



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Roland Rauvala

Vedenerotinlinjan häiriöiden vähentäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

13.11.2019

Tekijä Otsikko	Roland Rauvala Vedenerotulinjan häiriöiden vähentäminen
Sivumäärä Aika	41 sivua 13.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	elektroniikka
Ohjaajat	manufacturing engineering leader Teuvo Reinikainen yliopettaja Matti Fischer
<p>Insinööriyön aiheena oli GE Healthcare Oy:n vedenerotulinjaston kehittäminen, jossa on hyödynnetty Six Sigma -teoriaa. Vedenerotulinjasto tuottaa D-Fend Pro -vedenerottimia, joita on aikaisemmin tehty käsin. Linjastoa on vaiheittain automatisoitu ja erityisesti viimeisin automaatiokokonaisuus on tuottanut ongelmia ja paljon pysäytyksiä. Tavoitteena opinäytetyössäni oli löytää juurisyyt ongelmille koko linjastolta ja korjata ne kollegoiden avustuksella, mikäli mahdollista.</p> <p>Työssä aluksi seurattiin ongelmien toistuvuutta, ja tarkoituksena oli löytää ongelma, joka eniten hidastaa linjaston tuottavuutta. Kerätyllä datalla saatiin priorisoitua ongelmien vakavuus käyttäen Six Sigma -työkaluja. Six Sigma -työkaluista apuna käytettiin työssä Pareto -analyysiä, syy-seurauskaaviota, 5 kertaa miksi -tekniikkaa ja DMAIC-mallia. Six Sigman pääperiaate on tavoitella kohti nollaa virhettä.</p> <p>Kun ongelmat oli järjestetty niiden vakavuuden mukaisesti, alkoi ongelmien juurisyiden etsintä. Mahdollisen juurisyyn löydyttyä alettiin pohtia toimivinta ratkaisua ongelmaan. Kun ratkaisu keksittiin, ryhdyttiin heti korjaus toimenpiteisiin ja korjauksen jälkeen seurattiin, poistuiko ongelma lopullisesti. Aina ongelma ei ratkennut ensimmäisellä korjauksella, mikä taas johti kysymykseen, onko juurisyy oikea vai pitääkö ratkaisua vielä kehittää. Kehitystyötä jatkettiin, kunnes ongelma lopulta saatiin korjattua.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena häiriöitä saatiin vähennettyä huomattavasti. Ensimmäisellä viikolla häiriöitä oli 476 kappaletta viikossa, kun viimeisellä viikolla häiriöitä oli enää 89 kappaletta viikossa. Six Sigman avulla ongelman syy pystyttiin määrittämään tehokkaammin, jolloin myös ratkaisujen löytäminen linjaston häiriöihin oli helpompaa ja nopeampaa.</p> <p>Linjastoa olisi voinut vielä kehittää huomattavasti, jos aikaa ja resursseja olisi ollut enemmän. Linjastolle oli jo projektin aikana kehitteillä uusia laitteita, jotka tulevat nopeuttamaan prosessia sekä tuomaan todennäköisesti lisää varmuutta tuottavuuteen.</p>	
Avainsanat	automaatio, DMAIC, linjasto, Six Sigma, vedenerotin

Author Title	Roland Rauvala Reducing the Failures of Automated Water Trap Line
Number of Pages Date	41 pages 13 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electronics
Instructors	Teuvo Reinikainen, Manufacturing Engineering Leader Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>The subject of this bachelors' thesis study was improvement and development of GE Healthcare Inc.'s automated lines by using the Six Sigma -theory. Automated lines are producing D-Fend Pro -water traps. The line has been automated piece by piece, and especially the latest automation part has caused a lot of problems and interruptions in the line. Goal in this thesis work was to find the root causes to the problems and fix them if possible, with the help of colleagues.</p> <p>In the beginning data, was collected and monitored to find how the problems repeat themselves and to find the one problem, which has the biggest effect. By using Six Sigma tools, the problems were prioritized. Out of the Six Sigma tools the ones that were used were Pareto -analysis, cause-and-effect diagram, Five whys and DMAIC -model.</p> <p>When the problems were organized by their severity, the search for the root cause began. When the possible root cause was found, the search for the solution started. When the key to solve the problem was figured out, an instant action was taken to fix the problem and after that, it was monitored if the fix was successful. The problem was not always fixed on the first try, which lead to a question if the root cause was correctly found or if the fix needed development. This cycle was continued until the problem was fixed.</p> <p>As the result of the thesis work, the amount of problems dropped significantly. On the first weeks there were 476 registered problems and on the last week of the project the amount of problems was only 89. Usage of Six Sigma lead to easier and faster solving of the problems.</p> <p>The automated line could have been developed even further, if there had been more time and resources. There were already new devices in development to increase the speed and productivity of the line.</p>	
Keywords	Automation, DMAIC, Line, Six Sigma, Water Trap

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Tuotteiden esittely	3
2.1	D-Fend Pro ja D-Fend Pro+ -vedenerottimet	3
2.2	Moduuli ja monitori	5
3	Vedenerotinlinjaston lyhyt esittely	8
3.1	Linjaston alkupää	9
3.2	Laserhitsaus	10
3.3	Säiliörobotti	10
3.4	Klipsirobotti	11
3.5	Lasermerkintärobotti	12
3.6	Pakkausrobotti	13
4	Six Sigma	14
4.1	Six Sigman tausta	14
4.2	Six Sigma periaate	14
4.3	Six Sigma työkaluja	16
4.4	Prosessin parannus Six Sigmalla	20
5	Six Sigma vedenerotinlinjaston kehittämisessä	22
5.1	Määrittely-vaihe	22
5.2	Mittaus ja analysointi -vaihe	24
5.3	Parannus -vaihe	28
5.3.1	Vaakatietokoneen kommunikointi	28
5.3.2	Tarranauhan katkeaminen.	29
5.3.3	HeatSeal-laitteen jumittuminen ja tarran välistäjättö	30
5.3.4	Runkojen tukkeutuminen	31
5.3.5	Runkojen päällekkäisyys	32
5.3.6	Runkojen syöttö	34
5.3.7	Kansien syöttö	34
5.3.8	Lasermerkintärobotin turhat hylkäykset	36

5.4	Seuranta -vaihe	37
6	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Lyhenteet ja käsitteet

ABB	ASEA Brown Boveri; ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni. Robottien valmistaja.
ASEA	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget.
D-Fend	GE Healthcare:n tuote. Irrotettava vedenerotin, joka suojaa sensoreita kosteudelta, eritteiltä ja bakteereilta hengitysparometri mittauksessa.
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control. Suomeksi: määrittele, mittaa, tulkitse, paranna ja hallitse. Six Sigma -työkalu tilastolliseen ongelman ratkaisuun.
EKG	Elektrokardiografia; Sydämen toiminnan mittausta.
GE	General Electric; yhdysvaltalainen monialayritys.
GEHC	General Electric Healthcare; GE:n terveydenhuoltoon keskittynyt toimiala.
HeatSeal	Alkupään prosessi, jossa kuumennetaan Teflon kalvo kannen päälle.
IBM	International Business Machines; yhdysvaltalainen teknologiayritys.
LOT	Eränumero, jokaiselle valmistetulle tuote-erälle on oma koodi.
MainFlow	Vedenerottimen läpimenevän kaasun pääkanava.
Pareto	Periaate, jonka keksi Vilfredo Pareto. Yksi Six Sigma työkaluista.
SideFlow	Vedenerottimen läpimenevän kaasun sivukanava.
Teflon	Suodatinkalvo kannen ja rungon välissä.

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin General Electric Healthcare (GEHC) Finland Oy:n kanssa Vallilassa. GE (General Electric) on yhdysvaltalainen monialayritys, jonka yksi kuudesta päätoimialoista on GEHC. Suomessa on kaksi GEHC:n toimipistettä Helsingin Vallilassa ja Kuopiossa. Suomen päätoimipisteessä Vallilassa suunnitellaan, kehitetään ja valmistetaan potilasmonitoreiden lisäksi anestesian antoon liittyviä ratkaisuja ja tietojärjestelmiä. Helsingin tehtaalta lähtee vuosittain yli 150 000 tuotetta yli 140 maahan. [1.]

Insinööriyön tarkoituksena on parantaa vedenerotinlinjan toimivuutta. Kehitysprojekti kesti kahdeksan viikon ajan. Linja on pakkausta lukuun ottamatta täysin automatisoitu roboteilla, sensoreilla ja testauslaitteilla. Linja ei ole täysin vastannut odotuksia laitteiden toimivuudesta, joten häiriöiden selvittäminen, raportointi ja mahdollinen korjaaminen on ollut tarpeellista. Linjaston alkupää oli uutena toiminut paremmin, mutta uusia ongelmia alkoi syntyä linjan ollessa käytössä. Yllättävä häiriöiden huomattava lisääntyminen ja niiden syiden löytäminen on ollut haastavaa yrityksen muiden isojen projektien ohella.

Työssä on prosessien parantamiseksi käytetty muutamia Six sigma -työkaluja, jotka auttavat ymmärtämään syvällisemmin häiriöiden syitä ja ratkaisuja. Six sigman avulla opinnäytetyössä kerättyä dataa saadaan paremmin analysoitua muun muassa Pareto-diagrammilla, kalanruotokaaviolla ja DMAIC-menetelmällä. Kun häiriöitä on paljon, on niiden priorisointi ja oikean juurisyyn löytäminen tärkeää.

Vedenerotinta on aikaisemmin valmistettu täysin käsin, mutta ajan saatossa on siirrytty automaatioon, jotta työntekijät voivat keskittyä myös muuhun työhön. Vedenerotinlinjasta pyritään tekemään GEHC Finland Oy:n ensimmäinen kokonaan automatisoitu linja. Tällä hetkellä puuttuu ainoastaan valmiiden osien pakkaaminen laatikoihin, mutta muuten itse tuote valmistetaan automaattisesti. Automatisointi on pitkä prosessi, jota on pyritty kasvattamaan muutama osaprosessi kerrallaan. Ensin automatisoitiin vedenerotimen valmistuksen loppuosa siten, että tuotantotyöntekijä valmisti käsin vain vedenerotimen alkuosan ja laittoi sen eteenpäin robotille. Nykyisin myös valmistuksen alkupää on automatisoitu, jolloin työntekijöitä tarvitaan enää pakkaamoon sekä automaation ylläpitoon. Alkuosa on se, jossa on tullut nyt paljon ongelmia ja tuotantotyöntekijä tai asentaja joutuu jatkuvasti korjaamaan automaatiolinjan pysähdyksiä. Pysähdyksiä tulee niin

usein, että automaatiolinja tekee huomattavasti vähemmän vedenerottimia päivässä kuin ennen tehtiin käsin. Tuotantotyöntekijöiden työnkuva onkin muuttunut paljon, sillä työn tekeminen ei ole niin yksitoikkoista. Ergonomisesti työ on parempaa, sillä sadat toistot päivässä vähenevät. Automaatiolaitteet tulevat yleistymään tulevaisuudessa, sillä robotit kykenevät tekemään tarkemmin ja nopeammin kuin ihmiset. Satunnaisten eri ongelmien ratkaisu lisääntyy ja korjaajia kutsutaan tuotantotyöntekijöiden puolesta useammin.

Opinnäytetyön tavoitteena on Six Sigma tyyppisesti pyrkiä kohti nollavirhetasoa, jossa kuudes sigma tarkoittaa 3,4 virhettä miljoonasta kappaleesta, mutta käytännössä kuudes sigma olisi mahdoton saavutus näin lyhyessä ajassa. Realistisempi tavoite onkin pyrkiä projektissa saamaan häiriöitä vähennettyä niin, että häiriöt vähentyisivät 80 %. Näin ollen tulosten seuraaminen helpottuu, sillä ei ole mahdollista kirjata yksin kaikkia häiriöitä sekä tuotettuja osia talteen, linjaston ollessa yleensä kahdessa vuorossa toiminnassa.

2 Tuotteiden esittely

2.1 D-Fend Pro ja D-Fend Pro+ -vedenerottimet

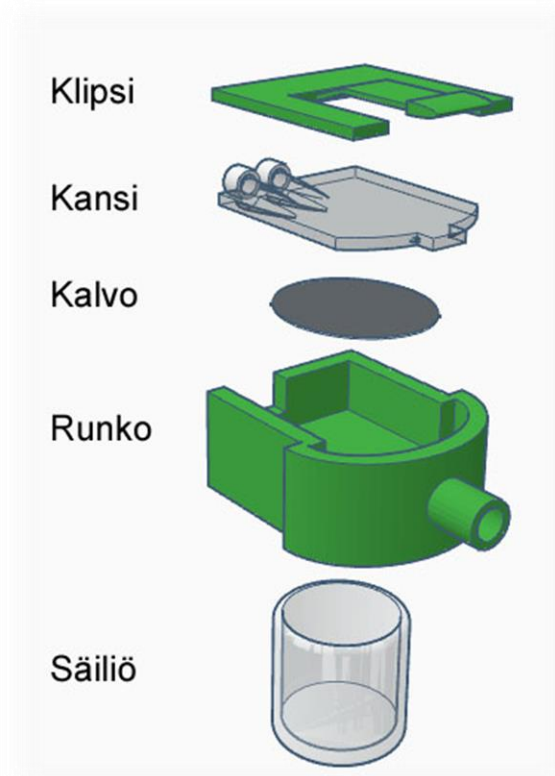
D-Fend Pro+ ja D-fend Pro -vedenerottimet (kuva 1) ovat suunniteltu suojaamaan hengitysmoduulien sensoreita kosteudelta ja epäpuhtauksilta, jotta laite ei pääse vahingoittumaan ja moduulin mittaustarkkuus säilyy. Vedenerottimet on tarkoitettu GE:n omiin CA-RESCAPE -kaasumoduuleihin, jotka mittaavat kaasupitoisuuksia potilaspiiristä anestesian ja tehohoidon aikana.



