Samuli Simola

Maskausprosessin saantovaihtelun parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Elektroniikan Koulutusohjelma
Opinnäytetyö
30.5.2013

Metropolia

Tiivistelmä

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Samuli Simola Maskausprosessin saantovaihtelun parantaminen 37 sivua + 1 liite 30.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Elektroniikan koulutusohjelma
Ohjaaja(t)	Outi Hiekkataipale, Process Quality Manager Kari Salmi, Yliopettaja

Työssä tutkittiin tapoja vähentää anturinvalmistuksen osaprosessin maskausprosessin aiheuttamaa saannon vaihtelua. Työ tehtiin Murata electronics Oy:lle.

Työssä esitettiin tapoja pienentää maskausprosessin saannon vaihtelua. Tämän lisäksi työssä testattiin maskausprosessissa käytettävän maskauslaitteen kallistamisen vaikutusta saantohävikkiin. Työssä pyrittiin myös selvittämään voidaanko konenäkötarkastuslaitteelta saatavaa tietoa hyödyntää maskien puhdistusvälin määrittämisessä.

Maskauslaitteen kallistusasemakoe toteutettiin kahdessa osassa, jotta tuotantomateriaalin vaihtelu ei vaikuttaisi kokeeseen. Kokeen tulokset olivat ristiriitaiset. Kokeen ensimmäisessä osassa maskausprosessin aiheuttama saantohävikki kasvoi referenssimateriaaliin nähden. Kokeen toisessa osassa saantohävikki kuitenkin väheni huomattavasti. Ristiriitaisten tulosten takia, kallistusasemaa ei tämän kokeen perusteella otettu vielä käyttöön. Päätöskallistusaseman käyttöön otosta vaatii lisäkokeiden ajamista.

Konenäkölaitteelta saatavan tiedon avulla tutkittiin miten höyrystysmaskien tukkeutuminen vaikuttaa saantoon. Korrelaatio maskin tukkeutumisen ja saantohävikin välillä oli tilastollisesti merkitsevää. Yksiselitteistä rajaa höyrystysmaskien pad-dimensioille ei voitu laskea, sillä se olisi vaatinut elementtien hylkäyskustannusten laskemista. Tämän sijasta laskettiin monta eri rajaa, sekä arvioitiin niiden vaikutusta hajontaan ja saantoon. Näitä tuloksia voidaan käyttää kustannusten laskemiseen sekä hyödyn arvioimiseen.

Avainsanat	Höyrystys, maskausprosessi, Saanto, saantohävikki, saantovaihtelu, maskaus

Metropolia

Abstract

Author(s) Title Number of Pages Date	Samuli Simola Reducing Masking Induced Yield Variation 37 pages + 1 appendice 5 May 2010
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Instructor(s)	Outi Hiekkataipale, Process Quality Manager Kari Salmi, Principal Lecturer

This thesis was made for Murata Electronics Finland. The object of this thesis was to research ways to decrease masking induced yield variation.

The thesis presents different ways to minimize yield loss in The evaporation masking process. In addition, this thesis studies the test of a tilt fixture, made for The masking device, and whether it has any effect on the yield variation induced by the masking. The thesis also examines whether the data from automated visual inspection can be used in determining the evaporation mask cleaning cycle.

The test to study the effects of the tilt fixture was executed in two separate parts. This was a precaution to minimize the effects of variation in the input material. The test produced conflicting results. In the first part of the test the masking yield loss was actually greater than in the reference material. In the second part of the test the results were opposite: Masking induced yield loss was significantly smaller. Due to the contradicting results, a decision to run more tests was made. This was needed to statistically determine whether the tilt fixture has an effect on the yield.

Data gained from the automated visual inspection was used to study how the clogging of the evaporation masks affects the yield. The study showed clear correlation between clogging of the masks and yield loss. Multiple limits for pad-dimensions were studied. As a result, yield improvement and standard deviation forecasts were calculated for the different limits. These results can later be used to determine the cleaning cycle of evaporation masks.

Keywords	Masking, Evaporation, Yield, masking process, yield variation, yield loss

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Murata Electronics Oy 1

3 Anturin valmistusprosessi 2

4 Kontaktipadien höyrystys 2

4.1 Höyrystysprosessi yleisesti 3
4.2 Höyrystysprosessi tarkemmin 3
4.3 Höyrystysmaskien ja maskauksen vaikutus 6
4.4 Höyrystysmaskauksen onnistumisen seuranta 9
4.5 Maskausvirhe 10

5 Maskauksen nykytila ja parannusideat 11

5.1 Maskauksen nykytila 11
5.2 Maskauslaitteen kallistusasema 12
5.3 Teippimaskaus 13
5.4 Maskirakenteen muutokset 13
5.5 Pesujigin poisto prosessista 14
5.6 Etsatut maskit 15
5.7 Maskien puhdistusvälin tilastollinen määrittäminen Ultran ja Triaxin maskeilla 15
5.8 Maskien piirustukset 16
5.9 Työohjeistus 17

6 Kallistusasema koe 17

6.1 Maskauslaite ja kallistusasema 18
6.2 Koejärjestelyt 20
6.3 Kokeen tulokset 20

7 Maskien puhdistusvälin määrittäminen 23

7.1 AVI-datan tarkastelu 23
7.2 Pad-dimensiorajojen määrittäminen 25

8 Loppupäätelmät 27

Liitteet

Liite 1. Pad-dimension korrelaatio hylkäysprosenttiin

1 Johdanto

Tässä insinöörityössä käsitellään Murata Electronics Oy:n anturivalmistuksen höyrystysprosessia ja syvennytään sen työvaiheeseen maskaus. Erityisesti työ keskittyy maskausprosessin vaihtelun pienentämiseen. Vaihtelun pienentäminen helpottaa prosessin hallintaa. Työssä kerrotaan lyhyesti Murata Electronics Oy:stä, anturin valmistuksesta ja syvennytään niiden jälkeen erilaisiin tapoihin ja mahdollisuuksiin parantaa maskauksen tuottamaa vaihtelua sekä pienentää saantohäviötä. Työtä varten on valittu parannusideoiden joukosta muutama tapa tarkempaan tarkasteluun.

2 Murata Electronics Oy

Murata Electronics Oy (jatkossa Murata) on Vantaan Martinlaaksossa sijaitseva MEMS-anturien (engl. Micro-Electro-Mechanical Systems) valmistaja. Murata tunnettiin aikaisemmin nimellä VTI Tecnologies Oy, mutta siirtyi Muratan omistukseen alkuvuodesta 2012.

Muratan käyttämän teknologian kehitystyö alkoi jo vuonna 1979 Vaisalassa. VTI kuitenkin perustettiin Vaisalan yhteyteen vasta vuonna 1991 nimellä VTI Hamlin. VTI irtautui omaksi yhtiökseen vuonna 1995, kun BREED Technologies osti sen. Ensimmäisenä neljänä vuotenaan VTI oli kerinnyt jo saavuttamaan aseman maailman johtavana pienkiihtyvyysanturien toimittajana sekä autojen jousitusjärjestelmissä, että jarru -ja luistonestojärjestelmissä.

VTI:n muista suurista virstanpylväistä sen 20 vuotisen historiansa aikana voisi mainita seuraavat tapahtumat:

- Uuden MEMS-tehtaan avaaminen Martinlaaksoon vuonna 1998
- Siirtyminen EQT III pääomasijoitusrahaston omistukseen vuonna 2002
- Chip-on-MEMS-teknologian julkistaminen vuonna 2007
- Tuotevalikoiman laajentaminen kulutuselektroniikkaan uusien gyro-anturien avulla
- Siirtyminen Muratan omistukseen 30.1.2012.

Nykyään Muratan tuotteisiin kuuluu kiihtyvyysanturit, kallistusanturit sekä kulmanopeusanturit jotka ovat valmiita anturikomponentteja. Edellä mainitut komponentit sisältävät sekä anturielementit, että ASIC-piirit.
Murata toimittaa myös pelkkiä anturielementtejä. [1.]

3 Anturin valmistusprosessi

Murata valmistaa tuotteitaan ainutlaatuisella 3D-MEMS teknologialla. Muratan MEMS-anturit ovat pääasiassa kapasitiivisia antureita, joiden mittaus perustuu kahden pinnan välisen kapasitanssin mittaamiseen. Anturielementit valmistetaan yksikiteisestä piistä ja lasista.

Rakenteeltaan anturielementit ovat kiekkotasolla hermeettisesti suljettuja. Rakenne helpottaa koteloinnin kanssa, sillä ulkoiset kontaminaatiot kuten esimerkiksi partikkelit tai kemikaalit eivät pääse anturin sisälle. Tämä lisää anturien luotettavuutta.

Sovellusalueen mukaan anturit voidaan suunnitella vaadituille herkkyyksille, taajuusvasteille tai mittausalueille. Kiihtyvyys -ja kulmanopeusantureita on saatavana sekä asennustason suuntaisena, että sitä vastaan mittaavina. Saatavilla on myös kaikkiin kolmeen suuntaan mittaavia antureita.

Muratan tuotteissa käytetään niin SIP (engl. System in package) kotelointia.
Kulutuselektroniikkaa varten on kehitetty myös niin sanottuja WLP (Wafer level packaging) kotelointi -ja liitäntätekniikoita[2].

4 Kontaktipadien höyrystys

Tässä luvussa käydään läpi mitä anturielementille tapahtuu anturivalmistuksen osaprosessissa höyrystysprosessissa.

4.1 Höyrystysprosessi yleisesti

Höyrystysprosessin tarkoituksena on tuottaa anturielementiin kontaktipinnat, joiden avulla anturi voidaan lopputuotteessa liittää kiinni mittauselektroniikkaan.

Elementit tulevat höyrystykseen kuuden tuuman piikiekoilla, joissa jokainen anturi on sahattu omaksi elementikseen aiemmassa prosessivaiheessa. Aluksi elementit nypitään höyrystysmaskeihin, tämä tapahtuu Pick and place (jatkossa PnP)-tyyppisillä ladonta koneilla, jotka on tehty juuri tämän tyyppistä prosessia varten. Tämän työvaiheen tarkoituksena on saattaa elementti höyrystysmaskiin niin päin, että kontakti kuviointi tulee anturin oikealle pinnalle, joka sijaitsee kiekolla ollessaan anturin sivulla. Tästä juontaakin höyrystykseen tulevien anturielementtien ryhmästä käytetty nimi, sivustakontaktoitavat elementit. Kun kaikki kiekon anturit on saatettu onnistuneesti höyrystysmaskiin, vuorossa on työvaihe nimeltä maskaus. Maskauksen tarkoituksena on kiristää anturit maskissa sijaitsevaa tukirakennetta vasten, jotta kuviointi tulee oikeaan kohtaan anturia.

Kun anturit on maskattu sekä maskauksen onnistuminen visuaalisesti tarkastettu, antureiden pinnalle höyrystetään tyhjiössä kontaktipinnat maskirakenteen läpi. Maskin toimintaperiaate on sama kuin esimerkiksi litografiassa käytettävän valotusmaskin, mutta valon sijasta maski estää höyrystyvää metallia pääsemästä ei haluttuun paikkaan. Höyrystäminen tapahtuu hyvin suuressa alipaineessa, joka on luokkaa 10^{-7} mbar.

