

Antti Hyvärinen

# Automaatiolinjan kapasiteettimittaus sekä ongelmien määrittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.5.2016

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Antti Hyvärinen Automaatiolinjan kapasiteettimittaus sekä ongelmien määrittäminen  41 sivua 3.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Prosessi-insinööri Satu Savolainen-Pulli Yliopettaja Antero Putkiranta
<p>Insinöörityössä oli tavoitteena selvittää Vaisalan uuden massatuotteen anturipuomin valmistamiseen tarkoitetun automaatiolinjan maksimituotantokapasiteetti, sen häiriöalttius ja -tiheys, sekä mahdollisimman kattavasti kaikki seikat, joista häiriöt johtuvat ja kuinka paljon eri häiriötilanteet vaikuttavat tuotantomäärään.</p> <p>Vanhemman mallisen massatuotteen tuotanto tullaan lopettamaan lähitulevaisuudessa ja sen tulee korvaamaan uusi tuote, joten uuden automaatiolinjan kapasiteettimittaus ja sen toiminnan optimointi ovat erittäin tärkeitä toimenpiteitä, jotta voidaan saada selville, riittääkö yhden automaatiolinjan kapasiteetti sellaisenaan kattamaan tuotantotarpeet.</p> <p>Työhön ryhdyttäessä uudella tuotantolinjalla oli valmistettu anturipuomeja pieniä eriä, lähinnä satunnaisesti, joten varsinaista käsitystä automaatiolinjan kapasiteetista, häiriöistä ja sen mahdollisista pullonkauloista suuren mittakaavan tuotannossa ei ollut kenelläkään.</p> <p>Projektin aikana kerättiin automaatiolinjasta häiriödataa yhteensä 27 viikon ajan, joten eri häiriötilanteiden määrästä, esiintymistiheydestä ja niiden vaikutuksista prosessiin saatiin erittäin kattava kuva. Kerättyjen tietojen perusteella saatiin paljon uutta tietoa automaatiolinjan toiminnasta, selvitettiin sen kapasiteetti ja määriteltiin kehityskohteet.</p>	
Avainsanat	Tuotantotalous, lean

Author Title	Antti Hyvärinen Automation Line Capacity Measurement and Problem Determination
Number of Pages Date	41 pages 3 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructors	Satu Savolainen-Pulli, Process Engineer Antero Putkiranta, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to determine the maximum production capacity of an automation line which is used for mass production of sensor booms. During the line's receptiveness and frequency of disruption were also examined, and all the factors that cause disruption and their effect on the production rate were considered as widely as possible.</p> <p>Vaisala will terminate the production of older model of sensor boom in the near future and it will to be replaced by a new model. It is very important to measure and optimize the capacity of the new production line, so it can be defined whether one line is enough to meet the production needs.</p> <p>As the research started, only small, occasional number of sensor booms had been produced in the line before, so there was no prior knowledge about the capacity, possible disruption or bottle necks in larger scale production.</p> <p>During the project, error data was gathered for a total period of 27 weeks so in the end a very precise picture about numbers and frequency of errors and their influence on the process was formed. By investigating the gathered data, plenty of new information about the automation line operation was gained, and thus it was possible to define the maximum capacity and targets for development.</p>	
Keywords	Industrial Engineering and Management, Lean

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Insinööriyön kohde	1
1.2	Työn rajaus	2
2	Lean	2
2.1	Mitä on lean	2
2.2	Toyota Motor Company, ja Toyota Production System (TPS)	3
2.3	Lean-malli verrattuna perinteiseen malliin	4
2.4	Hävikin eliminoiminen	5
2.5	Lean ja työntekijät	7
2.6	Jatkuvan kehityksen työkalut	7
2.6.1	Demingin-laatuympyrä	7
2.6.2	Kaizen	8
3	Vaisala	9
4	Kohteen kuvaus	10
4.1	Automaatiolinja	10
4.2	Automaatiolinjan rakenne	10
4.2.1	Arkkien syöttölaite	11
4.2.2	Kielipaneeliarkkien merkkaus	12
4.2.3	Anturien ladonta	12
4.2.4	Reflow-uuni	13
4.2.5	Kielipaneeliarkkien leikkaus	13
4.2.6	Kielipaneeliarkkien lakkaus	14
4.2.7	Lakankuivausuuni	14
4.2.8	Kielipaneelien asettelu räkkeihin	15
4.2.9	Kielipaneelien sähköinen testaus	15
5	Nykytila-analyysi	15
5.1	Tutkimusmenetelmät	15
5.1.1	Häiriöiden tilastointi	16

5.1.2	Osaprosessien kellottaminen	16
5.2	Anturien ladontakone	17
5.2.1	Konenäön toiminta	17
5.2.2	Anturien ladonta	18
5.2.3	Kielipaneeliarkkien juuttuminen ladontakoneeseen	20
5.2.4	Viat anturienladontakoneen softassa	22
5.3	Kuljettimet	22
5.3.1	Hihnakuuljettimet	23
5.3.2	Ketjukuljettimet	25
5.3.3	Sivuttaissiirtimet	26
5.4	Kielipaneelin lakkaus	27
5.4.1	Lakkakertymät	27
5.4.2	Arkkien muoto	28
5.5	Kielipaneelin leikkaus	28
5.6	Kielipaneeliarkkien asettelu räkkeihin	28
6	Parannusehdotukset	29
6.1	Kielipaneeliihiot	30
6.2	Kuljettimet	30
6.3	Anturienladontakone	31
7	Yhteenveto	31
7.1	Yleistä	31
7.2	Pullonkaulat	32
7.2.1	Anturien ladonta kielipaneeliihioihin	32
7.2.2	Reflow-uuni	33
7.2.3	Kielipaneeliihioiden leikkaus	33
7.2.4	Muut osaprosessit	34
7.3	Häiriömäärien tilastointi	34
7.4	Prosessin ajankäyttö	36
7.5	Tuotantomäärä	36
7.6	Lakkaus	37
7.7	Työn tulokset	37
	Lähteet	40

## **Käsitteet**

Reflow-menetelmä	Elektroniikan valmistuksessa käytettävä pintaliitoskomponenttien juotosmenetelmä.
Ladontakone	Elektroniikan valmistuksessa käytettävä automaatiokone jolla komponentit asetellaan piirilevyille.
2D-koodi	Perinteisen lineaarisen viivakoodin rinnalle on kehitetty useita erityyppisiä kaksiulotteisia koodeja, joihin mahtuu enemmän tietoa pienelle alueelle.

## 1 Johdanto

### 1.1 Insinööriyön kohde

Insinööriyö tehdään Vaisala Oyj:lle. Insinööriyön kohteena on ylösajovaiheessa (ramp up) oleva automaatiolinja, jossa valmistetaan Vaisalan uuden massatuotteen niin sanottu anturipuomi, jossa sijaitsee ko. tuotteen lämpötila- ja kosteusanturit.

Tällä hetkellä myydään vielä ylivoimaisesti enemmän vanhempaa, vuonna 2003 markkinoille tullutta tuotetta, mutta sen valmistus on tarkoitus lopettaa vuoden 2017 loppuun mennessä erästä erikoismallia lukuun ottamatta, kunnes sillekin saadaan kehitettyä uusi, korvaava malli.

Tämän kyseessä olevan massatuotteen myyntimääristä vuonna 2015 noin 75 % oli vanhempaa mallia ja noin 25 % uutta mallia. Vuoden 2018 uuden massatuotteen tavoiteltu myyntiosuus on 90 % kaikista Vaisalan toimittamista kyseessä olevista massatuotteista [1].

Uudella automaatiolinjalla oli aluksi valmistettu lähinnä pieniä koe-eriä, sekä sittemmin pieniä ja pienehköjä eriä, jotka ovat menneet varsinaiseen tuotantoon. Koska tuotanto anturipuomilinjalla on toistaiseksi ollut kohtalaisen vähäistä ja satunnaista, sekä tuotantomäärät ovat olleet pienehköjä, niin kenelläkään ei oikeastaan ollut kunnollista käsitystä automaatiolinjan toimivuudesta ja sen häiriöalttiudesta suuremman mittakaavan tuotannossa.

Insinööriyöhön ryhdyttäessä oli kyllä tiedossa, että ongelmia ja häiriöitä esiintyy anturipuomilinjalla hyvinkin runsaasti, mutta niistä ei ole aiemmin pidetty minkäänlaista kirjannpitoa tai dokumentointia eikä automaatiolinjan varsinaisia ongelmakohtia ja pullonkauloja ollut määritelty.

## 1.2 Työn rajaus

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli nimenomaan uuden automaatiolinjan kapasiteettimittaus, sekä kaikkien mahdollisten ongelmakohtien selvittäminen ja mahdollisten parannusehdotusten laatiminen.

Käytännössä tämä tarkoittaa siis sitä, että jos jokin laite meni vikatilaan, kielipaneeliarkki pysähtyi johonkin osaan prosessia tahattomasti, tai jos ilmeni jokin muu häiriö prosessissa, tarkoituksena oli selvittää ne tekijät, joista nämä edellä mainitut tilanteet johtuivat.

Työn ulkopuolelle jätettiin kaikki muut tekijät automaatiolinjan laitteissa, eli siis näin ollen tässä työssä ei ollenkaan puututa sellaisiin seikkoihin, miksi jonkin prosessin saannossa on ongelmia tai mistä seikasta ja tekijästä laitteiden viat mahdollisesti johtuvat.

## 2 Lean

### 2.1 Mitä on lean

Lean on johtamisfilosofia, jonka avulla mikä tahansa tuotanto- tai asiakasprosessi pyritään kehittämään ja optimoimaan mahdollisimman lähelle täydellistä. Lean on kehittynyt JIT, eli Just In Time -ajattelun pohjalta ja se on alun perin kehitetty Japanissa Toyota Motor Companyssa käytettävästä Toyota Production System -nimisestä tuotannonohjausmenetelmästä.

Lean-ajattelun tarkoituksena on synkronoida tuotteiden, sekä palveluiden kysyntä ja tarjonta vastaamaan toisiaan niin, että yritys toimittaa asiakkaalle aina täsmälleen

- sitä mitä asiakas haluaa (täydellistä laatua)
- silloin, kun asiakas haluaa (ei liian aikaisin eikä myöhään)
- niin paljon tai vähän, kun asiakas haluaa (ei liikaa eikä liian vähän)
- sinne mihin asiakas haluaa (asiakkaan sijainti).



Kaikki nämä tulisi saavuttaa mahdollisimman pienillä kustannuksilla ja hävikillä, sekä mahdollisimman korkealla tuottavuudella. [2.]

## 2.2 Toyota Motor Company, ja Toyota Production System (TPS)

“Voi käyttää vaikka koko elämän täydellisen kirsikankukan etsimiseen, eikä se silti olisi ajanhukkaa”. [3]

Tämä lause kiteyttää erittäin hyvin japanilaisen mielenlaadun. Tuskin missään muussa maailman maassa täydellisyyden tavoitteluun uhrataan niin paljon aikaa, vaivaa ja resursseja kuin Japanissa. Siksi ei olekaan ihme, että juuri sieltä, tarkalleen Toyotan auto-tehtaalta, lean-ajattelu on saanut alkunsa.

Toyotan tehtailla tuotannonohjaus perustuu järjestelmään, jota kutsutaan nimellä TPS, Toyota Production System. TPS koostuu kahdesta osa-alueesta: Just In Time (JIT), sekä jidoka. JIT määrittää auton osien kysynnän mukaisena, nopeana ja koordinoituna kuluna tuotantoprosessin läpi jälleenmyyjien kautta asiakkaalle. Jidokalla tarkoitetaan ”käyttäjän ja koneen välisen yhteyden inhimillistämistä”. Toyotan filosofiaan kuuluu, että kone on olemassa palvellakseen käyttäjän tarkoitusta ja käyttäjän on oltava vapaa toimimaan oman arvionsa mukaisesti, ei koneen. [4.]

Toyotan filosofian mukaisesti sekä JIT että jidoka on otettava vahvasti huomioon tuotannonohjauksessa hävikin vähentämiseksi. Hävikki määrittää hyvin laajasti ”kaikkena muuna kuin tuotantoon välttämättä tarvittavana minimimääränä koneita, raaka-aineita ja työntekijöitä”. [4.]

TPS toimii tavallaan jopa paradoksaalisesti: toisaalta tuotevirta Toyotan tehtailla on pilkuntarkasti suunniteltu, mutta samaan aikaan toiminnot ovat valtavan joustavia ja muuntuvia. Toimintoja ja prosesseja haastetaan ja uudelleenarvioidaan koko ajan, mikä takaa yhtiön jatkuvan kehittymisen. [4.]

Eräessä merkittävässä TPS-tutkimuksessa löydettiin neljä sääntöä, jotka ohjaavat yrityksessä kaikkea tuotesuunnittelua, tavarantoimitusta ja kehitystä.

Kaiken työn on oltava tarkasti määriteltyä sisällön, järjestyksen, ajoituksen sekä lopputuloksen kannalta.

- Jokaisen tavarantoimittajan ja asiakkaan välisen yhteyden on oltava suora ja toimittava ilman välikäsiä. Asiakaskyselyihin ja niihin vastaamiseen on oltava selkeä kyllä tai ei vastausmalli.
- Jokaisen palvelun sekä tuotteen reitin asiakkaalle on oltava mahdollisimman yksinkertainen ja suora.
- Kaikki parannukset tehdään tieteellisen tutkimuksen perusteella, opettajan valvonnassa ja mahdollisimman alhaisella tasolla organisaatiossa. [5.]

### 2.3 Lean-malli verrattuna perinteiseen malliin

Lean-toimintafilosofiaa on helpompi ymmärtää vertailemalla sitä perinteiseen ”jäykkään” lähestymistapaan. Ehkä selkein ero näiden mallien välillä on se, että perinteisessä tuotantoprosessissa tuotteet siirtyvät valmistusprosessin kestäessä eri tuotantovaiheiden välillä puskurivarastojen kautta. Tuotteita myös valmistetaan varastoon odottamaan tilausta. Lean-mallissa puskurivarastoja ei käytetä, vaan tavoitteena on valmistaa tuotteiden keskeytyksetön virtaus tuotantoprosessissa. Tuotteen valmistus aloitetaan myös vasta silloin, kun asiakas on sen tilannut. [2.]

