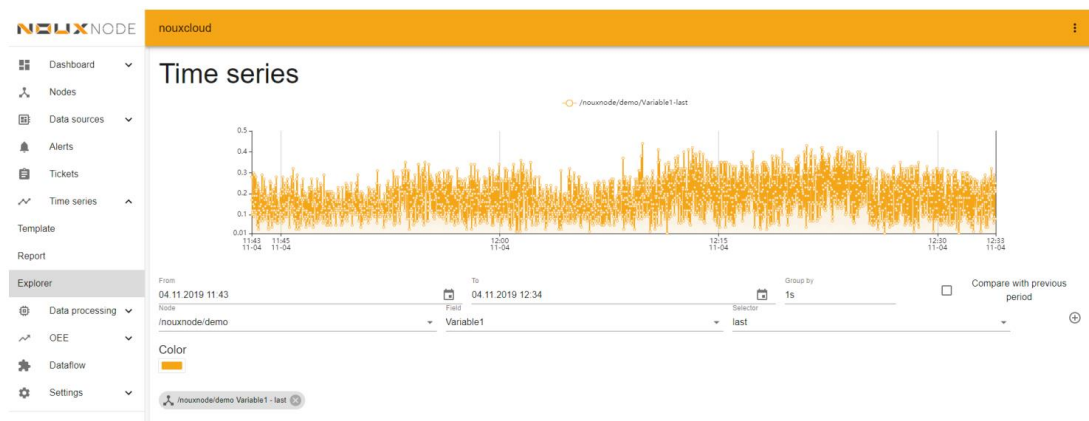
- 1) Järjestelmään ajetaan sisään vain datasettejä, joka sisältää poikkeamia.
- 2) Järjestelmään ajetaan sekä normaalidatasettejä että poikkeamatasettejä, jolloin järjestelmä laatii hälytysrajat datasta päättellessä.

Toimittaja rakensi ensimmäisenä data streameriksi kutsutun työkalun (Kuva 10), jonka avulla data saatiin sisään järjestelmään ja (manipuloidut) aikaleimat luotua näytteille. Tällä ominaisuudella myös simuloidaan datan reaaliaikaisuutta määrittämällä lukutiheys, vaikkapa yksi näyte per sekunti.

Datetime	Variable1	batch_id
2019-09-13 12:16:51	0.16	1
2019-09-13 12:16:52	0.11	1
2019-09-13 12:16:53	0.28	1
2019-09-13 12:16:54	0.13	1
2019-09-13 12:16:55	0.17	1
2019-09-13 12:16:56	0.07	1
2019-09-13 12:16:57	0.1	1
2019-09-13 12:16:58	0.11	1

Kuva 10. Kuvakaappaus data streamer-työkalun asetuksista (Noux Node Oy 2019)

Kuvassa 11 esitetään data streamer-työkalun avulla sisään syötetystä datasta aikasarjaesitys. Aikasarjan toisessa neljänneksessä voidaan nähdä keskihajonnan poikkeama-sarja ja kolmannessa neljänneksessä keskiarvon nousu, muiden arvojen ollessa normaalidataa.

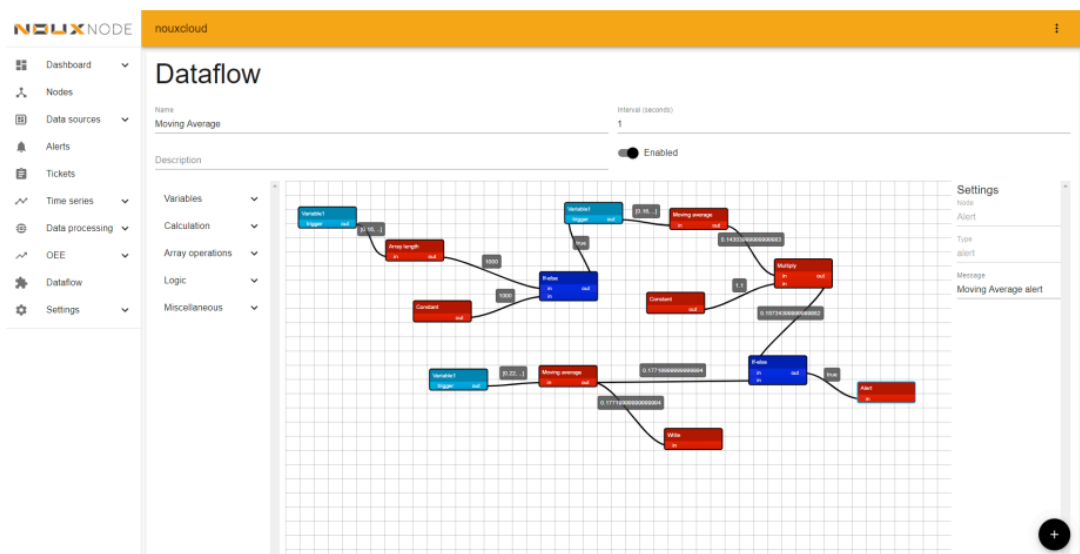


Kuva 11. Aikasarjaesitys data streamer-työkalun avulla sisään syötetystä datasta (Noux Node Oy 2019)

Seuraavaksi rakennettiin matemaattiset funktiot käyttämällä Noux Noden visuaalista ohjelmointiympäristöä (Kuvio 17). Ylemmässä haarassa luodaan data streameriltä luettavalle datalle vertailuarvo ja alemmassa haarassa suoritetaan data streameriltä tulevan datan lukeminen. Kuviossa 17 luettavan datan arvo on ylittänyt vertailuarvon ja antaa hälytyksen.

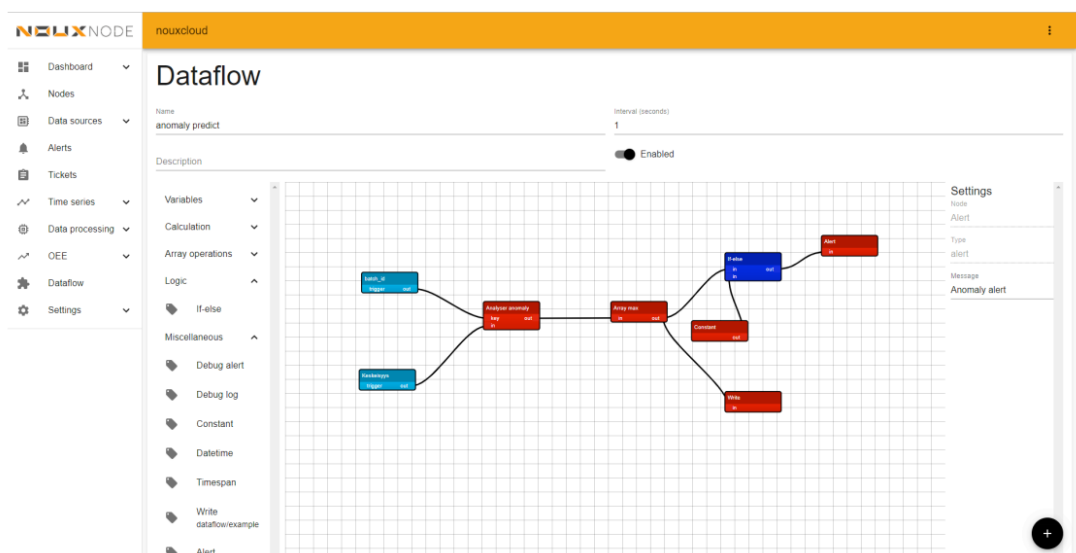
Lähestymistavan 1) konfiguraatiossa luodaan seuraavat säännöt hälytyksen laukaisemiseen:

- Ensimmäiset 1000 näytettä määrittelevät erän keskiarvon
- Jos erän keskiarvo ylitetään yli 10%, hälytys laukaistaan



Kuvio 17. Rullaavan keskiarvon graafinen konfiguraatio. (Noux Node Oy 2019)

Lähestymistavassa 2) dataflow:ssa luodaan uudet muuttujat, mutta hälytyksiä ei aseteta manuaalisesti (Kuvio 18). Nämä uudet muuttujat ovat rullaava keskiarvo, keskihajonta sekä isolation forest -algoritmin ennuste, joka opetettiin normaalidatasta.