Kun anturit ovat käyneet läpi varsinaisen höyrystysprosessin, on vuorossa lämpökäsittely. Lämpökäsittelyssä aiemmin höyrystetyt metallit sekoittuvat paremmin keskenään.

4.2 Höyrystysprosessi tarkemmin

Höyrystysprosessi jakautuu moneen vaiheeseen, joista kerrotaan tässä luvussa tarkemmin.

Elektronisäde höyrystys tapahtuu suuressa alipaineessa, noin 10-7mBar paineessa. Tälläinen tyhjö saavutetaan cryopumpun avulla. Tälläisen alipaineen aikaansaaminen

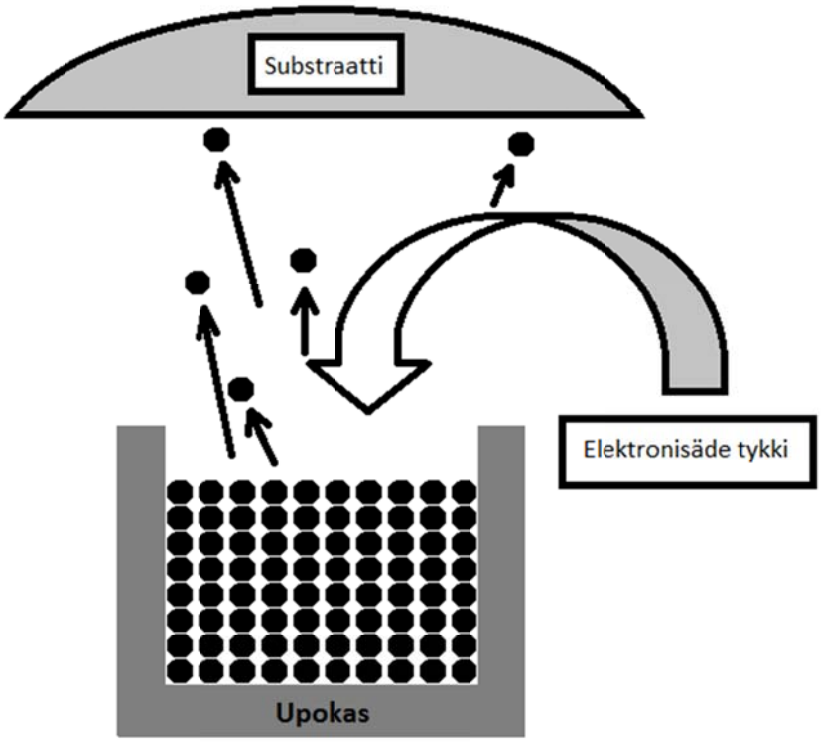
vie aikansa, joten ihan aluksi höyrystimen annetaan vetäytyä prosessipaineeseen, joka on ensimmäisessä vaiheessa 1,3 10-6mBar. Kun vaadittava tyhjiö on saavutettu, aloitetaan höyrystysprosessin ensimmäinen vaihe, ioni myllytys (engl. Ion milling).

Tälläinen tyhjiö on tarpeellinen höyrystysprosessille monestakin syystä. Yksi syy on, että mikäli tyhjiö ei olisi näin täydellinen, höyrystettävät metallit hapettuisivat ja saattaisivat syttyä jopa palamaan. Toinen syy on adheesion parantaminen, ilman tyhjiötä metallikerroksiin jäisi kaasuja ja metallit olisivat hauraita, eivätkä ne jäisi kunnolla piihin kiinni.

Ionimyllytys on vaihe jossa elementtien pintaan ammutaan argon ioneja. Vaikutusta on humoristisesti kuvattu kansankielellä atomitason hiekkapuhallukseksi[4].
Ionimyllytyksen tarkoitus on karhentaa elementin pintaa ja parantaa täten ensimmäisen *pad*-metallin tarttumista piin pintaan.

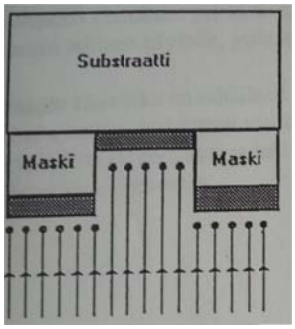
Kun ionimyllytys on valmis, annetaan laitteen jälleen vetäytyä parempaan vakuumiin. Tällä kertaa haluttu vakuumitaso on alueella 10-7mBar. Kun prosessipaine on saavutettu, ensimmäisen metallin höyrystäminen aloitetaan.

Höyrystäminen tapahtuu elektronisuihkun avulla joka johdetaan lähteeltä upokkaassa sijaitsevaan lähdemateriaaliin poikkeutusmagneettien avulla. Elektronisäteen kulkemista upokkaaseen ja materiaalin höyrystymistä kuvataan seuraavaksi. (Kuva 1, ks. seur. s.) [6].



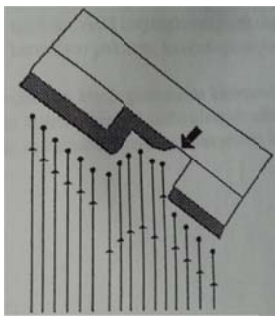
Kuva 1. Elektronisädehöyrystyksen havainnekuva.

Höyrystyneet molekyylit matkaavat upokkaasta suoraviivaisesti, kunnes kohtaavat jonkin esteen. Substraatti eli tässä tapauksessa höyrystimen kalotti on pyritty suunnittelemaan niin, että kaikki sen pinnat ns. katsovat mahdollisimman suoraan upokkaaseen. Mikäli kalotissa olevat höyrystysmaskit eivät ole suunnattu suoraan upokkaaseen, maskilevyt alkavat aiheuttaa niin kutsuttua portaanpeittoa. Portaanpeittoa on pyritty havainnollistamaan kuvilla (ks. seur. s.)



Kuva 2. Portaanpeitto ideaalitilanteessa

Mikäli substraatti ei ole suorassa lähdettä kohden, alkaa maskin paksuus vaikuttamaan ja portaanpeitto ilmiö syntyy (Kuva 3.)



Kuva 3. Vinon substraatin aiheuttama portaanpeitto [5].

Vaikkakin Muratan höyrystimen substraatti on pyritty kallistamaan kohti lähdettä, on maskeissa silti otettu huomioon mahdollinen portaanpeitto. Maskissa oleva maskilevy on pyritty pitämään mahdollisimman ohuena, jotta edellä kuvailtua ilmiötä ei syntyisi.

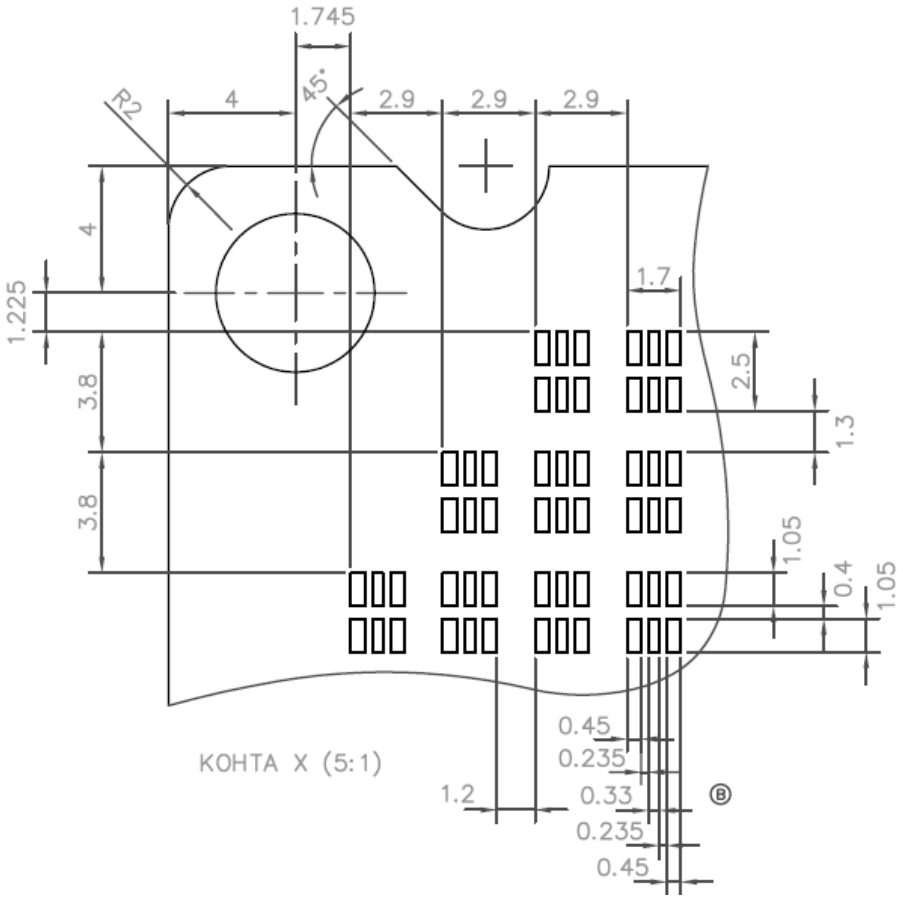
4.3 Höyrystysmaskien ja maskauksen vaikutus

Maskaus on hyvin manuaalinen työvaihe, johon vaikuttaa hyvin paljon kyseistä työvaihetta suorittavan työntekijän (jatkossa operaattori) työtavat sekä käytännön kokemus. Nykyään maskauksesta aiheutuva saantovaihtelu tuottaa tarkasteltavasta tuotteesta riippuen noin kahdesta kymmeneen prosenttia saantohukkaa. Luku voi kuulostaa pieneltä, mutta tuotantomäärien ollessa satojatuhansia viikossa, jopa prosentin parannus voi olla arvokas.

Yksittäisillä höyrystysmaskeilla ja niiden kunnolla on suuri vaikutus koko höyrystysprosessin onnistumiseen. Tämän takia on hyvä tietää maskin rakenne hieman yksityiskohtaisemmin.

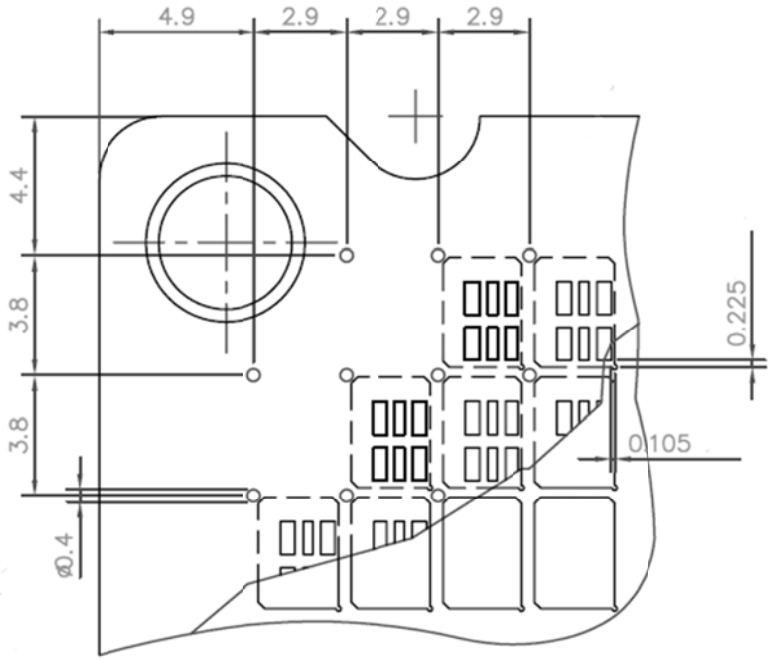
Höyrystysmaski koostuu pääosin neljästä kerroksesta. Nämä kerrokset ovat höyrystettävästä lähdemateriaalista katsottuna seuraavat, maskilevy, tukiristikko, liikkuvaristikko sekä kohdistusristikko. Edellä mainituista osista kaksi ensimmäistä on hitsattu yhteen ja tätä osaa nimitetään nimellä hitsauskokoonpano. Mitoiltaan ja laadultaan hitsauskokoonpano ja sen muodostavien osien mitat ovat koko maskin laadun kannalta tärkeimmät, joten seuraavaksi keskitymme niihin.