Perinteisessä mallissa tuotteen osia ja valmiita tuotteita on aina varastossa. Jos johonkin prosessin vaiheeseen muodostuu epäjatkuvuuskohta eli vaikka jonkun tuotteen osan valmistuslaite rikkoutuu, kestää aikansa ennen kuin osien puskurivarasto tyhjenee ja tuotanto pysähtyy kokonaan. Ongelman havaitseminen saattaa kestää näin huomattavasti kauemmin ja sen ratkaiseminen on lähinnä rikkoutuneen prosessivaiheen työntekijöiden vastuulla. Näin koko tuotantojärjestelmän käyttöaste kyllä pysyy korkeana vaikka yksi sen osasista rikkoutuisikin mutta voidaan kysyä, kannattaako muita osia valmistaa isoja määriä varastoon yhden osan valmistamiseen tarvittavan kaluston ollessa rikki, kun valmistusta tuotetta ei kuitenkaan saada myyntiin ennen kuin myös puuttuva osa on pystytty lisäämään tuotteeseen. [2.]

Lean-mallissa mitään ei ole valmiina varastossa, vaan edellisen kaltaisessa tilanteessa ongelma havaitaan nopeasti, koska koko tuotanto pysähtyy lähes välittömästi. Näin pys-

tytään tehokkaasti ohjaamaan kaikki käytettävissä olevat resurssit ongelman ratkaisemiseen eikä tuotteita valmistu turhaan kasvattamaan puskurivarastoa ja mahdollista hävikkiä. [6.]

Lean-filosofiaa voidaankin tässä mielessä verrata muurahaiskekkoon: normaalisti kaikki muurahaiset työskentelevät tehokkaasti omalla alueellaan ja omissa työtehtävissään mutta mikäli pesän osa rikkoutuu tai muu ongelma uhkaa, kaikki siirtyvät tekemään hartiavoimin töitä tilanteen korjaamiseksi.

Suurten puskurivarastojen käyttö saattaa myös piilottaa näkyvistä joitain tuotannossa olevia ongelmia, jotka eivät kokonaan pysäytä tuotantoa, mutta hidastavat sitä, tai heikentävät tehokkuutta. Nämä ongelmat on helpompi havaita lean-mallilla toimivassa prosessissa, koska prosessi on kokonaisuutena kevyempi ja läpinäkyvämpi. [6.]

#### 2.4 Hävikin eliminoiminen

Yksi tärkeimmistä, ellei tärkein ajatus, joka muodostaa lean-filosofian ytimen on hävikin vähentäminen, tai sen täydellinen poistaminen. Perinteisesti hävikiksi on ajateltu lähinnä raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden hävikkiä, eli esimerkiksi viallisten tuotteiden valmistaminen tai tuotteet jotka pilaantuvat, rikkoutuvat tms. varastoinnin yhteydessä. Leanissa hävikin käsite ajatellaan paljon laajempaan. Hävikkiä on kaikki tuottamaton toiminta ja tuottamattomat toiminnot. Useissa tutkimuksissa on todettu, että niinkin pieni osa kuin 5 % toimintaan käytetystä ajasta palvelu- tai materiaalityöntehtävissä todellisuudessa lisää tuotteen arvoa ja loput 95 % on arvoa tuottamatonta toimintaa. [7.]

Lean-filosofiassa tämän arvoa tuottamattoman toiminnan osuutta pyritään vähentämään mahdollisimman paljon. Ennen kuin tähän päästään, täytyy tietysti tunnistaa kaikki ne prosessin osatekijät, joissa hävikkiä syntyy. Fujio Cho Toyotalta on yksilöinyt seitsemän erilaista tyyppiä hävikkiä, jotka kaikki pitää eliminoida tuotantoprosessista. Nämä samat muodot tai ainakin osa niistä on löydettävissä suuresta osasta kaikista tuotteiden ja palveluiden tuotantoprosesseista. [7.]

Seuraavassa on käsitelty näitä hävikkityyppejä hieman tarkemmin:

- Ylituotannon aiheuttama hävikki on Toyotan mukaan suurin hävikin aiheuttaja. Hävikkiä muodostuu aina silloin, kun tuotetta valmistetaan enemmän kuin on seuraavan prosessivaiheen kannalta ehdottoman välttämätöntä.
- Odotusajan aiheuttamaa hävikkiä muodostuu silloin, kun työntekijän työteho ja kaluston käyttöaste ovat alhaisia. Vähemmän usein ajatellaan, että hävikkiä on myös se aika, jonka tavarat odottavat käyttäjän suorittaessa tehtävää, joka ei juuri sillä hetkellä ole välttämätöntä.
- Kuljetushävikkiä on kaikki ylimääräinen aika, joka kuluu yksiköiden kulussa prosessin sisällä ja yksiköiden ylimääräiseen käsittelyyn. Tähän hävikin muotoon voidaan vaikuttaa vähentävästi prosessin eri vaiheiden järjestämisellä mahdollisimman lähelle toisiaan, kuljetusjärjestelmien tehostamisella ja työpisteiden suunnittelulla.
- Tuotantohävikkiä voi muodostua itse prosessissa: jotkut toiminnot voivat olla olemassa ainoastaan, koska komponentit on huonosti suunniteltu, tai prosessin ylläpito ei ole riittävää.
- Varastohävikkiä syntyy ainoastaan tavaroiden (puskuri-) varastoinnin yhteydessä ja se pyritään lean-ajattelussa poistamaan kokonaan.
- Liikehävikkiä on se, kun työntekijä vaikuttaa kiireiseltä työssään, mutta se mitä hän tekee, ei todellisuudessa lisää lainkaan tuotteen, tai palvelun arvoa. Työtä yksinkertaistamalla voidaan liikehävikkiä vähentää merkittävästi.
- Tuotevirheiden aiheuttama hävikki on paljon suurempi, kuin perinteisesti on ajateltu ja siksi tähän hävikkityyppiin on hyvin tärkeää puuttua. Se tapahtuu esim. käyttämällä erilaisia laaduntarkkailumenetelmiä ja muilla tavoilla, jotka ylläpitävät tuotteen laadun korkealla tasolla. [8.]

Materiaalien, tiedon sekä ihmisten sujuva virta on lean-ajattelun keskeinen ajatus, ja vastaavasti poikkeamat tässä virrassa aiheuttavat hävikkiä. Myös epätarkkuudet toimitusajoissa ja määrissä, joustamattomuus kysynnän suhteen sekä suuri vaihtelevuus (paljon erilaisia tuotevariaatioita) kasvattavat hävikkiä. Nämä kaikki seikat muodostavat rajat, joita eri tavoin tiukentamalla prosessi pystytään muokkaamaan mahdollisimman täydellisesti ja tehokkaasti toimivaksi. [9.]

## 2.5 Lean ja työntekijät

Muurahaispesävertaus kuvaa lean-filosofiaa hyvin myös yksittäisen työntekijän kannalta. Sen ajatellaan olevan hyvin kokonaisvaltainen menetelmä, jonka kaikki toimijat ja toiminnot läpi koko organisaation omaksuvat. Joskus lean-filosofiolla johdettua yrityskulttuuria ajatellaan synonyyminä sanalle kokonaislaatu. Ihmisten johtamisessa sitä on myös kutsuttu yksilöä kunnioittavaksi järjestelmäksi. Lean rohkaisee ja joskus pakottaakin tiimityöskentelyyn perustuvaan ongelmanratkaisuun, oman työn kehittämiseen, työnkiertoon ja moniosaamiseen. Filosofian tarkoituksena on rohkaista korkeaan yksilönvastuuseen, sitoutumiseen ja yrittäjähenkisyyteen oman työn suhteen. [10.]

## 2.6 Jatkuvan kehityksen työkalut

### 2.6.1 Demingin-laatuympyrä

William Edwards Deming oli yhdysvaltalainen elektroniikkainsinööri ja filosofian tohtori, jota pidetään jatkuvan laadun valvonnan ajatuksen isänä ja tieteellisenä kehittäjänä. Toisen maailmansodan aikana hän kehitti maansa sotatarviketuotannon laaduntarkkailujärjestelmiä ja osallistui tuotantoa koskevien standardien luomiseen. Toisen maailmansodan jälkeen Yhdysvaltain miehityshallinto lähetti Demingin Japaniin auttamaan maan jälleenrakennuksessa. Hän koulutti henkilöitä omien oppiensä pohjalta, ja sen seurauksena nämä japanilaisissa teollisuusyrityksissä työskentelevät insinöörit ja johtajat alkoivat soveltaa Demingin oppeja työssään. Näin Deming oli omalta osaltaan rakentamassa Japanin talousihmeeksi kutsuttua voimakasta nousua yhdeksi maailman suurimmista talouksista. [11; 12.]

Demingin-laatuympyrä eli PDCA-malli on yksi tunnetuimmista prosessin jatkuvaan parantamiseen perustuvista menetelmistä (kuva 1). Tässä mallissa optimoituun prosessiin tähtäävät toimet on kuvattu ympyrän sektoreina seuraavasti:

- P = Plan. Suunnitteluosiossa luodaan ennuste tai toive siitä, miten prosessin odotetaan toimivan ja millainen on toivottu lopputulos.

- D = Do. Prosessin käynnistäminen ja läpivieminen niin, että sitä tarkkailaan ja havainnoidaan koko ajan.
- C = Check. Vertaillaan saavutettua lopputulosta suunnitelmavaiheessa tehtyyn ennusteeseen.
- A = Act. Pidetään prosessissa mukana sellaisenaan ne vaiheet, jotka toimivat. Ne, jotka eivät toimi, viedään uudelleenkäsittelyyn eli uuteen PDCA-sykliin. [13.]



Kuva 1. PDCA-sykli [14].

### 2.6.2 Kaizen

Japanilaiset kehittivät Demingin menetelmän pohjalta oman jatkuvan kehityksen filosofiansa nimeltään Kaizen (jap. kai = muutos, zen = paremmaksi). Kaizen on perustana sekä Toyota Production Systemille että leanille.

Kaizenilla tarkoitetaan – ei ainoastaan tuotantoprosessin parantamista – vaan koko tuotantojärjestelmän humanisointia eliminoimalla siitä kova fyysinen työ kehittämällä ja käyt-

tämällä tuotannossa mahdollisimman paljon robotteja ja muita koneita sekä tietotekniikkaa ja näin vapauttamalla resursseja älyllisempään toimintaan. Kaizenin ajatus on rohkaista ihmisiä testaamaan ja kehittämään omaa työtään tieteellisiä menetelmiä käyttämällä sekä vähentämällä kaikenlainen hävikki mahdollisimman vähäiseksi.

Kaizen ulottuu kaikkialle yrityksen johtoportaasta alimmalle työntekijätasolle asti pyrkimällä tekemään kaikkien työskentelyolosuhteet sellaiseksi, että ne rohkaisevat jatkuvaan kehitykseen, uuden innovointiin ja ideoiden jakamiseen. Yksilön korkea motivaatiotaso on jatkuvan kehityksen tärkein osatekijä. [15.]

### **3 Vaisala**

Vaisala on vuonna 1936 Vilho Väisälän perustama suomalainen eri olosuhteiden mittaamiseen erikoistunut yritys. Vaisalan pääkonttori sijaitsee Vantaalla, Vantaanlaaksossa. Vaisalan palveluksessa oli vuoden 2015 lopussa 1 588 henkilöä, joista 58,5 % työskenteli Suomessa [16].

Vaisala on keskittynyt erityisesti erilaisten ympäristöhavaintojen tekemiseen tarvittavien mittalaitteiden ja -järjestelmien sekä teollisuuden mittausratkaisujen kehitykseen ja valmistamiseen. Sen suurimmat asiakasryhmät ovat meteorologiset laitokset, tietyt säästä riippuvaiset toimialat kuten ilmavaihteet sekä teollisuus. Vaisalalla on yli 30 toimipistettä Euroopassa, Aasiassa, Pohjois- ja Etelä-Amerikassa sekä Australiassa, yhteensä kuudesatoista eri maassa [17].

Vaisalan juuret ulottuvat 1930-luvulle, jolloin professori Vilho Väisälä (1889-1969) kehittänyt radioluotaimen toimintaperiaatteita. Ensimmäiset radioluotaimet hän sai myytyä vuonna 1936, jolloin myös Vaisala yhtiönä sai alkunsa [18]. Radioluotaimilla mitataan ilmakehän pystyrakennetta. Mitattavia suureita ovat tuulennopeus ja -suunta, paine, kosteus ja lämpötila. Myös ilmakehän otsonipitoisuutta voidaan mitata radioluotauksilla. Luotain lähetetään matkaan sääpallolla, ja se voi nousta jopa 35 km:n korkeuteen.

Vaatimattoman alun jälkeen Vaisalasta on vuosien myötä kasvanut omalla alallaan maailman johtava kansainvälinen yritys, jonka liikevaihto vuonna 2015 oli 318,5 M€ [19].

## 4 Kohteen kuvaus

### 4.1 Automaatiolinja

Uuden anturipuomin valmistuksessa käytettävä automaatiolinja sijaitsee puhdastilassa (kuva 2). Tästä syystä johtuen ennen työn aloitusta oli suoritettava ns. puhdastilakoulutus, jossa käydään läpi puhdastilojen vaatimat erityistoimenpiteet ja opetellaan toimimaan niiden mukaisesti. Puhdastilassa työskentely vaatii myös erityisen puhdastilavaatetuksen, hupullisine haalareineen, kenkäsuojuksineen ja käsineineen.

Työ aloitettiin tutustumalla kohteena olevaan automaatiolinjaan kokeneen operaattorin opastuksen ja ohjeistuksen mukaan toimimalla. Kun automaatiolinjan peruskäyttö oli hallussa, niin oli mahdollista operoida automaatiolinjaa itsenäisesti, jolloin siitä ja sen toiminnasta alkoi vähitellen muodostua selkeä kuva.

