

Katariina Spora

# Triax-anturielementin prosessikontrollin parantaminen sahauksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

18.5.2017

<p>Tekijä(t) Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Katariina Spora Triax-anturielementin prosessikontrollin parantaminen sahausksessa</p> <p>23 sivua + 3 liitettä 18.5.2017</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Kemiantekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	
<p>Ohjaaja(t)</p>	<p>Yliopettaja Kai Laitinen Prosessikontrolli-insinööri Riku Pietari</p>
<p>Insinööri työ on tehty toimeksiantona Murata Electronics Oy:lle, joka erikoistuu mikroelektromeekaanisten (MEMS) kiihtyvyy-, kallistus- sekä kulmanopeusantureiden valmistamiseen sekä suunnitteluun. Työn tavoitteena oli tutkia, voiko Murata Electronicsin tuotteen Triax-anturielementin prosessikontrollia parantaa uudella mittauksella sahausksessa.</p> <p>Insinööri työ rajattiin koskemaan pelkästään Triax-anturielementtiä sen hyvin suuren tuotantovolyymien takia. Työn teoriaosuudessa käsitellään anturielementtien rakennetta ja toimintaperiaatteita, Triax-anturielementtiä sekä työn kannalta tärkeimpiä prosesseja: sahaususta ja höyrystystä. Työn käytännön osuudessa keskitytään mittalaitteilta saadun datan tulkitsemiseen.</p> <p>Työtä varten luotiin mittalaitteelle uusi ohjelma, jolla mitattiin anturielementiltä kahta sahauskulmaa entisen yhden sijaan. Sahauksen jälkeen anturielementit siirtyvät höyrystykseen, jossa anturielementit erotetaan toisistaan ja niiden pinnalle höyrystetään alumiini- tai kultapinnoite. Jokaisen anturielementin höyrystetty metallipinnoite tarkastetaan.</p> <p>Tässä työssä verrattiin sahauskulmia höyrystyspinnoituksen tuloksiin sekä höyrystyksen hylkykoodeihin. Tuloksista tutkittiin, löytyykö anturielementeilä enemmän vinoja pinnoitteita sekä murtumaa, jos uusi mittaus sahausksessa on antanut 90 asteesta paljon poikkeavan kulman suuruuden. Mittaustuloksia kerättiin sahausksesta kattavasti ja johtopäätösten tekemiseen valittiin tulokset kahden viikon mittaiselta aikajaksolta.</p> <p>Tuloksista kävi ilmi, että Triax-anturielementin pitkän sivun kulma ei vaikuta kovin paljoa myöhempien prosessien saantoon. Tutkimuksessa löydettiin korrelaatio pitkän sivun kulman suuruuden ja suurempien hylkymäärien välillä, mutta hylkymäärät kasvavat niin minimaalisesti, ettei uusi mittaus anna juuri ollenkaan uutta tietoa prosessista.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>MEMS, Triax-anturielementti, sahaus, höyrystyspinnoitus, prosessikontrolli</p>

Author(s) Title	Katariina Spora Improving process control on the Triax sensor element in dicing
Number of Pages Date	23 pages + 3 appendices 18 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Principal lecturer, Kai Laitinen Process control engineer, Riku Pietari
<p>This thesis was commissioned by Murata Electronics Oy. Murata is well-known for its micro-electro-mechanical sensors and for the work they do to develop them even further. The purpose of this study was to determine if it was possible to improve process control on the Triax sensor element in the work phase dicing.</p> <p>In order to study the efficiency of process control, a new measurement was created for the Triax sensor element. In this new measurement, a new angle was measured from both ends of the sensor element after dicing processes. After this, the sensor elements go through evaporation where a metallic surface is evaporated on one side of the sensor element, and the other side of the sensor element is visually checked for fractures. The metallic surface can be aluminum or gold. The placement of this surface will be later checked by automatic visual inspection.</p> <p>In this thesis the results from dicing were compared with the results from evaporation and automatic visual inspection. The purpose was to survey if a significant change in the angle of the sensor element would increase the amount of defects in the processes after dicing. The data that was used in this thesis was from a time period of two weeks. This data was used for making the conclusions of this thesis.</p> <p>The thesis was limited to study the Triax sensor element because it is one of the most produced products at Murata Electronics Oy. The theory part of this thesis addresses the structure of sensor elements and the processes of dicing and evaporation. The applied part of this thesis includes the results from the measuring devices and the interpretation of the results.</p> <p>Correlation between the larger change in the angle of the Triax sensor element and the amount of defects was found in this study. Nevertheless the results were not significant, and it was recommended that the new measurement for the Triax sensor element would not be continued.</p>	
Keywords	MEMS, Triax sensor element, dicing, evaporated metallic surface, process control