Maskilevyn tärkeimmät mitat ovat *pad*-aukkojen koko. Nämä mitat esitetään kuvassa neljä, josta nähdään yksi kulma maskilevystä.



Kuva 4. Maskilevy ja *pad*-aukkojen mitat [5.]

Kuvassa neljä nähdään *pad*-aukkojen mitat. Tukiristikon mitat eivät ole niinkään tärkeitä. Maskauksen kannalta on tärkeämpää tietää tukiristikon sijanti suhteessa maskilevyyn, tämän näemme parhaiten hitsauskokoonpanokuvasta (kuva 5).

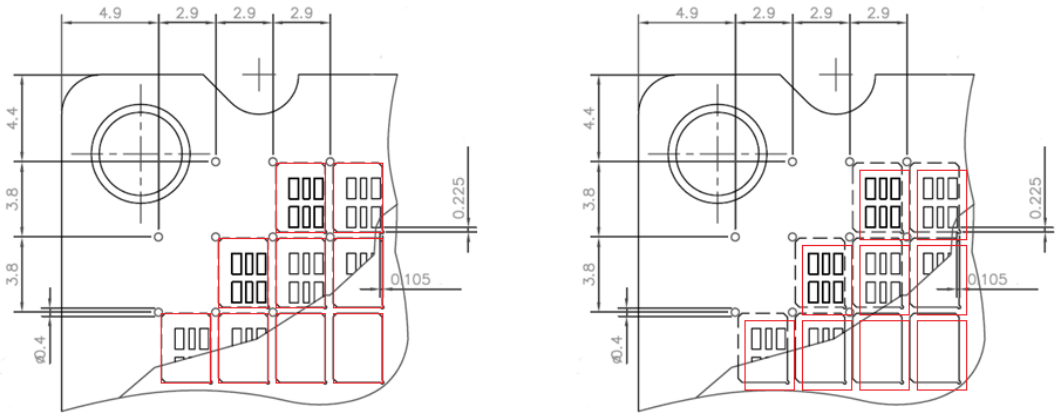


Kuva 5. Hitsauskokoonpano [5]

Hitsauskokoonpano kuvassa (kuva 5) nähdään tärkeät mitat 105 µm ja 225 µm. Nämä kaksi mittaa määrittävät anturille mekaanisen pysähdys pisteen, jota pidemmälle sitä ei voida maskata, eli kohdistaa.

Toimintaperiaate maskissa on hyvin yksinkertainen. Maskilevyyn on tehty haluttujen padien kokoiset reiät tarkoituksen mukaisella kuvioinnilla, mukaillen elementtikuvia. Tämän lisäksi maskilevyyn on hitsattu kiinni tukiristikko, jota vasten elementti kohdistetaan. Kuten kuvasta kaksi nähdään, elementille on jätetty suhteellisen paljon liikkumatilaa tukiristikkoon (katkoviivalla merkityt alueet). Liikkumatila on jätetty tukiristikkoon helpottamaan elementtien laittamista maskiin, tuotteesta riippuen, joko automaattisesti poimintaroboteilla, tai käsin kääntäen. Ylimääräinen liikkumatila pitää kuitenkin saada pois elementiltä, jotta *pad*-kuviointi saadaan oikeaan paikkaan. Liikkuvanristikon avulla elementit saadaan kiristettyä vasten tukiristikkoa. Liikkuvaristikko on mitoiltaan lähes

identtinen tukiristikon kanssa. Auki ollessaan tukiristikkoa ei näe päältä katsottuna ollenkaan. Tukiristikon ääriasennot ovat havainnollistettu kuvassa (Kuva 6.)



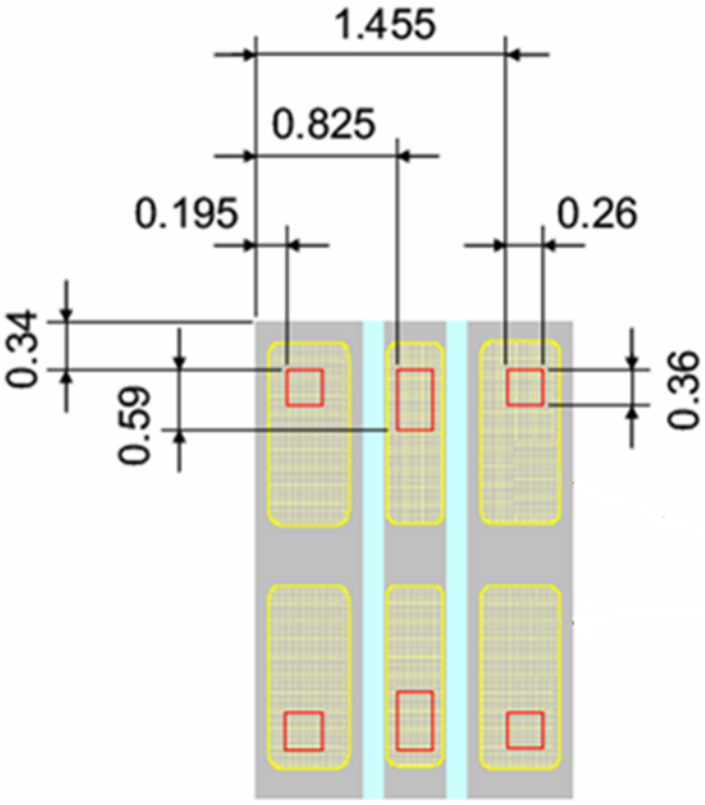
Kuva 6. Liikkuvan ristikon liikesuunta hitsauskokoonpanoon nähden [5].

Kuvasta nähtiin miten liikkuvaristikko liikkuu hitsauskokoonpanoon nähden. Kuvassa liikkuvan ristikon reunat on piirretty punaisilla neliöillä. Vasemman puoleisessa kuvassa ristikko on kiinni ja oikeanpuoleisessa auki. Liikesuunta on siis vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas diagonaalisti.

4.4 Höyrystysmaskauksen onnistumisen seuranta

Maskauksen kohdistuksen onnistumista seurataan suurimmalla osalla tuotteista automaattisesti AVI:n (engl. Automated Visual Inspection) avulla. AVI:n toiminta periaate on hyvin yksinkertainen. AVI ottaa anturielementistä taustavaloitetun sekä mustavalkokuvan ja tekee sen jälkeen ennalta määritetyt tarkastukset kyseessä olevan tuotteen perusteella.

Maskauksen kannalta tärkeimmät AVI-tarkastukset ovat ne, jotka liittyvät kontaktipadin tarkastamiseen. AVI:n tarkastamat alueet esitetään seuraavassa kuvassa (kuva 7 ks. seur. s.)



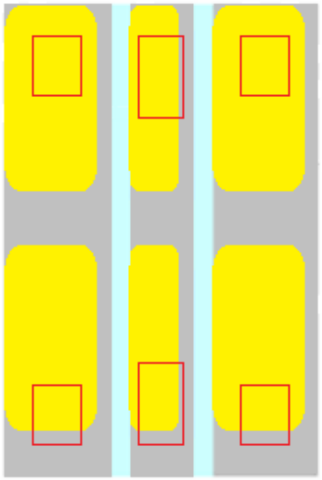
Kuva 7. Lankabondausalueet ja niiden mitat [5]

AVI tarkastaa punaisella merkityt alueet ottamastaan mustavalkokuvasta. Kaikki kuusi bondausaluetta tarkistetaan erikseen. Edellä mainittiin, että kuva on mustavalkoinen, joten AVI tarkistaa bondausalueen harmaavärisävyarvon ja päättää sen perusteella onko lankabondausalueella näkyvissä piitä vai kultainen kontaktipadi.

4.5 Maskausvirhe

Maskausvirhe on virhe, joka tapahtuu maskin liikkuvaaristikkoa kiristettäessä. Maskausvirhe syntyy kun liikkuvaa ristikkoa ei kiristetä loppuun asti, eikä elementti siirry kokonaan tukiristikkoa vasten. Tuotteessa tämä näkyy kontaktipadien paikan siirtymisenä.

Liikkuvanristikon jäädessä löysälle, maskausvirhe voi teoriassa näkyä joko X tai Y-akselin suuntaisena, mutta usein siirtymä ilmenee molemmalla akselilla. Tarkasteltaessa elementtiä sivulta jolla kontaktipadit sijaitsevat, maskausvirhe tapahtuu diagonaalisti alaoikealta ylävasemmalle (kuva 5.).



Kuva 8. Maskausvirhe suhteessa lankabondausalueisiin

Kuten aiemmasta kuvasta (kuva 8) nähtiin, maskausvirheelle on enemmän tilaa pystysuunnassa, 340µm, kun taas sivusuunnassa vain 195 µm, elementin laidasta. Vastaavat mitat hitsausokoonpanoon nähden ovat 115 µm pystysuunnassa ja 90 µm sivusuunnassa. Tämä johtaa siihen, että yleensä maskausvirhe ilmenee padin sivusuuntaisena siirtymänä.

5 Maskauksen nykytila ja parannusideat

Tässä luvussa käydään läpi maskauksen nykyistä tilaa. Käydään tarkemmin läpi nykyistä maskausmekaniikkaa sekä sen aiheuttamia ongelmakohtia. Tarkastellaan myös maskauksen tuottamaa saantohukkaa. Tämän luvun alaotsikoihin on lajiteltu mahdolliset parannusideat.

5.1 Maskauksen nykytila

Nykyään käytettävät maskit valmistetaan laserleikkauksella. Maski koostuu neljästä erikseen leikatusta kerroksesta joista kaksi alimmaista on hitsattu yhteen. Alimmat kerrokset ovat maskin rakennusvaiheessa kriittisimmät mittojen ja valmistus toleranssin suhteen, sillä ne määrittävät hyvin pitkälti koko maskin laadun. Toiset kaksi kerrosta käsittävät liikkuvan ristikon, jonka asentoon operaattori vaikuttaa maskausvaiheessa, sekä ylimmäinen kerros, minkä tarkoitus on tukea maskin rakennetta.