### 4.2 Automaatiolinjan rakenne



Kuva 2. Kielipaneelilinja puhdastilan ulkopuolelta kuvattuna.

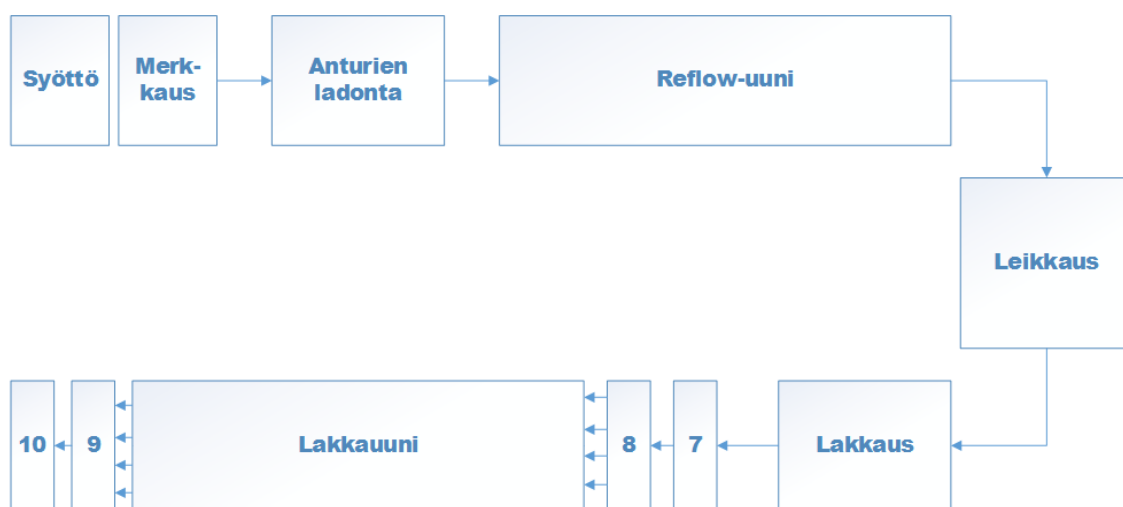
Automaatiolinja koostuu useista osaprosesseista ja niiden väliin sijoitetuista kuljettimista. Nämä varsinaisten osaprosessien väleissä sijaitsevat niin sanotut välikuljettimet tekevät prosessista joustavamman, sillä prosessin edellisessä vaiheessa jo valmistuneet arkit on mahdollista siirtää kuljettimelle odottamaan seuraavaan vaiheeseen pääsyä ja näin



ollen itse osaprosessiin voidaan ottaa seuraava arkki käsiteltäväksi. Näin ollen välikuljettimet toimivat prosessissa myös pieninä puskurivarastoina.

Kuvassa 3 olevat nimeämättömät laitteet:

- 7 ja 10 ovat sivuttaissiirtimiä
- 8 ja 9 ovat moniratakuljettimia (neljä kuljetinta rinnakkain)



Kuva 3. Kielipaneelilinjan prosessikaavio

#### 4.2.1 Arkkien syöttölaite

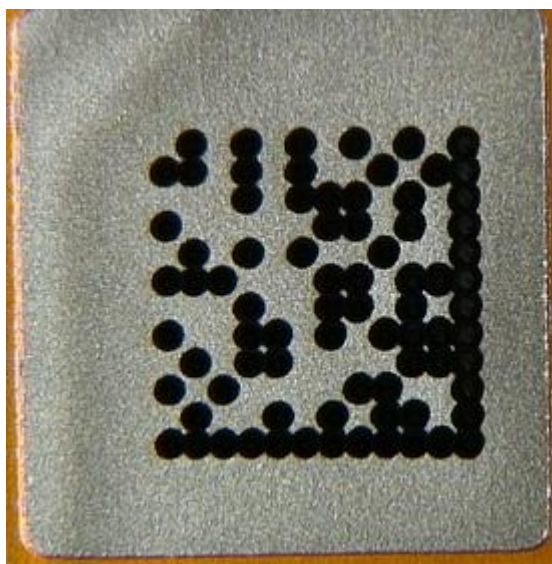
Ensimmäisenä laitteena on anturipuomiaihoiden syöttölaite. Operaattori asettaa syöttölaitteeseen sopivaksi määräksi katsomansa nipun piirilevyarkkeja. Syöttölaite poimii arkit nipusta automaattisesti imun avulla nipun ylimmästä arkista alkaen ja asettaa arkin kuljetinhihnalle, josta arkki siirtyy seuraavaan vaiheeseen.

#### 4.2.2 Kielipaneeliarkkien merkkaus

Toisena laitteena linjalla on arkki merkkauslaite, jolla jokaiseen arkkiin ja jokaiseen anturipuomiin merkitään sarjanumerot. Näin jokainen kielipaneeliarkki sekä niissä olevat kuusi anturipuomia saadaan identifioitua. Sarjanumerot merkitään anturipuomeihin kahdella tavalla, sekä numero/kirjainyhdistelmällä että 2D-koodilla. Tämä siitä syystä, että tarvittaessa anturikielen sarjanumero on helposti luettavissa niin silmämääräisesti (numero/kirjainyhdistelmä) kuin koneellisestikin (2D-koodi). Merkkauslaitteen jälkeen sijaitsee yksi välikuljetin.

#### 4.2.3 Anturien ladonta

Kolmantena laitteena on anturien ladontalaite. Laite lukee ensin jokaisesta kielestä 2D-koodin (kuva 4), ja näin jokainen anturipuomi identifioidaan erikseen tietokantaan. Tällä tavoin saadaan dokumentoitua, minkä anturierän anturi on missäkin anturipuomissa, tai jos kyseessä oleva anturipuomi myöhemmin hylätään niin mistä syystä se on hylätty. Tämä taas on laadunvalvonnallisesti erittäin tärkeä seikka, mikäli esimerkiksi myöhemmin havaitaan, että jossakin anturierässä on mahdollisesti ollut jotain vikaa. Näin saadaan jäljitettyä kaikki anturipuomit, joihin on mahdollisesti asennettu viallisia antureita.



Kuva 4. Datamatriisityyppinen 2D-koodi

Ennen anturien ladontaa paikalleen kaikki kielipaneeliihioissa olevat anturien paikat tarkistetaan konenäön avulla. Näin varmistutaan siitä, että kaikki liitoskohdat anturipuomeissa joihin anturit ladotaan, ovat moitteettomassa kunnossa.

Tämän jälkeen jokaiseen koneellisen tarkastuksen läpäisseeseen anturipuomiin asennetaan kosteus- ja lämpötila-anturit. Kone noukkii piikiekolle valmistetut anturit yksitellen kiekosta ja asentaa ne oikeille paikoilleen. Anturien liitos mittakieleen tapahtuu tietyllä lämpötilalla ja voimalla, eli anturi lämmitetään ja se painetaan kiinni liitoskohtaan, jotta saadaan aikaiseksi juuri oikeanlainen liitos ja anturit juottuvat kiinni mittakielessä oleviin liitospintoihin.

Anturien ladonnan jälkeen suoritetaan tarkistus konenäöllä, jotta varmistutaan siitä, että anturit on ladottu oikeisiin kohtiin. Tämän jälkeen kieliihio on anturien ladonnan osalta valmis ja se siirretään seuraavalle välikuljettimelle.

#### 4.2.4 Reflow-uuni

Seuraavana osaprosessina on reflow-uuni, jonka läpi arkki kulkee kuljettimella halutulla nopeudella ja oikeassa lämpötilassa. Uunin alusta loppuun päin mentäessä lämpötila kasvaa. Tämän prosessin tehtävä on saada edellisessä prosessissa tehdyt anturiliitokset juottumaan täydellisesti, sekä antaa liitoskohdille mahdollisimman hyvä kiinnipysyvyys.

Reflow-uunin jälkeen sijaitsee jälleen välikuljetin ja tämän lisäksi myös kääntöpöytä, joka kääntää kielipaneeliarkin kulkusuuntaa 90°. Kääntöpöydän jälkeen sijaitsee vielä yksi välikuljetin.

#### 4.2.5 Kielipaneeliarkkien leikkaus

Viidentenä osaprosessina on arkkien leikkaus. Tässä prosessissa leikataan arkeista pois ylimääräiset osat, jotka ovat aiemmin olleet tarpeen tuotteen valmistuksen kannalta, mutta varsinaisessa lopullisessa tuotteessa niitä ei voi toiminnallisista syistä olla.

Leikkauksen jälkeen prosessissa sijaitsee peräkkäin kolme välikuljetinta. Kuljettimien jälkeen sijaitsee toinen kääntöpöytä, joka jälleen kääntää arkin kulkusuuntaa 90°.

#### 4.2.6 Kielipaneeliarkkien lakkaus

Seuraavana prosessissa on kielipaneelien lakkaus. Kielipaneeliarkkien yläpää lakataan, jotta anturipuomien yläosaan saadaan mahdollisimman tasainen ja kirkas pinta erästä myöhempää käsittelyvaihetta varten. Koska se vaihe tehdään muualla kuin puhdashuoneessa, sitä ei käsitellä tässä työssä.

Ennen varsinaista lakan annostelua prosessissa sijaitsee arkin kääntäjä, joka kääntää arkin ylösalaisin eli 180° sen varsinaisen kulkusuunnan kuitenkin muuttumatta. Tämä toimenpide tarvitaan siksi, että lakkauskoneessa lakka suihkutetaan arkin yläpuolelta ja näin ollen muutoin arkin molemminpuolinen lakkaus ei onnistuisi.

Laukkauksen jälkeen prosessissa on jälleen välikuljetin, johon arkki siirretään lakkauksen jälkeen odottamaan seuraavaa prosessia.

#### 4.2.7 Lakankuivausuuni

Lakankuivausuunissa nimensä mukaisesti kuivataan edellisessä prosessissa anturipuomien päälle suihkutettu lakka. Ennen varsinaista uunia sijaitsee arkkien sivuttaissiirrin ja moniratakuljetin. Sivuttaissiirrin annostelee vuorollaan arkkeja moniratakuljettimelle, jossa on neljä rinnakkaista kuljetinrataa. Tämä mahdollistaa sen, että uunin leveys saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin, sillä itse uuniin mahtuu leveytensä puolesta neljä kielipaneeliarkkia rinnakkain.

Lakankuivausuunin suuri käsittelykapasiteetti verrattuna muihin osaprosesseihin ei nopeuta prosessia normaaliolosuhteissa, mutta se mahdollistaa ennen lakkausta muodostuneen suhteellisen suurenkin puskurivaraston nopean purkamisen. Jos esimerkiksi lakkausprosessi on jouduttu pysäyttämään ongelmien vuoksi ja kielipaneeliarkkeja on kasaunut odottamaan lakkausta, niin tällöin ensinnäkin lakkausprosessin nopeus ja kuivausuunin suuri käsittelykapasiteetti mahdollistaa muodostuneen ruuhkan poistamisen häiritsemättä käytännössä lainkaan aikaisempia osaprosesseja.

#### 4.2.8 Kielipaneelien asettelu räkkeihin

Viimeisenä prosessina automaatiolinjassa on käsiteltyjen kielipaneelien asettelu räkkeihin. Kielipaneelit tulevat uunista neljässä eri rivissä. Uunin jälkeen sijaitsee nelirivinen moniratakuljetin, josta sivuttaissiirrin kerää kielipaneelit yksitellen ja asettelee ne erityisesti näitä varten suunniteltuihin räkkeihin.

#### 4.2.9 Kielipaneelien sähköinen testaus

Lopuksi puhdashuoneessa suoritetaan tuotteelle sähköinen testaus. Tämän prosessin suorittaa automaatiolinjan operaattori manuaalisesti.

Jokaisesta kielipaneelistä luetaan ensin 2D-koodi (datamatriisi) skannerilla. Tämän jälkeen se asetetaan testeriin ja käynnistetään testisykli. Testisyklin päätteeksi tietokoneen näytöllä näkyy anturipuomit jotka ovat läpäisseet sähköisen testauksen ja ne jotka eivät ole. Anturipuomit jotka eivät läpäise testausta, merkitään selvästi, jotta ne eivät vaan joudu varsinaiseen tuotteeseen vahingossakaan. Sähköisestä testauksesta kerätään tiedot tietokantaan ja näin saadaan kerättyä tärkeää tietoa prosessin toiminnasta, mm. automaatiolinjan saantoprosenttia seurataan jatkuvasti ja se pyritään pitämään tietoenkin mahdollisimman korkeana. Sähköisessä testauksessa saatujen hylkäämissyiden perusteella voidaan myös päätellä, missä osaprosessissa kyseessä oleva hylkäämiseen johtanut vika on syntynyt.

## 5 Nykytila-analyysi

### 5.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä insinööriyössä pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytettiin toimintatutkimusmenetelmää (action research). Toimintatutkimuksella ymmärretään johonkin prosessiin liittyvää käytännön tutkimusta, jonka avulla on tarkoitus parantaa ja kehittää prosessin toimintaa. Toimintatutkimuksen tarkoituksena on saada prosessi toimimaan halutulla tavalla ratkaisemalla siinä havaitut ongelmat ja puutteet. [20.]

Toimintatutkimus menetelmä etenee kuten PDCA-menetelmä, syklisesti ja on myös hyvin läheistä sukua sille.

- Ensin määritellään, miten prosessin tulisi toimia.
- Seuraavaksi tehdään havainnot prosessista ja sen ongelmista käytännön tasolla.
- Tämän jälkeen määritetään parannuskeinot ja kokeillaan niitä käytännössä.
- Lopuksi tehdään havainnot käytännön kokeista. Prosessia parantavat toimenpiteet otetaan käyttöön ja muut toimenpiteet hylätään tai niitä muokataan.

Tätä kiertoa jatketaan niin kauan kunnes prosessi toimii halutulla tavalla

#### 5.1.1 Häiriöiden tilastointi

Tätä työtä varten luotiin erityiset häiriökategoriataulukot kaikille osaprosesseille, sekä kuljettimille. Näihin taulukoihin operaattori teki merkinnän oikeaan kohtaan aina, kun havaitsi jossakin laitteessa olevan jonkin vian. Tällä menetelmällä saatiin melko pian selville, mitkä vaiheet automaatiolinjasta olivat häiriöaltteimpia.