Kuva 1. Harmaa D-fend Pro ja vihreä D-fend Pro+. [2]

Anestesiolla tarkoitetaan tajuttomuustilaa, joka aiheutetaan leikkauksen tuottaman kivun poistamiseksi. Nykyisin anestesian piiriin liittyy kivuttomuuden aiheuttamisen lisäksi myös tärkeiden elintoimintojen tarkkailu ja säätely sairauden tai kirurgisen toimenpiteen aikana. [3.]

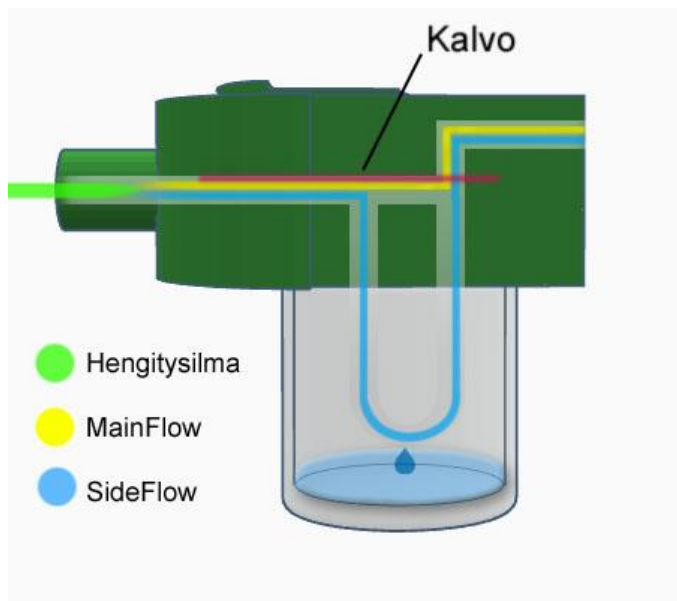
Harmaa vedenerotin on suunniteltu anesteettiseen hoitoon. Anestesiahoitossa vedenerotin on suositeltu vaihtamaan vain kahden kuukauden välein tai, kun potilasmonitori niin ilmoittaa tekemään. Molemmissa malleissa säiliöt ovat tyhjennettävissä niin usein, kuin on tarpeellista. Vihreä vedenerotin on suunniteltu tehohoitoympäristöön, missä kosteus ja eritteet voivat olla läsnä. Jotta operaatio toimii sujuvasti ja mittaukset tarkasti, vedenerotin on suositeltu vaihdettavaksi 24 tunnin välein sekä potilaan vaihtuessa. [2.]



Kuva 2. D-Fend Pro -vedenerottimien komponentit.

Kuvassa 2 esitetään yksinkertaistetusti D-Fend Pro -vedenerottimen rakenne. Vedenerotin koostuu säiliöstä, rungosta, suodatinkalvosta, kannesta ja klipsistä. Suodatinkalvo mahdollistaa nesteiden ja epäpuhtauksien erottelun hengityksestä. Kalvo on valmistettu polytetrafluorieteenistä (PTFE), jota kutsutaan myös nimellä teflon. Se suojaa yli 99,999 %:n tehokkuudella bakteereilta ja viruksilta. (Nelson Laboratories inc. mittaus-tulos.) Kansi kiinnittyy rungon ja kalvon päälle ilmatiiviiksi. Kannen ulostulosta jakaantuu moduuliin MainFlow eli päähaara ja SideFlow eli sivuhaara. [2.]

Klipsi toimii ikään kuin D-Fend Pro -vedenerottimen kantena, joka sulkee vedenerottimen siistiksi kokonaisuudeksi piilottaen vedenerottimen osat. Klipsissä on myös moduulin kiinnitystä varten pikakiinnityskieleke, jotta sairaalaympäristössä vedenerottimen vaihto tapahtuu nopeasti ja sujuvasti.



Kuva 3. Vedenerottimen läpileikkaus.

Kuvassa 3 vasemmalla potilaan hengitysilma (vihreä) saapuu vedenerottimeen. Vedenerotin jakaa hengitysilman päähaaraan (keltainen) ja sivuhaaraan (sininen). Kalvo läpäisee kaasun ja kosteuden, mutta pysäyttää nesteet. MainFlow-putki eli päähaara virtaa suoraan suodatinkalvon kautta moduuliin muodostaen 90 % hengitysnäytteestä.

SideFlow-putkeen eli sivuhaaraan jakautuu loput sisään tulevasta hengityksestä. Hengityksestä poistuu vesi kalvon avulla ja kalvosta valuva neste tippuu säiliöön. Säiliöstä ylöspäin nouseva nesteetön hengitysilma jatkaa moduuliin. Moduulissa sivuhaaran sisään tulo on suoraan kytketty pumppuun, jolloin tämä osa hengitysnäytteestä ei kulkeudu kaasusensoreihin.

2.2 Moduuli ja monitori

Moduuli

Vedenerotin kiinnitetään CARESCAPE Respiratory Modulesiin, joita on muutamia eri malleja, kuten E-sCO(V) ja E-sC(Ai)O(V). Sulku tarkoittaa, että tuotteessa kyseinen varuste on valinnanvarainen. Mallista riippuen on suositeltu laittamaan moduuliin jompikumpi D-Fend Pro+ tai D-Fend Pro. [4.]

Seuraavassa luetellaan mallien kirjainlyhenteet:

- s = tietty mitta moduulille (single-width)
- C = mittaa CO₂:n ja N₂O:n
- Ai = anestesia-aineet ja aineen tunnistaminen
- O = potilaan O₂-mittaus
- V = potilaan spirometriamittaus [5.]



Kuva 4. Hengitysmoduulit vasemmalta oikealle: E-sCO, E-sCOV, E-sCAiO, E-sCAiOV. [4]

Kuvasta 4 näkyy, että vihreää D-Fend Pro+ -vedenerotinta käytetään E-sCO- ja E-sCOV-malleissa ja harmaata D-Fend Pro -vedenerotinta E-sCAiO- ja E-sCAiOV-malleissa.

Monitori

Moduuli kiinnittyy GEHC:n omiin monitoreihin, joista tunnetuimmat ovat muun muassa B450 (kuvassa 5) ja B650. Potilasmonitorit on tarkoitettu ihmisten elintoimintojen valvontaan sairaalaympäristössä. Monitorilla voidaan seurata muun muassa EKG:tä, hengitystiheyttä, ruumiinlämpöä, happisaturaatiota, pulssia ja verenpainetta.



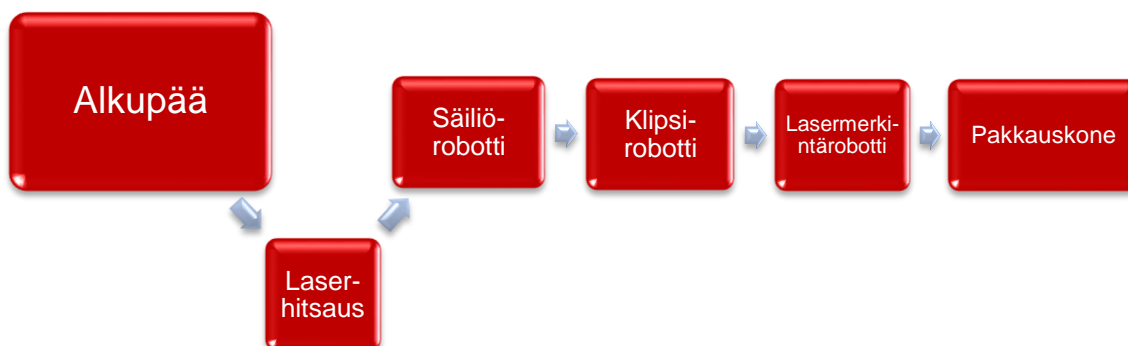
Kuva 5. B450 -monitori, jossa näkyy moduuli ja sen sisällä D-Fend -vedenerotin. [6]

Moduuli sekä D-Fend Pro -vedenerottimet ovat molemmat varustettu pikaliittimillä, joten kiinnittäminen ja irrottaminen on tehty hoitajille sujuvaksi. Moduulit itsessään mittaavat kaasuja, joten monitorin ja moduulin välillä liikkuu ainoastaan sähköinen data.

3 Vedenerotinlinjaston lyhyt esittely

Vedenerottimien valmistuksessa käydään monta eri osaprosessia läpi, joiden välillä on kuljettimia ja liukuja. Linjastolla puhutaan yleisesti ottaen kuudesta eri vaiheesta. Osaprosesseista suurin osa on jo nimetty nimikyltein linjastolla, paitsi tuore ensimmäinen vaihe, jota kutsutaan yleensä vain ”alkupääksi”.

Alkupää on huomattavasti monimutkaisempi ja isompi vaihe kuin muut, sillä osien pitää käydä mm. testauksessa, kuivauksessa ja kuumaliimauksessa. Alkupää on tuorein hankinta linjalle, ja siinä on myös eniten ongelmia. Muut linjasto-osuudet ovat olleet jo aikaisemmin käytössä, joten niistä suurimmat häiriöt on jo korjattu. Alkupää osuus tehtiin aikaisemmin linjastotyöntekijöiden toimesta käsin. Tästä tuote lähetettiin eteenpäin automaatiolinjastolle, tässä tapauksessa ensimmäisenä laserhitsaukseen, josta hihna kuljetti osan säiliörobotille jne.



Kuva 6. Linjaston lohkokkaavio.

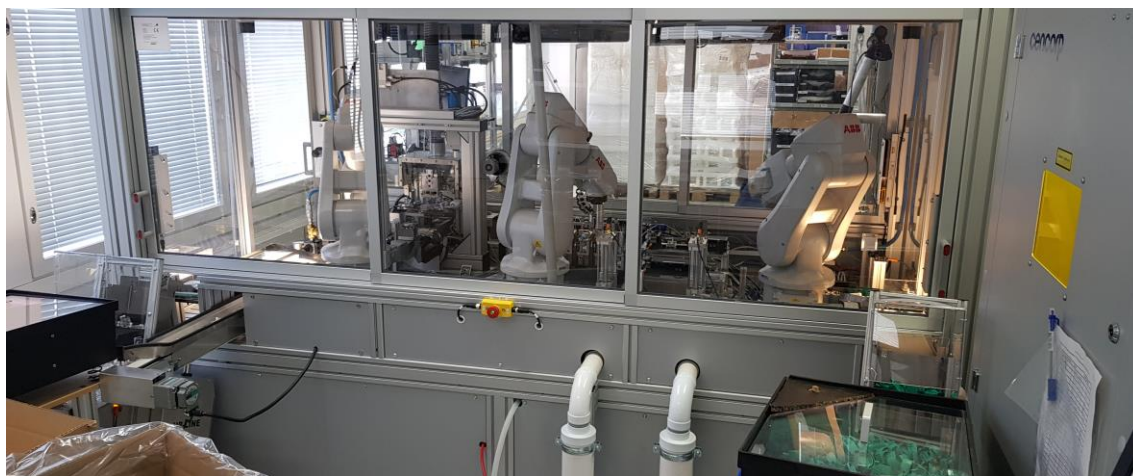
Kuvassa 6 on linjaston kaikki osaprosessit valmistusjärjestyksessä. Alkupää on ensimmäinen vaihe valmistuksessa ja pakkauskone viimeinen vaihe. Kuvan 6 osaprosesseissa on myös pyritty havainnollistamaan niiden sijainti ja koko.

3.1 Linjaston alkupää

Ensimmäiseksi niin kutsuttu ykkösrobotti (kuvasta 7 vasemmalla) kerää kansien syöttölaitteistosta kannen. Kansi sijoitetaan HeatSeal-laitteeseen, joka kuumaliimaa kalvon tiiviisti. Kansi ja kalvo jatkavat läpivirtaustesteriin ja vesitesteriin. Vesitestausta kestää sen verran pitkään, että vesitesteriä on sijoitettu alkupäähän useampi ja vedenerottimen valmistus näin ollen tapahtuu jouhevasti.

Märkä kansi ja kalvo kuivataan aivan kuiviksi ja sijoitetaan vaakoihin. Vaa'at toimivat 0,2 milligramman tarkkuudella, jotta hyvin pienet pisaratkin saadaan testausta varten mitattua. Testauksen periaatteena on tarkistaa, että vesi ei pääse sinne, minne se ei kuuluisi. Jos vedenerotuskyky pettää, saastuu koko moduuli.

Kolmosrobotti (kuvasta 7 oikealla) kerää vastaavasti rungot samalla periaatteella kuin kannet. Kansi, jossa on liimattu teflonkalvo, liitetään nyt runkoon, joka etenee seuraavaksi laserhitsaukseen.