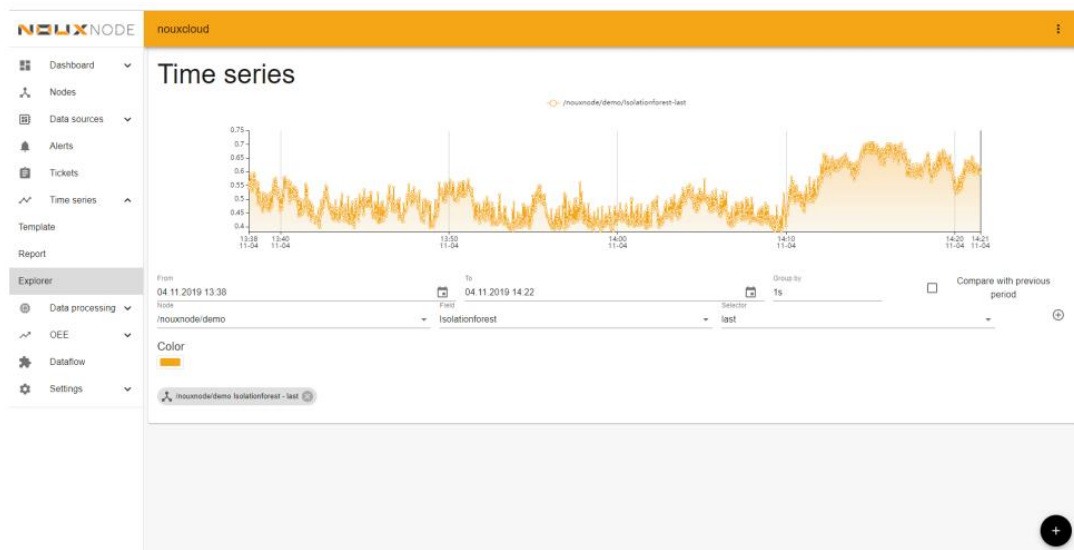


Kuvio 18. Isolation forest-algoritmin konfiguraatio (Noux Node Oy 2019)

Kuvassa 12 esitetään järjestelmän luoma aikasarjaesitys poikkeamia sisältävästä datasetistä ja Kuvassa 12 nähdään isolation forest-algoritmin luoma ennuste poikkeamille aikasarjaesityksenä. Kuvassa ei nähdä vielä järjestelmän automaattisesti luomia hälytysrajoja.

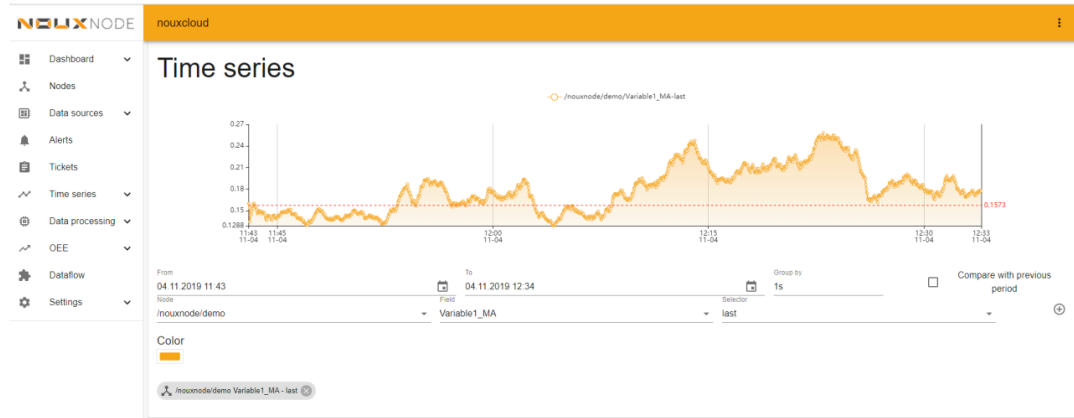


Kuva 12. Rullaavan keskiarvon aikasarjaesitys poikkeamia sisältävään datasettiin lähestymistavalla 2) (Noux Node Oy 2019)



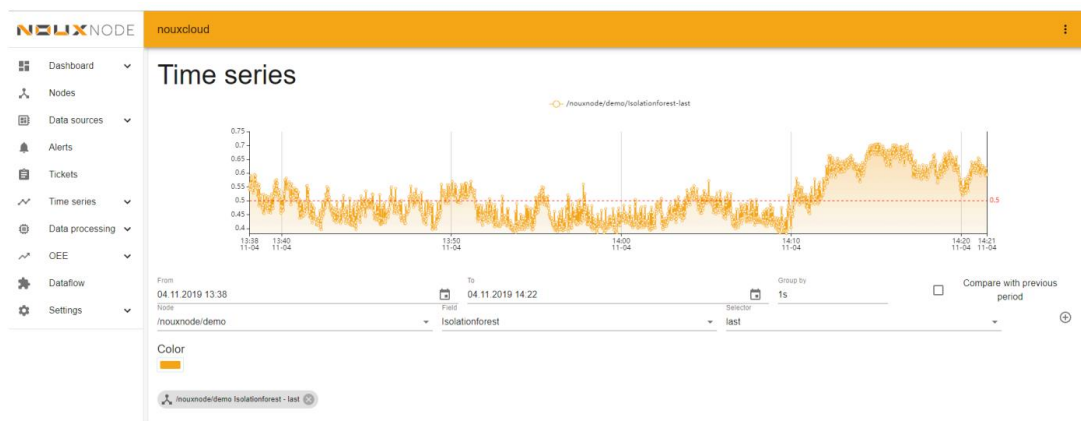
Kuva 13. Isolation forest -ennuste aikasarjaesityksenä. Ennusteet näyttävät suurta todennäköisyyttä poikkeamille datasetin loppupuolelle (Noux Node Oy 2019)

Kuvassa 14 nähdään järjestelmän luoma hälytysraja Kuvion 17 mukaisella konfiguraatiolla. Hälytysrajan asetus osuu kohtalaisesti kohdalleen.



Kuva 14. Rullaava keskiarvo-metodin luoma hälytysraja aikasarjaesityksenä (Noux Node Oy 2019)

Kuvassa 15 nähdään järjestelmän automaattisesti luoma hälytysraja Kuvan 13 datasta päättelämällä. Algoritmin opetuksessa käytettiin vain dataa, joka ei sisältänyt poikkeamia. Järjestelmän luomia hälytysrajoja ei kuitenkaan otettu käyttöön suuren virheellisten tulkintojen määrän vuoksi.



Kuva 15. Isolation forest-algoritmin luoma hälytysraja (punainen katkoviiva) aika-sarjaesityksenä (lähestymistapa 2). Loppua kohden kohoava todennäköisyys ennustaa poikkeamia datasetin loppupuolelle (Noux Node Oy 2019)

8.5 Evaluation

Data streamer ja muu järjestelmä saatiin toimimaan suunnitellusti. Kuvassa 17 nähdään järjestelmän antamat hälytykset testidatalle lähestymistavalla 1), joka sisältää keskiahjonta- ja keskiarvopoikkeamia. Kuvassa 17 esitettävässä historialokista nähdään, että hälytyksiä tuli suhteellisen paljon, mutta näitä saadaan kuitenkin hallittua hienosäätämällä hälytysrajoja. Hälytyslistaus ilmoittaa hälytyksen alku- ja loppuajan kohdan tai sen, jos se on edelleen aktiivinen (Kuva 16).

Message	Started	
Moving Average alert	2019-11-04 12:08:17	📧
Std alert	2019-11-04 12:09:37	📧

Kuva 16. Järjestelmän luomat aktiivisena olevat hälytykset (Noux Node Oy 2019)

Message	Started	Stopped
Moving Average alert	2019-11-04 11:57:13	2019-11-04 11:57:27
Std alert	2019-11-04 12:07:09	2019-11-04 12:07:33
Std alert	2019-11-04 12:07:35	2019-11-04 12:07:37
Moving Average alert	2019-11-04 11:57:35	2019-11-04 11:58:07
Std alert	2019-11-04 11:53:27	2019-11-04 12:02:55
Moving Average alert	2019-11-04 11:57:29	2019-11-04 11:57:33
Moving Average alert	2019-11-04 11:58:09	2019-11-04 12:02:55
Std alert	2019-11-04 12:02:57	2019-11-04 12:02:59
Std alert	2019-11-04 12:07:43	2019-11-04 12:07:45
Moving Average alert	2019-11-04 11:53:21	2019-11-04 11:54:39

Kuva 17. Järjestelmän historialoki hälytyksistä. (Noux Node Oy 2019)

Evaluoinnin olisi pitänyt ehdottomasti olla syvällisempikin vaihe, mutta valitettavasti tällä kertaa siihen ei ollut tämän enempää aikaa käytettävänä. Koska evaluointidata oli ennalta tiedossa ja sille oli määritellyt aikaleimat, tämä olisi voitu evaluoida huolellisemminkin ja tiedostaa etukäteen ajankohta, milloin suurin piirtein hälytyksien tulisi esiintyä. Myös käytetyt datasetit olisi tullut identifioida huolellisemmin, jotta niihin olisi voitu viitata tarkemmin. Vaikka evaluointi jäikin osittain vajavaiseksi, niin Noux Noden järjestelmän näkeminen toiminnassa antoi kuitenkin luottavaisen olon sen toimivuudesta. Koska data, jota tässä käytettiin, tunnetaan hyvin, niin pienellä raja-arvojen hienosäädöillä tämä saataisiin entistä paremmin toimivaksi järjestelmäksi. Erityisen arvokkaita oli kuitenkin pilotista saadut havainnot, joita käydään läpi kohdassa 8.6.