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Anturielementtien rakenne	2
2.1	Anturi	2
2.2	Mikrosysteemit - MEMS	2
2.3	Murata Electronicsin tuote Triax-anturielementti	3
3	Anturielementtien valmistus Murata Electronics Oy:ssa	4
3.1	Kiekkovalmistus	4
3.2	Anturivalmistus	5
3.2.1	Sahausprosessi	5
3.2.2	Höyrystysprosessi	8
4	Anturielementin kulman mittaaminen sahauksessa	12
4.1	Vision 2 -mittalaite	13
5	Mittaustulokset	15
5.1	Sahauskulma	15
5.2	Höyrystyksen visuaalinen tarkastus	17
5.3	Höyrystyspinnoitteen sijainti	18
6	Tulosten tarkastelu	20
7	Johtopäätökset	21
	Lähteet	22
	Liitteet	



## Lyhenteet

MFI Murata Finland, Vantaan Martinlaaksossa sijaitseva entinen VTI Technologies Oy.

MEMS Mikroelektromekaaninen systeemi

AVI Automatic Visual Inspection, eli automaattinen visuaalinen tarkastus

PNT Pick and Turn -laite

PNP Pick and Place -laite

## 1 Johdanto

Murata Electronics Oy on Suomessa toimiva kiihtyvyy-, kallistus- ja kulmanopeusantureita valmistava yritys. Anturit valmistetaan käyttäen hyödyksi 3D MEMS -teknologiaa. Antureiden elementit valmistetaan piistä ja eri elementtien valmistusprosessi vaihtelee anturin käyttökohteen mukaan. Murata valmistaa antureitaan esimerkiksi auto- ja lento- teollisuuteen, mutta myös terveysteknologian erilaisiin sovellutuksiin. [1.]



Kuva 1: Valmiiksi koottu komponentti [2].

Muratan anturit koostuvat anturielementistä sekä ASIC-mikropiiristä (kuva 1). Anturielementtien valmistuksessa laatu on hyvin tärkeää, koska tuotteet on tarkoitettu hyvin herkkiin ja turvallisuuskriittisiin kohteisiin ja toimimaton anturi saattaa aiheuttaa todella suuria vaaratilanteita. Tämän insinööriyön tavoitteena on tutkia, voidaanko yhden volyymiltaan suurimman Muratan valmistaman anturielementin laadunvalvontaa parantaa. Triax-anturielementtiä käytetään useissa Muratan tuoteperheissä, ja siksi sen laadun valvominen onkin tärkeää.

Anturielementtien valmistusprosesseihin kuuluu useita erilaisia prosesseja. Tässä työssä keskitytään sahauksen sekä höyrystyksen työvaiheisiin ja etenkin sahauksen prosessien laadunvaihtelun seurantaan. Sahauksen laadunvaihtelu aiheuttaa esimerkiksi anturielementin pinnan karheutta, sahaushäntää sekä komponentin kulmien suuruuden vaihtelua. Tässä työssä keskitytään Triax-anturielementin kulmien suuruuden vaihteluun. Tällä hetkellä Triax-anturielementin kulmille on yksi mittaus, joka kertoo asettuuko anturielementti oikein anturin kokoonpanossa. Tässä työssä kartoitetaan,

pitäisikö Triax-anturielementin toisen sivun kulmat mitata ja että helpottaisiko tämä informaatio sahauksen jälkeisiä prosessivaiheita.

Insinööriyön teoriaosa kattaa anturielementtien valmistuksen yleisesti keskittyen etenkin sahauksen sekä höyrystyksen työvaiheisiin. Työn käytännön osuudessa tutustutaan Triax-anturielementille kehitettyyn uuteen mittaukseen Vision 2 -mittalaitteelle sekä tuotannossa tehtyjen mittausten tuloksiin. Työ on rajattu koskemaan vain Triax-anturielementin kulman suuruutta ja sen vaikutusta myöhemmissä prosessivaiheissa. Työn suorittamiseen valittiin juuri Triax-anturielementti sen suuren volyymin takia.