Kuva 7. Alkupää takaapäin ja oikealla laserhitsauskoppi.

Kuvassa 7 näkyy alhaalla mustat laatikot, jotka täytetään käsin. Vasemmalle laitetaan kannet ja oikealle rungot. Laatikot tärisyttävät osat roboteille sitä mukaa, kun logiikka niin pyytää. Rungoissa ja kansissa on paluuradat, eli osat menevät uudestaan kiertoon, jos robotti ei ota osaa kiinni.

3.2 Laserhitsaus

Liukuhihna kuljettaa vedenerottimen paletin päällä. Paletti pysähtyy laserhitsausasemaan, joka hitsaa kannen tiiviisti runkoon kiinni. Vedenerotin jatkaa matkaansa liukuhihnalla seuraavaan vaiheeseen säiliörobottiin.

3.3 Säiliörobotti

Säiliörobotin ainoa tehtävä on kiinnittää säiliö runkoon. Liukuhihna kuljettaa vedenerottimen säiliörobotille ja robotti nappaa vedenerottimen paletilta. Ennen vedenerottimen nappaamista robotti kerää säiliön syöttölaitteesta telineeseen, jotta robotti voi painaa ylhäältä alas rungon kiinni säiliöön. Vedenerottimessa on nyt siis säiliö, kansi, teflonkalvo ja runko.

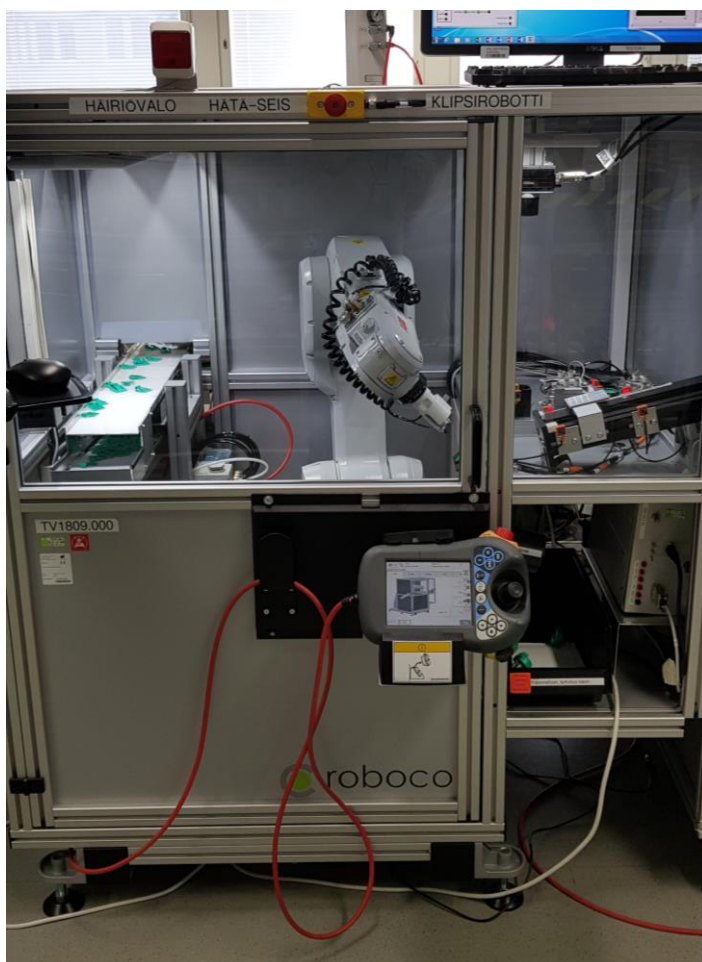


Kuva 8. Säiliörobotti

Kuvassa 8 näkyy yläosassa hätä-seis-painike ja punainen häiriövalo, joka palaa aina, kun kyseisessä osaprosessissa on häiriö. Säiliörobotilta vedenerotin jatkaa matkaansa kuvasta 8 katsottuna vasemmalla sijaitsevalle klipsirobotille liukua pitkin.

3.4 Klipsirobotti

Klipsirobotissa on viimeinen testaus, joka testaa, onko vedenerottimessa vuotoja. Kun testi on hyväksytty, laitetaan klipsi rungon päälle. Klipsin kiinnitys tarkistetaan konenäöllä ja hyväksytty vedenerotin jatkaa lasermerkintärobotille. Klipsit, jotka eivät kunnolla kiinnity, sijoitetaan kopin ulkopuolella olevaan laatikkoon, jotta työntekijä voi tarkistaa kiinnityksen ja mahdollisesti kiinnittää klipsin itse paremmin kiinni.

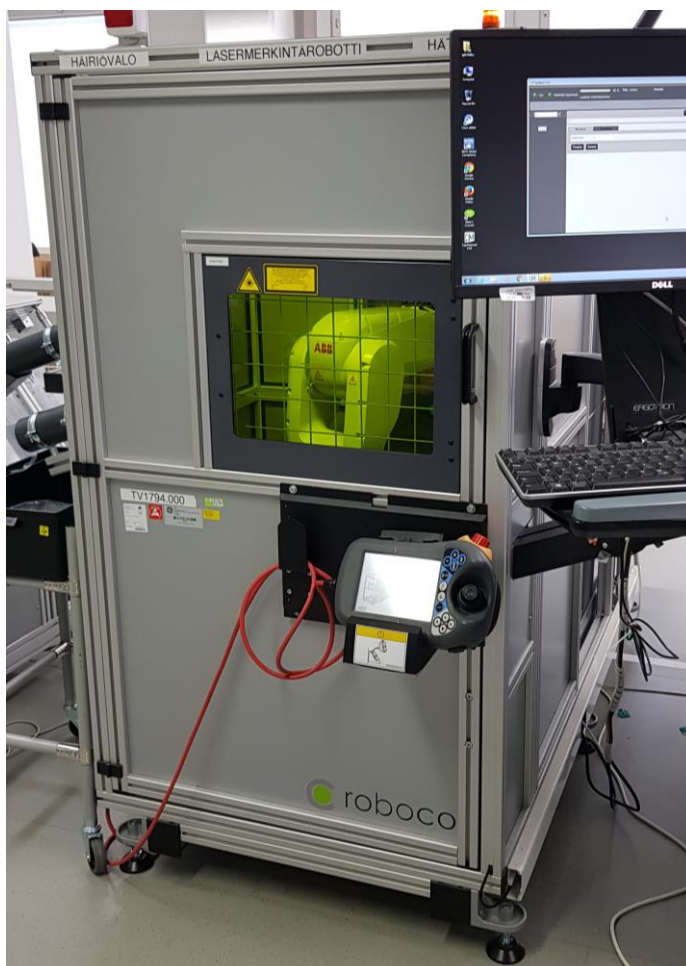


Kuva 9. Klipsirobotti.

Kuvassa 9 vasemmalla näkyy klipsien syöttölaite ja oikealla alhaalla on laatikko, johon robotti sijoittaa klipsivikaiset osat eli sellaiset vedenerottimet, joissa klipsit eivät ole menneet kunnolla kiinni runkoon.

3.5 Lasermerkintärobotti

Lasermerkintärobotin tehtävä on merkitä vedenerottimeen LOT-numero ja mallin nimi. Merkintä tapahtuu laserilla ja se tarkistetaan konenäöllä. Hyväksytysti tarkastettu vedenerotin sijoitetaan pakkausrobotille.



Kuva 10. Lasermerkintärobotti.

Kuvassa 10 näkyy, kuinka lasermerkintärobotin koppi on suojattu laserilta ja ovi ei aukea ennen kuin prosessi on pysäytetty ohjausyksiköstä.

3.6 Pakkausrobotti

Pakkausrobottiin saapuvat valmiit vedenerottimet, ja se pakkaa ne yksittäispakkauksiin. Pakkaukseen tulostetaan vielä tuotteen tiedot, kuten tuotemalli, LOT-numero ja UDI-merkintä. UDI-merkintä tulee sanoista Unique Device Identification ja tarkoittaa kansainvälistä sairaalavälinetunnistejärjestelmää. Tuotteet kulkeutuvat pahvilaatikoihin, jotka pakataan käsin loppuun, ja näin koko tuotteen prosessi on valmis.



Kuva 11. Pakkausrobotti.

Kuvassa 11 näkyvä pakkausrobotti kuumentaa pakkausmuovin tiivisti tuotteen ympärille. Pakattu vedenerotin kerätään pahvilaatikoihin kuvassa näkyvän sinisen hinnan avulla.

4 Six Sigma

4.1 Six Sigman tausta

Six Sigman juuret ovat jo vuodesta 1979, jolloin Motorolan oli tarkoitus parantaa yhtiön huonoa laatua. Kaksi vuotta myöhemmin Robert Galvin, silloisen Motorolan toimitusjohtaja, julkisti tavoitteen kymmenkertaistaa toimintansa tehokkuutta seuraavan viiden vuoden aikana. Yhtiön insinööri Bill Smith havainnoi, että kannattaisi keskittyä ennalta ehkäisevään toimintaan koko tuotantoprosessissa, eikä niinkään pieniin teknisiin kehitysprojekteihin. Motorolassa laadunkehitystyö kehittyi hiljalleen ja lopulta menetelmä voitti Yhdysvaltain laatupalkinnon, Malcolm Baldrige Awardin vuonna 1988. Nykyään Six Sigmana tunnettu kehitystyökalu paljastui muille yrityksille ja levisi ympäri maailmaa. Six Sigman julkaisi lopullisesti Mikel J. Harry, joka toimi insinöörinä myös Motorolassa. Vuonna 1990 muut yritykset, kuten IBM, Texas Instruments, ABB, Digital Electronics ja Kodak osallistuivat Six Sigman kehitystyöhön. [7, s. 26-29.]

General Electric aloitti vuonna 1994 Six Sigma-koulutuksen, ja toimitusjohtaja Jack Welch ilmoitti vuonna 1996, että yhtiön tavoite on saada koko GE tasolle Six Sigma neljän vuoden sisään, Six Sigma oli olennaisin tekijä huimassa GE:n tuloksen kehityksessä. [7, s. 26–29.]

4.2 Six Sigma periaate

Six Sigma -sana itsessään tarkoittaa jo monta asiaa, mutta itse Sigma (σ) on kreikkalainen aakkonen, jolla merkitään tilastomatematiikassa standardipoikkeamaa eli sitä, kuinka paljon vaihtelua on joukossa. Numero kuvaa normaalivaihteluväliä, eli standardijakaumasta aluetta, jonka sisälle vaihtelu jää. Esimerkiksi Sigma taso 3 on noin 93,3 % saannosta, eli jäljelle jäävä 6,7 % tarkoittaa, kuinka paljon prosessin tuotteista on hylättyjä. 6 Sigmaa tarkoittaa jo todella suurta aluetta standardijakaumasta eli noin 99,99966 %. Hylättyjä tuotteita saa siis olla vain 0,00034 % mikä tarkoittaa 3,4 virhettä miljoonaa tuotettua yksikköä kohti. Sigma-tason nostattaminen johtaa laadun parantamiseen ja haluttuun lopputulokseen. [7, s.19, 31.]

Taulukko 1. Sigmatasot [8]

Sigma-taso	Hylättyjä miljoona kohti	Saanto %
$\pm 6\sigma$	3,4	99,99966
$\pm 5\sigma$	233	99,977
$\pm 4\sigma$	6 210	99,38
$\pm 3\sigma$	66 807	93,3
$\pm 2\sigma$	308 537	69
$\pm 1\sigma$	691 462	31

Taulukosta 1 nähdään, kuinka huomattava parannus laadussa on oltava, kun sigmatasoa nostetaan muutamalla tasolla.

Six Sigma -menetelmä on siis kehittyneempi versio mitata laatua, jolla pyritään 0-virhe ajattelua kohti. Halutaan tarkempia arvoja virheprosentista, jossa virheprosentit ovat jo todella pieniä. Esimerkiksi jos tuotannossa syntyy 233 virhettä per miljoonaa tuotettua kappaletta kohti, olisi saantoprosentti 99,977 %. Sen sijaan että ilmaistaan virheet prosentteina, voidaan ilmaista arvon sigmoissa, joka tässä 99,977 % tapauksessa tarkoittaisi viittä. Kun saadaan vähennettyä virheiden määrää, sigma taso nousee. Keskiarvo yrityksillä on 4 sigman tasossa eli 10 000 virhettä per miljoona. Esimerkiksi lentoyhtiöillä virhetaso lentoon nousu- ja laskutapahtumassa on 6,2-6,3 sigman tasossa eli vain 0,43 virhettä per miljoona tapahtumaa.

Six Sigmalla tarkoitetaan yritystoiminnassa strategiaa, jossa keskitytään virheiden vähentämiseen. Työkaluja on erinäisiä myös läpimenoajan parantamiseen, luotettavuuteen, korjaustöihin ja vaikka palveluiden suunnitteluun. Yritykset voivat käyttää sigma-arvoja suorituskykyvaatimustasoja varten. Vaatimustason voi asettaa esimerkiksi tuotteen asiakas tai tuotteen tekijä.