8.6 Conclusion

Noux Noden järjestelmän luomista hälytyksistä voidaan päätellä järjestelmän toimineen vähintään tyydyttävästi, varsinkin jos huomioidaan evaluointidatan haasteellisuus. Vaikka esimerkitapaukset olivat hieman vaikeita erottaa toisistaan, niin PoC:n perusteella ei ole syytä olettaa, etteikö järjestelmä pystyisi erottamaan tapauksia toisistaan, erityisesti mikäli poikkeamat datassa olisivat olleet selkeämpiä sekä huolellisemmin rakennettuja. Hyvin manipuloidun testidatan rakentamisen vaikeus ja siihen

liittyvä työmäärä yllätti ja osin ajanpuutteen vuoksi se jäi hieman hankalasti tulkittavaksi, mutta kuitenkin riittäväksi. On toisaalta muistettava, että opinnäytetyön perimmäinen tarkoitus oli rakentaa niin sanotusta tyhmästä tuotantolaitteesta hieman älykkäämpi versio, joten kyse ei ollut pelkän koneoppimismallin rakentamisesta, vaan tutkielma sen teknisen toteuttamisen mahdollisuuksista. Noux Node Oy:n laatima raportti työstä ja sen tuloksista on tämän opinnäytetyön liitteenä. Seuraavassa kappaleessa joi-takin omia havaintoja täydennettyinä Noux Noden havainnoilla.

PoC:n tuloksista nähdään, että suurtakin hyötyä voidaan saavuttaa jo aivan yksinkertaisilla matemaattisilla funktioilla ja kuvaajilla. Pelkkä visualisointi on jo erittäin hyödyllinen apuväline. Vaikka PoC:n yhtenä tavoitteena olikin murtaa käsityksiä ”tekoälystä” ja sen tämänhetkisestä hypestä, niin koneoppimismalli antoi kuitenkin yllättävän rohkaisevia tuloksia sen käytettävyydestä jo näinkin pienellä datamäärällä. Toisaalta hyvin toimivan koneoppimismallin luomiseen datamäärän on oltava erittäin suuri ja datan on oltava luotettavaa, joten jo sen hankkiminen itsessään saattaa olla erittäin työlästä. Datan saatavuuden perusteella on siis järkevää pohtia käyttäkö yksinkertaisempaa menetelmää vai kompleksisempaa ja paljon dataa vaativaa koneoppimista. Noux Noden raportin mukaan, vaikka mittauksia oli tuhansia per erä, niin eriä oli vain kymmenen, joka on heidän arvionsa mukaan turhan vähäinen määrä koneoppimismallin opetusdataksi. Varovaisen arvion mukaan eriä tulisi olla vähintään kymmenkertainen määrä. Tosin aloituspalaverissa kymmenen erää arvioitiin sopivaksi määräksi. (Noux Node Oy 2019.)

Tässä koneoppimis-pilotissa haluttiin rakentaa suhteellisen yksinkertainen ja helposti ymmärrettävä esimerkki, mutta ottamalla mukaan samaan aikaleimaan sidottuja tuotantoparametreja tai esimerkiksi eri erien materiaali-reseptejä, tämä voisi olla vähintäänkin lisätutkimisen arvoinen asia. Silloin saataisiin koneoppimismalli täyteen hyötykäyttöön. (Noux Node Oy 2019.)

Koneoppimis-pilotin tekemisen aikana, eikä Noux Nodelta saadun raportin myötäkään, ole täysin selvinnyt koneoppimiskomponentin opettamiseen vaaditun työn ja osaamisen määrä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus ei ollut kuitenkaan olla syvälinen koneop-

pimistutkielma, vaan tämä aihe vaatisi täysin oman työn, mutta kyseinen asia jäi hie-
man avoimeksi. Toisaalta voidaan työhön käytettyä työmäärää peilaten arvioida, ettei
kyseessä ollut kuitenkaan mitenkään erityisen suuri työmäärä, joskaan siitä ei voi pää-
tellä sen tekemiseen vaadittavaa osaamista. Varovaisesti arvioiden koneoppimismallin
rakentaminen vaatii suurta perehtyneisyyttä.

Aina ei välttämättä tarvitse tai kannata ryhtyä edes miettimään koneoppimisen tai mo-
nimutkaisten matemaattisten funktioiden hyödyntämistä, sillä yksinkertaisia raja-ar-
voihinkin perustuvia hälytyksiä on helppo tehdä omin voiminkin ja niitä voi laajentaa
yksinkertaisilla funktioilla mm. lisäämällä ylityskertojen määrää (esim. jos raja-arvo-
jen ylityksiä on yli kymmenen, niin laukaistaan hälytys) tai seuraamalla trendin tai
(rullaavan) keskihajonnan muutosta. Noux Noden raportin mukaan tulokset osoittavat,
että on mahdollista saavuttaa tyydyttäviä tuloksia kaikissa tapauksissa yksinkertaisilla
menetelmillä kuten rullaavan keskiarvo tai keskihajonnan prosentuaalinen muutos. Li-
säksi tulokset osoittavat, että kaikenlaiset poikkeamat voidaan havaita myös koneop-
pimismalleilla, mutta mallin luotettavuus pysyy kyseenalaisena käytettävissä olevan
rajallisen datamäärän vuoksi. (Noux Node Oy 2019.)

Data-analyysiä voi tehdä myös historiadatasta hyödyntämällä BI-ohjelmistoja (Busi-
ness intelligence), kuten vaikkapa QlikSense tai Tableau, mutta tässä työssä haluttiin
nimenomaan rakentaa reaaliaikainen järjestelmä, joka seuraa edge-ratkaisuna konepa-
rametreja ja mittausdataa, mahdollisesti pysäyttäen koneen ja antamalla hälytyksen
välittömästi ennekuin suurempaa vahinkoa pääsee edes tapahtumaan. BI-työkaluja ja
reaaliaikaisia seuranta- ja analysointijärjestelmiä ei tulisikaan nähdä kilpailijoina vaan
toisiaan täydentävinä työkaluina. BI-työkalulla voidaan vaikkapa tehdä havaintoja pit-
källä aikavälillä kerätystä historiadatasta, joiden perusteella voidaan rakentaa sopivia
seuranta-algoritmeja edge-järjestelmään. Toisaalta taas edge-järjestelmän (tarkemmin
aiheesta kohdassa 6.3.3) läpikäymä datamäärä voi olla huomattavan paljon suurempi,
jolloin sopivaa koneoppimismallia hyödyntämällä voidaan saada havaintoja, joita ei
BI-järjestelmällä ole mahdollista nähdä nopeasta vasteajasta puhumattakaan. Esimerk-
kinä tästä voisi olla vaikkapa tuotantokoneen kaikki mahdolliset ajoparametrit (jolloin
dataa voi tulla erittäin suuria määriä), jotka voidaan analysoida ja sen jälkeen jättää
tallentamatta tietokantaan tai pilveen. Tuotantokoneen datamäärä voi olla erittäin