Monimutkaisempia osaprosesseja varten määriteltiin useampia vikakategorioita, jotta varsinainen vian tai häiriön aiheuttaja saatiin selvitettyä tarkasti.

#### 5.1.2 Osaprosessien kellottaminen

Aluksi määriteltiin osaprosessit ja niihin kuuluvat osat. Tämän jälkeen suoritettiin lukuisia kellotuksia eri osaprosesseissa useiden viikkojen aikana, joten erityyppisten häiriötilanteiden aiheuttamista viivytyksistä eri vaiheissa prosessia saatiin varsin kattava kuva. Kellotukset suoritettiin sekuntikellon avulla.

## 5.2 Anturien ladontakone

### 5.2.1 Konenäön toiminta

Konenäöllä oli runsaasti ongelmia eri osa-alueiden tunnistamisessa. Yksi ongelman aiheuttaja oli juotosaineen annostelu kielipaneeliarkille anturien liitoskohtiin. Juotosaineen annostelumäärä osoittautui ajoittain hyvinkin epätarkaksi, ja tästä johtuen kone annosteli juotosainetta välillä liikaa liitospinnoille. Tästä johtuen ainetta pääsi valumaan kielipaneeliarkilta ladontakoneen alustalle, jolloin tiettyihin kohtiin alkoi kerääntyä juotosainetta. Juotosainekertymät taas aiheuttivat ylimääräisiä heijastuksia konenäön kuvaan ja se seikka taas vaikeutti kappaleen tunnistamista. Tämä tekijä aiheutti anturinladontakoneessa huomattavia määriä virheilmoituksia ja jokainen virheilmoitus taas pysäyttää prosessin, kunnes operaattori kuittaa sen.

Operaattorin tulee myös ennen virheilmoituksen kuittausta varmistaa, että kyseessä todellakin on väärä virheilmoitus, joka johtuu esimerkiksi juurikin mainitun juotosaineen pääsystä väärään paikkaan, eikä virheilmoitus johdu mistään muusta tekijästä kuten virheellisestä anturin asennosta. Tämän varmistuksen operaattori tekee ladontakoneen näytöltä, jossa näkyy konenäön havaitsema kuva.

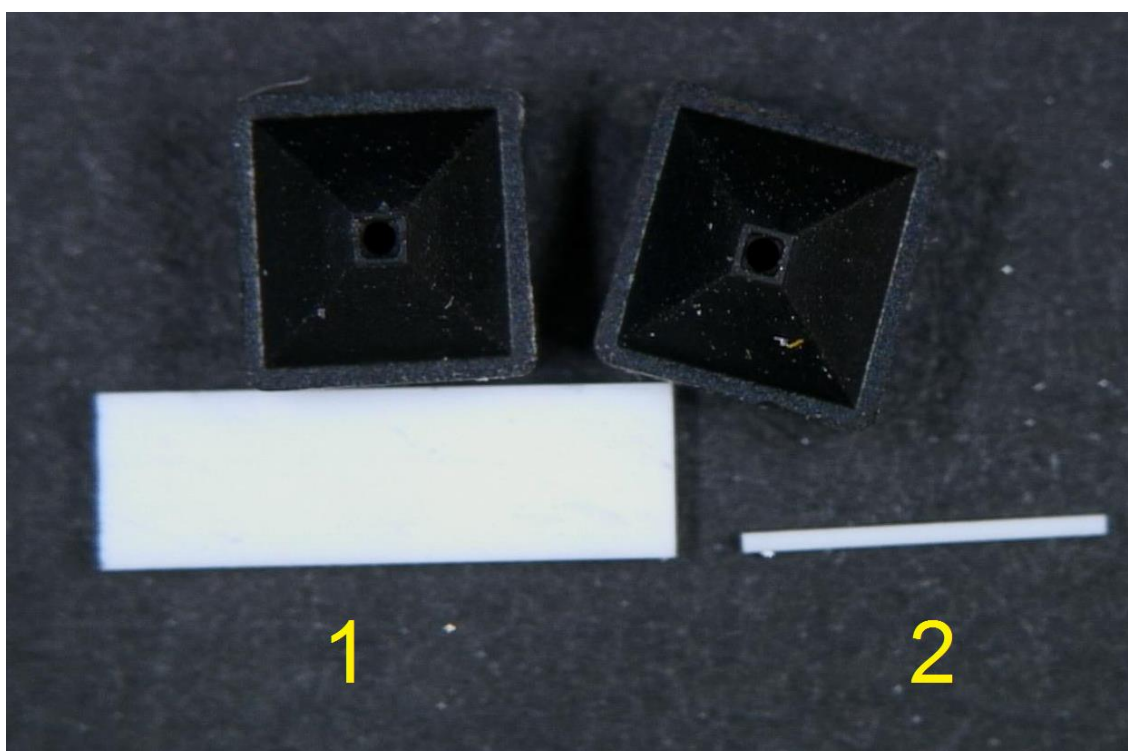
Toinen merkittävä ongelma konenäön suhteen oli myös 2D-koodien tunnistamisessa. Tämä ongelma liittyi varsin selvästi vain joihinkin kielipaneelieriin, joihin merkklauslaite ei jostakin tarkemmin määrittelemättömästä syystä saanut merkittyä koodia vaaditulla tavalla, tai merkintä aiheutti kielipaneelin pintaan eräänlaista muotovirhettä, joka taas aiheutti konenäkö-tunnistuksen kohdevalaistukseen heijastelua, minkä vuoksi 2D-koodin tunnistus epäonnistui.

Mikäli 2D-koodin koneellinen tunnistus ei onnistu, niin operaattorin pitää kirjoittaa koodi käsin tietokantaan, mikä osoittautui kohtalaisen aikaa vieväksi ja hankalaksikin tehtäväksi. Kun kielipaneeli on koneessa sisällä, niin numerokoodin katsominen siitä itsestään on hyvin hankalaa, joskus miltei mahdotonta. Monesti ainoaksi keinoksi osoittautui joko edellä tai jäljessä tulevan kielipaneelin sarjanumeroiden katsominen, joista laskemalla saadaan kyseessä olevan, tunnistamattomaksi jääneen anturipuomin sarjanumero, joka operaattorin täytyy kirjoittaa käsin näppäimistöllä ladontakoneen ohjelmalle.

Kuten edellisestä kuvauksesta kävi ilmi, niin anturipuomikohtaisen sarjanumeron selvittäminen ns. manuaalisesti saattaa olla yllättävänkin työlästä, lisäksi tässä menetelmässä on suuri väärinkirjoituksen mahdollisuus. Etenkin kun tällaisia tilanteita tulee paljon peräkkäin ja operaattori yrittää stressaantuneena selvittää oikeita sarjanumeroita, niin näppäilyvirheiden todennäköisyys kasvaa merkittävästi. Tällöin kielipaneelien seurantatietokantaan tallentuu väärä sarjanumero, joka voi myöhemmin aiheuttaa ongelmia anturipuomien seurannassa.

### 5.2.2 Anturien ladonta

Myös itse antureiden ladonnassa esiintyi runsaasti ongelmia. Etenkin lämpötila-anturin ladonnassa oli paikoitellen suuriakin ongelmia. Ainakin yksi syy tähän lienee lämpötila- ja kosteusanturien varsin suuri kokoero. Kosteusanturi (U-anturi) on kooltaan noin 2,5 mm \* 8 mm ja lämpötila-anturi (T-anturi) noin 0,30 mm \* 5 mm.



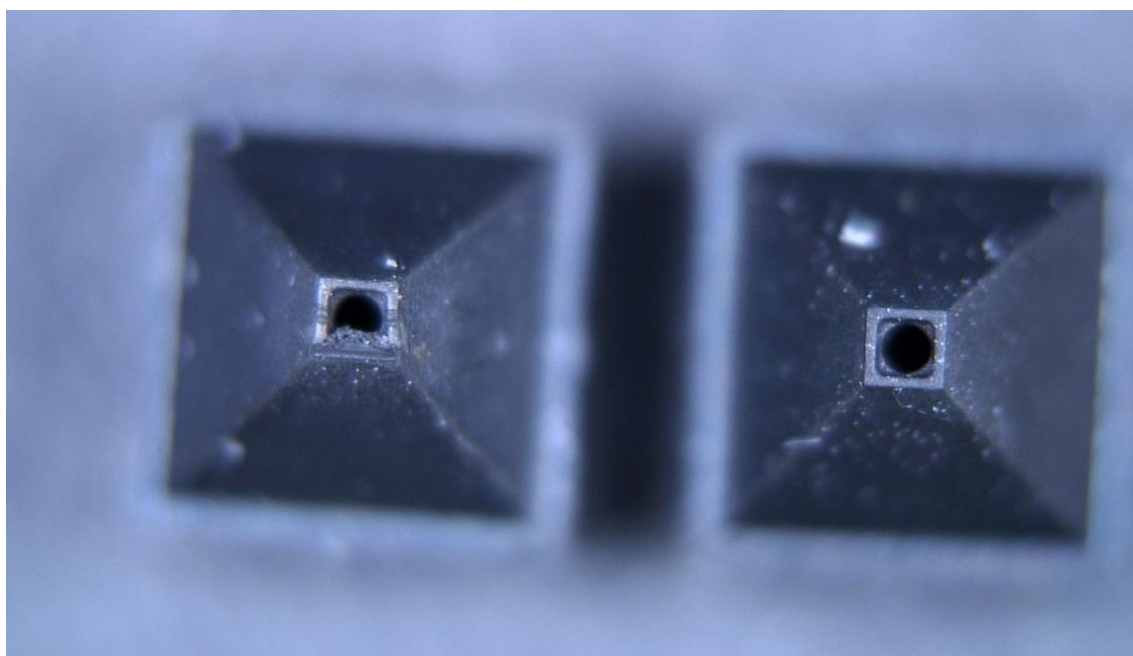
Kuva 5. Noukintapään kumeja, sekä kosteusanturi (1) ja lämpötila-anturi (2)



Ladontakone noukkii molemmat anturit anturikiekoilta samalla noukintapäällä, mikä ei ole paras mahdollinen ratkaisu johtuen antureiden suuresta kokoerosta (kuva 5). Itse noukintapää on pyramidin muotoinen, kumista valmistettu osa, jonka päässä keskellä on reikä jonka kautta kulkee imu. Kumi asettuu yläpuolelta anturikiekolle oikeaan kohtaan anturiin kiinni, ja samalla anturikiekon alapuolelta neulat työntävät anturin irti kiekosta. Noukkimistyökalussa olevan vakuumin avulla anturi jää työkaluun kiinni, jonka jälkeen se voidaan siirtää seuraavaan paikkaan prosessissa.

Koska antureita on kahta eri kokoa ja ne poimitaan samalla työkalulla, niin käytännössä tämä tuntui aiheuttavan suuria vaikeuksia anturien poiminnassa kiekolta. Varsinkin pienemmän eli lämpötila-anturin (T-anturin) poiminnassa alkoi esiintyä ongelmia, etenkin kun kumiseen noukintaosaan tuli vaurioita T-anturin terävistä reunoista (kuva 6).

Anturit on valmistettu yhtenäisen piikiekon pinnalle ja tämän jälkeen piikiekko sahataan niin, että yksittäiset anturit saadaan irrotettua kiekosta yksitellen. Tästä syystä anturien reunat ovat erittäin terävät ja kuluttavat kumisen noukintatyökalun päätä. Varsinkin lämpötila-anturin terävät reunat kuluttavat noukintatyökalun kumista päätä, sillä itse anturi on kapeampi kuin noukintaosan anturia koskettavan kohdan leveys (kuva 5).



Kuva 6. Kulunut noukintakumi (vas.), sekä uusi noukintakumi (oik.)

Tämä kuluminen aiheuttaa ongelmia etenkin lämpötila-anturin poiminnassa, sillä noukintapäähän syntyy kulumisen myötä epämääräinen ura (kuva 6). Tämä ura aiheuttaa sen, että lämpötila-anturin asento saattaa muuttua hyvinkin paljon noukintavaiheessa sen painuessa epätasaisesti noukintakumiin muodostuneeseen uraan. Ladontakone pystyy kyllä jossain määrin korjaamaan anturin asentoa sen liitosvaiheessa, mutta siitäkin huolimatta on vaarana, että anturi asettuu anturipuomiin väärään asentoon jolloin liitoksesta tulee huono.

Mikäli tällainen anturipuomi läpäisee vielä sähköisen testauksen, niin riskinä on että anturi kuitenkin irtoaa jossakin myöhemmässä työvaiheessa, tai pahimmassa tapauksessa vasta asiakkaan käsittelyssä. Ensimmäinen skenaario aiheuttaa ”ainoastaan” turhaa työtä, mutta mikäli huonolaatuinen tuote pääsee aina asiakkaalle asti, niin tällainen seikka voi vaikuttaa negatiivisesti koko yrityksen maineeseen.

Koska kosteusanturi on selvästi leveämpi kuin lämpötila-anturi, niin se ei aiheuta vastaavaa kulumista noukintatyökalun päässä kuin T-anturi, sillä noukintatyökalu ei missään vaiheessa osu kosteusanturin (U-anturi) sahattuihin, teräviin reunoihin, vaan keskelle anturin tasaista pintaa. Toki on mahdollista, että vioittunut kumi vuotaa, jolloin vakuumi kumin ja anturin välillä ei ole riittävän voimakas. Tästä voi seurata anturin asennon muuttuminen poiminnan aikana, tai jopa sen irtoaminen poimintatyökalusta.

### 5.2.3 Kielipaneeliarkkien juuttuminen ladontakoneeseen

Kielipaneeliarkit pidetään paikallaan anturien ladonnan aikana imun avulla. Kielipaneeliarkkien alapuolella, ladontakoneen kuljetinpöydässä sijaitsee imukuppimaisia kumeja, joiden tehtävänä on tiivistää kielipaneeliarkeissa olevien mittakielilaihioiden, sekä kuljetinpöydän väli niin, että siihen synnytetty alipaine eli vakuumi pysyy eivätkä kielipaneeliarkit pääse liikkumaan anturin ladonnan aikana.