Kasvu on aikaisemmin perustunut yleisesti luonnonresurssien ja kulutuksen kasvuun, mutta nyt tavoitteena on parantaa suorituskykyä ilman resurssien kasvattamista. Parannusmenetelmä perustuu ihmisten luovuuteen ja uusien teorioiden löytämiseen. Toinen menetelmä on vaiheittainen parannusmetodiikka, jota kutsutaan yleisesti kaikkialla nimellä DMAIC. (Define, Measure, Analyze, Improve ja Control) [9, s.19.]

Tyypillinen Six Sigma -projekti yrityksille kestää noin 3–6 kuukautta, jossa Six Sigma -projektissa on määritelty eri tasoisia projektin vetäjiä: Champion, Master Black Belt, Black Belt, Green Belt, Yellow Belt jne. Kaikki eri roolit vaativat sen mukaisen koulutuksen. Esimerkiksi Master Black Belt toimii kokopäiväisenä kouluttajana, kun taas Green Belt tekee satunnaisesti pieniä, keskitettyjä osuuksia projekteista. [9, s. 11-14.]

Yleisesti kaikki yritykset, jotka ovat käyttäneet Six Sigmaa oikein, ovat kehittäneet liikevoittoa 20 prosentilla sekä sigmaluku on parantunut jopa yhdellä sigmayksiköllä. GE on muun muassa yksi niistä yrityksistä, joka on julkisesti raportoinut tuloksiaan, kun ovat käyttäneet Six Sigmaa. GE raportoi vuonna 1995, että he ovat 3–4 sigmayksikön alueella ja heti vuosina 96–97 tehtiin 9000 Six Sigma projektia, joilla säästettiin 350 miljoonaa dollaria. [9, s. 29-30.]

4.3 Six Sigma työkaluja



Kuva 12. Six Sigma-työkaluja lueteltuna [10, s 96]

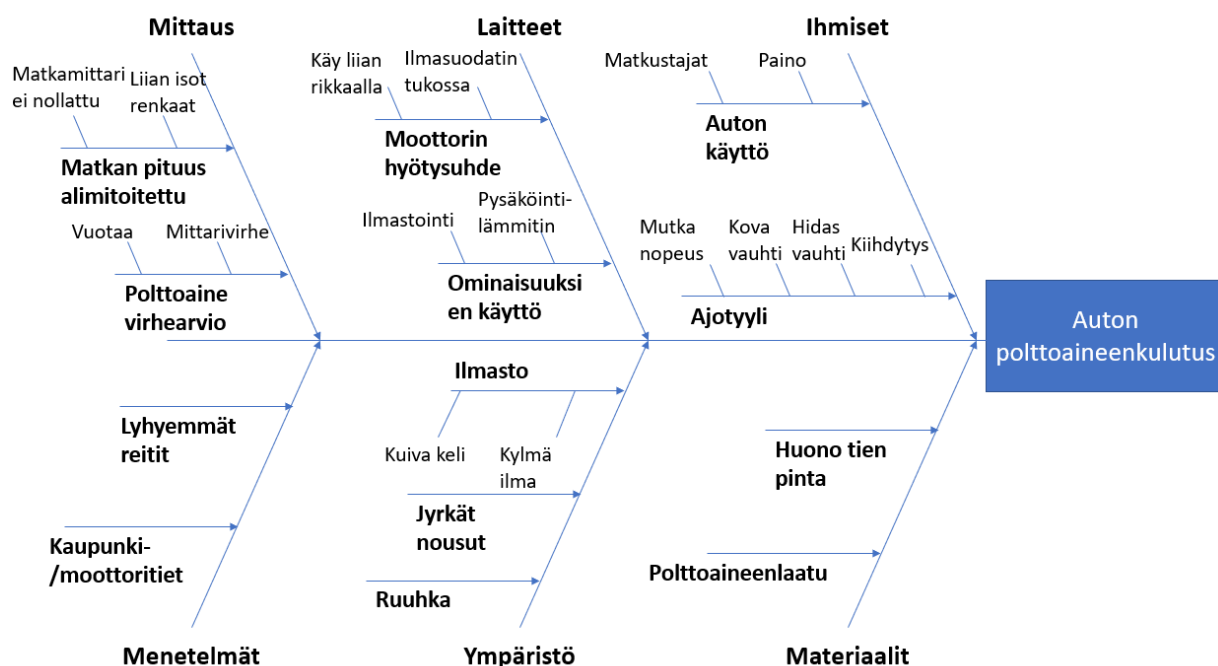
Kuvassa 12 on lueteltu työkaluja, joita voidaan hyödyntää eri tilanteissa. Työkaluja löytyy prosessin analysointiin, ideoiden ja teorioiden kehitykseen, datan analysointiin ja juurisyiden ymmärtämiseen.

Syy-seurauskaavio (Fishbone)

Fishbone eli kalanruotokaavio, tai cause-and-effect diagram eli syy-seurauskaavio, määrittelee visuaalisesti syy- ja seuraussuhteita. Rakenne muistuttaa kuvassa kalanruotoa, jossa oikealle on määritetty ongelma ja vasemmalla esitetään ongelman erinäiset syyt ruotoina, jotka edustavat kategorioita. Lopputuloksena nähdään määritettyyn ongelmaan kaikki syyt kategorioittain. Kategoriat ovat englanniksi alun perin olleet muistin helpottamiseksi kuusi M-alkuista kategoriaa: [11.]

- Methods, menetelmät
- Machines (Equipment), koneet
- Manpower (People), ihmiset
- Materials, materiaalit
- Measurements, mittaukset
- Mother nature (Environment), ympäristö.

Edellä olevat kategoriat ovat vain esimerkkejä ja riippuvat paljon asetetusta ongelmasta.



Kuva 13. Esimerkki kalanruotokaaviosta [10, s.109.]

Kuvassa 13 esitetään syy- seurauskaaviona, mitkä asiat vaikuttavat auton polttoaineenkulutukseen. Syitä voidaan pilkkoa myös pienempiin osiin tai "ruotoihin", kuten kuvassa 13.

5 kertaa miksi -menetelmä (5 Why)

5 kertaa miksi tarkoittaa yksinkertaisesti että, ilmiön juurisyitä selvittää kysymällä tarpeeksi usein, miksi näin tapahtuu. Nyrkkisääntönä on kysyä "miksi" viisi kertaa, mutta riippuen tilanteesta kysymyksiä voi olla enemmän tai vähemmän. Tavoitteena on löytää juurisyitä hakemalla ongelman ratkaisua syvemältä ja samalla ymmärtää ongelma kokonaisvaltaisemmin.

Ensimmäiseksi määritellään ongelma, joka voisi olla esimerkiksi tuotannon pysähtyminen. Sen jälkeen kysytään viisi kertaa, miksi näin tapahtuu, kuten seuraavassa.

Miksi tuotanto on pysähtynyt? – Laite X ei toimi.

Miksi laite ei toimi? – Sitä ei ole korjattu.

Miksi sitä ei ole korjattu? – Ei ole korjaajaa, joka osaisi korjata.

Miksi ei ole korjaajaa? – Ei ole koulutettu korjaajia kyseiseen laitteeseen.

Löydettiin siis juurisyy ja esimerkissä ryhdyttäisiin kouluttamaan korjaajia laitteen X korjaukseen.

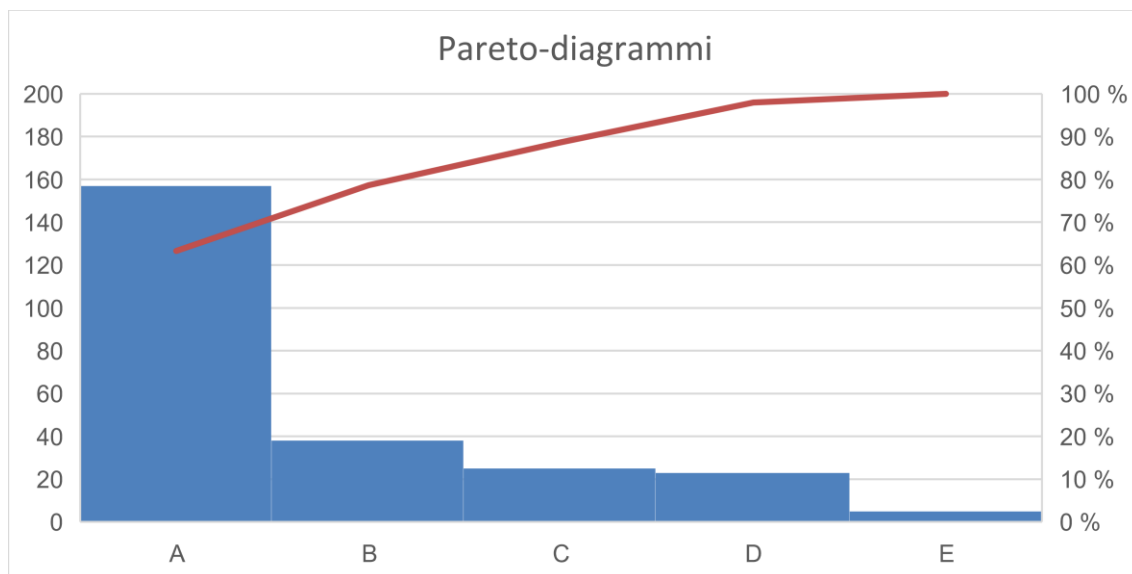
Pareto-analyysi

Tarkoituksena on järjestää dataa prioriteetin ja tärkeyden mukaan. Viat järjestetään suurimmasta pienimpään niiden esiintymismäärien mukaan. Tulokset saadaan esitettyä havainnollisessa muodossa, jossa merkittävien tekijöiden vaikutus näkyy selkeästi. Pareto-analyysi on kätevä työkalu, jolla voidaan määrittää ensimmäiset korjaustoimenpiteet. Pareto-analyysi on hyvin suosittu ja yleinen työkalu, joka ei ole pelkästään Six Sigmassa käytetty työkalu.

Taulukko 2. Esimerkki viat ja niiden esiintyvyys kappaleina

Vika	Kpl	Kumulatiivinen
A	95	51 %
B	38	72 %
C	25	85 %
D	23	85 %
E	5	97 %
Yht.	186	

Yleisesti puhutaan 80/20-säännöstä, jonka mukaan 20 % syistä tuottaa jo 80 % vioista. Aina ei tietenkään ole näin, vaan suhdeluku voi olla muukin kuin summana 100 %. Taulukossa 2 nähdään, että vika A tuottaa 95 vikaa, joka on 51 % vioista. Toisin sanoen 20 % syistä tuottaa yli puolet koko prosessin vioista. Voidaan myös esimerkiksi todeta, että jos saadaan korjattua kaksi suurinta vikaa, saadaan 72 % pois prosessin vioista. [12.]

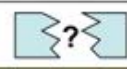


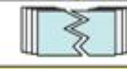



Kuva 14. Pareto-diagrammiesimerkki

Kuvassa 14 on esitetty graafisesti taulukko 2, jossa siniset palkit kuvaavat vikoja määrällisesti, ja ne luetaan vasemmasta pystyakselista. Punainen kuvaaja esittää prosentuaalisesti kumulatiivisen osuuden vioista. Viat yleensä laitetaan järjestyksessä määrällisesti suurimmasta pienimpään. Tässä esimerkissä viat ovat vain selkeyttämiseksi aakkosjärjestyksessä.

4.4 Prosessin parannus Six Sigmalla

Yksi Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmistä on DMAIC, joka tulee sanoista Define, Measure, Analyze, Improve ja Control. Tavoitteena on kehittää kyseisen prosessin tuottoa vaihe vaiheelta. Systemaattisesti pyritään löytämään juurisyitä ja optimoimaan prosessin toimivuus. Väitetään, että DMAIC -strategialla on saavutettu parhaimmat lopputulokset yrityksissä. Kuvassa 15 on selitetty tarkemmin eri vaiheita, joko prosessin korjaamiseen tai uuden prosessin suunniteluun. [13.]