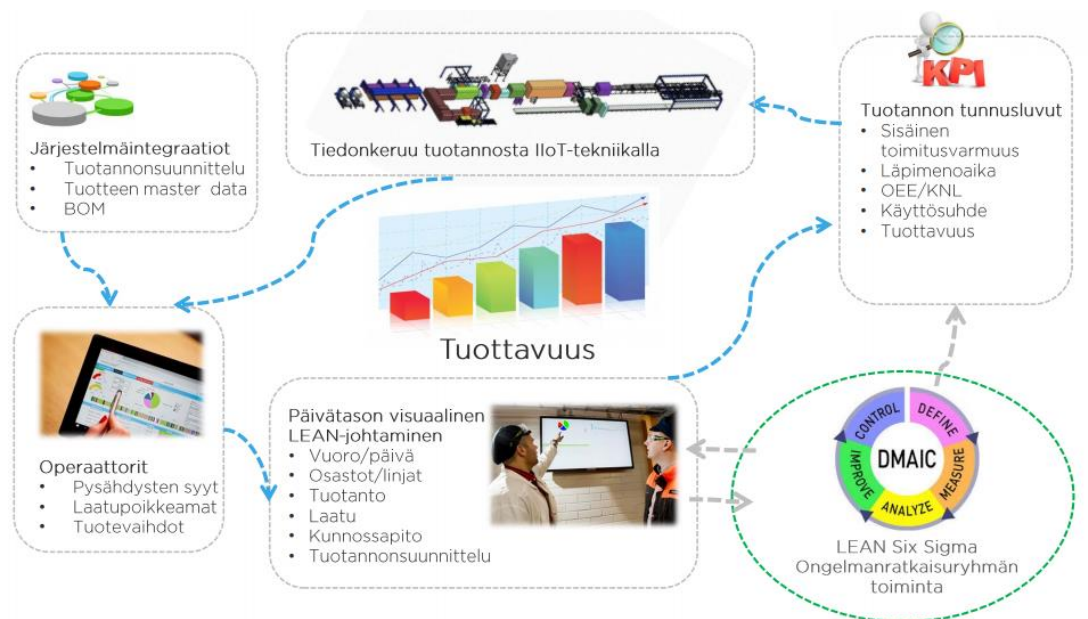
suurta, joten tällaisissa tilanteissa toki voidaan ottaa jokin tietty suunniteltu ajanjakso, vaikkapa kolme viikkoa määritellyin väliajoin, jonka aikana dataa tallennetaan myös tietokantaan BI-työkaluilla myöhemmin analysoitaviksi tai koneoppimismallin opettamiseksi. Samalla tulee myös arvioida näytteenottotaajuutta sekä datan varastointia. Prosessiparametreille ja mittaustuloksille voi olla myös erilainen datastrategia; yksi näyte per sekunti monessa yhteydessä voi olla riittävä, toisessa paikassa voidaan vaatia taas paljon tiheämpää näytteenottotaajuutta. Koneoppimismallit tarvitsevat paljon dataa toimiakseen luotettavasti, joten dataa on syytä alkaa kerätä heti kun mahdollista, vaikka sille ei vielä olisikaan selkeää tavoitetta (Noux Node Oy 2019).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

9.1 Yleistä

Jos verrataan Porterin ja Heppelmannin porrasmalliin (Kuvio 5) sekä teknologiapiinon (Kuvio 6), kokonaisuutena työ vietiin sen verran pitkälle, että voidaan todeta hyvinkin älykkään ja autonomisen järjestelmän olevan mahdollista rakentaa nykyteknologioilla. Se vaatii kuitenkin poikkitieteellistä osaamista, josta suuri osa saattaa löytyä jopa oman yrityksen sisältä, mikäli osaamista löytyy niin mekaniikkasuunnittelusta, automaatiosta sekä IT:stä ja hyödyntämällä sekä evaluoimalla mahdollisimman paljon valmiita osaratkaisuja. Ylivoimaisesti vaativin osa-alue on kuitenkin koneoppiminen ja sen tehokas hyödyntäminen. Selkeästi järkevintä on aloittaa tekemällä suhteellisen yksinkertaisia hälytysrajoja, joko kokeilemalla tai laskemalla ne esimerkiksi Cpk-arvojen perusteella (USL ja LSL). Toisaalta vaikkapa hiontakoneen ajoparametrejä ja post-process mittaustuloksia analysoimalla saatetaan löytää havaintoja esimerkiksi hionanesteeseen tai sen virtaukseen liittyvistä ongelmista, hiomakiven kulumisesta tai kiven ja koneen vääristä asetuksista. Näistä tiedoista olisi hyödyllistä rakentaa edge-ratkaisuna tuotannon laatua seuraava koneoppimismalli, joka pysäyttää koneen tiettyjen ehtojen täytyessä. Muiden muassa tällaisten teknisten ratkaisujen epävarmuutta voidaan onneksi pienentää hyödyntämällä korkeakoulujen ja kehitysorganisaatioiden osaamista ja hankerahoitusta. Työssä tuotiin myös esille kuinka julkisen puolen rahoitusta ja hankkeita voidaan hyödyntää oman kehityksen tukena.

Kokonaisuutta tarkasteltaessa opinnäytetyössä on loppujen lopuksi yllättävän paljon asioita, jotka nivoutuvat toisiinsa tuotannon kehittämiseen näkökulmasta kuten Kuvio 19 nähdään. Kokonaisvaltaisessa tuotannon kehityksessä tulisikin ottaa kaikki hyöty irti nykyaikaisista tuotantoteknologioista (mm. konenäkö, älykäs robotikka ja cobotit, mobiilirobotit jne.), datan keruu ja sen analysointi (OEE- ja muut tuotannon tunnusluvut sekä BI-työkalujen hyödyntäminen), Lean Six Sigman hyödyntäminen kaikessa toiminnassa sekä erillisenä ongelmanratkaisun työkaluna (ongelmakohtainen ”iskuryhmä”), sekä simuloinnin hyödyntäminen layout-muutoksissa, virtautusten, kapasiteettien, sekä läpimeno- ja tahtiaikojen evaluoinnissa.



Kuvio 19. Tuotannon digitalisointi – Lean päivittäisjohtamisen loop (Arrow Engineering Oy 2020)

9.2 Käyttöliittymäsuunnittelu

Opinnäytetyössä ei hyödynnetty minkäänlaista systemaattista tapaa toteuttaa toimiva käyttöliittymä, vaan edettiin tässäkin samalla iteroivalla tavalla. Operaattoreille suunnatun käyttöliittymän (Kuva 7) rakentamista ohjasi enemmänkin tarpeelliseksi katsotut toiminnot, kuin yleisilmeen visuaalisuus ja käytettävyys. Tapa on ihan toimiva erityisesti tällaisessa PoC-järjestelmän kehityksessä, mutta jos projektilla olisi ennalta määrätty tiukempi budjetti, aikataulu ja tavoite, sekä vaikkapa erillinen oma mobiili-sovellus, niin aivan ”polven päältä” tehtynä niitä ei enää voitaisi kehittää, vaan tarvitaan systemaattinen tapa päätyä haluttuun lopputulokseen. Eräs aikaisemminkin työelämässäni törmäämäni kehitystapa, joka esitellään myös LinkedInin maksullisessa, Drew Falkmanin kurssilla Chief Technology Officer Career Guide, on yksinkertaistettuna seuraavanlainen:

- Käyttäjä- ja business-casen ymmärtäminen
- Määritellään vaatimukset huolella

- Luodaan rautalankamalli (skeleton tai wireframe) sekä käyttäjäpolku (user flow)
- Rautalankaa hyödyntämällä graafikko luo oman näkemyksensä tulevasta käyttöliittymästä.
- Valmistetaan prototyyppi, joka näyttää ja on käytettävyydeltään oikeanlainen, mutta joka voidaan tehdä nopeasti kuitenkin rakentamatta koko toiminnallisuutta eri toimintojen taakse (käyttämällä esimerkiksi Adobe XD, Invision tai Axure RP-ohjelmistoja).
- Rakennetaan minimum viable product (MVP), eli ohjelma, johon toteutetaan aluksi vain kaikkein oleellisimmat toiminnot. Tämä on versio, joka voidaan antaa testikäyttäjien käytettäväksi nähdäksemme idean toimivuuden, ennen kuin siihen käytetään suurempia määriä aikaa ja resursseja.

Aiheesta löytyy paljon tutkittua tietoa ja hyväksi havaittuja metodeja, jonka lisäksi käyttöliittymäsuunnittelu pelkästään olisi jo oman opinnäytetyönsä arvoinen aihe, joten tässä aihetta ei käsitellä tämän enempää. Jokainen voi käyttää parhaaksi katsoomaansa suunnittelutapaa, mutta jo pelkkä asian tiedostaminen ja sen huomioiminen suunnittelussa tai järjestelmää hankittaessa on varmasti hyödyksi.