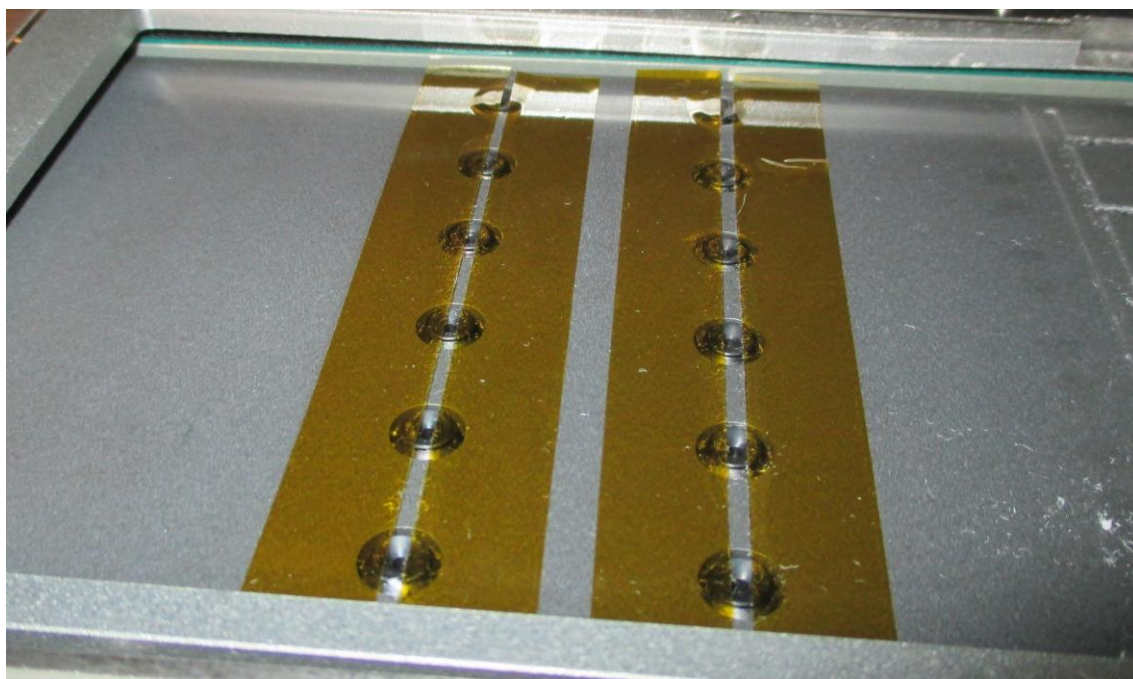
Käytännössä vakuumi piti kielipaneeliarkkeja liiankin hyvin paikoillaan, sillä ne pyrkivät jäämään paikoilleen senkin jälkeen, kun anturien ladonta oli suoritettu ja arkki olisi tarkoitus siirtää seuraavaan prosessin vaiheeseen. Mikäli arkki ei irronnut pöydästä ja siten lähtenyt kuljettimen mukana seuraavaan prosessivaiheeseen tietyn ajan kuluttua (noin

5 sekuntia), niin siitä seurasi häiriöilmoitus ja ladontakoneen pysähtyminen. Tästä johtuen operaattori joutui ensinnäkin irrottamaan arkin ladontakoneen pöydästä ja toiseksi kuittaamaan häiriöilmoituksen.

Anturienladontakoneessa suoritetaan kahta eri prosessia, eli kahta eri arkkia prosessoidaan yhtä aikaa ja molemmissa eri prosessissa kielipaneeliarkki pidetään paikoillaan samaisella imukuppimenetelmällä. Kielipaneeliarkkien juuttumisongelma vaivasi kumpakin prosessivaihetta.

Ratkaisuksi arkkien juuttumiseen ladontakoneen tasoon kokeiltiin teipata imukuppeja osittain peittoon, jolloin niiden imupinta-ala pieneni ja näin ollen ne eivät tarttuneet ladontakoneen alustaan niin tiukasti (kuva 7). Tämä menetelmä vähensi kielipaneeliarkkien jumittumista ladontakoneen ladontapöytään todella merkittävästi, mikä myös näkyi hyvin selkeästi kerätyssä häiriödatassa.

Teippaaminen on vain väliaikainen keino juuttumisongelmaan jo senkin takia, että teipit kuluvat käytössä ja niitä pitää uusida aika ajoin.



Kuva 7. Osittain peittoon teipatut imukupit.

#### 5.2.4 Viat anturienladontakoneen softassa

Anturienladontakoneessa esiintyi runsaasti myös muita erityyppisiä ongelmia, mutta ne olivat satunnaisempia ja harvinaisempia kuin edellä mainitut ongelmat. Toisaalta ne olivat myös huomattavasti hankalampia ongelmia selvittää ja monesti ne pysäyttivät tuotannon huomattavan pitkäksi aikaa, joskus jopa useiksi päiviksi. Tämän insinööriyön aikana ei tarkalleen selvinnyt, mistä kyseiset viat johtuvat, mutta pääteltiin, että ne ovat mahdollisesti ongelmia itse ladontakoneen tietokoneohjelmassa eli softassa.

Ainakin kahdentyypisiä, satunnaisia vikoja ilmeni tarkastelujakson aikana. Ensimmäinen ja hyvin hankala ongelma oli se, että ladontakone niin sanotusti hukkasi oikean paikan anturikiekolla. Tällöin anturien noukinta tapahtui hieman väärästä kohtaa (liian reu-nasta) anturikiekkoa ja tämä aiheutti suuria ongelmia anturien poimintaan ja täten koko anturienladontaprosessiin.

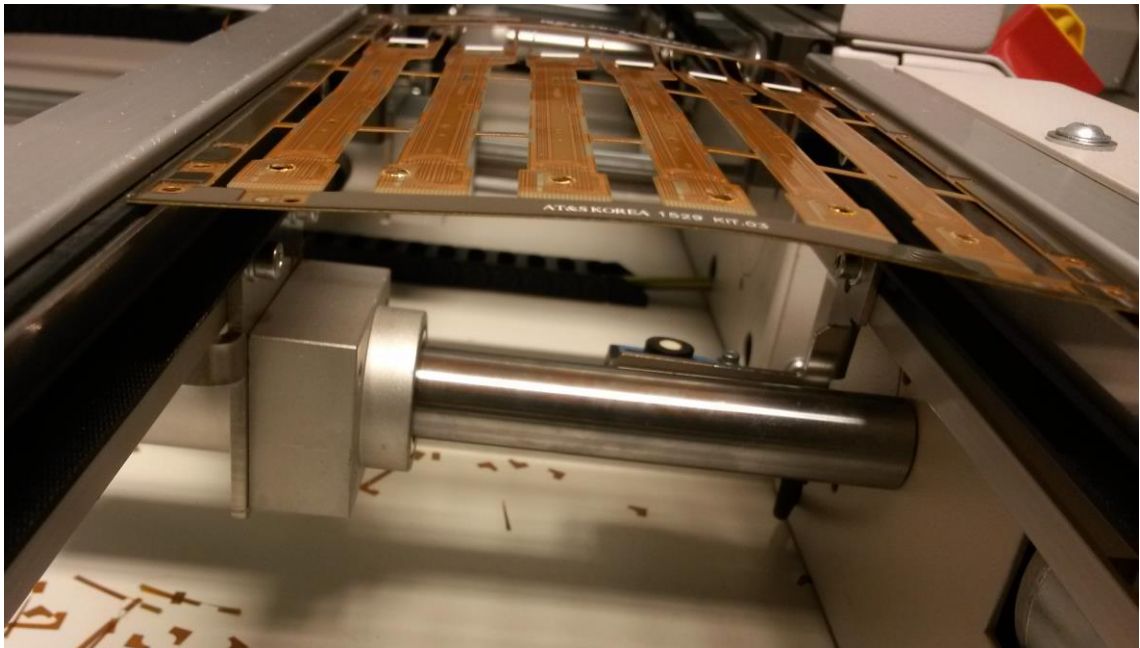
Toinen satunnaisesti esiintynyt vika oli se, että ladontakone ”hukkasi” oikean ladontatyökalun. Lämpötila- ja kosteusanturit ladotaan kielipaneeliarkkeihin eri ladontatyökalulla, johtuen niiden suuresta kokoerosta. Välillä ladontakone ei vain jostakin tuntemattomaksi jääneestä syystä saanut kiinnitettyä oikeaa työkalua ladontapähän. Ainoa ratkaisu tähän ongelmaan oli koneen uudelleenkäynnistys, eli boottaus. Tämä toimenpide vei noin 3-5 min.

### 5.3 Kuljettimet

Anturipuomin valmistuksessa käytettävässä automaatiolinjassa on useita kuljettimia, joiden peruseriaate on sama, mutta varsinaisia kuljetintyyppisiä automaatiolinjalla on kaksi: hihna- ja ketjukuljetin.

### 5.3.1 Hihnakuuljettimet

Ensimmäinen kuljetintyyppi automaatiolinjalla on hihnakuuljetin. Tätä kuljetintyyppiä käytetään kielipaneelilinjalla ennen arkkien lakkausta kaikkialla muualla, paitsi reflow-uunissa. Se koostuu kahdesta kapeasta hihnasta, jotka ovat kosketuksissa kielipaneeliin aivan sen reunoilta, eli hyvin pieneltä osalta kielipaneelin pinta-alaa (kuva 8).



Kuva 8. Kielipaneeliarkki hihnakuuljettimella

Tämä on hyvä asia siinä mielessä, että kielipaneelia on syytä koskettaa kaikin tavoin niin vähän kuin mahdollista, jotta voidaan välttää mahdolliset tuotteeseen aiheutuvat vauriot, kuten mahdollisesti anturien liitoksen heikentyminen, sekä tuotteen pinnan ja etenkin anturien likaantuminen.

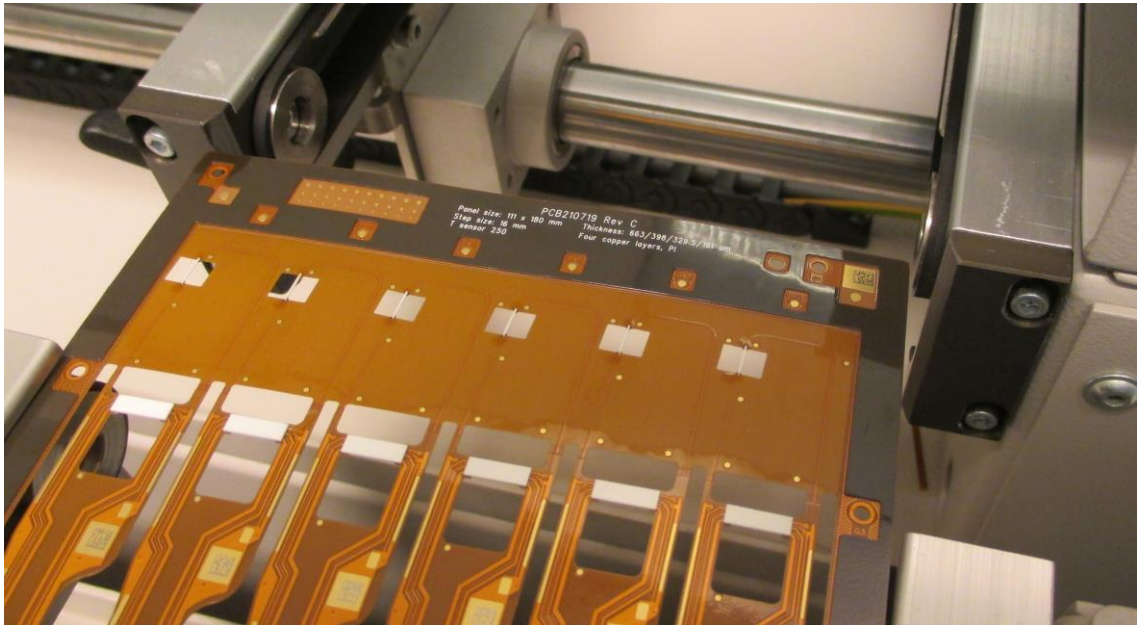
Tästä voi kuitenkin olla myös haittaa, sillä kielipaneeliarkki on kohtalaisen ohut ja näin ollen se on kohtalaisen löysärakenteinen. Kun kielipaneeli on kuljettimella vain aivan sen reunojen varassa, niin paneeli alkaa helposti niin sanotusti roikkumaan kuljetinhihnojen varassa, eli sen keskikohta pyrkii laskeutumaan reunoja alemmas. Tästä koituu taas se

haitta, että linjalla on useampia kohtia, joissa ei ole kuljettimen alapuolella juurikaan tyhjää tilaa, vaan tällöin kielipaneeli saattaa ottaa helposti kiinni joihinkin kuljettimen alapuolisiin rakenteisiin ja jumittua paikalleen.

Tämä taas aiheuttaa viiveitä tuotantoprosessiin, sillä tuote ei kulje suunnitellusti seuraavaan prosessin vaiheeseen, vaan operaattori joutuu korjaamaan tilanteen käsin niin, että arkki pääsee taas kulkemaan esteettä linjalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kielipaneeliarkki täytyy poistaa kuljettimelta ja sitä pitää taivuttaa varovasti hieman niin, että se ei enää kosketa mitään kuljettimen ylä- tai alapuolisia rakenteita. Tällainen häiriötilanne kestää tietysti juuri niin kauan, kunnes operaattori huomaa sen. Monesti tämä tapahtuu vasta siinä vaiheessa, kun operaattori tajuaa jonkin koneen olevan ”tyhjäkäynnillä” liian pitkään. Tämän seurauksena operaattori ryhtyy tutkimaan, mistä tämä tilanne johtuu.