PROSESSIN PARANNUS LEAN SIX SIGMALLA		
Lean Six Sigman vaiheet	Prosessin parannus	Prosessin suunnittelu/ uudelleen suunnittelu
 1. MÄÄRITTELY	<ul style="list-style-type: none"> Tunnista ongelma Määrittele vaatimukset Aseta tavoite 	<ul style="list-style-type: none"> Tunnista onko suppeat vai laajat ongelmat Määrittele tavoite/muutos visio Selkeytä ongelman laajuus ja asiakasvaatimukset
 2. MITTAUS	<ul style="list-style-type: none"> Kelpuuta ongelma/prosessi Viimeistele ongelma/tavoite Mittaa avainkohdat/inputit 	<ul style="list-style-type: none"> Mittaa vaatimusten suorituskyky Kerää prosessin hyötysuhteen määrittelyssä tarvittavaa dataa
 3. ANALYSOINTI	<ul style="list-style-type: none"> Luo syy-seuraus hypoteesi Tunnista keskeiset ydinsyyt Kelpuuta hypoteesit 	<ul style="list-style-type: none"> Tunnista "paras käytäntö" Arvioi prosessisuunnitelmaa <ul style="list-style-type: none"> arvon/ei-arvon lisäys pullonkaulat/katkokset vaihtoehtoiset "polut" Viimeistele vaatimuksia
 4. PARANNUS	<ul style="list-style-type: none"> Luo idea, kuinka ydinsyyt poistetaan Testaa ratkaisu Standardisoi ratkaisu Mittaa tulos 	<ul style="list-style-type: none"> Suunnittele uusi prosessi <ul style="list-style-type: none"> haasteelliset oletukset käytä luovuutta virtausperiaate Toteuta uusi prosessi, rakenteet ja systeemit
 5. OHJAUS	<ul style="list-style-type: none"> Luo standardimittaukset ylläpitämään suorituskykyä Korjaa ongelmat, jos niitä syntyy 	<ul style="list-style-type: none"> Luo mittaukset ja katselmoi ylläpitääksesi suorituskykyä Korjaa ongelmat, jos niitä syntyy

Kuva 15. DMAIC-vaiheet selitettynä [9, s.49]

Kuvassa 15 on eritelty kahteen eri osaan, onko kyse uudesta prosessista, vai jo olemassa olevan prosessin parannuksesta. Tämä työ seuraa prosessin parannusvaiheita, jossa ensimmäisenä tunnistetaan ongelma ja asetetaan tavoite, mitataan vikojen syntyvyys, luodaan syy-seuraushypoteesi ja tunnistetaan juurisyyt. Juurisyyden löydyttyä luodaan idea, kuinka ongelma saadaan poistettua ja testataan uuden ratkaisun toimivuus. Toimivan ratkaisun löytyessä pyritään seuraamaan ja ylläpitämään ratkaisun suorituskykyä.

5 Six Sigma vedenerotinlinjaston kehittämisessä

Työssä käytettiin hyödyksi Six Sigma -teorian työkaluja sekä periaatteita. Projekti on itsenäisesti sovellettu versio. Toisin kuin yleensä Six Sigma projekteissa, nyt ei ole määritelty rooleja, kuten Black Belttejä tai projektin vetäjiä, mutta teoriaa ja käytäntöjä on käytetty hyödyksi. Linjastoa seurattiin kahdeksan viikon ajan 25 tuntia viikossa.

Kappale sisältää ongelmien esittelyä ja niiden ratkaisuja. Kaikista ongelmista ei ole kerrottu tarkemmin, sillä niitä oli noin 40. Nopeasti korjattavat ja vähän linjastoa hidastaneet ongelmat on jätetty työssä pois.

Tärkein Six Sigma -teorian työkaluista oli DMAIC-prosessi, jota käytetään vaiheittain. Mittaus- ja analysointivaiheessa käytetään Pareto-analyysiä, jotta häiriöitä saadaan järjestettyä ongelman suuruuden mukaan. Viisi kertaa miksi -analyysiä hyödynnettiin juuri-syyn löytämisessä.

5.1 Määrittely-vaihe

Tarkoituksena oli määrittelyvaiheessa luoda tavoite, määritellä vaatimukset ja tunnistaa ongelmat. Määrittely -vaihe suoritettiin seuraavasti:

- Tavoite: Vähentää häiriöiden määrää 80 %.
- Vaatimus: Korjata haitallisimmat häiriötekijät järjestyksessä.
- Ongelmat kuvassa 16 seuraavasti:

Alkupää	HeatSeal nauha katkeaa Heatseal ottaa jokatoisen Heatseal jumittuu Vaaka ei kommunikoi Robotti 3 ei saa rungosta otetta Runko pystyssä tai päällekkäin Vaa'an kansi ei sulkeudu Kansisyöttö tärisyttää täytenä Kansien syöttö jumittaa Runko syöttö ei tuo runkoja Robotti 1 törmää kalibroinnissa Robotti 1 ei saa otetta Runkosyöttö rikkoo letkuja ja servon Robotti 1 laittaa kansia päällekkäin jigiin Runko syöttö tukkeutuu Paluurata harja kääntyilee Robotti 3 ottaa mukaan 2 osaa Runko syöttö sotkee osia ympäriinsä Vaaka: "param out of spec"
Laserhitsaus	Ei käynnisty Kärventää osia Hihna ei liiku
Säiliörobo	Syöttö: Pullot väärinpäin Syöttö: Pullo jumissa putkessa (Shaker error) Ei saa pullosta kiinni Pullot ovat DFENDissä vinossa
Klipsirobo	Klipsi ei kunnolla kiinni Hylkää turhia (Klipsiivalliset) Path calc error Kappale törmää jigiin Rotkossa liikaa klipsejä Paluurata tukossa Liukumäki pyöryttää/ kappale väärässä kohdassa Robotti ei jaksa nostaa osaa (huono imukuppi) Tiiviste kuluu nopeasti -> testejä failaa paljon Ei saa klipsiä (vacuum error)
Lasermerkintä	Hylkää hyviä
Pakkausrobo	Rypistää Huono sauma No black label Tarroja päällekkäin

Kuva 16. Kaikki häiriöt, joita todettiin kahdeksan viikon aikana.

Kuten kuvasta 16 näkyy, eniten häiriöitä oli alkupäässä, koska se on uusi ja siinä on eniten laitteita. Kun ongelmat oli tunnistettu, edettiin seuraavaan vaiheeseen mittaamaan dataa.

5.2 Mittaus ja analysointi -vaihe

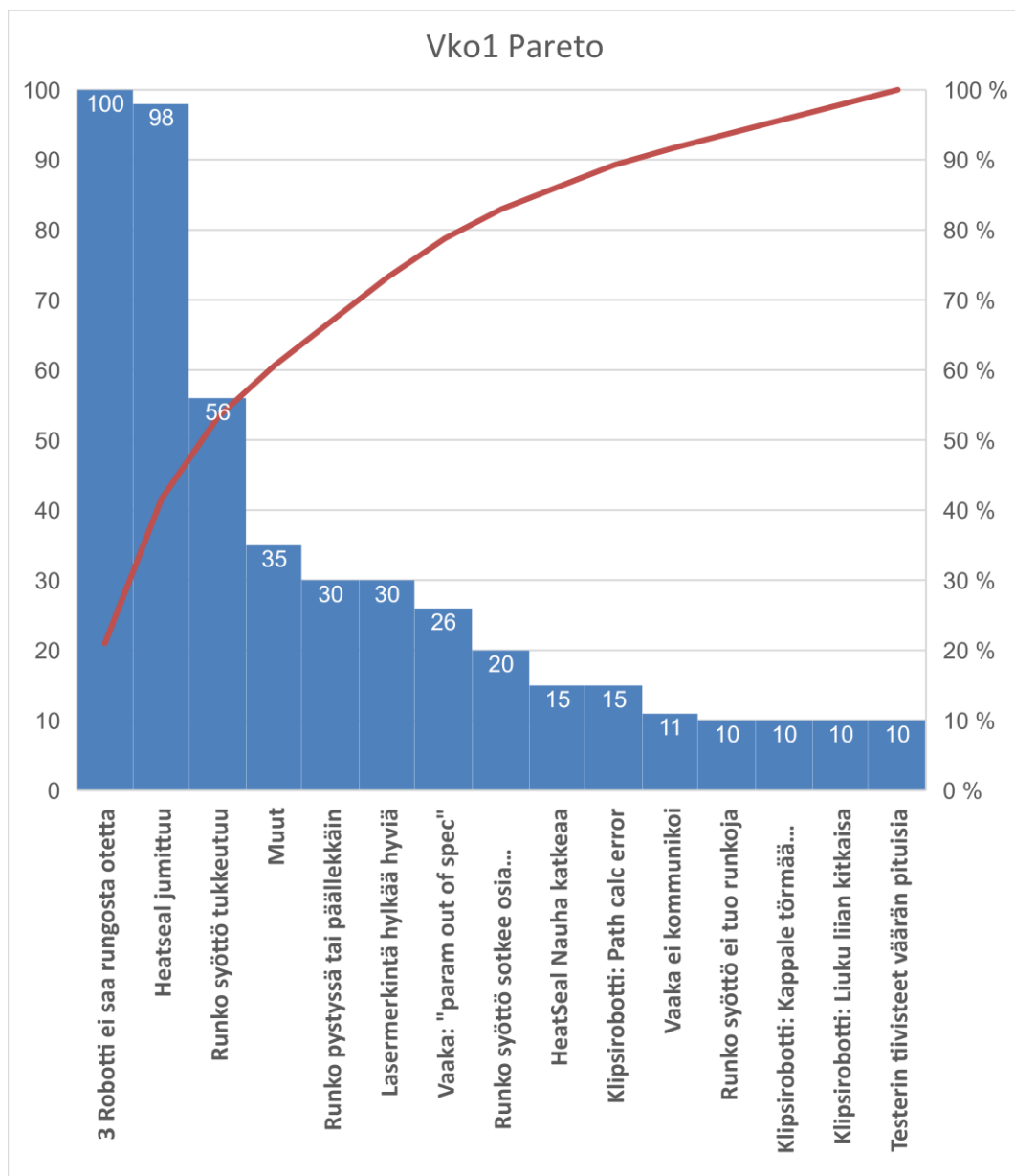
Prosessin häiriöitä analysoitiin linjaston ollessa käynnissä. Linjastoa seurattiin jatkuvasti ja häiriöiden määriä mitattiin samalla. Osa vioista havaittiin helposti prosessin pysähtyessä. Linjaston suuruus vaikeutti jatkuvaa havainnointia, joten apuna käytettiin välillä kameroita. Uusia häiriöitä etsittiin koko kahdeksan viikon projektin aikana.

Vika	kpl
Robotti 3 ei saa rungosta otetta	100
Heatseal jumittuu	98
Runko syöttö tukkeutuu	56
Runko pystyssä tai päällekkäin	30
Lasermerkintä hylkää hyviä	30
Vaaka: "param out of spec"	26
Runko syöttö sotkee osia ympäriinsä	20
HeatSeal Nauha katkeaa	15
Klipsirobotti: Path calc error	15
Vaaka ei kommunikoi	11
Runko syöttö ei tuo runkoja	10
Klipsirobotti: Kappale törmää jigiiin	10
Klipsirobotti: Liuku liian kitkaisu	10
Testerin tiivisteet väärän pituisia	10
Pullorobon imukuppi ei yllä pulloon	8
Paluurata tukossa	8
Rotkossa liikaa klipsejä, pursuaa	5
Klipsi ei kunnolla kiinni	4
Kansien syöttö tukkiutuu	2
Robotti 3 ottaa mukaan 2 osaa	2
Pakkauslaite rypistää	2
Huono sauma	1
Pakkausrobotti painaa tarroja päällekkäin	1
Vaa'an kansi ei sulkeudu	1
Robotti 1 törmää calibroinnissa	1

476

Kuva 17. Ensimmäisellä viikolla todettujen häiriöiden määriä.

Kuvassa 17 on ensimmäisellä viikolla todetut häiriöt. Häiriöitä on voinut olla paljon enemmänkin, mutta kaikkea ei pystytty seuraamaan.



Kuva 18. Pareto diagrammi viikolta 1.

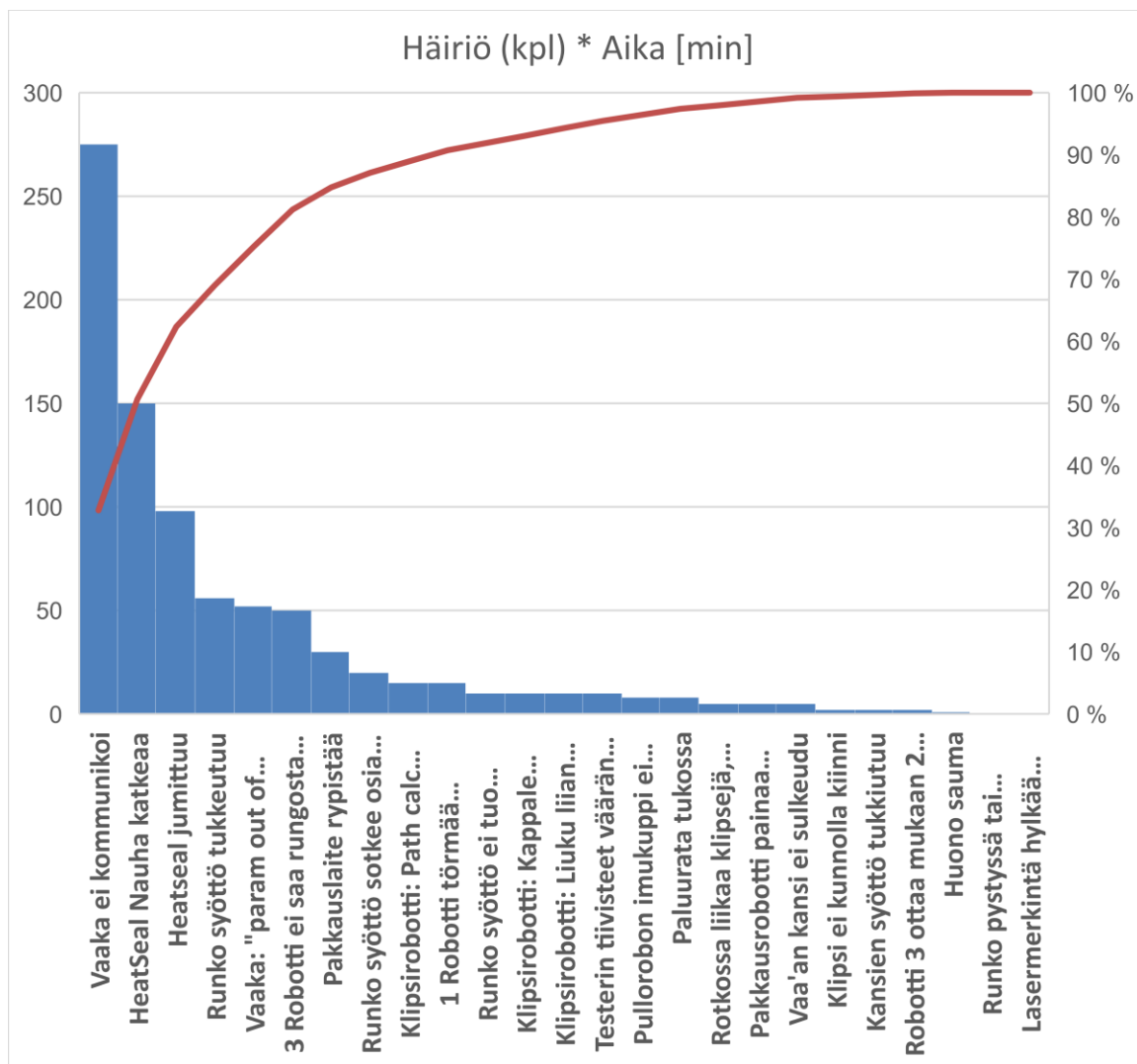
Kuvassa 18 häiriöt, joita on alle kymmenen kappaletta, on liitetty kohtaan "muut" kaavion selkeyttämiseksi.