9.3 PoC ja tekninen velka

Opinnäytetyössä rakennettiin käyttökelpoinen PoC-järjestelmä, joka toimii samalla toiminnallisena vaatimusmäärittelynä, jonka avulla ymmärretään paremmin, mitä järjestelmältä todella halutaan ja jonka avulla voi etsiä kaupallista tuotetta. Itse alusta alkaen rakennetun, ja alun alkaen PoC-järjestelmäksi rakennetun järjestelmän kanssa tulee huolellisesti puntaroida ja kontrolloida myös niin sanottua teknistä velkaa. Yli-Huumo kuvaa teknistä velkaa seuraavalla tavalla: ”Teknisellä velalla viitataan ohjelmistokehityksen käsitteeseen, jossa ylimääräistä kehitystyötä syntyy tahallisen tai tahattoman päätöksen sivuvaikutuksesta, kun koodin tuottamisessa parhaan kokonaisratkaisun sijasta käytetään helppoa ja nopeaa toteutusta lyhyellä aikavälillä.” (Yli-Huumo 2017.) Kuviossa 20 nähdään yhteenvetona teknisen velan aiheuttamia hyötyjä ja haittoja pitkällä sekä lyhyellä aikavälillä.

	Short-term effects	Long-term effects
Technical effects	<p><i>Simple technical solutions, which do not require refactoring of existing solutions and can fulfill the requirements of the task. Technical debt does not have a major effect on quality.</i></p>	<p><i>Technical debt creates complexity to software, which decreases the overall quality, maintainability and scalability. As a side-effect it creates bugs, errors and defects, which have to be dealt with by refactoring.</i></p>
Organizational effects	<p><i>Increased development speed and time-to-market. Possible positive effects on increased customer satisfaction, company reputation and cost savings.</i></p>	<p><i>Technical debt creates extra working hours and costs, because development productivity decreases and maintainability requires more time. Decreased productivity can be seen also in customer satisfaction and developers' low motivation.</i></p>

Kuvio 20. Yhteenveto teknisen velan aiheuttamista lyhyen ja pitkän aikavälin vaikutuksista (Yli-Huumo 2017)

Teknisen velan määrän kasvaessa usein myös järjestelmän kompleksisuus kasvaa, joka voi johtaa tilanteeseen, jossa huomattavan suuri osa IT-budjetista koostuu vanhojen järjestelmien ylläpidosta, eikä rahaa enää riitä uusien, uudemmalla teknologialla rakennettujen järjestelmien kehitykseen. Myös integraatio eri aikakausilta olevien järjestelmien kesken saattaa olla monimutkaista, jolloin saatetaan menettää digitalisaation mahdollistamia teknologisia uudistuksia tai lisätään teknistä velkaa rakentamalla näiden välille erikoisratkaisuja. Teknisen velan kertymistä voidaan myös rinnastaa koronmaksuun, joka on suoritettava jokainen kerta, kun järjestelmään tehdään uusia asioita. Teknistä velkaa voi myös kertyä osaamattomuudesta, piittaamattomuudesta tai laiskuudesta. (Niemistö 2019)

Hyödyntämällä valmista IoT-alustaa voidaan hallita teknisen velan määrää, sillä IoT-alustat usein sisältävät valmiiksi hiottuja kokonaisuuksia ja dashboardeja, sekä valmiita analytiikkakomponentteja, joita ei useinkaan ole järkevää lähteä rakentamaan oman organisaation voimin. Toisaalta valmiita IoT-alustoja markkinoidaan tällä hetkellä voimakkaasti ja käyttöönoton väitetään olevan helppoa mitä se ei kuitenkaan välttämättä ole. Jason Shepherdin (Dell Inc:n IoT strategia- ja kumppanuusjohtaja) mukaan itsetehdyissä IoT-järjestelmissä räätälöintiaste on noin 90% ja hyvissäkin IoT alustoissa se on noin 20-30%:n luokkaa – jossa siis riittää edelleen kehitettävää. (IoT World Today 2016.) Valmiitakin alustoja käyttämällä on kuitenkin tehtävä integrointi yrityksen muihin järjestelmiin ja tämän onnistuminen riippuu myös osaltaan siitä, kuinka hyvin yrityksen aikaisemmat järjestelmät on pystytty pitämään ajan tasalla. Alustan räätälöinti ja yrityskohtainen kehittäminen voi olla hankalaa ja onkin syytä selvittää, voidaanko omin voimin tehdä pieniä muutoksia, vai joudutaanko konsulttiyrityksen ”lypsylehmäksi” tai millaisella aikataululla mahdollisia muutoksia saadaan toteutettua. Myöskään alustojen hinnoittelu erityisesti PK-sektorin yritykselle ei usein ole järkevällä tasolla, joskin saatavilla on myös ilmaisia dashboardeja, kuten Node-RED, johon on myös saatavilla kattavasti lisäosia, kuten OPC UA-client (aiheesta enemmän kohdassa 9.5).

9.4 Yhteistyön merkitys ja sen lieveilmiöt

Opinnäytetyötä tehdessä havaittiin, kuinka teollisen internetin järjestelmiä rakennettaessa yhteistyö organisaation eri osastojen välillä on onnistumisen kannalta keskeistä.

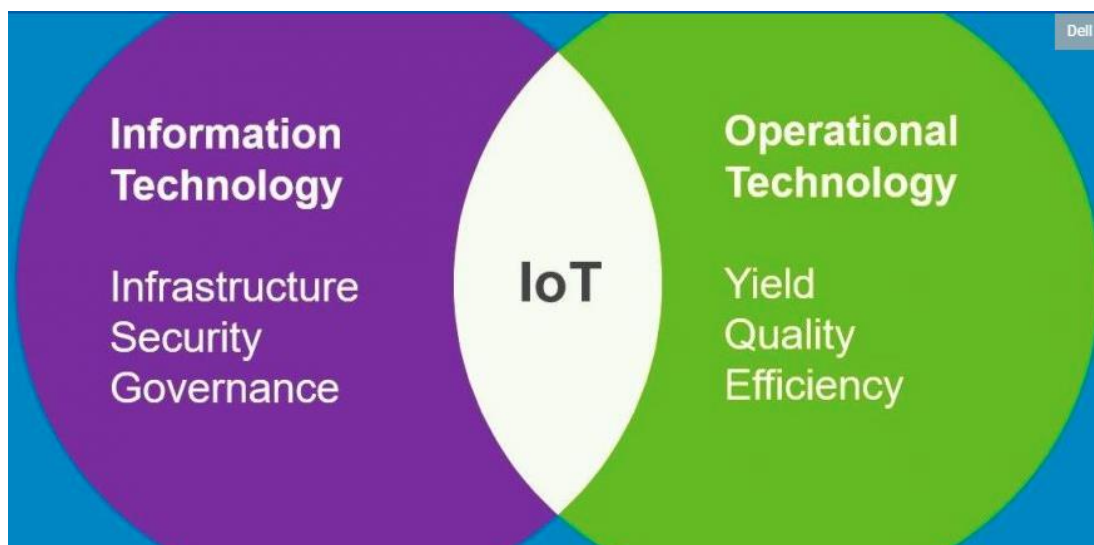
Perinteisellä operatiivisella teknologialla (OT, Operational Technology) tarkoitetaan lähes kaikkea teollisuusautomaation piiriin laskettavia teknologioita, joilla voidaan vaikkapa ohjata venttiileitä, pumppuja, moottoreita, kuljettimia tai teollisia mittalaitteita ja työstökoneita. Yhteistä näille teknologioille on suora, reaaliaikainen (tai lähes reaaliaikainen) fyysisen prosessin ohjaus, toimintavarmuus ja saatavuus. Tietotekniikka (IT, Information Technology) taas perustuu ohjelmointiin ja symboleihin, jonka

maailma verrattuna operatiiviseen teknologiaan perustuu digitaalisuuteen, epävaakaampiin järjestelmiin, nopeampaan kehitykseen ja lisäksi sen yleinen ilmapiiri näyttyy uudistusmielisempänä ja kokeilevampana verrattuna konservatiiviseen automaatioleiriin. (Collin & Saarelainen 2016.) Kuvassa 18 esitetään Collinin ja Saarelaisen näkemys organisaation sisäisistä ”leireistä”.