Maskaus aiheuttaa nykyään suhteellisen paljon saantohukkaa (ks. 4.3 Höyrystysmaskien ja maskauksen vaikutus) Suurin osa saantohukasta joka tulee maskauksesta, johtuu siitä, että maskissa oleva liikkuvaristikko ei pääse kiristymään kunnolla. Vaikka maskauksen jälkeen tehdään visuaalinen tarkastus, jonka tarkoitus on saada löysälle jääneet maskit kiinni, löysälle jääneitä maskeja prosessoidaan silti eteenpäin. Syitä miksi huonosti maskautuneita eriä edistetään, on kaksi. Ensinnäkin operaattorin voi olla hyvin vaikea huomata niin sanottua maskausvikaa, jossa maskin aukosta ei kunnolla näe huonon maskauksen yhteydessä havaittavaa lasia. Toinen syy on siinä, että ihmissilmän tekemä visuaalinen tarkistus ei ole 100% varma tarkistus.

Maskaus on nykyään hyvin manuaalinen vaihe, jossa operaattorilla on mahdollisuus tehdä virhe monessa kohtaa. Ensimmäinen ongelma jonka operaattori kohtaa, on anturien manuaalinen kääntö niin kutsutusta pesujigistä höyrystysmaskiin.
Tämän jälkeen seuraava vaihe, jossa ihmisen tekemä virhe on mahdollista, on itse maskaaminen, eli maskiverkon kiristys. Näiden kahden vaiheen jälkeen on vielä jatkoprosessointia varten käännettävä anturit erilliselle nypintäalustalle, jotta ne voidaan nyppiä lopulliselle alustalleen.

Yksi tämänhetkisistä ongelmista maskauksessa on myös jäljitettävyys. Tämä johtuu höyrystysmaskien koosta, kaikki kiekon anturit eivät mahdu yhteen maskiin. Yksi koottu kiekko jakaantuu höyrystyksessä tuotteesta riippuen kolmesta kuuteen osaan. Tämä aiheuttaa sen, että operaattorin on mahdollista sekoittaa kiekolta, joko yksi tai useampia osioita keskenään. Koska Muratalla halutaan säilyttää elementtikohtainen jäljitettävyys, kiekkojen tai niiden osien sekoittuminen keskenään aiheuttaa suoraa saantohävikkiä.

Seuraavat alaotsikot esittelevät erilaisia parannusideoita maskauksen suhteen, jotta ihmisen tekemän virheen mahdollisuudet saataisiin minimoitua.

5.2 Maskauslaitteen kallistusasema

Maskauslaitteen kallistusaseman on tarkoitus pureutua ongelmaan, jossa liikkuvaristikko ei pääse kiristymään kunnolla. Kallistuslaitteen toiminta perustuu siihen, että anturi-

en oletetaan kallistuksen johdosta liukuvan oman massansa voimalla haluttuun kulmaan jo ennen kuin liikkuvaristikko on kiristetty.

Maskauslaitteen kallistusaseman toimivuudesta tehtiin tätä insinöörityötä varten koe. Kokeessa vertailtiin tiettyjen maskien saantoa maskausvikojen suhteen, AVI-datan avulla, ennen ja jälkeen kallistusaseman käyttöönottoa. Kokeesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 6.

5.3 Teippimaskaus

Teippimaskaus on kokonaisvaltainen projekti-idea, joka pyrkii parantamaan lähes jokaista ongelmakohtaa tämänhetkisessä maskausprosessissa.

Teippimaskauksessa anturit poimittaisiin sahausframelta suoraan teipille, jolla anturit voitaisiin prosessoida asiakkaalle asti. Tämän avulla voitaisiin vähentää nykyisen maskausprosessin vaatimia manuaalisia työvaiheita, tuotteesta riippuen joko kolme tai jopa neljä. Kyseiset vaiheet olisivat, nypintä pesujigiin, anturien kääntö maskiin, maskin mekaaninen kiristys käsin, kääntö lämpökäsittelyjigiin sekä nypintä lämpökäsittelyjigistä probausteipille.

Nykyään anturit nypitään sahausframelta tuotteesta riippuen kolmesta kuuteen jigiin. Teippimaskauksen avulla kaikki anturit yhdeltä kootulta kiekolta olisi mahdollista nyppijä yhdelle teipille. Tämä vähentäisi todella paljon jäljitettävyyden menettämisen riskiä, josta puhuttiin aiemmin kappaleessa 5.1 Maskauksen nykytila. Teippimaskaus vähentäisi myös tuntuvasti anturin prosessin aikana kokemaa mekaanista stressiä, joita kaikki manuaaliset työvaiheet aiheuttavat.

5.4 Maskirakenteen muutokset

Mikäli maskauksen suhteen tullaan pysymään nykyisessä tekniikassa, on maskirakenteeseen muutamia muutos ideoita.

Ensimmäisenä ongelmana nykyisessä maskirakenteessa on, että mikäli maskirakenteen väliin pääsee jotain ulkoista likaa, on mahdollista, että koko maskaus menee pieleen. Ongelma johtuu siitä, että liikkuva ristikko on yhtenäinen kappale, jossa ei ole lainkaan

yksittäistä joustoa. Tähän parannusideana olisi toteuttaa eräänlainen jousirakenteinen liikkuvaristikko. Tämä auttaisi siten, että maskaus onnituisi vaikka yksi anturi jäisi vinoon tai maskirakenteen väliin pääsisi likaa.

Toinen ongelma osassa maskeista on, että niiden malli edustaa vanhempaa suunnittelua ajalta ennen kuin maskit maskattiin maskauslaitteen avulla. Tästä johtuen niistä puuttuu laidoista pienet viisteet joiden avulla maskauslaite kiristää uudemmat maskit.

Olemme alkaneet kerätä automaattisen visuaalisen tarkastuksen dataa ylös vuoden 2012 alusta lähtien. Tämän datan avulla pystymme määrittämään keskimääräisen maskausvirheen suuruuden. Maskausvirhe on ero höyrystetyn padin ideaalisen sijainnin ja toteutuneen sijainnin välillä.

Toinen parannus idea nykyiseen maskirakenteeseen on muutos joka poistaisi itse maskilevystä hitsattavan tukiverkon. Maskirakenne kuvissa nähtiin, että maskin ja tukiverkon hitsaus on hyvin tarkasti mitoitettu ja täten vaikeaa sekä kallista valmistaa. Ideana on, että hitsauksen sijasta elementit pysähtyisivät kohdistusristikkoon joka kohdistettaisiin ruuvien ja kohdistusristikon tiukemman toleroinnin avulla. Tämä olisi suuri kustannus säästö, sillä pelkkien maskilevyjen valmistus on moninkertaisesti halvempaa kuin hitsauskokoonpanon teettäminen.

5.5 Pesujigin poisto prosessista

Pesujigin poisto prosessista, koskee ainoastaan yhtä tuotetta. Pesujigi on alun alkaen jäänne vanhasta prosessista joka ei ole enää käytössä. Pesujigin poistaminen käytöstä, vähentäisi operaattorin tekemiä manuaalisia vaiheita ja vähentäisi täten inhimillisten virheiden määrää. Anturin kokema mekaaninen stressi pienenisi, tämä taas potentiaalisesti vähentäisi murtumien määrää. Murtumia syntyy koska maski ja pesujigi eivät ole täysin linjassa toisiinsa nähden. Tästä syystä antureita joudutaan usein käsittelemään manuaalisesti pinseteillä, käännön yhteydessä. Murtumien vaikutus maskaukseen voi olla hyvinkin suuri, mikäli anturista murtunut palanen pääsee estämään liikkuvanristikon kiristämisen, voi maskausvirhettä tulla monta mikrometriä. Tottakai myös murtumat ovat ei toivottuja ja aiheuttavat jo itsessään saantohukkaa.

5.6 Etsatut maskit

Nykyään maskit valmistetaan pääsääntöisesti laserleikkauksen avulla. Ongelmana laserilla leikatuissa maskeissa on lasersäteen aiheuttama lämpölaajeneminen. Tämä näkyy kahdella tavalla, joista ensimmäinen on oikeastaan syynä toiseen. Maskipellit eivät pysy lämpölaajenemisen takia täysin suorina, vaan taipuvat hieman. Maskipellin taipuminen taas vaikeuttaa hitsauskokoonpanoa maskin valmistuksen aikana. Kierot pellit vaikeuttavat myös operaattoreiden työskentelyä, sillä jos maskissa ilmenee ylimääräisiä jännitteitä maskia kiristäessä, saattavat anturit lennähtää pois paikoiltaan jännityksen vapautuessa.

Vaihtoehto laserin avulla tehdyille maskeille olisi esimerkiksi valmistaa maskipelti etsaamalla. Etsaamalla maskipelleistä on mahdollista saada täysin suoria ja myös valmistus toleranssit ovat yhtä hyviä, elleivät jopa parempia kuin laseroimalla. Etsattuja maskipeltejä on tilattu Muratalle aikaisemminkin ja niistä on ollut hyviä kokemuksia. Suurimpana syynä sille, ettei maskeja ole otettu käyttöön on ollut hitsaustoimittajan löytyminen. Viimeaikoina myös laserleikattujen maskipeltien laatu ja suoruus on parantunut huomattavasti.

Etsattuja peltejä voitaisiin myös käyttää hyväksi kappaleessa 5.4 esitellyssä maskirakenteessa, missä luovuttaisiin hitsauskokoonpanoa tarvitsevasta rakenteesta.

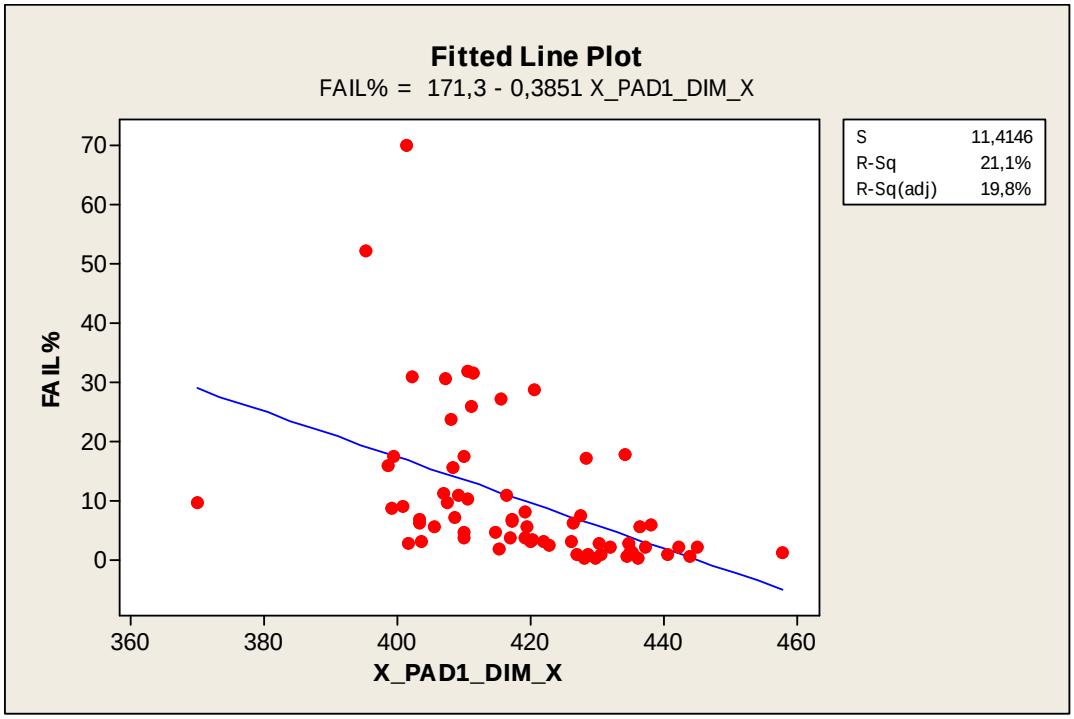
5.7 Maskien puhdistusvälin tilastollinen määrittäminen Ultran ja Triaxin maskeilla

Käydessään läpi monta höyrystyssykliä, höyrystysmaskit tukkeutuvat, niiden pinnalle höyrystyvän materiaalin johdosta. Ultran ja triaxin maskeja on puhdistettu hiilidioksidijääpuhalluksen avulla.