Alkupään robotti 3 ei saa rungosta otetta -häiriö oli siitä erilainen ongelma, että logiikka ei tehnyt pysähdystä linjaan ja näin häiriöiden tarkkaa lukumäärää oli vaikeaa laskea, joten 100 kappaletta on vain arvio. Kyseinen häiriö kuitenkin hidasti prosessia ja oli liitoksissa osittain myös runkojen syötön tukkeutumiseen (56 häiriötä), sillä mikäli robotti

olisi kerännyt runkoja tarkoituksen mukaisesti, olisi runkojen syötön tukkeutuminen harvinaisempaa.

HeatSeal-laitteen jumittuminen oli ongelmana helppo korjata, sillä laitteesta painettiin pysähdysnappia ja sen jälkeen suorita-nappia. Häiriö oli korjattu sekunneissa, jos sillä hetkellä oli työntekijä sattumalta lähellä. Toisin oli HeatSeal-nauhan katkeamisessa, jossa kului aikaa 5–10 minuuttia ennen kuin häiriö oli korjattu. Jos noin 10 minuuttia kerrotaan häiriöiden määrällä (15) saadaan tulokseksi 150 minuuttia, eli 2,5 tuntia meni viikossa jo pelkästään nauhan korjaamiseen.

Näin ollen ei pidä priorisoida häiriöitä määrällisesti, vaan otetaan huomioon myös korjaukseen kulutettu aika. Jos yhden häiriön korjaamiseen menee viikossa 5 tuntia, niin se on jopa pahempi häiriö kuin 120 kertaa tapahtuva pysähdys, joka vain kuitataan nappia painamalla. Jos lasketaan häiriöiden määrää kerrottuna häiriöiden korjaukseen kulutetulla ajalla, saadaan havainnollistettua, kuinka kauan häiriön korjaukseen kului aikaa viikossa. Kuvassa 19 on havainnollistettu Pareto-kaaviona häiriöihin kulutettu aika. Huomataan, kuinka häiriöiden järjestys muuttuu. Robotin kiinni ottaminen rungosta ei olekaan enää ensimmäisenä taulukossa, vaan vaa'an kommunikointi on koitunut isoimmaksi haitaksi ajallisesti.



Kuva 19. Pareto-kaavio, jossa on häiriöt kerrottuna korjaukseen kulutetulla ajalla

Kuvassa 19 on aika arvioitu minuuteissa. Aika on määritely sen perusteella, kauanko korjaaminen vie aikaa prosessin ollessa pysäytettynä keskimääräisesti linjastotyöntekijän ollessa paikalla.

Osa korjauksista kyettiin tekemään prosessin pyöriessä, joten näille häiriöille on syötetty arvo nolla. Esimerkiksi lasermerkintärobotin turhat hylkäykset eivät pysäyttäneet tai hidastaneet linjaa, mutta työllistivät linjastotyöntekijöitä turhaan. Tämän takia kyseinen pareto-kaavio ei kokonaan laita häiriöitä tärkeysjärjestykseen.

5.3 Parannus -vaihe

Työssä perehdytään tarkemmin vain muutaman ongelman parantamiseen, sillä erilaisia häiriöitä oli paljon. Seuraavat häiriöt on pyritty järjestämään häiriöiden vakavuuden mukaan.

5.3.1 Vaakatietokoneen kommunikointi

Linjastolla on kaksi vaakaa, mutta jos toinen vaakatietokone lakkaa kommunikoimasta robotteihin, se hidastaa huomattavasti prosessia. Linjasto jatkoi yhdellä vaa'alla, ja mitä aikaisemmin toisen vaa'an otti käyttöön, sitä paremmin tuotettiin osia. Vaakojen kanssa operoivat tietokoneet lakkasivat kommunikoimasta robottien kanssa, kun roboteille tehtiin nollaus. Nollauksia saatettiin tehdä eri syistä esimerkiksi, jos robotti oli törmännyt päällekkäisiin runkoihin. Myös linjastoa käynnistäessä saattoi toisen vaakatietokoneen kanssa ilmetä kommunikaatio-ongelmia.

Koko alkupääosaprosessin uudelleen käynnistäminen pääkatkaisimesta auttoi hetkellisesti, mutta kesti noin 25 minuuttia, ennen kuin linjasto oli taas täysin toiminnassa. Osittaiseksi ratkaisuksi löytyi linjaston oikea sammuttaminen päivän päätteeksi. Linjaston sammuttamisessa on oleellista jättääkö alkupääosaprosessin ovet auki vai kiinni, muuten kommunikointi tietokoneen ja robotin välillä saattaa kadota. Oikea sammutustapa helpottaa seuraavana päivänä alkupään käynnistämistä, kun molemmat vaa'at ovat heti käytössä.

Robottien nollaus saattaa edelleen katkaista toisen vaa'an yhteyden robotteihin, mutta robottien nollaus ei ole tarpeellista, joten häiriö on tavallaan poistettu. Jos robotti törmää, saattaa sen saada normaalisti jatkamaan ilman nollausta. Lisäksi robottien törmäily on vähentynyt, joten nollausta ei tarvitse tehdä niin usein.

Koska linjastotyöntekijöille on luontevaa nollata robotti, kun siihen tulee häiriöitä, voitaisiinkin jatkotoimenpiteinä kehittää robottien nollausta siten, että se ei katkaisisi yhteyttä vaakatietokoneeseen.

5.3.2 Tarranauhan katkeaminen.

Yksi eniten hidastavista ongelmista oli HeatSeal-laitteessa olevan tarranauhan eli rainan katkeaminen. Kun raina katkeaa, linjasto pysähtyy välittömästi ja vaatii rainan uudelleen kiinnittämisen. Uudelleen käynnistäminen vei aikaa 5–10 minuuttia, jos häiriö huomattiin heti. Korjaaminen oli haasteellista, sillä tarranauha sijaitsee kuumien osien vieressä. Prosessin jatkamiseksi katkennut tarranauha piti vielä teipata vastapäiseen kelaan, jolloin tarranauhassa olevia suodatinkalvoja meni paljon hukkaan.

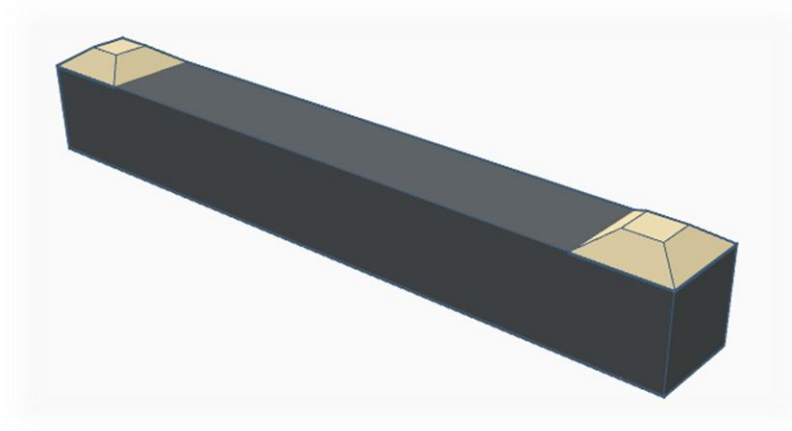
5 kertaa miksi menetelmää hyödynnettiin seuraavasti:

Miksi tarranauha katkeaa? – Tarranauha katkeaa, kun pieni viilto katkaisee sen juuri ennen kuin se pyörii takaisin rullaan.

Miksi viilto syntyy? – Viilto syntyy HeatSeal-laitteessa olevan puristimen takertumisesta.

Miksi puristin takertuu tarranauhaan? – Koska tarranauha on niin helposti takertuvaa materiaalia kyseistä metallia vasten, sekä puristimen pinta-ala on turhan iso.

Näiden kysymysten avulla alettiin pohtia toisenlaista materiaalia, joka ei tarttuisi niin hyvin tarranauhan liimapintaan. Kokeiltiin metallihampaiden sijasta laittaa teflonia. Muutaman tunnin seuraamisen jälkeen huomattiin, että tarranauhoihin ei enää tullut samanlaisia viiltoja. Seurattiin kameralla puristinta, joka irrottautuu tarranauhasta ja huomattiin, kuinka paljon helpommin teflon irtoaa siitä.



Kuva 20. Puristimen muotoilu tarrautuvalta puolelta.

Kuvassa 20 on hahmoteltu puristimen muoto siltä puolelta, jolta nauha takertuu. Alun perin kuvassa oleva osa oli aivan tasainen eli ilman ruskeita korokkeita. Tasainen pinta tarttui nauhaan luonnollisesti paremmin. Ensin valmistettiin uusi osa metallikorokkeilla, mutta nauha katkesi silti. Kun metallikorokkeet vaihdettiin tefloniksi, tarranauhan katkeaminen loppui kokonaan.

Meni noin kuukausi, kun ensimmäisen kerran tarranauha taas katkesi. Teflon myös kerää jonkin verran liimaa itseensä siten, että tarranauha alkaa taas takertua. Puristinta puhdistettiin, mikä hieman auttoi. Haastavaksi tilanteen tekee puristimen vaikea sijainti, joten puhdistusta on vaikea tehdä kunnolla ilman osan irrottamista. Yksi vaihtoehto jatkokehittämiseen voisi olla, että tehtäisiin kaksi puristimen osaa, jotka voisi vaihtaa nopeasti pikakiinnityksellä.

5.3.3 HeatSeal-laitteen jumittuminen ja tarran välistäjättö

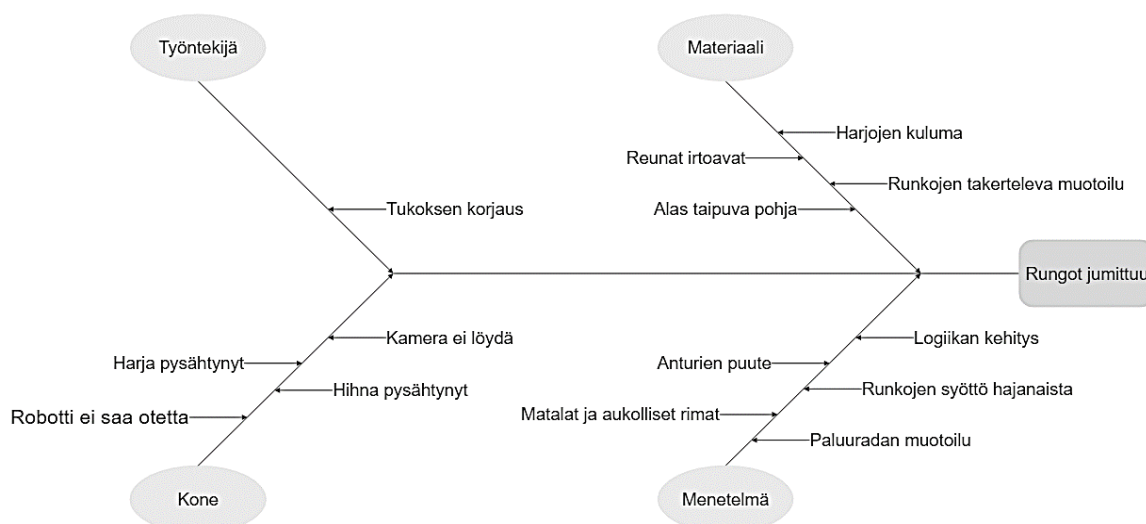
Toinen ongelma HeatSeal-laitteessa oli sen jumittuminen sekä tarrojen satunnainen välistä jättäminen. Jos HeatSeal-laite jumittuu, se pysäyttää linjan niin, että siitä ei tule häiriövaloa. Pysähtyminen on saattanut kestää useita minutteja, ennen kuin häiriö on huomattu.