Kuljettimet pitää tietenkin olla kohdistettuna toisiinsa muihin laitteisiin nähden oikeisiin kohtiin. Muuten kielipaneelin kulkemisessa kuljettimella esiintyy paljon häiriöitä, kuten tässäkin tutkimuskohteessa esiintyi. Kuljettimet on varmastikin aluksi kohdistettu toisiinsa nähden niin kuin pitääkin, mutta niiden suhteellisen kevyestä rakenteesta johtuen ne liikahtavat yllättävänkin helposti ja tahattomasti, sillä niitä ei ole kiinnitetty toisiinsa, eikä myöskään lattiaan. Kun operaattori menee poistamaan esimerkiksi jotakin häiriötä linjalta, niin hän helposti töytäisee vahingossa jotakin kuljetinta, jolloin kuljettimen asento saattaa hiukan muuttua. Tämän jälkeen kuljettimet eivät enää ole täysin oikeassa asennossa toisiinsa nähden, ja tämän seurauksena kielipaneelien kulku linjalla alkaa tökkimään (kuva 9).





Kuva 9. Kuljettimien kohdistus pielessä

### 5.3.2 Ketjukuljettimet

Linjalla on myös ketjutyyppisiä kuljettimia, missä hihnojen sijaan on nimensä mukaisesti teräsketjut, mutta muuten toimintaperiaate on täysin sama. Syyt tämän tyyppisten kuljettimien käyttöön hihnakuljettimien sijaan ovat ne, että uuneissa olevien korkeiden lämpötilojen vuoksi hihnat eivät kestäisi, sekä toiseksi kielipaneelien lakkauksessa hihnakuljettimille roiskuva ja kielipaneeliarkkien reunalle tuleva lakka jäykistäisi hihnat ja näin ollen niiden käyttöikä jäisi hyvin lyhyeksi.

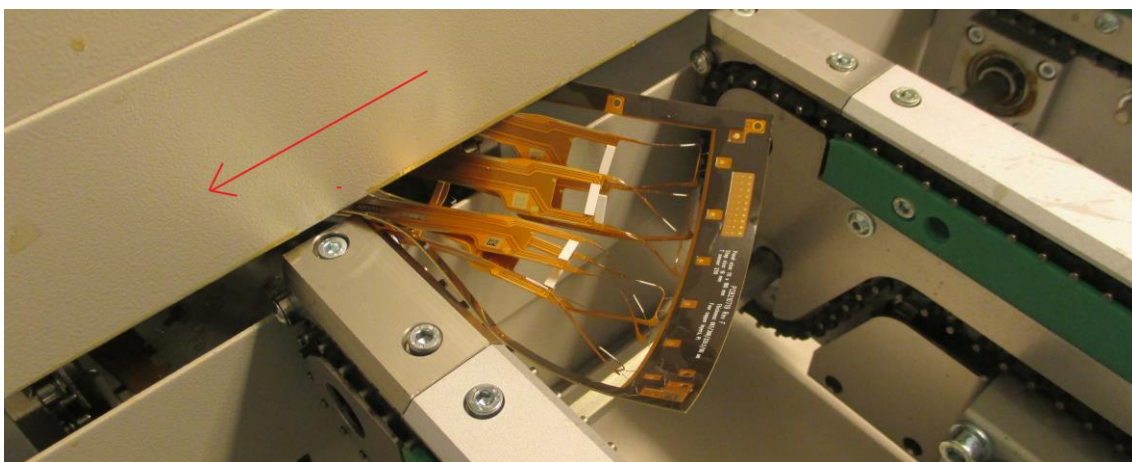
Ketjukuljettimilla esiintyi hyvin pitkälti samanlaisia ongelmia kielipaneelien kulussa kuin hihnakuljettimillakin, mutta niissä esiintyi vielä omanlaisensakin ongelma.

Ketjukuljettimet tuntuivat olevan vielä huomattavasti herkempiä juuri oikean kohdistamisen suhteen, sillä teräksisen ketjun ja kielipaneeliarkin välinen kitka on niin pieni, että jo hyvinkin pieni korkeus- tai sivuttaisero kuljettimien kohdistuksissa aiheutti sen, että kuljettimen ketju alkoi luistamaan kielipaneelin alla. Näin ollen kielipaneeli ei kulkenut enää haluttuun kohteeseen omin voimin, vaan sen kulku pysähtyi kahden eri kuljettimen välille.

### 5.3.3 Sivuttaissiirtimet

Sivuttaissiirtimet ovat myös erityisen tarkkoja linjauksesta muiden kuljettimien suhteen. Se on myös paljon tärkeämpää kuin tavallisissa lineaarikuljettimissa, sillä seurauksena voi olla muutakin kuin pelkkä jumittuminen, tai putoaminen kuljetinradoilta.

Mikäli kielipaneeliarkki pysähtyy kuljettimen luistamisesta johtuen juuri oikean kohtaan lineaarikuljettimen ja sivuttaissiirtimen väliin, niin on suuri riski, että koko kielipaneeliarkki tuhoutuu. Näin tapahtui tutkimusjakson aikana useammankin kerran. Kielipaneeliarkin tuhon, tai ainakin osittaisen vaurioitumisen aiheuttaa se, että arkki jää jumiin juuri tiettyyn kohtaan lineaarikuljettimen ja sivuttaissiirtimen väliin. Tämä aiheuttaa tilanteen, jossa logiikka saa antureilta tiedon, että kielipaneeliarkki on jo kokonaan lineaarikuljettimella, vaikka todellisuudessa se on vasta sivuttaissiirtimen ja kuljettimien noin puolivälissä. Väärästä tiedosta johtuen sivuttaissiirrin lähtee liikkeelle. Kun arkin takapää lähtee sivuttaiseen liikkeeseen ja sen etupää on paikallaan toisen kuljettimen ratojen välissä, niin kuljettimet repivät kielipaneeliarkin, aiheuttaen ainakin sen osittaisen tuhoutumisen (kuva 10).



Kuva 10. Sivuttaissiirtimen vääräaikainen toiminta aiheuttaa arkin tuhoutumisen.



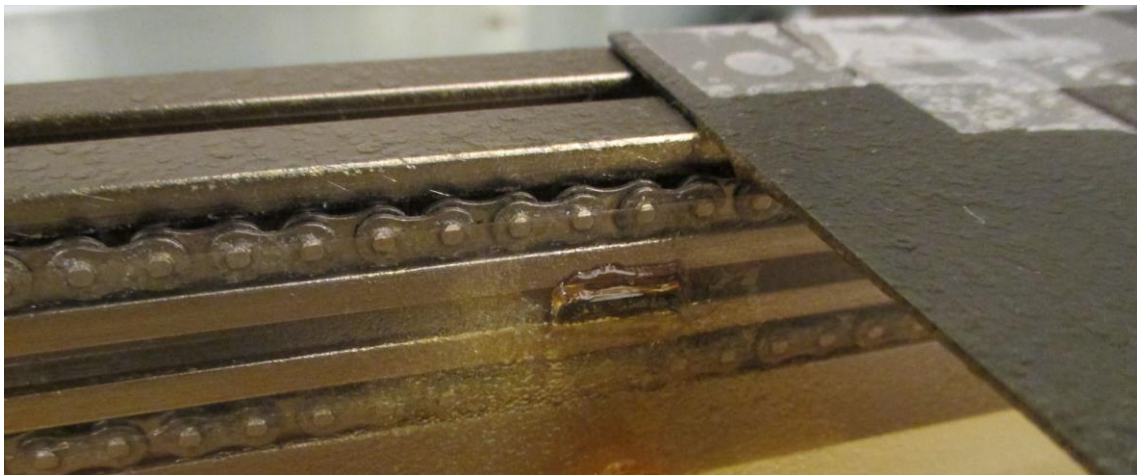
## 5.4 Kielipaneelin lakkaus

Myös kielipaneelien lakkausprosessi aiheuttaa ajoittain runsaasti ongelmia ja häiriöitä prosessiin.

### 5.4.1 Lakkakertymät

Itse lakan suihkuttaminen kielipaneelin pintaan johtaa väistämättä siihen, että lakkaa päätyy myös muualle kuin itse prosessoitavaan tuotteeseen. Kaikkein suurimmat kertymät kuljetinkiskoihin aiheutuu tietenkin lakkasuihkun välittömässä läheisyydessä sijaitseviin kohtiin. Itse kuljetinketjuihin lakkaa ei juurikaan pääse kertymään niin, että se aiheuttaisi varsinaisia ongelmia prosessissa, mutta sen sijaan lakkaa kertyy runsaasti kiskojen reunoille joita pitkin ketjut kulkevat.

Kiskojen päälle kerääntyy ajan myötä niin paljon lakkaa, että se käytännössä estää kielipaneelin vapaan liikkumisen lakkaus koneen sisällä. Lakkakertymät voivat aiheuttaa kielipaneelin jumittumisen niin alhaalta käsin, kuin myös sivusuunnassa. Niinpä nämä kyseiset kiskot vaativat säännöllistä puhdistamista lakkakertymistä. Puhdistustarve riippuu hyvin paljon päivittäisestä tuotantomäärästä, mutta tilannetta on kuitenkin seurattava päivän mittaan.



Kuva 11. Ketjukuljettimen kiskolla on kerääntynyt hieman lakkaa

#### 5.4.2 Arkkien muoto

Kuten monissa muissakin kohdissa prosessia, niin myös lakkaus koneessa arkkien muotovaihtelut aiheuttavat tökkimistä ja seisahduksia prosessiin. Lakkausprosessissa on tarkoitus lakata vain anturipuomien yläpää, eikä lakkaa saa mennä kosteusanturin ”mittaavalle” puolelle. Näin ollen anturipuomien kriittiset paikat pitää suojata.

Tämä mekaaninen suojaus aiheuttaa käytännössä sen, että arkin liikkumiseen jäävä vapaa tila pienenee suojauksen myötä siinä määrin, että arkkien pituus- ja poikittaissuuntainen taipuma tulee pysyä kohtalaisen tiukkojen rajojen sisällä, muuten arkki jää kiinniroiskesuojaukseen ja se aiheuttaa lakkausprosessin pysähtymisen, sekä hälytyksen.

Arkin kiinni jäämisestä aiheutunut tilanne vaatii operaattorilta, siitä tilanteesta riippuen missä vaiheessa lakkausprosessi on keskeytynyt, joko kielipaneelin asettamista käsin oikeaan paikkaan tai sitten sen poistamista kokonaan lakkaus koneesta ja laittamaan kielipaneelin uudelleen lakkausprosessin alkuun, sekä tilanteesta aiheutuneen hälytyksen kuittaamisen.

#### 5.5 Kielipaneelin leikkaus

Kielipaneelista leikataan ylimääräiset osat pois, kuten aiemmasta prosessikuvauksesta on käynyt ilmi. Myös tässä prosessissa arkin muotovaihtelut aiheuttivat runsaasti prosessin pysähtymisiä kielipaneelin jäädessä jumiin leikkauslaitteeseen hyvin useasti alapuoleltaan paneelin notkahtamisen vuoksi.

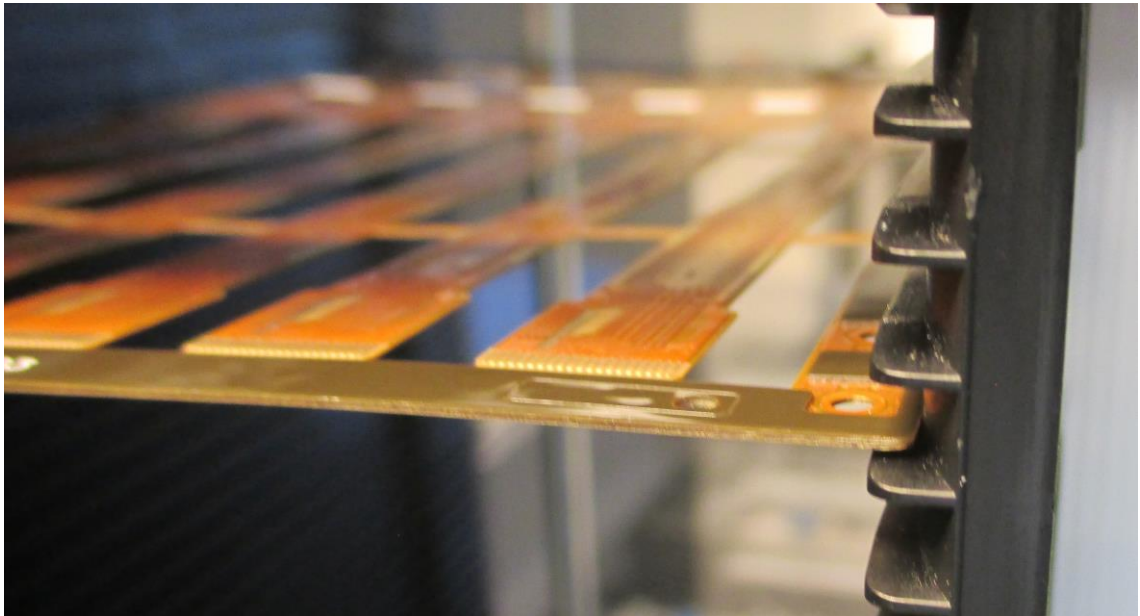
Kun kielipaneeli kulkee kuljettimella leikkauslaitteen sisällä, niin sen alapuolelle jäävä tila on hyvin rajoitettu, jolloin hieman pituussunnassa notkolla oleva arkki jää laitteessa oleviin rakenteisiin kiinni.

#### 5.6 Kielipaneeliarkkien asettelu räkkeihin

Automaatiolinjan viimeinen vaihe eli kielipaneeliarkkien asettelu räkkeihin osoittautui myös kohtalaisen häiriöherkäksi vaiheeksi. Kuten oikeastaan kaikissa osaprosesseissa

automaatiolinjalla, niin tässäkin suurimmat ongelmat aiheutuvat kielipaneeliarkkien muotovaihteluista.