 <p>"Koneleiri" = ot</p>	 <p>"Internet-leiri" = it</p>
<ul style="list-style-type: none"> • koeteltu tekniikka • fyysinen prosessi • välitön vaikutus liiketuloon • järjestelmien äärimmäinen vakaus • osaamisalue: mekaniikka, automaatio • vähän vapauksia muutokseen • pitkät elinkaaret • ohjelmistokehitys ei pc:lle • hidas julkaisusykli • vesiputousmalli • valmistajakohtaiset standardit 	<ul style="list-style-type: none"> • uusi tekniikka • digitaalinen prosessi • epäsuora vaikutus liiketuloon • järjestelmien normina epävakaus • osaamisalue: tietotekniikka, palvelut • paljon vapauksia muutokseen • lyhyet elinkaaret • ohjelmistokehitys pc:lle • nopea julkaisusykli • ketterä malli • avoimet standardit

Kuva 18. Operatiivisen teknologian ja tietoteknologian eroja (Collin & Saarelainen 2016)

IoT-järjestelmien kehityksessä nämä kaksi eri maailmaa kohtaavat, jolloin ei aina voida myöskään välttyä yhteentörmäyksiltä. Kuitenkin, mikäli nämä kaksi leiriä saadaan puhaltamaan yhteen hiileen sekä ymmärtämään ja hyväksymään toistensa erot ja samalla näkemään niitä yhdistävät hyödyt, saadaan lopputulos, jolla on huomattavan suuria mahdollisuuksia prosessien ja järjestelmien kehityksessä. (Collin & Saarelainen 2016.) Kuvassa 19 Dell:n näkemys miten IoT yhdistää operatiivisen teknologian ja IT-järjestelmät.



Kuva 19. Dell:n näkemys IoT:n yhteydestä OT:n ja IT:n suhteen (IoT World Today 2016)

Operatiivista teknologiaa on pienin, varovaisin askelein mahdollista muuttaa myös IT-ohjatuksi, jolloin tuotantovälineitä voidaan myös ohjata IT:n avulla, eikä sitä hyödynnetä pelkästään datankeruuseen ja datan varastointiin. On kuitenkin syytä huomata, että vaikka monet osapuolet hyötyvätkin tästä muutoksesta, niin se myös altistaa operatiivisen teknologian IT-leirin ongelmille, kuten tietoturva, epävakaas, tekninen velka ja niin edelleen. Tähän on tosin olemassa teknologioita, joilla pahimmat sudenkuopat voidaan välttää, aiheesta lisää kappaleessa 9.5. Vaikka operatiivinen teknologia saattaa olla vierasta IT-ihmisille, niin perinteisesti IT-osastoilla on ollut vetovastuu teollisen internetin järjestelmien toteuttamisessa. Näin on usein toimittu sen vuoksi, että OT-puolen osaajilta yleensä puuttuu IoT:n vaatima tietotekninen asiantuntemus sekä kokonaisvaltainen näkemys yrityksen IT-toiminnoista ja niiden vaikutuksesta liiketoimintaan, sekä kyky testata ja kehittää teollisen internetin ratkaisuja. Tämä voi herättää negatiivisia tunteita organisaation sisällä. (Collin & Saarelainen 2016.) Teollisen internetin projektin vetäjäksi voisi sopia myös yrityksen kehitysosasto, jolla on usein näkemystä operatiivisesta teknologiasta, mutta mahdollisesti myös IT-puolesta sekä järjestelmän vaikutuksesta tuotannon tehokkuuteen, laadunparantamiseen sekä liiketoimintavaikutuksiin.

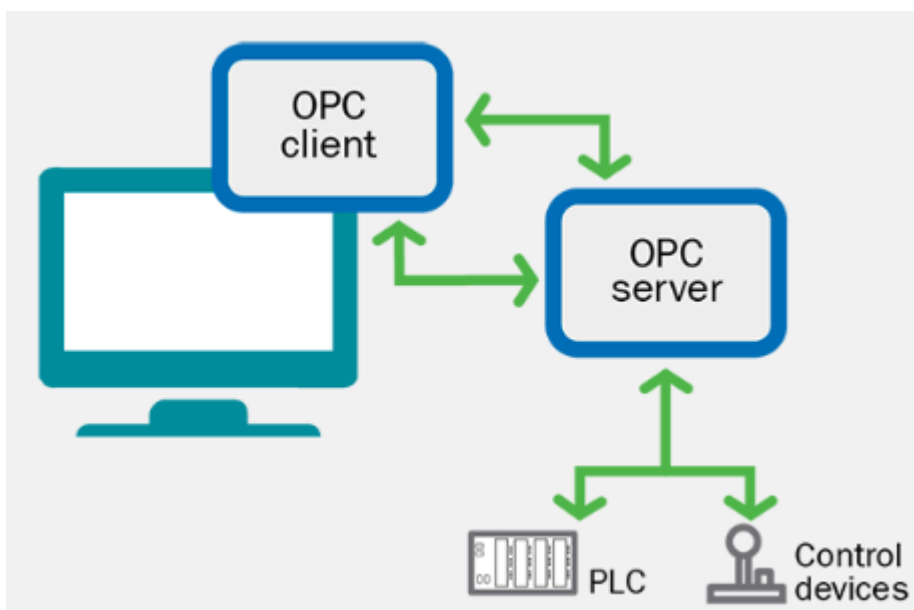
Järjestelmien loppukäyttäjien mielipide ja osallistuminen kehitykseen on myös erittäin tärkeässä asemassa ja loppukäyttäjät onkin syytä sitouttaa järjestelmän kehitykseen jo

valmisteluvaiheessa, sillä muutoin ei saada kattavaa kokonaiskuvaa järjestelmän toiminnallisista vaatimuksista ja käytettävyydestä. Tämä osaltaan myös vähentää muutostavastarintaa. (Collin & Saarelainen 2016.) Kuitenkin, kuten lähes kaikkien suurempien projektien tai käytäntöjen onnistumisen edellytyksenä on johdon sitoutuminen. Teollisen internetin järjestelmiä kehitettäessä tämä voidaan parhaiten varmistaa tekemällä siitä strategiatason päätös, joka oikeuttaa organisaatiot tekemiselle ja samalla aiheelle osoitetaan budjetista resursseja. (Collin & Saarelainen 2016.)

Kohdeyrityksessä yhteistyö IT:n ja automaation välillä on toimivaa, luontevaa ja itseohjautuvaa, sillä molemmat osapuolet näkevät datan merkityksen ja sen tuomat mahdollisuudet nyt ja tulevaisuudessa. Luontevana rajapintana vastuualueiden välillä on toiminut OPC UA-serveri sekä siitä logiikan ja prosessilaitteiden suuntaan olevat asiat, jonka hoitaa automaatiopuoli ja IT-puoli hoitaa clientista muuhun IT-järjestelmiin liittyvät asiat.

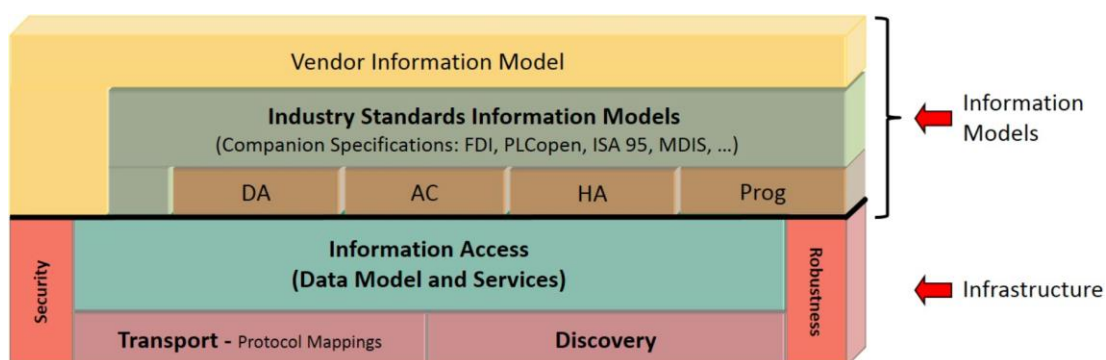
9.5 Liitettävyyden ja datan saannin varmistaminen

Yhtenä ratkaisuna kappaleessa 9.4 mainittuihin OT- ja IT-leirien näkemyseroihin, voidaan hyödyntää lähes kaikissa nykyaikaisissa ohjelmoitavissa logiikoissa löytyvää OPC UA -protokollaa. OPC UA on aiheena hyvin laaja, joten tässä kappaleessa esitellään lyhyesti sen tuomat hyödyt sekä toimintaperiaate. OPC UA on käyttöjärjestelmäriippumaton ja palvelukeskeinen arkkitehtuuri, joka tarjoaa tietoturvallisen tavan välittää tietoa koneelta IT-järjestelmiin (Kuvio 21).