## **2 Anturielementtien rakenne**

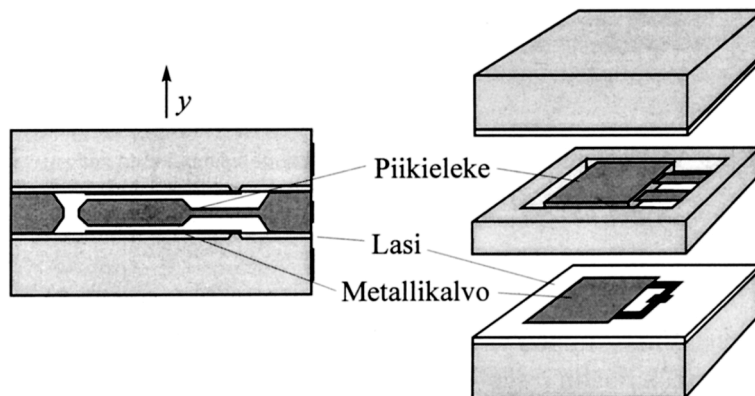
### 2.1 Anturi

Anturi on mittalaitteen osa, jota käytetään hyväksi fysikaalisten suureiden mittaamisessa sekä kemiallisten aineiden tunnistamisessa. Anturi ei yksinään osaa näyttää dataa, vaan se lähettää datan sähköisenä impulssina mittalaitteelle, josta tietokone muuntaa informaation luettavaan muotoon. [3.]

### 2.2 Mikrosysteemit - MEMS

MEMS-teknologiassa käytettävät anturit ovat mikroantureita. Mikroantureiden kokoluokka vaihtelee millimetreistä nanometreihin, ja ne valmistetaan käyttämällä tuttuja puolijohdeteollisuuden prosesseja: oksidointi, etsaus, litografia, liittämistekniikat sekä kalvonkasvatus. Käyttämällä näitä prosesseja saadaan piistä muokattua rakenteellisesti oikeanlainen komponentti erilaisiin mittauskohteisiin ja erilaisiin antureihin. Anturin rakenne vaikuttaa suuresti sen toimintaan. Esimerkiksi yksinkertainen kiihtyvyyttä mittaava anturi toimii siten, että anturin sisällä olevan anturielementin rakenteet (kuva 2) värähtelevät. Elementin sisällä oleva piikieleke värähtelee kahden piikiekon välissä

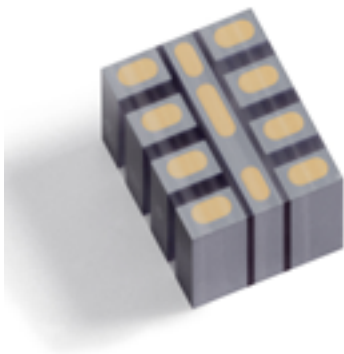
luoden sähköisiä impulsseja. Anturi välittää tämän tiedon mittalaitteelle, joka muuntaa impulssin luettavaan muotoon. [3; 4; 5.]



Kuva 2: Anturin sisällä olevan elementin rakenne [6].

### 2.3 Murata Electronicsin tuote Triax-anturielementti

Triax-anturielementti (kuva 3) on hieman monimutkaisempi kuin aiemmin esitetty yhdentasoista liikettä mittaava elementti. Triax-anturielementtiä käytetään kolmiakselisissa kiihtyvyyssantureissa. Tämä tarkoittaa sitä, että elementin tulee kertoa informaatiota kappaleen kiihtyvyydestä, mutta myös kappaleen asennon muutoksista. Triax-anturielementtiä käytetään kolmessa Murata Electronics Oy:n tuotteessa, ja siksi sen tuotantovolyymi on hyvin suuri. [2; 7.]



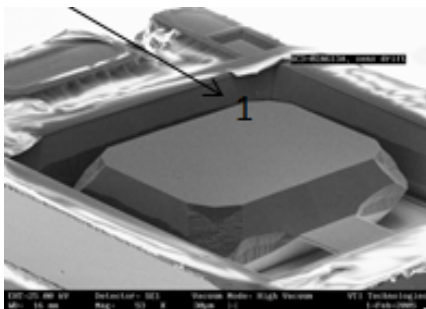
Kuva 3: Triax-anturielementti [7].

### 3 Anturielementtien valmistus Murata Electronics Oy:ssa

Anturielementtien valmistus voidaan jakaa karkeasti kiekko- sekä anturivalmistukseen. Kiekkovalmistukseen liittyy aiemmin mainitut puolijohdetekniikasta tutut prosessit: oksidointi, kalvonkasvatus, etsaus, litografia ja metallointi. Anturivalmistukseen liittyvät prosessit ovat liittämistekniikat, sahaus, höyrystys sekä sähköinen tarkastus. Kaikki näistä prosessivaiheista suoritetaan puhdistilassa, jossa partikkelimäärät on rajoitettu puhdistilaluokan mukaan. Kiekkovalmistuksessa partikkelimäärien sallitut rajat ovat pienemmät, koska siellä valmistetaan koko anturin rakenneosat, jotka ovat erittäin herkkiä. Anturivalmistuksessa partikkelimäärät saavat olla hieman suuremmat, mutta puhdistilaympäristö on edelleen vaatimus. [7; 8.]