Käytetyissä tarranauhoissa oli puolet tarroista jäljellä, eli linjasto otti suurimmaksi osaksi vain joka toisen tarran. Niitä ei voida käyttää uudestaan ja näin tarroja menee paljon hukkaan.

Aluksi epäiltiin jumittumisen syyksi pneumatiikkavikaa ja oltiinkin tilattu uudet osat vaihdettavaksi. Ennen kuin uusi pneumatiikkaosa tuli, ryhdyttiin tutkimaan toista ongelmaa, eli tarran välistä jättöä. Seurattiin laitteen logiikkaa reaaliajassa ja muutettiin logiikan aikaviiveitä niin, että sensorin liike tapahtui aikaisemmin. Kun sensori saapui nauhan päälle aikaisemmin seuraamaan nauhan liikettä, ei pysähdyksiä enää tullut. Logiikka saattoi pysäyttää prosessin sen takia, koska logiikkaan tuli ristiriita. Logiikka olettaa, että sensori seuraa nauhan liikettä nauhan liikkuessa, mutta kun sensori tuli hetken liian myöhässä, ohitti se välillä nauhassa olevan tarran kokonaan, tai pysäytti koko HeatSeal-laitteen. Logiikan muutos korjasi siis kaksi ongelmaa kerralla. Kyseisten ongelmien korjaaminen oli tärkeää, sillä niitä tapahtui jatkuvasti.

5.3.4 Runkojen tukkeutuminen

Useasti syntyvä runkojen tukkeutuminen koitui vaikeaksi ongelmaksi. Runkojen muoto on haasteellinen, joten rungot jumittuvat helposti yhteen. Häiriötä ei saatu kokonaan poistumaan projektin aikana. Pieniä mekaanisia korjauksia tehtiin paljon, mutta ne eivät korjanneet ongelmaa täysin. Ongelman korjaus vaati isompia toimenpiteitä ja uutta runkojen syöttölaitetta olikin jo suunnitteilla. Uusi laite ei kuitenkaan ehtinyt korvaamaan vanhaa runkojen syöttölaitetta projektin aikana. Täydellinen korjaus runkojen tukkeutumiseen olisi tärkeää, sillä se nopeuttaisi koko prosessia häiriön ollessa eniten hidastava tekijä suurimman osan ajasta.



Kuva 21. Syy-seurauskaavio runkojen jumittumisesta.

Kuvasta 21 huomataan, että suurin osa vioista on mekaanisia. Työntekijät eivät niinkään vaikuta jumittumiseen. Työntekijä voi ainoastaan ehkäistä jumittumisia jatkuvalla seuramisella ja runkojen järjestämisellä, mutta se ei ole automaatioprosessissa tietenkään tavoiteltu käytäntö ja runkojen järjestely vaatii aina linjaston pysäytyksen.

Runkojen jumittumisen estämiseksi tehtiin nopeita mekaanisia korjauksia, kuten ohjureiden lisääminen syöttöradalle ja nostimen pinta-alan pienentäminen estoilla, jotta runkoja ei nouse niin montaa kerralla. Syöttöradan ohjurit ohjaavat runkoja keskemälle rataa, jolloin robotti pystyy keräämään osan helpommin, sillä reunassa olevat rungot päätyvät

paluuradalle ja näin ollen jumittuminen on todennäköisempää. Myös paluuradasta vähennettiin teräviä kulmia lisäämällä pyöreitä muotoja, sillä terävät muodot lisäävät jumittumisen todennäköisyyttä.

Jatkotoimenpiteenä voisi kehittää radalle antureita, jotka viestittävät logiikalle, että nostin ei tuo enempää runkoja radalle tukkeeksi.

5.3.5 Runkojen päällekkäisyys

Ensin havaittiin, että robotti ei aina kyennyt nostamaan runkoja syöttöradalta. Tarkemmin seurattuna nähtiin, kuinka robotti ei yltänyt ottamaan rungosta kiinni, ikään kuin runkojen syöttöalusta olisi liian alhaalla. Juurisyyn löytämiseen voitiin käyttää ”5 kertaa miksi” -periaatetta:

Miksi robotti ei saa rungosta otetta? – Koska robotti ei yllä runkoon.

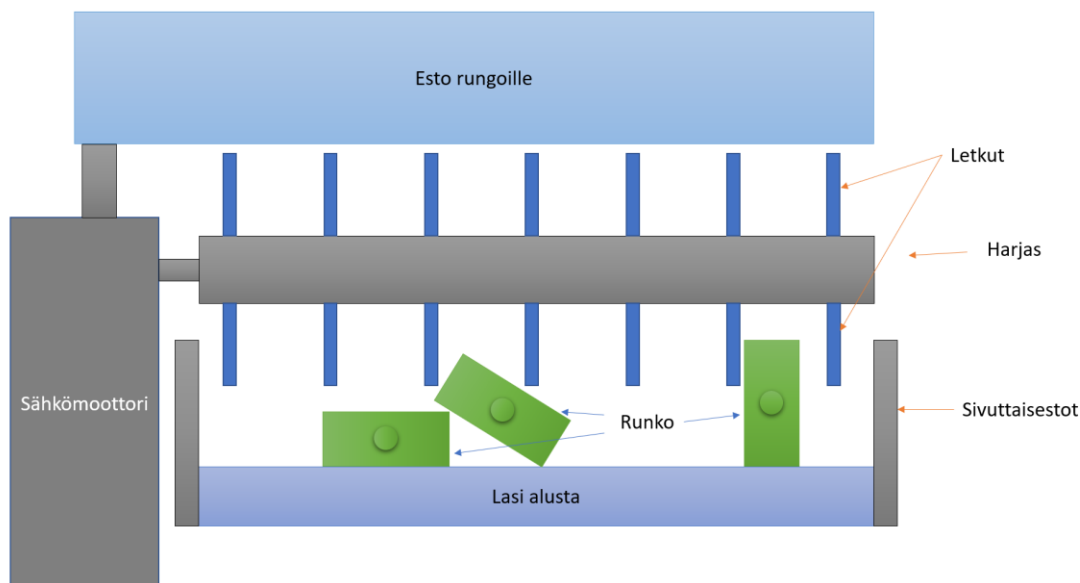
Miksi robotti ei yllä runkoon? – Koska syöttöalusta on laskeutunut muutama millin alemmas.

Miksi syöttöalusta on laskeutunut alemmas? – Videolta havaittiin, että jos rungot pääsivät letkujen läpi päällekkäin, yritti robotti kerätä rungon ja samalla painoi rataa voimakkaasti alaspäin, kun toinen runko jäi väliin.

Miksi runkoja on osittain päällekkäin? – Koska harjas, jonka pitäisi estää kaikki runkojen osittaisetkin päällekkäisyydet, ei toiminut niin kuin pitäisi.

Miksi harjas ei toimi niin kuin pitäisi? – Koska letkuja on liian harvakseltaan.

Juurisyysksi havaittiin siis liian harvakseltaan asetetut letkut, kuten kuvassa 22.



Kuva 22. Runkojen estomekanismi.

Kuvassa 22 on havainnollistettu runkojen syötössä oleva harjassysteemi, jonka tarkoitus on työntää päällekkäiset rungot alustan tasalle sekä kaataa pystyssä tulevat rungot. Lasinen alusta heiluttaa kappaleita eteenpäin (kuvassa lukijaan päin) ja vastakkaiseen suuntaan pyörivä harjas työntää runkojen päällekkäisyydet irti toisistaan. Kuvasta 22 nähdään, kuinka rungot voivat tulla osittain päällekkäin estomekanismin lävitse.

Harjaksen yläpuolella oleva plexistä valmistettu esto rungoille on siltä varalta, jos pyöriviin letkuihin tarttuu runko. Plexi estää runkoa menemästä harjaksen yli, jotta runko ei tipu toisen rungon päälle.

Lasinen alusta joustaa hieman, kun robotti painaa esimerkiksi päällekkäisiä runkoja, mutta kun näin tapahtuu muutaman kerran, niin joudutaan alustaa käsin taivuttamaan ylöspäin. Ongelman seurausta vahvistaa se, että robotin tarttuminen runkoon on vielä epätodennäköisempää, jos se yrittää nostaa runkoa alustan loppupäästä. Taipuneena alusta on loppupäässä alempana kuin alkupäässä sillä alustan kiinnitys on alkupäässä. Toisaalta on myös hyvä, että alusta joustaa, ettei lasialusta hajoa. Robotin tarttuminen runkoon on muutamista millimetreistä kiinni, joten alustan taivuttaminen on tarkkaa.

Ratkaisuksi yksinkertaisesti valmistettiin uusi harjas, jossa oli letkuja tiheämmin. Ideaali tapaus olisi, että ei olisi ollenkaan välejä, mutta letkujen sijoittaminen tiheämmin oli

helppo ratkaisu, joka vaikuttikin jo toimivalta. Samalla laskettiin koko harjasta alas niin, että letkujen alta mahtuu runko vain vaakatasossa.

5.3.6 Runkojen syöttö

Runkojen syöttöön piti jatkuvasti puuttua linjastotyöntekijän toimesta. Runkoja jäi syöttömekanismiin jumiin tai sitten runkoja tuli liikaa. Jos runkoja tulee liikaan kerralla, konenäkö ei erota runkoja, sillä ne ovat niin kiinni toisissaan. Jos konenäkö ei löydä osia, se tuo vielä lisää runkoja radalle.

Runkojen syötössä on laatikko, joka täytetään rungoilla linjastotyöntekijän toimesta. Laatikosta valuu runkoja kuiluun, jossa nostin nostaa muutaman rungon kerrallaan syöttölaitteelle, josta robotti nostaa rungon. Huomattiin, että kuilun ja nostimien välillä oli pieni korkeusero, joka esti runkoja liukumasta nostimen päälle. Korkeusero oli vain muutama mikrometri, mutta tarpeeksi korkea, jotta runko jää siihen jumiin. Kuiluun tehtiin koroke, jolla kuilua säädettiin jyrkemmäksi. Tämän korjauksen jälkeen rungot liukuivat sujuvasti nostimien päälle. Tämä johti luonnollisesti siihen, että osia alkoi tulla liikaa. Helpoin ratkaisu oli pienentää nostimien pinta-alaa lisäämällä siihen estoja, joten runkoja ei mahdu niin paljon nostimeen kerralla. Estojen kokoon vaadittiin paljon hienosäätöä, jotta runkojen virtaus olisi sopivaa. Pitkällä aikavälillä mitattaessa osia tulee joskus liikaa ja joskus liian vähän, joten oikean virtauksen löytäminen on haastavaa, mutta tilanne parani huomattavasti verraten aikaisempaan. Jos runkojen syöttöön haluaisi lisää varmuutta, pitäisi lisätä esimerkiksi robotti tai jokin muu vastaava yksitellen jakava syöttömekanismi, mutta linjasto olisi hyvä pitää mahdollisimman yksinkertaisena, kun laitteiden lisääminen toisi ehkä lisää ongelmia kokonaisuuteen.

5.3.7 Kansien syöttö

Kansien syöttömekanismi on vastaavanlainen kuin runkojen syöttö. Ongelma havaittiin, kun kansia alkoi putoilla tuotantotilan lattialle. Aikaisemmin kansien syöttö oli toiminut hyvin. Ongelman johtui siitä, että anturit eivät aina tunnista neet kansia, koska ne olivat läpinäkyviä. Ongelma ei ollut pareto-analyysissä ensimmäisten joukossa, sillä vikaa ei voitu laskea määrällisesti, koska kansien syöttö otettiin väliaikaisesti pois käytöstä. Näin

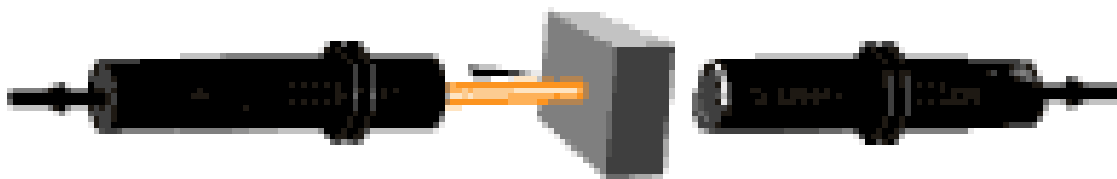
ollen kansien syöttöä jouduttiin tekemään käsin. Automaattista kansien syöttöä pidettiin pois päältä niin kauan kunnes syöttöongelma korjaantui.

Kansien syötössä kannentäyttölaatikko pudottaa kansia sitä mukaa, kun sensori ei tunnista osia kuilussa. Kun kuilussa olevat osat ovat läpinäkyviä, sensori luulee, että siellä ei ole mitään. Kuilu siis täyttyy, ja kaikki kannet tippuvat lattialle. Nostimillekin tulee niin paljon kansia, että sekin tukkiutuu.



Kuva 23. Kuilu kansille, jossa näkyy punainen anturin valonsäde vasemmalla ja vastaanotin oikealla oranssina.