Kuvio 21. OPC UA:n client-server toimintamalli (Novotek AB 2020)

Se vaikuttaa olevan tämän hetken de facto -standardi useimmilla työstökone- ja hiontakonevalmistajilla datanvälityksen ratkaisuksi muihin järjestelmiin ja mobiiliympäristöihin. Kuviossa 22 OPC UA:n arkkitehtuurikuvaus, jossa näkyy standardin tarjoamat valmiit informaatiomallit, sekä muiden organisaatioiden ja laitevalmistajakohtaiset informaatiomallit.



Kuvio 22. OPC UA:n arkkitehtuurikuvaus (OPC Foundation 2015)

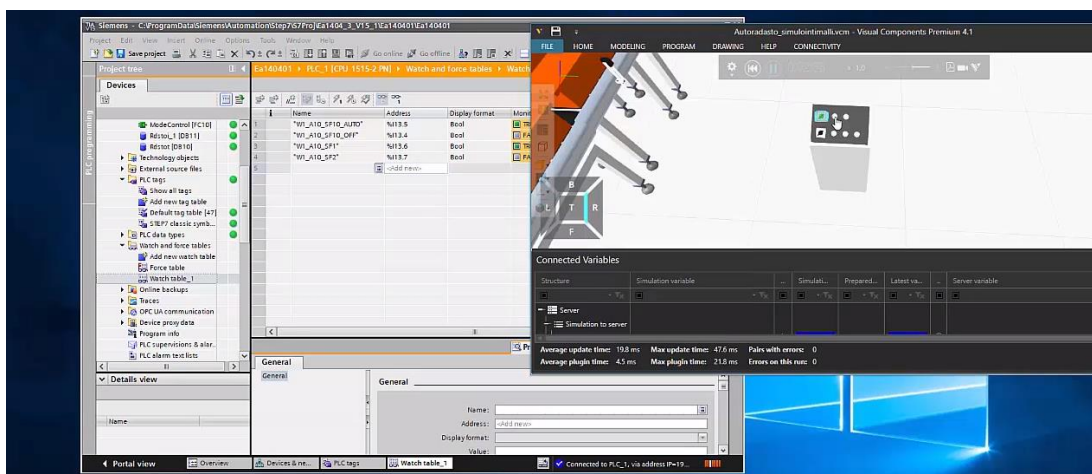
Standardin tarjoamat perusinformaatiomallit ovat:

- Data Access/Address space; kaikki serverillä jaettavaksi määritelty käyttöi-
keuskohtainen data voidaan esittää hierarkkisenä puurakenteena (tiedostot,
kansiot) OPC UA-clientin hyödynnettäväksi, esimerkiksi energiankulutus,
sensoridata tai muu diagnostiikkadata.

- Alarms & Conditions; tarjoaa hälytyksiä ja tilatietoa serveriltä, joilla usein on vaadittu interaktiivisuutta operaattorilta, esimerkiksi kone pyytää huoltoa, jokin käyttäjän määrittelemä hälytysraja ylittyy, tai tuotantoerä vaatii toimenpiteitä ennen tuotannon jatkumista.
- Historical event access; rajapinta tarjoaa historiatietoa ilmoituksista, hälytyksistä, operaattorin toimenpiteistä tai koneelle annetuista uusista prosessikäsytystä. Varastona toimii yleensä esimerkiksi SQL-kyselykieltä käyttävät tietokannat ja OPC HDA-palvelin tarjoaa sen käyttämiseen tarvittavat rajapinnat.
- Historical data access; rajapinta tarjoaa historiatietoa ja kevyitä analysointiominaisuuksia koneen käyttäytymisestä, kuten vaikkapa minimi- ja maksimiarvoja, keskiarvoja, trendejä. Varastona toimii yleensä esimerkiksi SQL-kyselykieltä käyttävät tietokannat ja OPC HDA-palvelin tarjoaa sen käyttämiseen tarvittavat rajapinnat.
- Programs/Methods: tämän rajapinnan kautta client voi suorittaa ohjelmia tai metodeja, jotka ovat erikseen määritelty serverillä. (OPC Foundation 2015.)

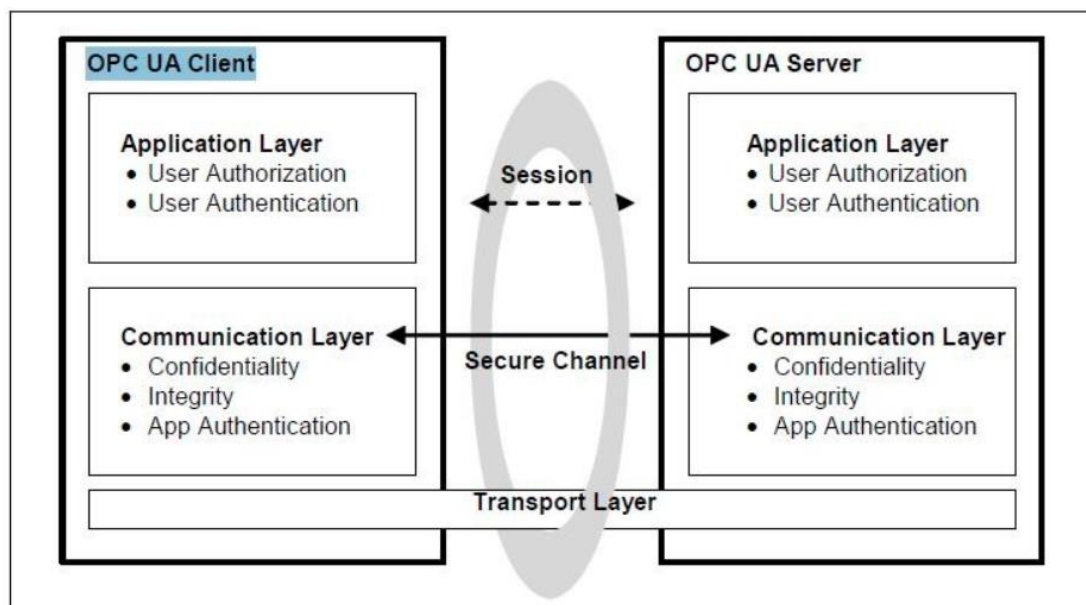
Valmistajakohtaista dataa saatetaan kyllä saada tuotantokoneelta ilman informaatiomalliakin, mutta ilman sitä data ei ole jäsenneltyä eikä tiedetä mitä se on, joten sen tuottama hyöty on rajallista. Tämä tulee ottaa huomioon jo laiteinvestointeja tehdessä, sillä konevalmistajan on toimitettava koneen informaatiomalli tai schema, jotta data voidaan jäsentää. Tämä on mahdollista koneen hankinnankin jälkeen, mutta tällöin laitevalmistaja voi pyytää sen rakentamisesta ja toimittamisesta lisähintaa. Schemalla voidaan siis rajata mitä dataa koneesta (server) halutaan antaa jaettavaksi vastaanottajille (client). Informaatiomallin läpikäymiseen on syytä varata oma aikansa laitevalmistajan kanssa.

Clientin rakentamiseen voidaan hyödyntää myös simulointiohjelmistoja. Simulointiohjelmisto mahdollistaa yritykselle clientin toiminnallisuuden tai muun ohjauksen rakentamisen ja testaamisen, vaikka tilattu kone ei olisi vielä saapunut, mutta sen informaatiomalli on käytettävissä. Kuvassa 20 Satakunnan ammattikorkeakoulun automaatiotutkimusryhmän rakentama yhteys Visual Components simulointiohjelmiston (client) ja ohjelmoitavan logiikan välille (server). Vastaavan kaltaisesta hyödyntämisestä myös tämän työn osiossa 5.1.3.



Kuva 20. Visual componentsin ja OPC UA serverin yhdistäminen (Satakunnan ammattikorkeakoulu 2018)

OPC UA on suunniteltu tietoturvalliseksi. Kuviossa 23 esitetään OPC UA-protokollaan sisäänrakennettu tietoturvaratkaisu, joka takaa sisäverkossa tapahtuvan tiedonsiirron tietoturvan.



Kuvio 23. OPC UA:n kommunikointikerros (OPC Foundation 2015)

Seuraavassa muutama tietoturvaa lisäävä huomio:

- Mikäli dataa halutaan jakaa pilveen vaikkapa big data-analyysejä varten, sitä ei tarvitse siirtää sinne suoraan tuotantokoneelta, vaan tietoa voidaan halutessaan

siirtää pelkästään koneen ja sisäverkossa olevan lukuohjelman välillä (server-client). Seuraavaksi client-ohjelma kirjoittaa datan tietokantaan, josta se voidaan hallitusti siirtää pilveen, jolloin sitä käsitellään normaalina IT-toimintona. Näin toimittuna ei tarvitse olla huolissaan tuotantokoneen tai sieltä saatavan datan tietoturvasta normaalia enempää.