#### 3.1 Kiekkovalmistus

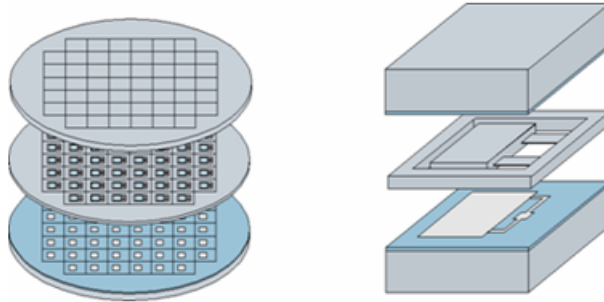
Anturielementtien valmistus alkaa yksikiteisestä piikiekosta. Piikiekon prosessointi tapahtuu toistamalla erilaisia kalvonkasvatusmenetelmiä, kuiva- ja märkäetsauksia sekä litografisia menetelmiä. Toistamalla näitä tietyssä järjestyksessä tuotteesta riippuen saadaan kiekkoille tehtyä oikeanlaiset rakenteet (kuva 4) elementtejä varten.



Kuva 4: Piihin muokattu anturielementtialue, 1: anturielementin piikieleke, joka liikkeellään ilmaisee kappaleen toiminnasta [7].

## 3.2 Anturivalmistus

Anturielementtikiekko koostuu kolmesta kiekosta, jotka liitetään toisiinsa (kuva 5). Kaksi paksumpaa kiekkoa ovat kansi- ja pohjakiekot. Keskellä oleva ohuempi kiekko on rakennekiekko, joka sisältää fysikaalisia suureita mittaavan osan. [7.]



Kuva 5: Anturielementtikiekko koostuu kolmesta toisiinsa liitettävästä piikiekosta [7].

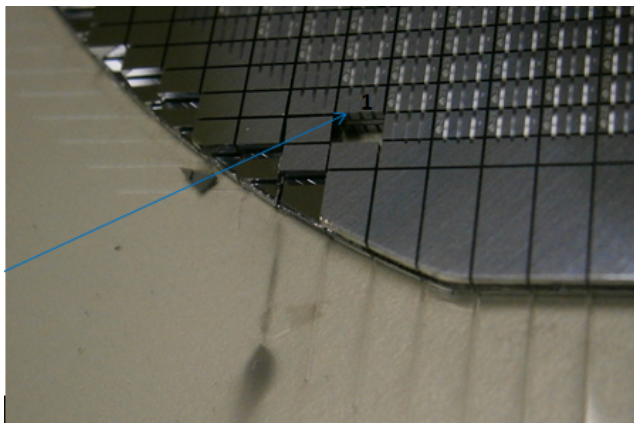
Yhdellä anturielementtikiekkolla on tuotteesta riippuen eri määrä anturielementtejä. Murata Electronics Oy:n valmistamista anturielementeistä pienimpiä on yhdellä kiekolla useita tuhansia, kun taas isompia anturielementtejä on vain satoja kappaleita.

### 3.2.1 Sahausprosessi

Ennen sahausta kiekot ovat olleet täysin yhtenäisiä (kuva 6), eikä erillisiä anturielementtejä vielä ole. Sahauksessa kiekot sahataan siten, että jokainen anturielementti irtoaa yhtenäisestä kiekosta (kuva 7). Anturielementit pysyvät edelleen kuitenkin kiinni sahausteipissä ja ne irrotetaan yksittäisiksi anturielementeiksi vasta höyrystyksessä.



Kuva 6: Sahaamaton Triax-anturielementtikiekkö [9].



Kuva 7: Sahattu Triax-anturielementtikiekkö, 1. yksittäinen triax-anturielementti [7].

Kiekkot sahataan käyttäen erilaisia teriä tuotteesta riippuen (kuva 8). MFI:llä käytetään pronssi- sekä nikkelpinnoitettuja teriä. Piin leikkaamisen hoitavat terän timanttikiteet. [10.]



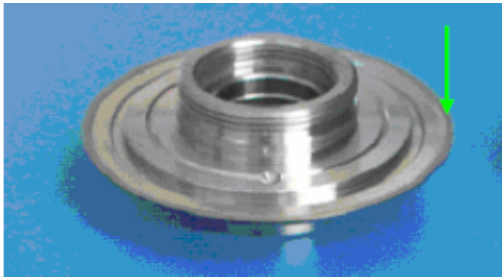
Kuva 8: Saha [11].