Tätä kirjoitettaessa maskien puhdistusväli oli määritetty kiinteäksi aikajaksoksi riippumatta siitä kuinka monta kertaa maski kävi höyrystyksessä tänä aikana. Maskeille ei tuotannossa ole määritetty säännöllistä käyttöjärjestystä, joten maskien käyttöasteet voivat vaihdella viikosta toiseen. Edellä mainittu johtaa siihen, että maskit tukkeutuvat eri tahtiin ja vaatisivat täten ajallisesti eripituiset puhdistusvälit. Tämän lisäksi maskin

tukkeutumiseen vaikuttaa alun perin toteutunut *pad*-aukon koko, sekä tukiristikon hitsaus suhteessa maskilevyyn.

Nykyisellä kolmen viikon puhdistussyklillä voimme nähdä monella maskilla, kuinka *pad*-aukon tukkeutuminen alkaa vaikuttaa saantoon negatiivisesti. Maskien joukosta poimittiin yksi maski havainnollistamaan tätä. kuva 9.



Kuva 9. *Pad*-dimension vaikutus hylkäysprosenttiin

5.8 Maskien piirustukset

Yksi selkeä alue parantaa maskauksen aiheuttamaa vaihtelua on maskipiirustusten muutokset. Tähän liittyy oleellisesti nykyisten piirustusten läpikäynti ja niiden epäkohtien etsiminen. Työn aikana selvisi, että piirustusten toleransseissa oli parannettavaa ja tarkennettavaa. Tämä tuli esiin tilattaessa uusia maskeja vanhoilla piirustuksilla, joiden mukaan tehtyjä maskeja meillä oli jo ennestään talossa. Ongelma tuli esille koemaskauksia tehtäessä, AVI-tarkistuksessa. Saannot olivat koekiekoilla huonot ja tämä johtui siitä, että *pad*-aukot oli mitoitettu toleranssien alarajoille. Vaikutti siltä, että maskit olisivat olleet tukossa jo toimitus hetkellä. Silloiset piirustukset sallivat jopa 100µm vaih-

telun. Sittemmin vaihtelun suuruutta on tiukennettu sadasta mikrometristä kolmeenkymeneen mikrometriin.

AVI-dataa seuraamalla on erotettavissa selkeästi eritasoisia maskeja. tämä johtuu maskien valmistusprosessin toleransseista. Koska toleranssit ovat nyt jo hyvin tiukkoja valmistajan suuntaan, on niiden kiristäminen hieman epämielekästä. Sen sijaan olisikin hyvä ottaa tarkastelun alle esimerkiksi kolme parasta maskia per tuote ja mitata ne kauttaaltaan hyvin tarkasti. Tavoitteena olisi löytää maskeista jokin yhdistävä tekijä joka poikkeaa hieman maskipiirustuksissa näkyvästä nominaalimitasta esimerkiksi hitsauskokoonpanon suhteen. Maskipiirrosten mitat hitsauskokoonpanon suhteen, on tehty niin, että elementtikuviin on lisätty hieman tilaa maskausvirheelle. Esimerkiksi ultra elementin maskeissa tilaa on 30 µm per suunta. Käytännössä siis oletetaan, ettei ideaalista maskausta synny juuri koskaan. Mitta on kuitenkin sen verran maltillinen, ettei se aiheuta hylkyä, vaikka maskaus olisi täydellisesti vasten hitsauskokoonpanoa.
Tälle mitalle ei ole testattu vaihtoehtoisia mittoja, paitsi 0µm jolloin maski on todella altis maskausvirheelle, käytännössä käyttökelvoton.

5.9 Työohjeistus

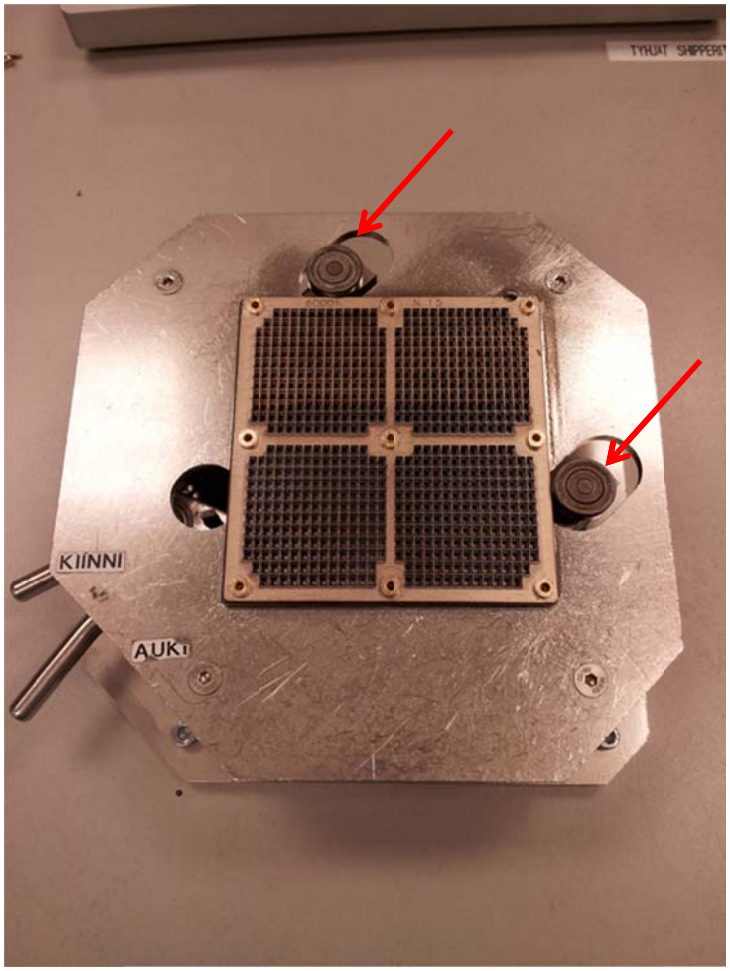
Työohjeistus on erittäin tärkeää varsinkin näin manuaalisissa prosesseissa kuten esimerkiksi maskaus. Työtapojatapoja tehdä kaikki maskauksen vaiheet on varmasti monia, mutta hallittavuuden kannalta on tärkeää, että kaikki operaattorit tekevät asian samalla tavalla.

6 Kallistusasema koe

Tässä kappaleessa käsitellään tätä työtä varten valittua maskauksenvaihtelun parannusideaa, maskauslaitteen kallistusasemaa.

6.1 Maskauslaite ja kallistusasema

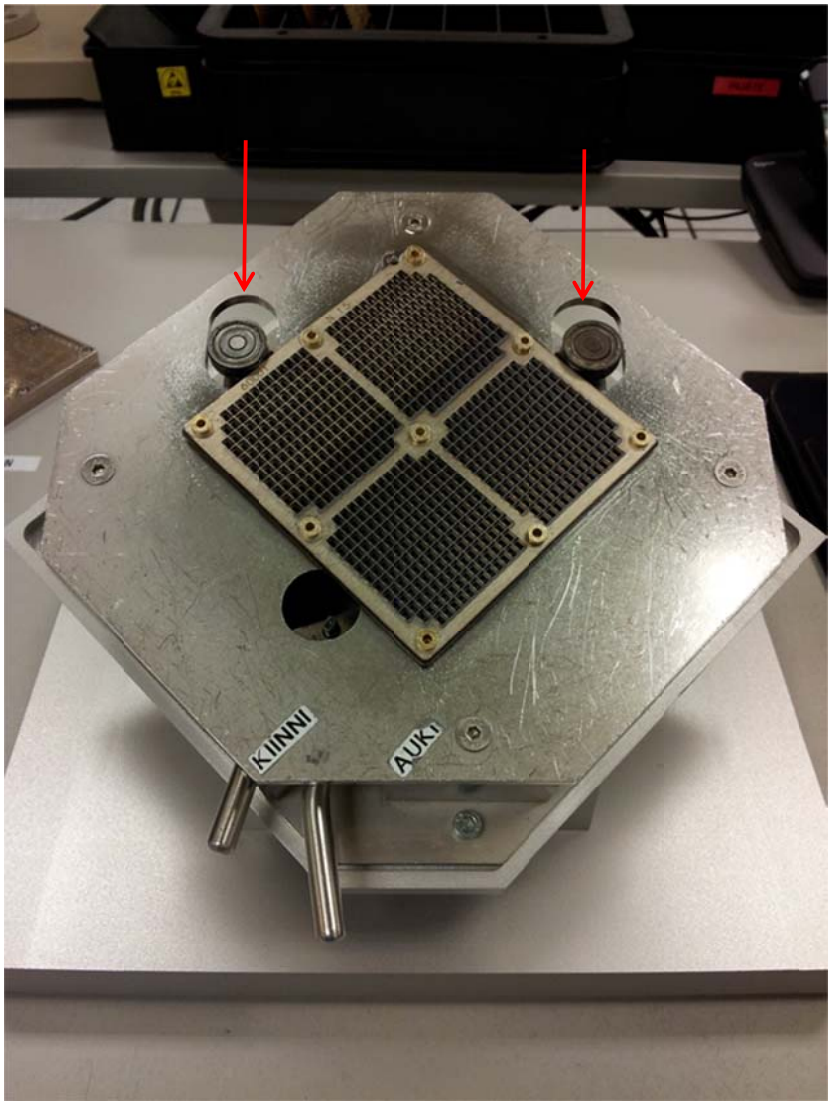
Maskauslaite on itsessään hyvin yksinkertainen laite, jonka on tarkoitus auttaa operaattoria kiristämään maski sekä x että y-akselin suunnassa. Maskauslaitteen toimintaa havainnollistaa Kuva 10.



Kuva 10. maskauslaite ja kiristyssuunta

Kallistusaseman tarkoituksena puolestaan on saada maskin kiristys tapahtumaan kallistetussa kulmassa. Oletuksena on, että kallistus auttaa elementtejä paikoittumaan tukiristikkoa vasten jo ennen kuin maskia kiristetään. Edellä mainitun odotetaan puolestaan vähentävän elementin kokemaa mekaanista stressiä ja auttavan pienentämään maskauksen vaihtelua. Teoriassa maskin kannen pitäisi pystyä pitämään elementti paikallaan. Mikäli kallistus saa elementin asettumaan paikalleen ilman kiristämistä, ei maskin löysälle jäämisen pitäisi haitata.