- Pilvessä suoritettavan data-analyysin sijaan tietokannassa olevaa tietoa voidaan analysoida myös BI-työkaluilla, kuten vaikkapa Tableau tai Qlicksense. Tätä aihetta käsitellään myös kohdassa 8.6.
- Mikäli on tarve nopealle analytiikalle tai tarve läpikäydä suuri määrä dataa, voidaan käyttää edge-pohjaista ratkaisua analysointia varten, kuten kohdassa 8.6 mainitaan, jonka jälkeen data voidaan joko hävittää tai siirtää IT-järjestelmiin.
- Tuotantokone on serveri ja lukuohjelmat ovat clientteja. Serverillä voidaan tehdä käyttäjärajoituksia tai rajoittaa clientille jaettavaa jäsenettyä dataa parantaen näin myös tietoturvaa.

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä OPC UA:n hyödyntäminen kohdeyrityksessä on vielä toistaiseksi vähäistä, mutta aktiivisia projekteja on kuitenkin jo aloitettu ja mielenkiinto sitä kohtaan on suuri. Kartioporan modernisoinnin tapauksessa OPC UA:n hyödyntäminen ei ollut vaihtoehtona esillä, mutta toisaalta siinä käytettävä logiikka on vanha ja yksinkertainen, eikä siitä löydy sisäänrakennettua OPC UA-serveriä. Sen lisäksi, kaikki data siirretään älykameran ja IT-infran välillä, eikä ohjelmoitavan logiikan kautta (arkkitehtuurikuvaus Kuviossa 9). OPC UA on kuitenkin syytä huomioida tulevilla modernisoinneilla ja laitehankinnoilla.

9.6 Loppusanat

Sain aikoinaan kimmokkeen aloittaa YAMK-opinnot, koska koin olleeni suunnittelu-tehtävissä sen verran pitkään, että olisi aika tehdä jotain muuta, mutta pysyä kuitenkin samalla alalla. Minulla oli tunne, että ajansaatossa mukaan oli tullut lukuisia uusia teknologioita, joissa on ilmiselvää potentiaalia, mutta ne ovat jääneet itselleni hieman

kaukaisiksi. Suunnittelutehtävissä uusien teknologioiden hyödyntäminen saattaa välillä olla melko kaukaista perustyön ollessa loppujen lopuksi melko kaavamaisista ja konservatiivista puurtamista, ja koin ettei uusien teknologioiden hyödyntämiseen ole juurikaan vaikutusmahdollisuuksia. Halusin siis päivittää oman tietotaitoni tältä osin ja oppia hyödyntämään näitä teknologioita oikeissa paikoissa, siis löytämään näiden teknologioiden järkevät raamit, joissa niitä on järkevää hyödyntää ja mihin niistä ei ole. Uusien työpaikkojen ja opiskelun myötä tutustuin moniin uusiin ihmisiin ja teknologioihin (mm. robotiikka, iot, simulointi), kehitystyöhön ja julkisesti tuettuihin rahoitusinstrumentteihin, sekä valmistavaan teollisuuteen. Jälkikäteen voin todeta, että tämä hyppäys vastasi kaikkeen siihen mitä olin toivonutkin, ja koen että olen taas ajan tasalla mitä teknologiaympyröissä tapahtuu. Tämä kai lienee jonkinlainen esimerkki jatkuvasta oppimisesta. Opinnäytetyö on mielestäni hyvä kuvaus poikkitieteellisestä yhteistyöstä, tuotekehityksestä, data-analytiikasta sekä systemaattisesta ongelmanratkaisusta.

Opinnäytetyö oli henkilökohtaisesti erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen, ja mielestäni onnistuin hyvin kasvattamaan omaa ymmärrystäni matkan varrella työtä tehdessä, sekä omaksuttuani koulun aihetta tukevilta kursseilta sopivia asioita työhön. Opin paljon iot-järjestelmän rakentamisesta, simuloinnista ja valmistavasta teollisuudesta, tuotannon laadusta ja sen systemaattisesta parantamisesta, pilotoinnista, tuotekehityksestä sekä käyttöönotosta ja käyttäjäpalautteesta. Kuitenkin hieman yllättäen mielenkiinto dataan ja sen analysointiin kasvoi työn aikana niin suureksi, että sillä tulee varmasti olemaan kasvava rooli henkilökohtaisen kehittämiseni tiellä.

Vaikka lähes koko tunteiden kirjo onkin tullut käytyä läpi työn aikana, niin palkitsevinta on kuitenkin jälkikäteen nähdä toimiva ja ennen kaikkea hyödyllinen lopputulos, jota pienen alkushokin jälkeen operaattoritkin lopulta käyttävät ja kokevat tarpeelliseksi, järjestelmän antaessa heille parempaa läpinäkyvyyttä tuotantoon ja sen laatuun. Hieman vastaavan kaltaisia järjestelmiä on jo alettu rakentaa muillakin osastoilla, joten toivottavasti tämä työ myös osaltaan rohkaisee lisäämään tuotannon digitalisointia.

LÄHTEET

Arcidiacono, Gabriele & Alessandra, Pieroni. 2018. The revolution Lean Six Sigma 4.0. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*.

Arrow Engineering Oy. 2020. Teoksessa 5 vinkkiä tuotannon johtamiseen digitalisaation keinoin.

Choi, Byoung Kyu & Kang, Donghun. 2013. *Modeling and Simulation of Discrete Event Systems*. Wiley.

Collin, Jari & Saarelainen, Ari. 2016. *Teollinen internet*. Alma Talent.

Helmee Imaging Oy. 2016. *The future of quality inspection*.

Hessing, Ted. *Process Capability (Cp & Cpk)*. 2014. Viitattu 23.8.2019. <https://sixsigmastudyguide.com/process-capability-cp-cpk/>

IoT World Today www-sivut. 2016. Viitattu 9.2.2020. <https://www.iotworldtoday.com/2016/04/20/partnering-dell-announces-shift-it-iot/>

Neorem Magnets Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 23.8.2019. <http://neorem.fi/neorem-magnets-company/>

Niemistö, Tero. 2016. Viitattu 12.10.2019. <https://blog.digia.com/tekninen-velka-yrityksesi-suurin-digitalisaation-jarru>

Noux Node Oy. 2019. *Robocoast Challenge: Measuring with AI Report*

Novotek AB:n www-sivut. Viitattu: 9.2.2020. <https://www.novotek.com/uk/solutions/kepware-communication-platform/opc-and-opc-ua-explained/>

Porter, Michael & Heppelmann, James. 2015. Viitattu: 27.2.2020. <https://hbr.org/2015/10/how-smart-connected-products-are-transforming-companies>

OPC Foundation www-sivut. 2015. Viitattu: 9.2.2020. <http://wiki.opcfoundation.org/index.php/File:SecurityLayers.jpg>

Quality Knowhow Karjalainen Oy:n www-sivut. Viitattu 23.8.2019. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/laatu-puhuttaa-suomessa/>

Quality Knowhow Karjalainen Oy www-sivut. Viitattu 23.8.2019. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/etusivu/>

Sanjay Jain, Guodong Shao & Seung-Jun Shin, 2017. Manufacturing data analytics using a virtual factory representation, *International Journal of Production Research*, 55:18, 5450-5464, DOI: 10.1080/00207543.2017.1321799

Satakunnan ammattikorkeakoulun automaatiotutkimusryhmän youtube-sivusto. 2018. Viitattu 9.2.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=Dw2NwBzgHJ8&feature=youtu.be>

Spectral engines Oy:n www-sivut. 2018. Viitattu: 9.2.2020. <https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference>

Torkkola, Sari. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Alma Talent.

TechTarget Inc.:n www-sivut. 2019. Viitattu 25.2.2020. <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP-IP>

Vaishnavi, V. & Kuechler, W. 2004. Design Science Research in Information Systems.

Visual Components Oy:n www-sivut. 2017. Viitattu 31.1.2020. <https://www.visual-components.com/insights/blog/kuka-invests-in-the-factory-of-the-future/>

Visual Components Oy:n www-sivut. 2020. Viitattu 31.1.2020. <https://forum.visual-components.com/>

Yli-Huumo, Jesse. 2017. The role of technical debt in software development.