Terän laatu vaikuttaa huomattavasti sahausjälkeen. Terää ei voida käyttää täysin uutena suoraan kiekolle, vaan se tulee kuluttaa ensin oikeaan muotoon. Tätä kutsutaan terän avaamiseksi ja tällä toimenpiteellä saadaan terän timantit hyvin esiin. Terä avataan ennen jokaista kiekkoa, sillä se on prosessin kannalta ehdotonta. Avaamaton terä ei leikkaa piitä kunnolla aiheuttaen suuria voimia laitteen osiin. Tämä aiheuttaa leikkaavan terän kuumentumista, jonka takia terä saattaa vääntyä. Terän vääntyminen aiheuttaa anturielementtien kulmien suuruudessa suuriakin vaihteluita. Terän timanttipitoisuus vaikuttaa myös terän sahausjälkeen. Jokaiselle tuotteelle on spesifioitu oikea terä, jotta timanttipitoisuus olisi optimaalinen piin sahaukseen. On tärkeää, että timanttikiteitä on juuri oikea määrä. Jos timanteja on liikaa tai liian vähän, terä saattaa tilsyä, kun uusia timanttikiteitä ei paljastu tarpeeksi usein. Väärä koostumus terässä voi aiheuttaa useita ongelmia, mutta myös vinoa sahausjälkeä. [10; 12; 13.]

Sahauskulman muuttuminen saattaa myös johtua laitteeseen jääneistä partikkeleista tai laitteen osiin aiheutuneista kolhuista. Esimerkiksi teräriikon sattuessa laitteella on mahdollista, että terän kannalta hyvin tärkeä osa terälaippa (kuva 9) vahingoittuu tai kiekkopöydän alle jää partikkeleita. Sahan terä kiinnittyy moottorin akseliin terälaipan avulla. Jos terälaippaan tulee kolhuja, terä ei asetu laitteeseen suoraan. Tämä saattaa tehdä sahauksesta epätasaista ja täten aiheuttaa väärän sahauskulman anturielementeille. Partikkelit kiekkopöydän alla aiheuttavat kaltevuutta, joka voi pahimmillaan johtaa kokonaisen anturielementtikiekon vinoon sahaamiseen. Tällaisten tapausten ehkäise-



miseksi on tärkeää, että esimerkiksi terälaipan kunto tarkastetaan tarpeeksi usein. Sahaus aiheuttaa myös paljon lämpöä ja sahat vaativatkin hyvän jäähdytyksen. Tähän käytetään prosessivettä. Vesi jäähdyttää terää samalla, kun se siirtää sahauspölyä ja piimuruja pois prosessista. Vedenkulutus on suuri tässä vaiheessa sahausta ja vettä saattaa kuluakin tuotteesta riippuen jopa useita litroja minuutissa. Jäähdytys voi myös aiheuttaa sahauskulman vaihtelua. Terän molemmin puolin pitäisi tulla yhtä paljon vettä, mutta vikatilanteissa vettä tulee prosessiin toiselta puolelta enemmän. Tällöin terän toinen puoli kuumentuu enemmän ja terä vääntyy aiheuttaen sahauskulman vaihtelua. [10; 12; 13; 14; 15.]



Kuva 9: Sahassa käytetty terälaippa [15].

Sahauksessa ei ole muita varsinaisia laatukontroleja kuin Vision 2 -mittaus. Vision 2 -mittalaitteella mitataan tuotteiden sivujen pituuksia sekä kulmien suuruuksia. Tarkasteltavat parametrit riippuvat tuotteesta. Sahauksen laatukontrollien lisäksi tuotteiden laatua seurataan visuaalisilla tarkastuksilla sekä AVI-laitteella.

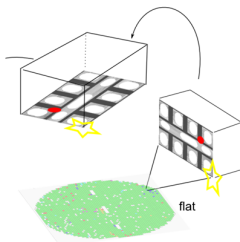
### 3.2.2 Höyrystysprosessi

Sahauksesta kiekot tulevat höyrystykseen. Höyrystyksessä on tarkoitus höyrystää metallipinnoite eli liitospinta anturielementin pinnalle. Liitospinta höyrystetään yhteen liitettyjen kiekkojen sivuun eli sille sivulle, jolla näkyy kaikkien kolmen yhteen liitetyn kiekon rajapinta. Tähän asti kiekkoja on käsitelty siten, että päällimmäisenä näkyy vain kansiekikko. Ennen metallipinnan höyrystämistä irti sahatut anturielementit nypitään sahaus-teipiltä Pick and Turn (PNT) -laitteella (kuva 10). PNT-laitteet kääntävät sahaussesta tulevat anturielementit toiselle kyljelleen (kuva 11) höyrystysmaskiin, jolloin metallipinta höyrystyy oikeaan kohtaan. [16; 17.]