Kuvassa 23 anturin periaatteena on lähettää anturin lähettimestä valonsädettä anturin vastaanottimeen. Kun vastaanottimen ja lähettimen välille saapuu kappale, vastaanotinanturiin tuleva valonsäde katkeaa. [14.]



Kuva 24. Vasemmalla puolella on valonsädelähetin ja oikealla valonsäteen vastaanottaja. [14.]

Kuvassa 24 keskellä oleva objekti estää valonsädettä pääsemästä vastaanottimeen. Kun objekti siirtyy pois edestä, logiikka saa tiedon, että antureiden välissä ei ole enää kappaletta. Kun kyse oli läpinäkyvistä kappaleista, valonsäde saapui valonsäteiden vastaanottajalle, vaikka kannet olivat välissä. Todettiin, että valonsäde on liian voimakas ja sitä piti himmentää. Korjaukseksi kiinnitettiin valonsädelähtettimeen sen verran paksua teippiä oikeaan kohtaan, että valonsädelähtetimestä lähtee hyvin minimaalinen määrä valonsädettä. Tämän jälkeen yksikin kansi, joka saapui antureiden väliin, katkaisi valonsäteiden niin, että anturi tunnisti kannen, ja näin ollen syöttöongelma saatiin korjattua.

5.3.8 Lasermerkintärobotin turhat hylkäykset

Lasermerkintärobotti laseroi vedenerottimeen mallin ja LOT-numeron, joka tarkoittaa eränumeroa. Tämän jälkeen laserointi tarkastetaan konenäöllä ja hyväksytyt tuotteet jatkavat automaattisesti pakkaukseen, mutta hylätyt tuotteet robotti erottelee hylättyjen laatikkoon. Lasermerkintärobotti aikaisemmin hylkäsi keskimäärin päivässä noin kuusi vedenerotinta, jotka olivat täysin kunnossa. Kun kuukausi vaihtui huhtikuuhun, LOT-numeroihin vaihtui kuukauden kohdalle numero neljä. Numero neljä koitui ongelmaksi konenäölle ja hylättyjä tuli 90 päivässä, eli jopa 15-kertainen määrä aiempaan verrattuna.



Kuva 25. Kuvakaappaus konenäöstä

Tutkittiin, mistä turhat hylkäykset johtuivat ja seurattiin tietokoneella logiikan tapahtumia. Kuten kuvasta 25 näkyy, konenäön tarkistusalue yhdisti numerot nollan ja neljän yhdeksi numeroksi. Logiikka katsoi sen olevan väärin ja hylkäsi tuotteen.

Logiikkaa muutettiin siten, että numeroa ympäröivien tarkistusalueiden leveyttä kaventettiin. Kun logiikasta on rajattu tarkistettavan alueen leveys, se ei voi lukea enää kahta numeroa kerrallaan. Tämän korjauksen jälkeen lasermerkintärobotti hylkäsi turhaan vain muutamia vedenerottimia päivässä.

5.4 Seuranta -vaihe

Kun parannus -vaihe oli saatu päätökseen, siirryttiin viimeiseen vaiheeseen, eli seuranta -vaiheeseen. Ongelmat eivät korjaantuneet samaan aikaan, joten jokainen häiriö on yksilöllisesti siirtynyt seuranta vaiheeseen.

DFEND		Ajalta: Viikko 8
Paikka	Ongelma	Keskiarvo määrä/Vko
Alku pää	Rob1 picking error	2
	Rob1 törmäys	1
	Rungot jumittuu ränniin ja rungot tippuu rännistä	15
	Runko tullut päällekkäin harjan läpi	1
Laser	Laserhitsauksen käynnistyksessä ongelmia	5
Pullo	Pullo jumissa putkessa	25
	Pullo kiertänyt väärinpäin	17
Klips	Liukumäessä rako joka kääntää DFENDejä (motion error)	1
	Hylkää, vaikka klipsi on hyvin kiinni	10
Laser merkitin	Lasermerkintärobotti hylkää turhia	2
Pakk aus	Pakkausrobotti rypistää	10
Yhteensä		89

Kuva 26. Häiriöraportti viikolta kahdeksan.

Kuvassa 26 nähdään häiriöiden määrät kahdeksannelta eli viimeiseltä viikolta. Alkupääosaprosessin häiriöt ovat määrällisesti vähentyneet huomattavasti ensimmäisiin viikkoihin verrattuna. HeatSeal-laitteessa oli paljon pysähdyksiä, jotka vaativat jatkuvasti toimenpiteitä. Nyt kuvasta nähdään, että HeatSeal-laitteen ongelmat ovat hävinneet kokonaan viimeiseltä viikolta.

Runkojen syötössä oli edelleen häiriöitä. Pieniä mekaanisia korjauksia oli tehty poistamaan runkojen tukoksia radalla, mutta ne eivät riittäneet korjaamaan häiriötä. Suunnitteilla oli jo kokonaan uusi syöttömekanismi, joka saattaisi lopullisesti korjata tukokset. Kun rakennetaan täysin uusi laite, sen valmistus vie sen verran aikaa, että projektin aikataulu ei riittänyt seuraamaan uuden laitteen toimivuutta.

Verrattuna ensimmäisiin viikkoihin on myös syntynyt kokonaan uusia vikoja, kuten pakkausrobotin rypistyminen ja laserhitsauksen käynnistysongelmat. Pakkausrobotin rypistyminen johtui osittain kuluneista osista, joten pakkausrobotin huoltoväliä voitaisiin jatkossa tihentää. Laserhitsauksen käynnistysongelmat johtuivat sulakkeesta, joka oli vaihdon tarpeessa.

Säiliörobotin ongelmat ovat todellisuudessa vähentyneet, vaikka viimeisen viikon raportin mukaan säiliörobotin ongelmat ovat lisääntyneet verrattuna ensimmäisen viikon raporttiin. Ensimmäisellä viikolla on kaikkien häiriöiden seuraaminen ollut niin kiireistä, että säiliörobotin ongelmat ovat jääneet huomaamatta. Kun alkupääosaprosessi alkoi toimia loppua kohti paremmin, pystyttiin keskittymään enemmän sen jälkeisiin osaprosessien häiriöihin, kuten säiliörobottiin.

Kun ensimmäisellä viikolla häiriöitä oli 476 ja viimeisellä viikolla 89, ovat häiriöt vähentyneet 81 %:lla. Ensimmäisellä viikolla häiriöitä oli niin paljon, että joitakin häiriöitä on voinut jäädä huomaamatta, joten prosenttilukema voi olla vieläkin suurempi. Viimeisellä viikolla seurattiin häiriöiden lisäksi tuotettuja vedenerottimien määrää, joita oli 2451 ja häiriöitä sinä aikana tuli 89 kappaletta. Näin ollen saantoprosentti on 96,37 %, joka vastaa 3,30 sigmaa. Sigma-arvo saatiin sigmalaskuria käyttämällä. [15.] Ensimmäiseltä viikolta ei ole dokumentoitu tuotantomääriä, joten sigma-arvoa ei kyetty laskemaan.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa vedenerotinlinjaston toimivuutta hyödyntäen Six Sigma -menetelmiä. Six Sigma -työkaluja on monia, joista käytettiin vain pientä osaa. Työssä käytettiin Pareto- ja ”5 kertaa miksi” -analyysiä, joiden avulla saatiin priorisoitua ongelmat sekä häiriöiden juurisyyt. Lisäksi käytettiin syy-seurauskaavioita ja DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmää. DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmä tulee sanoista määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus. Tämän avulla parannetaan prosessin ongelmia systemaattisesti, kunnes ongelma on korjattu.

Projektin ensimmäisellä viikolla tutkittiin, mitä häiriöitä syntyy ja mistä ne johtuvat. Juurisyyden löytäminen vaati monien tuntien seuranta ja pohdintaa. Kun juurisyy löydettiin, alettiin pohtia toimivinta ja samalla helpointa korjausta. Toisella viikolla saatiin korjattua jo muutamia häiriöitä, mutta kun linjasto alkoi tuottaa enemmän vedenerottimia päivässä, alkoivat muut häiriöt korostua. Aikaisemmin jo esiintyneet pienemmät häiriöt lisääntyivät ja alkoi myös syntyä kokonaan uusia häiriöitä. Näin ollen kahdeksan viikon aikana riitti paljon pohdittavaa ja seurattavaa.

Tärkeimpiä parannuksia olivat kaikki HeatSeal-laitteeseen liittyvät korjaukset. HeatSeal-laitte tuotti suurimman osan linjaston pysähdyksistä ensimmäisillä viikoilla. Nauhan katkeaminen HeatSeal-laitteessa oli haasteellista ja hidasta korjata. Juurisyyden löytymistä helpotti merkittävästi kameroiden käyttö, sillä niiden avulla kyettiin kuvaamaan paikkoja, joihin ei paljaalla silmällä näkisi. Tasaiseen metallipuristimeen tehtiin teflonista korokkeet, jolloin tarranauha ei takertunut enää tiukasti puristimeen kiinni. Tarttumapinta-alan vähentyessä nauha ei enää katkennut. Myös vaakatietokoneen kommunikointi ongelmat saatiin vähennettyä oikealla sammutustavalla ja robottien kalibroinnin ohjeistuksella.

Ensimmäisellä viikolla häiriöitä oli 476 kappaletta viikossa, kun viimeisellä viikolla häiriöitä oli 89 kappaletta. Häiriöt vähenivät 81 % eli tavoitteeseen päästiin. Sigma-arvoksi laskettiin 3,30 projektin viimeisellä viikolla, joten jäätin vielä hyvin kauaksi kuuden sigman tasosta.

Linjaston korjaus jäi vielä hieman kesken, sillä uusien laitteiden valmistuminen ja saapuminen kestävät jonkin aikaa. Runkojen syötölle tuleva uusi mekanismi parantaa linjaston tehokkuutta ja toimintavarmuutta. Kun runkoja saapuu kolmannelle robotille sopivasti,

nopeuttaa se huomattavasti koko prosessia. Myös vaa'at korvataan uudella testausmenetelmällä, joka lisää nopeutta valmistukseen. Kokonaan uuden laitteen tuominen linjalle saattaa toki tuoda uusia häiriöitä ja näin ollen voi olla tarpeen aloittaa taas jokin ongelmanratkaisu -prosessi.

Lähteet

- 1 Tietoa meistä. 2019. Verkkoaineisto. GE Healthcare. <http://www.gehealthcare.fi/fi-fi/tietoa_meista> Luettu 10.5.2019.
- 2 vs – eu – d-fend pro – sell sheet. 2013. Verkkoaineisto. GE Healthcare. <<http://www3.gehealthcare.co.uk/~media/downloads/uk/product/clinical%20consumables/vs%20-%20eu%20-%20d-fend%20pro%20-%20sell%20sheet%20-%20english%20-%202013%20-%20doc1392056.pdf?Parent=%7B697E8339-01F3-442C-B224-D623ED42863E%7D>> Luettu 8.11.2019.
- 3 Väisänen Lasse. 2006. Tuotannon hapenkulutuksen kartoitus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Helsinki. Luettu 10.5.2019.
- 4 Case Study. 2012. Verkkoaineisto. GE Healthcare. <<https://www.gehealthcare.co.uk/-/media/fd8cd5f3f6cc4fc2b8f33cd2ba7db27e.pdf>> Luettu 10.5.2019.
- 5 CARESCAPE Respiratory Modules. 2019. Verkkoaineisto. GE Healthcare. <<https://www.gehealthcare.co.uk/en-GB/products/patient-monitoring/carescape-respiratory-modules>> Luettu 10.5.2019.
- 6 CARESCAPE Monitor B450. 2019. Verkkoaineisto. GE Healthcare. <<https://www.gehealthcare.com/products/patient-monitoring/patient-monitors/carescape-monitor-b450>> Luettu 10.5.2019.
- 7 Ihalainen, Panu & Hölttä, Taina. 2001. Six Sigma pähkinänkuoressa. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- 8 Sigma Level Table: It's All About Quality. 2018. Verkkoaineisto. 6Sigma. <<https://6sigma.com/sigma-level-table-its-all-about-quality/>> Luettu 12.9.2019.
- 9 Karjalainen, Tanja & Karjalainen, Eero E. 2002. Six Sigma Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Hollola: Salpausselän Kirjapaino Oy.
- 10 Brook Quentin. 2014. Lean Six Sigma & Minitab. Opex Resources Ltd.
- 11 Quality Knowhow. 2017. Verkkoaineisto. Karjalainen Oy. <<http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/luova-ajattelu/>> Luettu 14.9.2019.
- 12 Qualitas Forum > Apua laatuun ja innovaatioon > Pareto-diagrammi. 2019. Verkkoaineisto. Entersol Oy. <<http://www.qualitas-forum.fi/Apualaatuunjainnovaatioon/Pareto-diagrammi.aspx>> Luettu 14.9.2019.

- 13 Lean Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmä. Verkkoaineisto. Karjalainen Oy. <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/dmaic/>> Luettu 19.9.2019.
- 14 Optiset – Koneautomaatio – Metropolia Confluence. 2019. Verkkoaineisto. <<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Optiset>> Luettu 5.8.2019.
- 15 Process Sigma Calculator. 2019. Verkkoaineisto. iSixSigma. <<https://www.isixsigma.com/process-sigma-calculator/>> Luettu 12.11.2019