Laitteen kallistuskulmaa voidaan säätää ruuvista. Tässä työssä ei oteta kantaa erilaisten kallistuskulmien keskinäisiin eroihin, vaan kaikki koemaskaukset on tehty yhdellä kallistuskulmalla, joka on noin 35-astetta. Oletuksena on, että liian pieni kulma ei saa eroa aikaiseksi maskin kiristämiseen vaakatasossa. Toisaalta taas liian suuri kulma on operaattorille vaikeasti käytettävä. Tässä työssä käytettävä kallistuskulma valittiin muutaman koemaskauksen perusteella mahdollisimman isoksi, kuitenkin niin, että laitteen käyttö ei vielä vaikeudu liikaa.



Kuva 11. kallistuslaite ja maskauksen suunta kallistuksessa

6.2 Koejärjestelyt

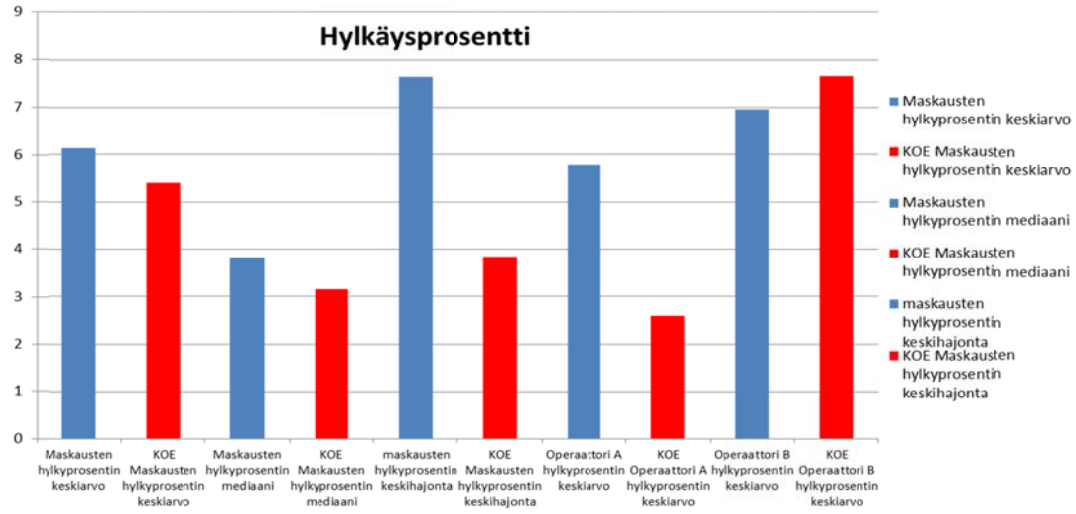
Kallistuslaitteen koejärjestelyt tehtiin Muratan normaalien koejärjestelyjen mukaan. Kokeen ensimmäinen osa ajettiin niin, että kokeessa oli mukana kaikkia eri smallin versioita. Myöhemmin kuitenkin huomattiin, etteivät kaikki tulokset näin tehdessä olleet keskenään vertailukelpoisia, johtuen esimerkiksi erilaisista AVI-spekseistä. Tämän takia kokeesta ajettiin 10 kiekkoa lisämateriaalina niin, että kaikki lisämateriaali edusti vain yhtä smallin tuoteversiota. Tämän lisäksi lisämateriaali ajettiin kahdessa osassa kahden eri operaattorin toimesta, jotta muut tuotannon vaihtelut eivät vaikuttaisi kokeeseen niin paljon.

Valitut operaattorit edustavat tuotannon keskiarvoa hyvin. Alkuvuoden hylkäysprosentin keskiarvo AVI:lla, viikoilla 1-14 oli 6,13% vikakoodilla 1203, vikakoodi jonka AVI ilmoittaa kun lankabondausalueelta ei löydy *pad*-metallointia. Valittujen operaattorien vastaavat luvut olivat 6,96% operaattori A:lla ja 5,77% operaattori B:llä. Vertailun vuoksi voidaan mainita, että samalla tarkasteluvälillä pienin operaattorikohtainen hylkäysprosentti oli 3,65% ja suurin 16,18%. Aiemmin mainittu vikakoodi 1203 on siis koodi joka ilmaisee, ettei AVI ole havainnut *pad*-metallointia lankabondausalueeksi määritellyllä alueella.

6.3 Kokeen tulokset

Kokeen lähdedata sekä osa taulukoista on jätetty esittämättä, sillä niitä ei haluttu julkisiksi. Tässä kappaleessa on kuitenkin esitetty kokeen vertailun kannalta olennaisimmat taulukot ja kuvaajat.

Kokeen toivottuna saavutuksena oli pienentää saantohäviötä, joten on tärkeää tietää mitä saanto oli referenssimateriaalilla kokeen aikana. Kuvassa 12 esitetään koko tuotannon, operaattori A:n ja operaattori B:n hylkäysprosentin keski -ja mediaaniarvot sekä vastaavat arvot kokeen aikana



Kuva 12. Hylkäysprosenttien keski -ja mediaaniarvot.

Kuvassa 12 nähtiin sekä referenssimateriaalin tulokset sinisellä että koemateriaalin vastaavat arvot punaisella.

Vertaamalla tuloksia taulukossa yksi, huomaamme, että maskausten keskiarvohylkäysprosentti ja mediaani pienenivät hieman. Kuitenkin operaattorien tulokset ovat ristiriitaiset. Operaattori A:lla kallistuslaite toi koemateriaalilla noin 2,5 prosentin parannuksen, kun taas operaattori B:llä tulos oli lievästi päinvastainen. Operaattori B:llä koemateriaalin hylkyprosentin keskiarvo oli hieman alle yhden prosenttiyksikön verran huonompi.

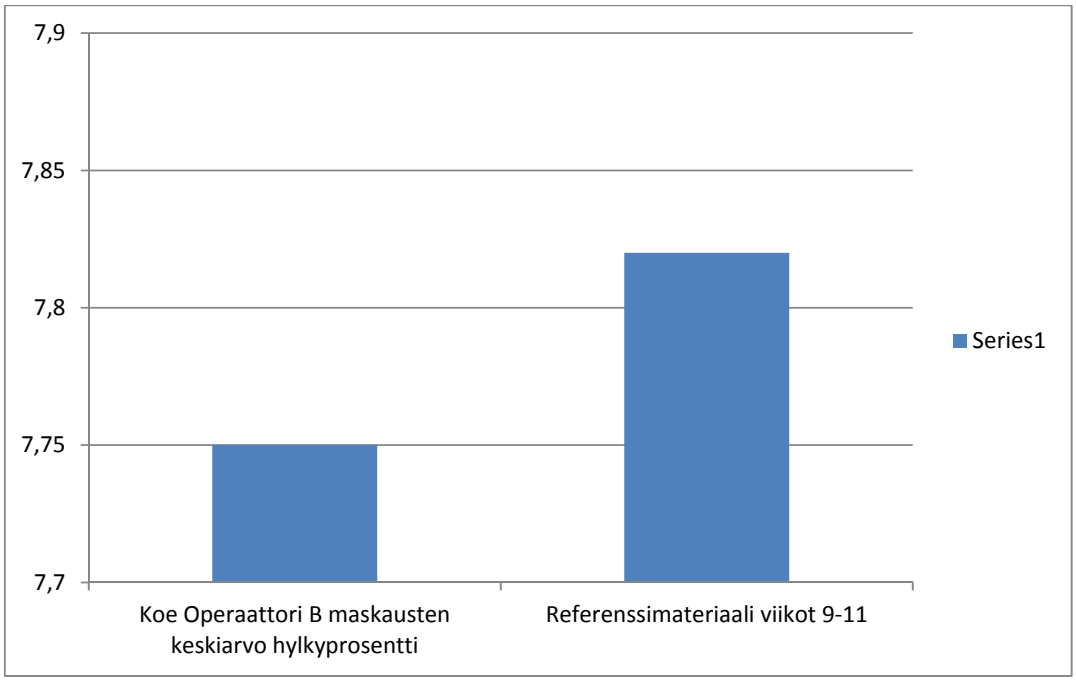
Kuten kuvasta 12 nähtiin, koko koemateriaalia katsottaessa tulos oli positiivinen ja hylkäysprosentit pienenivät hieman. Testiin osallistuneita operaattoreita erikseen tarkasteltaessa huomataan kuitenkin, ettei tulos ollut yksiselitteinen. Operaattori A:lla on nähtävissä selkeä parannus, mutta operaattori B:llä koemateriaalin tulokset ovat jopa huonommat kuin referenssimateriaalilla. Kuvassa 12 kolme ensimmäistä kohtaa edustavat koko tuotannon ja koko kokeen lukemia. maskausten hylkyprosentin keskiarvo näyttää puolestaan yksittäisten kiekkojen ja maskausten hylkäysprosenttien keskiarvoa. Myös mediaani hylkäysprosentti näyttää laskeneen kokeen materiaalilla hieman.

Operaattoreiden tuloksia tarkastellessa huomataan, että operaattori A:lla hylkäysprosentti laski noin puoleen referenssimateriaaliin verrattuna. Operaattori B:llä puolestaan tapahtui vajaan yhden prosenttiyksikön kasvu hylkäysmäärissä.

Vertailuarvoina eli referenssimateriaalina on aiemmassa vertailussa käytetty koko alkuvuoden tuotantoa. Operaattori B:n hylkäysmäärien kasvu aiheutti epäilyn siitä, että oliko kyseisen viikon, tai lähiviikkojen saanto muuten vastaavanlainen kuin pidemmällä referenssiajanjaksolla.

Mikäli vertaamme operaattori B:n koemaskauksia lähimpiin viikkoihin, ovat tulokset hieman erilaiset. Operaattori B:n maskaukset tehtiin viikolla 11, joten käytämme referenssimateriaalina aiempaa hieman lyhyempää kolmen viikon maskausdataa.

Dataa tarkasteltaessa huomattiin, että hylkäysmäärät olivat suuremmat siihen aikaan kun operaattori B teki kokeen. Ero ei ollut kovinkaan suuri. Kuvassa 13 esitetään viikkojen 9-11 referenssimateriaalin vertailu kokeen osaan joka tehtiin tänä aikana.



Kuva 13. Kokeen tulokset verrattuna referenssimateriaaliin viikoilta 9-11

Kuvassa 13 nähtiin, että myös operaattori B:n maskauksen saanto pieneni hieman, mikäli referenssidatana käytetään pienempää ajanjaksoa kokeen ympäriltä.