Kuva 10: PNT-laite [17].

Kuvasta 10 nähdään, kuinka PNT-laitteen alkupäästä maskit menevät tyhjinä sisälle. Sahauksesta tuleva kiekko asetetaan edestä omalle paikalleen laitteen sisään. Tästä laite nypii anturielementit maskeihin, jotka tulevat oikeasta reunasta ulos.



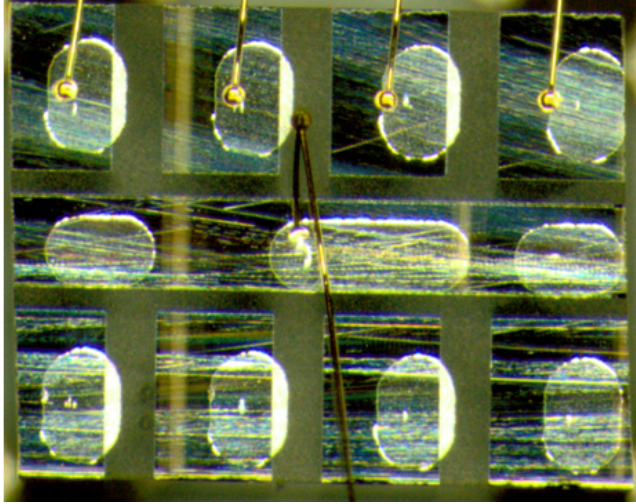
Kuva 11: Triax-anturielementin kääntö PNT-laitteen sisällä [17].

Nypinnän jälkeen höyrystysmaskiin kiinnitetään kansi, jolloin anturielementit jäävät juuri oikeaan asentoon maskin sisälle. Tätä kutsutaan maskaukseksi. Maskauksen jälkeen maskit asetetaan höyrystimeen (kuva 12), jossa anturielementtien toiselle sivulle höyrystetään metallipinnoite. Tätä sivua, johon metallipinnoite höyrystetään, kutsutaan anturielementin etupuoleksi. Metallia riippuu tuotteesta, mutta yleisin käytetty metalli on alumiini. Triax-anturielementteihin käytetään sekä kulta- että alumiinipinnoitetta.



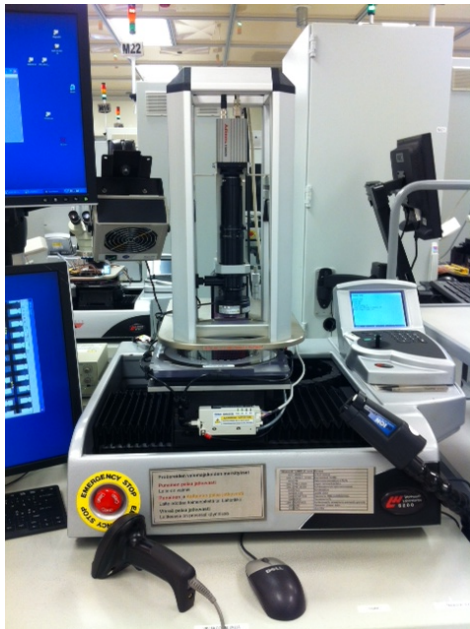
Kuva 12: Höyrystin [17].

Maskausvaiheessa tulevat esiin sahausjäljen ongelmat. Anturielementtien tulisi asettua höyrystysmaskin sisälle siten, että metallipinnoite höyrystyy tasaisesti anturielementin piialueille. Jos sahauskulma on liian suuri, piialueiden väliset alueet jäävät näkyviin ja metallinen liitospinta höyrystyy väärään kohtaan (kuva 13). Vikaa ei voida enää korjata höyrystyksessä, ja elementit menevät viallisina AVI-laitteelle asti, jossa ne hylätään. [18.]