Juuri ennen kielipaneeliarkkien koneellista asettelua räkkeihin kielipaneelit tulevat kuivausuunista. Uuni vaikuttaisi aiheuttavan jonkin verran muotovaihteluja arkkeihin, eli kuuma ilma tuntuisi aiheuttavan ainakin joissain kielipaneeliarkeissa erilaisia taipumisia ja pieniä käpristymisiä. Nämä seikat vaikeuttavat kielipaneeliarkkien kulkua kuivatusuunin jälkeen olevissa kuljettimessa ja sivuttaissiirtimessä sekä myös itse kielipaneelin asettumista niitä varten tarkoitettuihin telineisiin eli räkkeihin, jotka vaativat hyvinkin pienet toleranssit arkin muodolle ja kuljettimien kohdistuksille (kuva 12).



Kuva 12. Kielipaneeliarkki räkissä

## 6 Parannusehdotukset

Automaatiolinja vaatii hyvinkin paljon hienosäätöä, jotta se ei tarvitsisi aivan jatkuvaa valvomista ja ylläpitoa. Tällä hetkellä operaattorilta vaaditaan käytännössä jatkuvaa ongelmatilanteiden purkua ja virheilmoitusten kuittaamista.

## 6.1 Kielipaneeliihioit

Itse kielipaneeliihioihin pitäisi saada huomattavasti enemmän jäykkyyttä, jotta ne eivät roikkuisi kuljettimilla ja pitäisivät muotonsa paremmin. Luultavasti näin kielipaneeliarkit saataisiin kulkemaan huomattavasti paremmin kuljettimilla ja ne eivät juuttuisi yhtä helposti eri osaprosessien rakenteisiin ylä- ja alapuolelta, kuten eivätkä myöskään kuljettimien väleihin.

Tähän ns. roikkumisongelmaan auttaa arkkien sopiva, varovainen taivuttaminen ennen niiden laittamista arkkien syöttökoneeseen. Sopivasti arkkeja kääntämällä niihin saadaan keskelle oikeanlainen jännitys ja näin ollen niiden roikkumista kuljetinhihojen välissä saadaan pienennettyä. Tässä toimenpiteessä on oltava hyvin huolellinen, sillä kielipaneeliarkkeja on kohdeltava hyvin varovaisesti, jotta ne eivät vaurioitu millään tavalla.

Lisäksi kielipaneeliarkkien taivuttamisessa on oltava maltillinen myös sen takia, että niitä ei saa taivuttaa liikaa senkään takia, että niiden vaurioitumisriskin lisäksi arkit saattavat jumittua automaatiolinjan rakenteisiin liiallisen taittamisen vuoksi, jolloin arkeista tulee liian kuperia ja arkit jäävät kiinni yläpuolelta.

Kielipaneelien etukulmia voisi kokeilla pyöristää. Näin mahdollisesti saataisiin niiden jumittamisia linjalla vähennettyä. Nyt kun arkkien etureunat ovat teräviä, niin ne tuntuvat takertuvan todella helposti kaikkiin, etenkin kahden eri kuljettimen välillä oleviin kulmiin ja rakenteisiin.

## 6.2 Kuljettimet

Kuten aiemmin on mainittu, niin kuljettimet ovat suhteellisen kevytrakenteisia, joten ne liikahtavat tahattomasti hyvin helposti. Tämä on yllättävänkin suuri ongelma automaatiolinjalla, sillä jo pienikin muutos kuljettimen asemassa toiseen kuljettimeen nähden aiheuttaa arkin pysähtymisen automaatiolinjalla, sillä toleranssit ovat hyvin pienet. Tämä siis pahimmillaan aiheuttaa koko automaatiolinjan täydellisen pysähtymisen, mikäli operaattori ei huomaa arkin kiinnijäämistä tarpeeksi ajoissa.

Tähän ongelmaan voisi ratkaisuksi kokeilla kuljettimien kiinnittämistä toisiinsa jonkinlaisilla välikiinnikkeillä niin, että ne eivät pääsisi liikkumaan toisiinsa nähden ainakaan niin helposti. Tosin tähänkin ongelmaan varmasti toisi suuren helpotuksen se, että arkit itsessään olisivat jäykempirakenteisia, niin ne eivät jumittuisi kuljettimilla niin helposti, kuten aiemmin jo mainittiin. Kun arkit eivät jumittuisi kuljettimilla, niin silloin niitä ei myöskään operaattorin tarvitsisi käydä siirtämässä käsin eri kuljettimilla, joten tämäkin itsessään vähentäisi kuljettimien siirtymisriskiä.

### 6.3 Anturienladontakone

Arkien jumittaminen anturienladontakoneen ladontapöydälle olisi luultavasti mahdollista poistaa niin, että arkin ja ladontapöydän väliin synnytetty vakuumi poistuisi tai poistettaisiin korvausilman avulla. Tällä hetkellä tilanne vaikuttaa siltä, että ko. kohteeseen jää vakuumi ”päälle” kielipaneeliarkkien käsittelyvaiheen jälkeenkin, vaikka sen pitäisi poistua, jotta kuljetinhihnat saavat siirrettyä kielipaneeliarkin seuraavaan prosessin vaiheeseen.

Tämä oli todennettavissa siten, että kun kielipaneeliarkki jäi jumiin ladontapöydälle ja prosessi pysähtyi, niin kun kielipaneeliarkin reunasta tarttui pinseteillä ja varovasti nosti arkkia imukuppien kohdalta, niin kielipaneeliarkki suorastaan pompahti irti ladontapöydästä, eikä tämän jälkeen enää jäänyt siihen kiinni.

## 7 Yhteenveto

### 7.1 Yleistä

Koska koko prosessi on niin monen summan tekijä niin tultiin siihen johtopäätökseen, että häiriö- ja häiriösuhdemerkinnot kertovat enemmän kuitenkin vain koneiden toiminnasta ja niillä ei suoranaisesti ole sellaisenaan täysin suoraa yhteyttä tuotantomäärään, että niistä varsinaisesti kannattasi alkaa tekemään mitään tarkempia laskuesimerkkejä aikahukasta ja sitä kautta tuotannon alenemisesta.

Suurempi tekijä tässä asiassa on itse operaattori. Se kuinka hyvin ja nopeasti operaattori ensinnäkin huomaa eri häiriötilanteet ja kuinka hyvin hän kykenee ne poistamaan. Eli inhimillinen vaikutus on erittäin vahvasti läsnä. Häiriöiden jatkuva toistuminen ja suuri määrä tietysti aiheuttaa häiriintymistä ja stressaantumista operaattorissa, ja se on omiaan aiheuttamaan omat kerrannaisvaikutuksensa koneiden häiriöihin.

Lisäksi on hyvinkin vaikeaa arvioida keskimääräistä yhden häiriötilanteen kestoa ja tämä seikka tekee tarkemmistakin laskelmista enemmän tai vähemmän pelkkiä arvioita. Yksi häiriötilanne voi kestää parista sekunnista aina viitentoista minuuttiin ja jopa kauemmin, riippuen hyvinkin monesta eri tekijästä, kuten häiriön laadusta ja operaattorin ammattitaidosta. Tämä tekee pidemmällekin viedyistä laskutoimenpiteistä pelkkiä arvioita. Järkevämpää tässä vaiheessa on määrittää vain teoreettinen maksimi ja ne syyt, miksi siihen ei päästä.

Lisäksi häiriöt prosessin alkupäässä ovat paljon kriittisempiä varsinaisten tuotantomäärien kannalta, sillä mikäli prosessin alkupäästä ei tule lainkaan tavaraa, ei sitä voi tulla myöskään sen loppupäästä. Riippuen prosessin vaiheesta, mahdollisesti kerääntynyt puskuri saadaan purettua hyvinkin nopeasti pois alta. Näin ollen myöhemmissä osaprosesseissa tapahtuvat pidemmätkin seisaukset eivät välttämättä aiheuta lopulta juuri minkäänlaista tuotannon alenemaa, mutta työmäärä kyllä lisääntyy ja tietysti ainakin hie-man viivästyttävät täysin valmiin tuotteen syntyä.

## 7.2 Pullonkaulat

Kielipaneelilinjalla on selvästi kolme osaprosessia joita voidaan kutsua pullonkauloiksi tässä prosessissa.

### 7.2.1 Anturien ladonta kielipaneeliihioihin

Anturien ladonta kielipaneeliihioille sijaitsee aivan automaatiolinjan alkupäässä ja on koko anturipuomivalmistuksen monimutkaisin ja sen myötä kaikista kriittisin osaprosessi. Jos tämä osaprosessi keskeytyy, niin voidaan sanoa, että periaatteessa koko automaatiolinja pysähtyy. Jos ei tuotantolinjan alkupäästä saada tuotetta eteenpäin, niin koko loppuosa tuotantolinjasta seisoo ns. tyhjänpanttina.

Koska anturien ladontaprosessi on koko automaatiolinjan toiseksi hitain prosessi ja se sijaitsee aivan koko prosessin alkupäässä, niin käytännössä häiriötilanteista aiheutunutta tuotannon menetystä ei pystytä kirmämään takaisin. Toisin sanoen, automaatiolinjan loppupäästä tulee ulos maksimissaan niin paljon valmista tuotetta kuin alkupää pystyy tuottamaan. Tämä tietysti vaatii kaikkien muidenkin osaprosessien toimivuutta, mutta koska käytännössä kaikki muut osaprosessit, pois lukien arkkien kielipaneelien leikkausta ja reflow-uunia, on huomattavasti nopeampi kuin anturien ladonta, niin niissä mahdollisesti syntynyt puskuri saadaan poistettua huomattavan nopeasti.

### 7.2.2 Reflow-uuni

Koska kielipaneeliarkkien tulee viipyä määritellyissä lämpötilavyöhykkeissä riittävän pitkään, niin reflow-uunituksen nopeuttaminen ei juurikaan ole mahdollista sellaisena prosessina kuin se tällä hetkellä on.

### 7.2.3 Kielipaneeliihoiden leikkaus

Kielipaneeliihoiden leikkaus on koko automaatiolinjan hitain prosessi, eli käytännössä yksi kielipaneeliihio viipyy tässä osaprosessissa kaikkein pisimpään.

Siitä huolimatta leikkausprosessi ei ole lähellekään niin kriittinen vaihe koko tuotteen valmistuksen kannalta kuin anturien ladonta, sillä ensinnäkin se sijaitsee periaatteessa prosessin loppupäässä ja tätä osaprosessia voidaan ajaa tarvittaessa vaikka täysin itsenäisesti. Eli periaatteessa voitaneen ajatella, että varsinainen tuote on jo hyvin pitkälle valmistettu ennen leikkausprosessia ja kaikki vaiheet leikkausprosessista ja sen jälkeen on käytännössä ”vain” tuotteen hienosäätöä.

Mikäli leikkausprosessiin on kertynyt puskuria edellisenä päivänä, sitä on mahdollista ajaa pois esimerkiksi seuraavana aamuna, koska tuotannon aloituksessa kaikkine toimenpiteineen ja uusien kielipaneeliihoiden saapumisessa leikkausprosessiin kestää noin 50 min.

Toinen keino on syöttää käsin räkkeihin jääneitä arkkeja leikkaukseen silloin, kun anturien ladonnassa on ollut sellaisia häiriöitä, jotka ovat hidastaneet tuotantoa niin paljon, että väliin voi laittaa arkkeja puskurivarastosta.

Kolmas keino on, kun reflow-uunin pitää jäähtyä päivän päätteeksi ennen sammutusta 30 minuuttia, niin tämä tarkoittaa sitä, että uunien läpi ei voida ajaa tuotantoa tuona kolmenäkymmenenä minuuttina. Tuon 30 minuutin aikana kerkeää kaikkien pakollisten lopetusrutiinien lomassa syöttämään useita arkkeja leikkaukseen.

#### 7.2.4 Muut osaprosessit

Koska muut osaprosessit ovat käytännössä joko hyvin yksinkertaisia ja siten nopeita, tai sitten vain kuljetintyyppisiä prosesseja, niin nämä prosessit ei käytännössä itsessään juurikaan aiheuta viivettä kokonaisprosessiin.

Suurimpien niistä aiheutuvien ongelmien voidaan ajatella olevan automaatiolinjan operaattorin psyykkinen kuormittuminen. Tämä seikka taas voi mahdollisesti olla koko automaatiolinjan toiminnan kannalta hyvinkin kriittinen, sillä stressaantuneena operaattori tekee helposti vääriä päätöksiä ja mahdollisesti antaa tahattomasti vääriä käskyjä koneille. Tällaiset seikat voivatkin sitten aiheuttaa prosessissa suurtakin aikahukkaa, sekä tuotannon menetyksiä. Esimerkiksi tuotteen huonosta laadusta johtuen tuote joudutaan romuttamaan.

#### 7.3 Häiriömäärien tilastointi

Seurantajakson aikana tilastoitujen häiriöiden määrä vaihteli erittäin paljon sekä päivä, että viikkotasolla. Kun työn alussa jokaista prosessin vaihetta ryhdyttiin seuraamaan, niin pian kävi ilmi, että suurimmat tuotantoon vaikuttavat prosessivaiheet olivat anturien laadonta sekä kielipaneeliarkkien leikkaus. Niinpä näille kahdelle, muista osaprosesseista selvästi monimutkaisimmalle osaprosesseille määriteltiin tarkemmat häiriötaulukot, erillisine häiriökategorioineen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ko. osaprosesseista ryhdyttiin seuraamaan, minkälaisia eri ongelmia sekä häiriöitä ja häiriöilmoituksia niissä esiintyi. Jokainen eri häiriöilmoitus ja ongelmakohta lisättiin taulukkoon, johon automaatiolinjan operaattori alkoi merkitsemään häiriöitä ylös muistiin.



Myös muissa prosessin vaiheissa esiintyvistä vioista pidettiin koko ajan kirjaa, mutta ne jäivät huomattavasti vähemmälle huomiolle, sillä ne olivat selvästi yksinkertaisempia ongelmia kuin mainitut anturien ladonta, sekä kielipaneeliarkkien leikkaus. Muualla ongelmat olivat lähinnä kielipaneeliarkkien jumittumisia eri kohtiin ja putoamisia kuljettimilta.

Käsintehdyt muistiinpanot (tukkimiehen kirjanpito) siirrettiin joka viikko Excel-taulukkoon, josta pian saatiin käsitys näiden laitteiden toiminnasta. Ylivoimaisesti häiriöaltteimmaksi osaprosessiksi osoittautui anturien ladonta. Se ei yllättänyt, sillä jo etukäteen oli tiedossa, että anturienladontaprosessi oli erittäin häiriöaltis.