7 Maskien puhdistusvälin määrittäminen

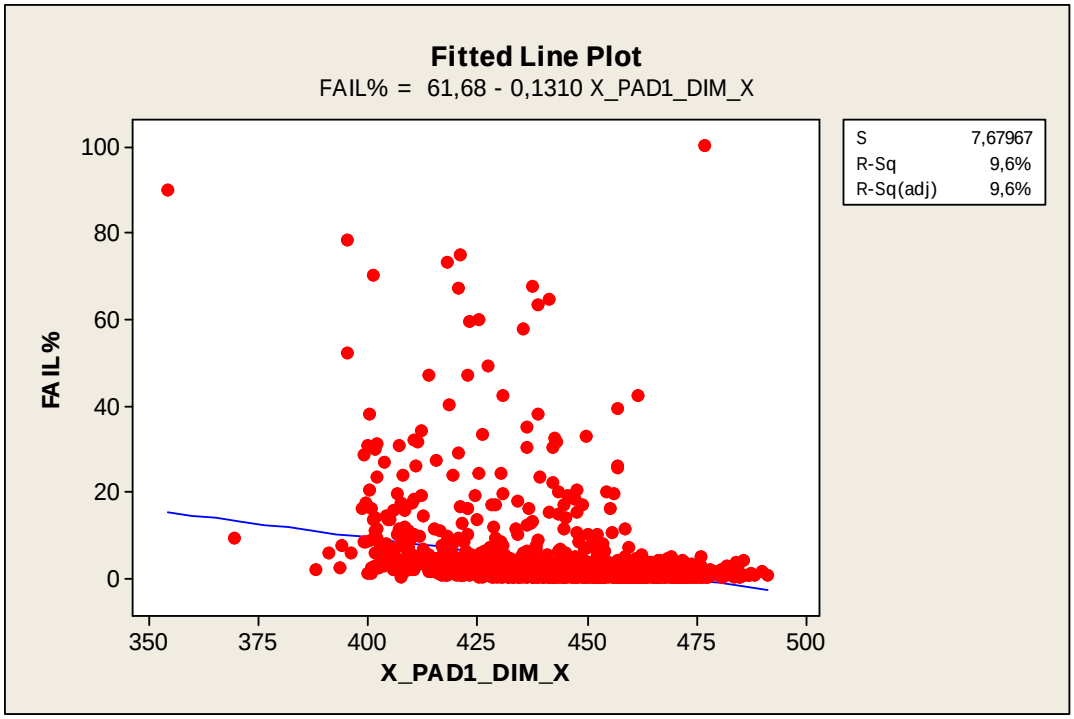
Tämä kappale käsittelee maskien puhdistusvälin määrittämistä Triaxin ja Ultran maskeilla. Tätä työtä tehdessä maskien puhdistus oli määritetty kiinteällä aikavälillä. Tämä puhdistusväli ei ota kantaa siihen, onko puhdistettavaa maskia käytetty 5 vai 50 kertaa kyseisen syklin aikana. Tällainen menetelmä näkyy kahdella negatiivisella tavalla. Ensiksikin maskit joille maskauksia ei kerry tarpeeksi puhdistetaan turhaan, aiheuttaen ylimääräisiä kustannuksia. Toisessa ääripäässä ovat maskit, jotka kerkeävät kiinteän puhdistusvälin aikana tukkeutumaan pahemmin ja alkavat aiheuttaa saantohukkaa. Kahden edellä mainitun syyn takia olisi tehokkaampaa laskea maskeille tilastollinen raja jonka jälkeen maskit puhdistetaan. Tässä voisimme käyttää hyväksemme AVI:lta saatavaa dataa toteutuneiden kontaktipadien koosta, sillä ne kertovat suoraan maskin tukkoisuudesta.

7.1 AVI-datan tarkastelu

Maskien puhdistusvälin määrittämiseksi kerättiin AVI-dataa kolmen viikon ajalta, kaikilta triaxin maskeilta. Tätä dataa tarkastellessa tuli todella vahvasti esille maskien toleranssien aiheuttamat vaihtelut. Yksittäisillä maskeilla on todella suuria eroja keskenään sen suhteen kuinka monta maskausta ne kestävät, ennen kuin tukkeutuminen alkaa näkyä saantotappiona.

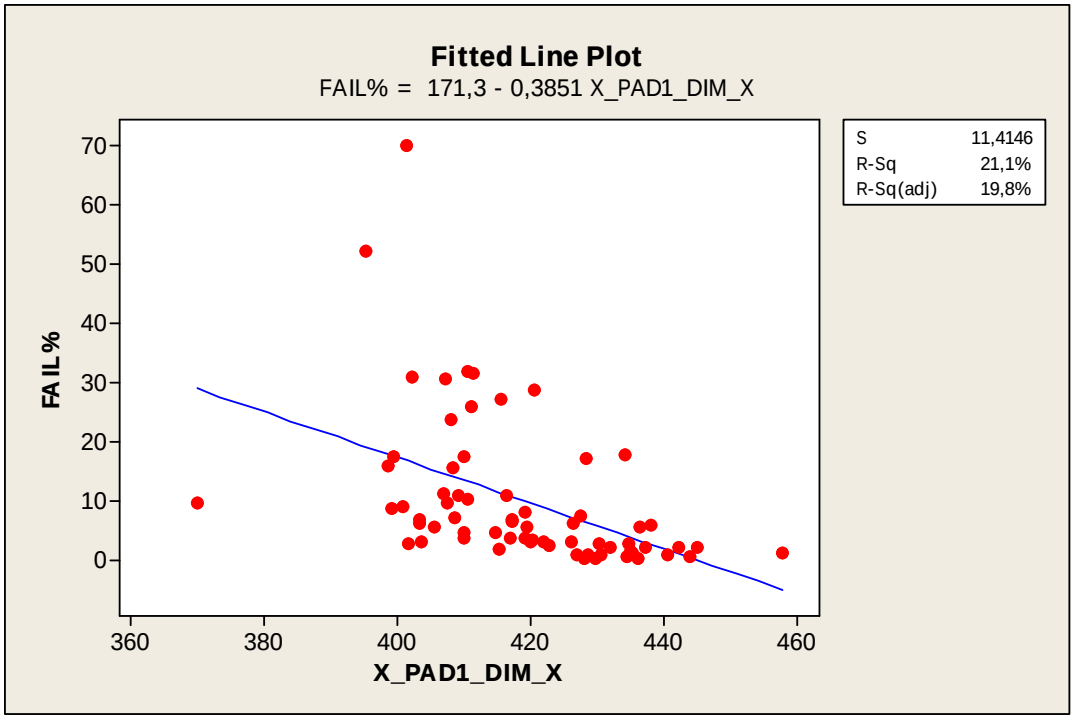
Tätä työtä varten valittu tarkasteluväli on juuri yhden puhdistusvälin mittainen, kolme viikkoa ja edustaa täten normaalitilannetta tuotannossa. Maskien *pad*-aukkojen koko vaihtelee tyypillisesti välillä 390µm ja 490µm nominaalismitan ollessa 480 µm.

Mikäli piirrämme hylkäysprosentin vasten *pad*-aukon kokoa, saamme kuvassa 13 esitetyn kuvaajan.



Kuva 14 Pad dimension vaikutus hylkäysmääriin

Kuvasta 14 ilmenee hyvin, että *pad*-aukon koolla on selvä yhteys hylkäysmääriin. Huomaamme kuitenkin saman ilmiön selvemmin, mikäli valikoimme tarkastelun alle tietyt maskit. Kuvassa 15 on esitetty yhden maskin *pad*-dimensioiden suhde hylkäysmääriin.

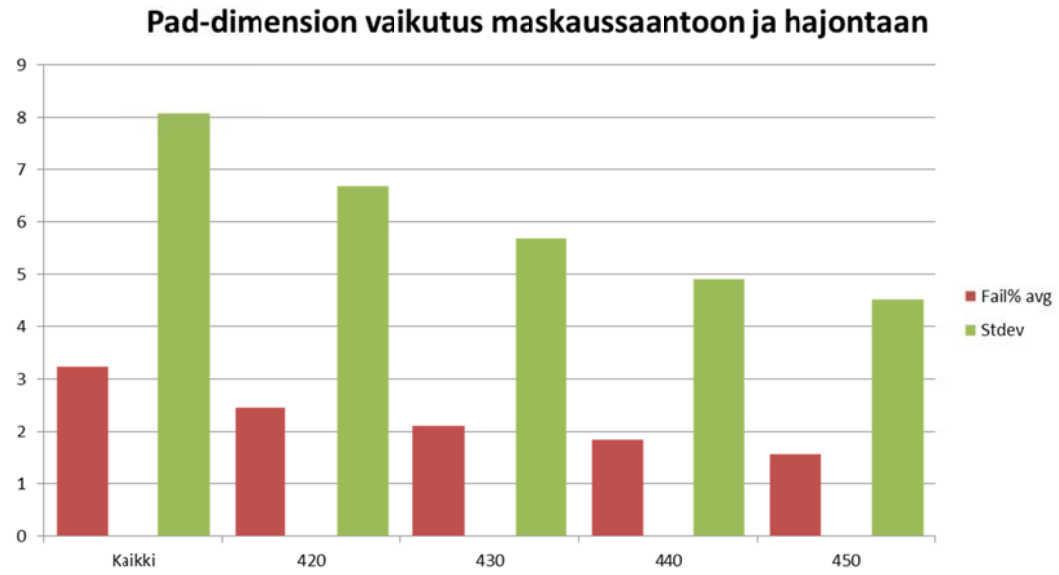


Kuva 15 *pad*-dimension vaikutus hylkäysmääriin

Kuten kuvista nähtiin, *pad*-dimension korreloi hylkäysprosenttiin vahvasti. Tarkemmat analyysit *pad*-dimensioiden ja hylkäysmäärien välillä esitetään liitteessä 1. Korrelaatio ei kuitenkaan ollut yhtä vahva kaikilla maskeilla, valitulla tarkasteluvälillä. Erään maskin korrelaatiota ei voida sanoa tilastollisesti merkittäväksi (ks. liite 1. kuva 2.).

7.2 Pad-dimensiorajojen määrittäminen

Maskeille haluttiin saada *pad*-dimensioihin sidonnainen kontrolliraja. AVI-data järjestettiin mitattujen *pad*-dimensioiden mukaan suuruus järjestykseen, jonka jälkeen laskettiin 10 µm välein maskausten keskiarvohylkäysprosentti, hylkäysprosenttien keskihajonta, sekä kokonaishylkäysprosentti. Laskenta toteutettiin yksinkertaisesti jättämällä *pad*-dimensiorajan alle jääneet maskaukset huomiotta ja laskemalla arvot jäljelle jääneestä datasta. Lasketut arvot on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. *pad*-dimensio kontrollirajat

Selvemmän tulkinnan takia kuvan 16 data on esitetty seuraavaksi myös taulukossa 1.

Taulukko 1. *Pad*-dimensio kontrollirajat

Pad-dimensio	Hylkäysprosentin keskiarvo	Hylkäysprosentin keskihajonta
Kaikki	3.23	8,07
420	2,46	6,69
430	2,12	5,69
440	1,83	4,91
450	1,56	4,51

Kuten taulukosta yksi nähtiin, jo pienelläkin rajalla voitaisiin saavuttaa liki yhden prosenttiyksikön hylkäysprosentin pieneneminen.

8 Loppupäätelmät

Tämän insinöörityön tavoitteena oli tarkastella maskauslaitteen kallistusaseman vaikutusta saantovaihteluun. Toinen tavoite oli määrittää höyrystysmaskeille *pad*-dimensioihin sidotut puhdistusrajat.

Kokeen perusteella ei voida sanoa, auttaako kallistusasema pienentämään maskauksesta aiheutuvien hylkyjen määrää.

Operaattoreiden erisuuntaiset tulokset kokeessa voivat selittyä monellakin tapaa. Kuten aiemmin on mainittu, maskaus on hyvin manuaalinen työvaihe, joka vaatii paljon käsityötä ja tietynlaisen rutiinin opettelua. Kallistuslaite muuttaa operaattorin toimintaa ja voi olla, että operaattori B:n tulos johtui vain siitä, että maskausmekaniikka muuttui kallistusaseman myötä ja työskentely vaatisi vain uuden rutiinin opettelemista.