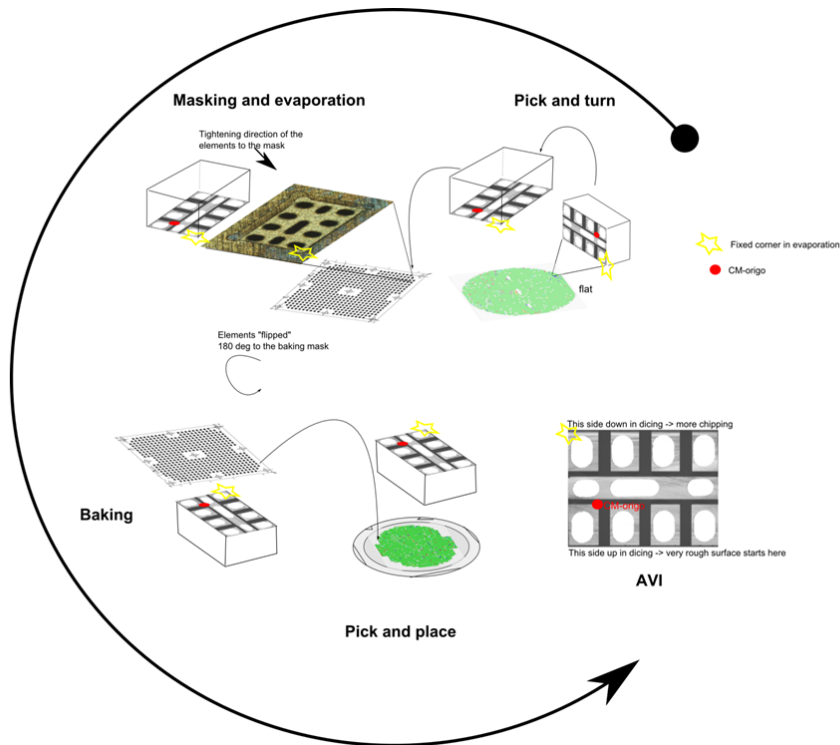
Kuva 13: Vinoon maskautunut Triax-anturielementti, johon on höyrystetty metallinen liitospinta [17].

Höyrystimestä tultuaan kaikkien anturielementtien takapinta tarkastetaan visuaalisesti mikroskoopilla. Näin tarkastetaan, että anturielementit eivät ole esimerkiksi murtuneet tai kontaminoituneet aikaisemmissä käsittelyvaiheissa. Hyviksi todetut anturielementit nypitään uudelle teipille Pick and Place -laitteella. PNP-laite asettaa höyrystetyt anturielementit höyrystetty metallipinta ylöspäin, jotta AVI-laite voi tarkastaa anturielementit. [19; 20.]



Kuva 14: AVI - Automatic Visual Inspection -laite [21].

AVI-laite (kuva 14) tarkastaa anturielementeiltä tuotteesta riippuen eri asioita. Triax-anturielementiltä AVI-laite tarkastaa murtumat, kontaminaatiot, pinnan karheuden ja metalliliitospintojen sijainnin sekä koon. Triax-anturielementillä liitospintojen väärä paikka on yksi yleisimmistä hylkäämisen syistä. [21.]



Kuva 15: Triax-anturielementin kulku höyrystyksen läpi [17].

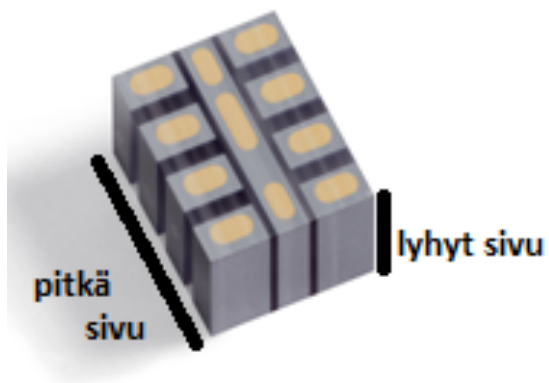
Kuvassa 15 on esitetty kokonaisuudessaan Triax-anturielementin kulku höyrystyksen läpi aina PNT-laitteelta AVI-laitteelle asti.

#### 4 Anturielementin kulman mittaaminen sahauksessa

Triax-anturielementiltä mitataan sahauksen jälkeen lyhyemmän sivun (kuva 16) kulman suuruutta sekä sivujen pituuksia Vision 2 -mittalaitteella. Lyhyen sivun kulmaa mitataan, koska se on tuotekohtainen vaatimus anturin kokoonpanoa varten. Uutta mittaus- ta harkitaan Triax-anturielementille, jotta pystyttäisiin parantamaan sahauksen laatu- kontrollia sekä reagoimaan laatu- poikkeamiin nopeammin. Uusi mittaus koskee Triax- anturielementin pitkän sivun (kuva 16) kulman suuruutta, jonka tulisi olla 90 astetta.