Saaduista häiriömääristä ja päivittäisestä tuotantomäärästä laskettiin häiriösuhde, eli kuinka monta häiriötä kussakin koneessa esiintyi per anturipuomi. Suhdeluku vaihteli hyvinkin paljon ajankohdasta ja kielipaneelivaihtelusta riippuen, kuten jo aiemmin mainittiin.

Esimerkiksi anturienladontakoneessa suhdeluvut vaihtelivat vikakirjanpidon mukaan 0,093:n ja 0,791:n välillä, keskiarvon ollessa 0,311 häiriötä per anturipuomi. Yhdessä kielipaneeliarkissa on kuusi anturipuomia, eli koko seurantajaksolla anturienladontakoneessa esiintyi keskimäärin noin 1,9 häiriötä/kielipaneeli ja pahimmillaan noin 4,7 häiriötä/kielipaneeli.

Nämä häiriötilanteet kestivät yleisesti muutamia sekunteja, mutta joukkoon mahtui myös hyvin paljon pidempiäkin häiriötilanteita, muutamasta minuutista noin viitentoista minuuttiin. Joka tapauksessa jokainen tilastoitu häiriö oli sellainen joka pysäytti ko. tuotantolaitteen ja tilanne vaati operaattorilta vähintään häiriön kuittauksen. Kuitenkaan useimmissa tapauksissa pelkkä häiriön kuittaus ei kuitenkaan riitä, vaan operaattorin on suoritettava jokin tai joitakin toimenpiteitä, jotta tuotanto pääsee jatkumaan.

Tässä projektissa ei määritelty häiriötilanteiden kestoja, sillä se osoittautui saatavissa olevilla resursseilla lähes mahdottomaksi. Niinpä tämän työn osalta on vain tyydyttävä arvioimaan eri häiriötilanteiden ja niiden määrän vaikutusta varsinaiseen tuotantomäärään.

## 7.4 Prosessin ajankäyttö



Kuva 13. Yhden arkin viipyminen eri osaprosesseissa sekunteina

Kuvasta 13 käy ilmi yhden arkin valmistukseen vaadittu aika eri osaprosesseissa. Kuvasta ei sinänsä voi vetää suuria johtopäätöksiä koko tuotannon kannalta, koska se kuvaa ainoastaan sitä aikamäärää, jonka yksi ainut arkki vaatii mennäkseen läpi koko prosessin. Kuva on lähinnä osoittaakseen eri osaprosessien vaiheiden kestoa. Lisäksi pitää muistaa, että useissa eri osaprosesseissa prosessoidaan kahta tai useampaa arkkiä yhtä aikaa.

Kuvassa ei ole otettu huomioon prosessin aivan alkupäässä olevia laitteita, eli arkin syöttöä ja merkkausta, sillä niillä ei toimiessaan ole mitään käytännön hidastavaa merkitystä prosessissa. Arkin syöttölaitteella on käytännössä koko ajan arkki odottamassa pääsyä merkkauslaitteeseen ja itse arkin merkkaukset on hyvin nopea prosessi, joka muutoin toimiessaan vaikuttaa prosessiin vain sen käynnistysvaiheessa, ja silloinkin sen ajallinen vaikutus on vain muutamia sekunteja.

## 7.5 Tuotantomäärä

Käytännön kokeissa saatiin selville, että anturinladontakoneen maksimi tuotantomäärä oli 23 kielipaneeliarkkia tunnissa. Tämä tuotantomäärä vaatii ensinnäkin sen, että

edessä ei ole muita arkkeja odottamassa ja näin hidastamassa ladontaprosessia, sekä lisäksi sen, että ladontakone toimii täysin häiriöttä.

Prosessin käynnistysvaiheessa edessä ei tietenkään ole muita arkkeja tiellä, mutta tuotantoajan hiemankin pidentyessä reflow-uunin kapasiteetti ei riitä käsittelemään kielipaneeliarkkeja sitä tahtia, mitä ladontakone kykenisi valmistamaan. Tämä seikka aiheuttaa tilanteen, jossa anturienladontakone joutuu odottamaan ns. tyhjäkäynnillä, että edessä olevat arkit pääsee reflow-uuniin. Tämä seikka ja etenkin anturienladontakoneen suuri häiriöherkkyys aiheuttaa sen, että käytännössä automaatiolinjalla on lähes mahdoton päästä mainittuun maksimituotantomäärään.

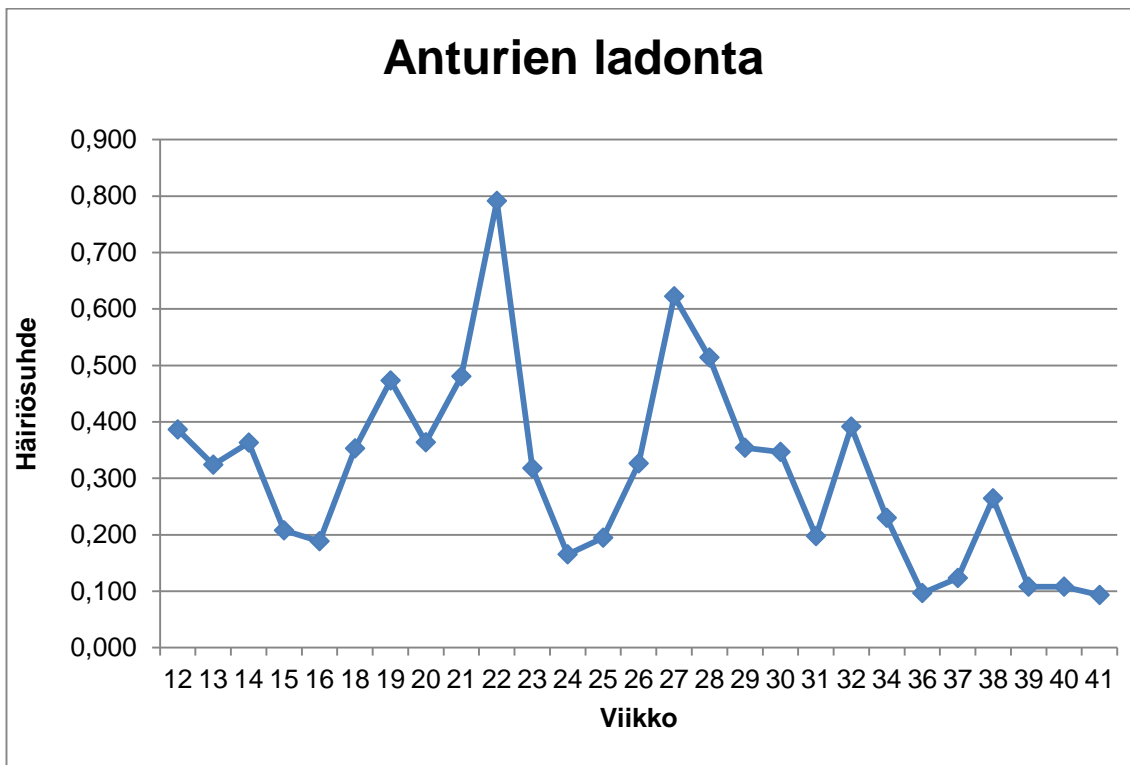
## 7.6 Lakkaus

Esimerkiksi lakkausprosessi on niin nopea, että sen läpi saa ajettua suurenkin muodostuneen puskurin todella nopeasti. Lisäksi sen jälkeen tuleva kuivausuunissa on neljä kuljetinrataa rinnakkain, joka myös osaltaan mahdollistaa syntyneen puskurivaraston nopean poistamisen, joten tämä vaihe pystyisi käsittelemään huomattavasti paljon enemmän kielipaneeliarkkeja kuin mihin tämän hetkinen maksimi tuotanto parhaillaan ylittää.

## 7.7 Työn tulokset

Tämän insinööriyön tarkoitus oli siis tutkia ja selvittää kielipaneelialinjan maksimi tuotantomäärä, sekä kaikki ongelmakohdat ja pullonkaulat, eli miksi teoreettiseen maksimituotantomäärään ei yllä.

Työssä onnistuttiin varsin hyvin löytämään automaatiolinjan pullonkaulat, sekä sitä vaavat ongelmat ja laatimaan niille parannusehdotukset (taulukko 1). Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että anturienladontaprosessi on selkeästi kaikista osaprosesseista kriittisin vaihe. Koko automaatiolinjan maksimituotantomäärä riippuu täysin siitä, paljonko anturienladontakoneen kapasiteetti on. Anturienladontaprosessi on myös muihin osaprosesseihin verrattuna huomattavan monimutkainen vaihe koko prosessissa, ja tämän vuoksi ko. osaprosessissa esiintyikin erittäin paljon häiriöitä. Niiden kaikkien 27 viikon aikana, joina häiriödataa kerättiin kielipaneelilinjasta, minkään muun osaprosessin häiriömäärät ei olleet lähellekään niin huomattavia kuin anturienladonnan.



Kuva 14. Anturienladonnan häiriösuhde kuvaaja

Kuva 14 on anturienladontaprosessista kerätyn häiriödatan kuvaaja. Häiriömäärään vaikuttaa hyvinkin moni tekijä, mutta voidaan tietysti olettaa, että tuotantomäärän lisääntyessä myös suhteellinen häiriömäärä lisääntyy.

Häiriöiden määrässä oli tutkimusjakson aikana hyvin suurta vaihtelua, mutta kuvaajasta voi kuitenkin nähdä, että tutkimusjakson edettyä häiriömäärä on saatu pienemään. Suurin tekijä häiriömäärän pienentymiseen kerätyn häiriödatan perusteella on ladontapöydän imukuppien osittainen peittoon teippaaminen, mikä vähensi kielipaneeliarkkien kiinni juuttumista ladontapöytään erittäin merkittävästi. Tämän huomion tekeminen aiheuttikin suurimman parannuksen anturienladonnassa ja sitä kautta koko prosessissa tämän työn osalta.

Taulukko 1. Kielipaneelilinjan yleisimmät ongelmat ja parannusehdotukset

Kohde	Ongelma	Korjaustoimenpide	Parannusehdotus
<b>Anturien laadonta</b>			
	Datamatriisin lukuhäiriöt merkkauksen huonon laadun takia	Sarjanumeron käsin syöttäminen tietokantaan	Merkkauslaitteen säätö/kielipaneelierän tutkiminen vikojen varalta
	Kielipaneelin jumittuminen ladontapöytään	Käsin irrottaminen ladontapöydästä	Vakuumin poisto korvausilman avulla
	Konenäön ongelmat tarkastamisessa juotosaineen leviämisestä johtuen	Manuaalinen tarkastaminen/alustan puhdistus	Tarkempi juotosaineen annostelumenetelmä
	Oikean kohdan hukkuminen anturikiekolta	Manuaalinen etsintä	Ladontakoneen ohjelmiston tarkistaminen/parantaminen
	Ohjelmiston kaatuminen	Uudelleenkäynnistys	Ladontakoneen ohjelmiston tarkistaminen/parantaminen
	Oikean työkalun hukkaaminen	Uudelleenkäynnistys	Ladontakoneen ohjelmiston tarkistaminen/parantaminen
<b>Kuljettimet</b>			
	Kielipaneelin tippuminen kuljettimelta	Käsin nostaminen takaisin kuljettimelle	Kuljettimien kohdistus ja kiinnitys toisiinsa
	Kielipaneelien muotovaihtelut, joiden takia ne jumittuu eri kohtiin prosessissa	Arkien taivuttaminen	Jäykempi kielipaneelilaihion kehys
	Kielipaneelien jumittuminen kuljettimien väliin	Irrottaminen käsin	Kielipaneelien etukulmien pyöristys

## Lähteet

- 1 Savolainen-Pulli, Satu 2016. Prosessi-insinööri, Vaisala. Keskustelu 31.3.2016.
- 2 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 431
- 3 Lordi Katsumoto elokuvassa Last Samurai – Viimeinen Samurai 2003.
- 4 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 430
- 5 Spear & Bowen: Decoding the DNA of the Toyota Production System. Harvard Business Review, 9-10/1999).
- 6 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 432
- 7 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 435
- 8 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 435-436
- 9 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 436
- 10 Slack, Chambers & Johnston: Operations Management. 6. painos, s. 434
- 11 Demin the Man Overviev. Verkkootikkeli. <<https://www.deming.org/theman/overview>>. Luettu 16.4.2016.
- 12 William Edwards Deming. Verkkootikkeli [https://fi.wikipedia.org/wiki/William\\_Edwards\\_Deming](https://fi.wikipedia.org/wiki/William_Edwards_Deming)>. Luettu 16.4.2016.
- 13 Jatkuva parantaminen. Verkkootikkeli. <<http://www.qk-karjalainen.fi/fi/koulu-tus/jatkuva-parannus/>>. Luettu 12.4.2016.
- 14 PDCA. Verkkodokumentti <<https://fi.wikipedia.org/wiki/PDCA>>. Luettu 28.4.2016
- 15 Masaaki Imai, KAIZEN - The key to Japan's Competitive success. luku 1: the Concept. 1986.
- 16 Sustainability Fact Sheet. Verkkodokumentti <<http://www.vaisala.com/en/sustainability/reporting/factsheet/Pages/default.aspx>>. Luettu 28.4.2016.
- 17 Usein kysytyt kysymykset. Verkkodokumentti. <<http://www.vaisala.fi/fi/investors/companyinfo/Pages/FAQ.aspx#5>>. Luettu 28.4.2016.

- 18 Pitkänen, Hannu. Fifty years of environmental measurement, Vaisala 1936-1986. s. 24.
- 19 Vaisala Oyj. Verkkoartikkeli. <<http://yritys.taloussanomat.fi/y/vaisala-oyj/vantaa/0124416-2/>>. Luettu 6.5.2016.
- 20 Toimintatutkimus. Verkkoartikkeli. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464158778/1194360111832/1194360447229.html>> Luettu 24.4.2016.