Toisaalta voi olla, että koemateriaalissa on ollut esimerkiksi sahauksesta aiheutunutta kulmaa, joka aiheuttaa elementtien väärin paikoittumisen maskissa ja siirtää täten kontaktipadien paikkaa. Myöskään yksittäisiä maskeja ei identifioitu kokeeseen, joten maskikohtaista vertailua ei kokeessa tehty.

Kallistusaseman vaikutuksen varmistamiseksi tulisi ajaa laajamittaisempi koe, määrätyillä maskeilla, jotta voitaisiin tehdä syvempää tarkastelua myös maskien suhteen. Laajempi koemateriaali auttaisi myös keskihajonnan vertailussa.

Maskien puhdistusvälin määrittelemisessä pelkästään *pad*-aukon koon tarkastelu ei riitä, vaan myös hitsauskokoonpanon mitat tulisi tietää etukäteen, jotta voitaisiin luotettavasti tietää milloin maski alkaa potentiaalisesti tuottamaan huonoa saantoa. Tämä tarkoittaa siis sitä, että raja olisi luotava maskikohtaisesti. Pelkästään ultralla ja Triaxilla on tuotannossa jatkuvasti noin 60 kappaletta maskeja.

Maskeille haluttiin kuitenkin *pad*-dimension perusteella raja, jonka jälkeen maskit otetaan pois tuotannosta. Tätä varten tutkittiin referenssidataa siten, että luotiin neljä eri rajaa *pad*-dimensioille. Tämän jälkeen laskettiin sekä saanto että hajonta uudelleen jättämällä huomiotta kyseisen *pad*-dimensiorajan alla olevat maskaukset. Tästä huomattiin, että sekä hylkäysprosennti että hylkäysprosentin hajonta pienenivät selvästi jo

ensimmäisellä valitulla raja-arvolla. Tätä raja-arvoa tullaan kokeilemaan tuotannossa, kun maskien puhdistuslaite on saatu otettua käyttöön.

Lähteet

1 VTI Technologies 20 Years ago MEMS were big and we were small. Verkkodokumentti http://www.muratamems.fi/fi/murata/murata-electronics-oy/historia 10.4.2013

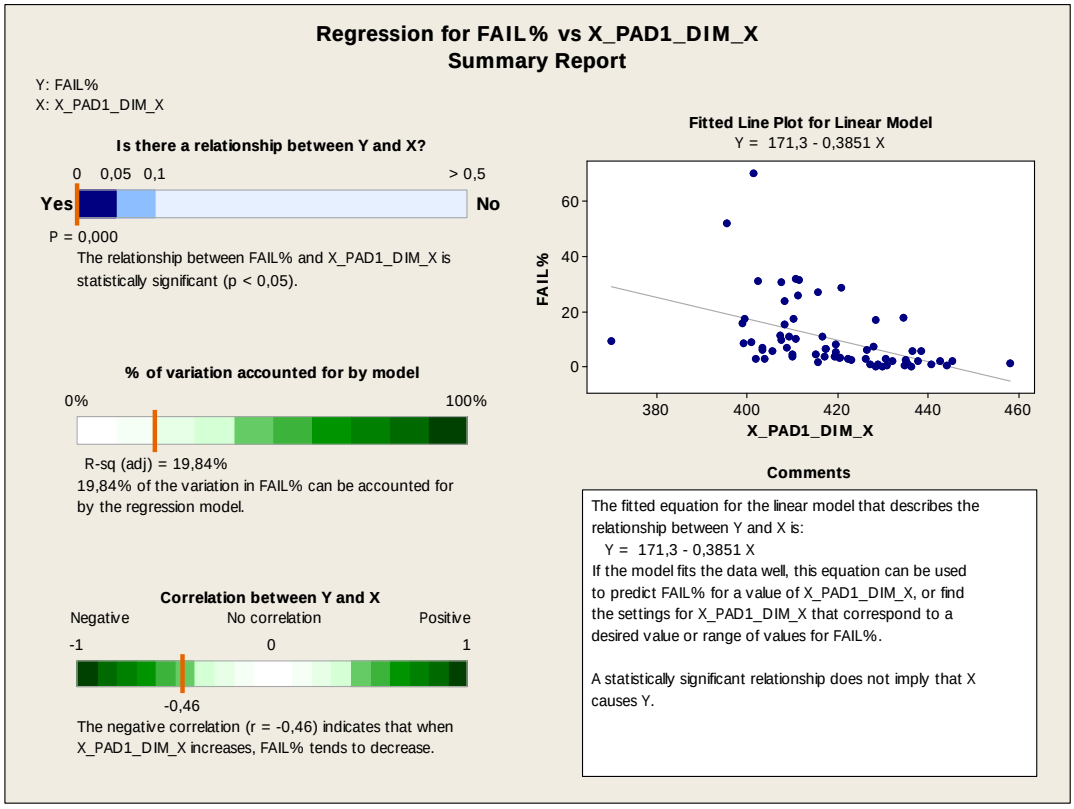
2 MEMS Teknologia. Verkkodokumentti http://www.muratamems.fi/fi/murata/murata-electronics-oy/mems-teknologia 15.4.2013

3 Ion beam milling incorporateon About the ion milling process verkkodokumentti http://www.ionbeammilling.com/ABOUT_THE_ION_MILLING_PROCESS. 2.5.2013

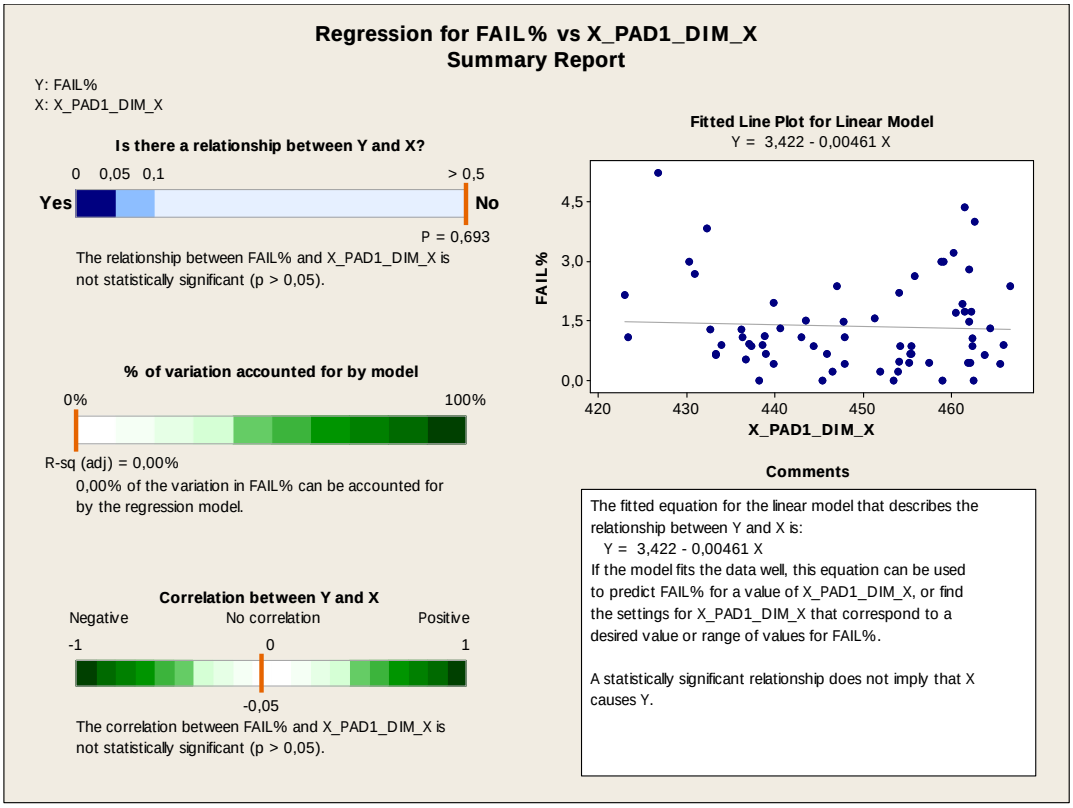
4 Elementtikuvat ja maskipiirrustukset: Murata Electronics:n dokumenttikirjasto

5 Höyrystys teoria: Murata Electronics:n dokumenttikirjasto

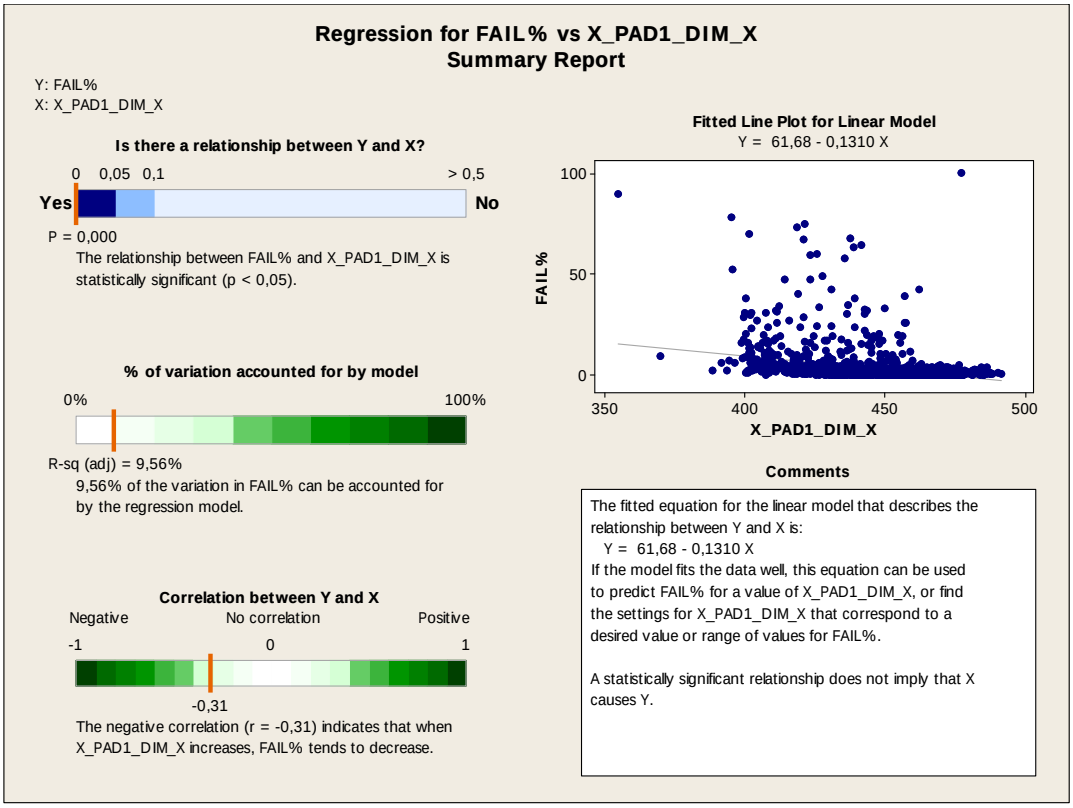
Pad-dimension korrelaatio hylkäysprosenttiin



Kuva 1. Pad-dimension korrelaatio hylkäysprosenttiin tilastollisesti todistettavissa



Kuva 2. Pad-dimension korrelaatio hylkäysprosenttiin ei tilastollisesti todistettavissa



Kuva 3. Koko maskipopulaation korrelaatio analyysi