Oletus on, että pidemmän sivun sahauskulman poikkeamat 90 asteesta lisäävät sahausen jälkeisten prosessien hylkymääriä aiheuttaen esimerkiksi maskausongelmaa höyrystyksessä.

Vision 2 -mittalaitteelle luotiin uusi ohjelma pidemmän sivun kulman mittausta varten. Tuotannon työntekijät mittasivat pitkän sivun kulman samalla, kun he mittasivat lyhyen sivun kulmaa sekä anturielementin sivujen pituuksia.



Kuva 16: Triax-anturielementin lyhyt ja pitkä sivu [7].

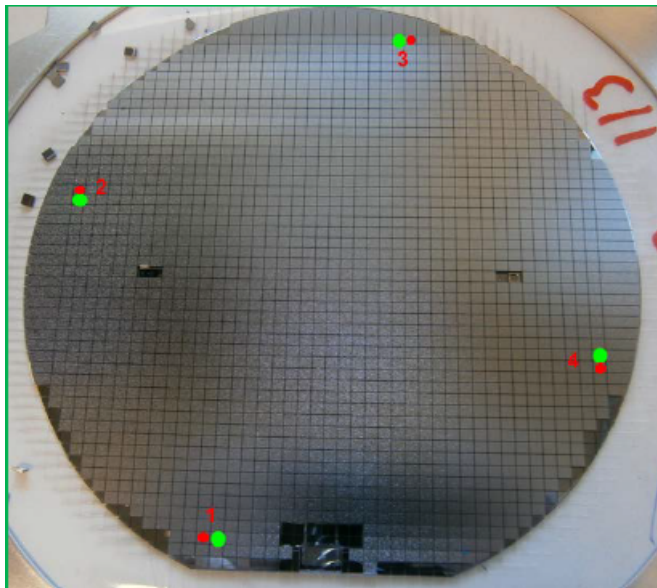
#### 4.1 Vision 2 -mittalaite

Anturielementit asetetaan mittalaitteelle kamman avulla (kuva 17). Kampa asettaa anturielementit oikeaan asentoon kulman sekä sivujen pituuksien mittaamista varten.



Kuva 17: Vision 2 -mittalaite ja kampa, jolla elementit asetellaan mittausasentoon [22].

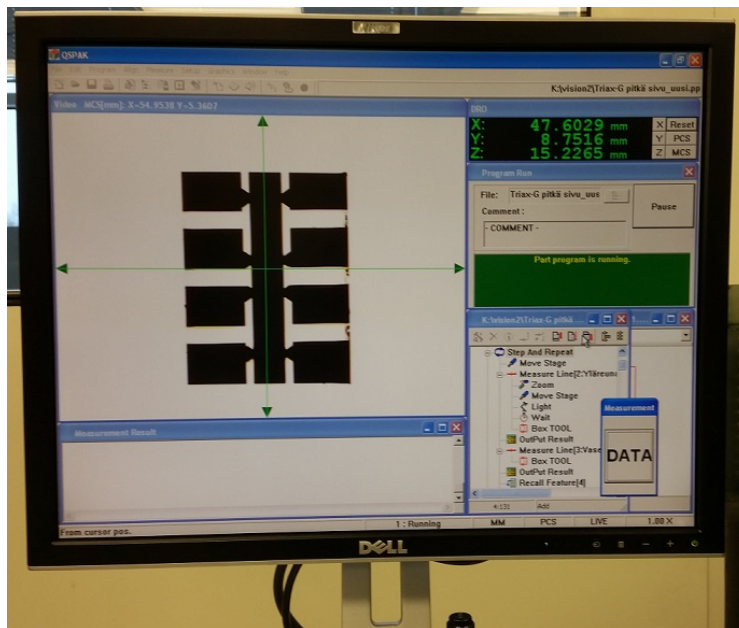
Anturielementtikiekolta otetaan aina samasta kohtaa näytteet (kuva 18). Näytteidenot-topaikat on valikoitu siten, että mittaustulokset kertoisivat mahdollisimman kattavasti sahauksen laadusta.



Kuva 18: Vision 2 -mittaukseen valittavien elementtien sijainti kiekolla [22].

Näytepalojen paikalleen asettamisen jälkeen mittausohjelma käynnistetään (kuva 19).





Kuva 19: Triax-anturielementin pitkän sivun kulman sekä pituuden mittausasetelma Vision 2 -mittalaitteella [9].

Mittalaite mittaa anturielementiltä valittujen asetusten mukaan halutut parametrit. Tutkittavalta kohteelta mitataan siis pitkän sekä lyhyen sivun kulmien suuruudet sekä molempien sivujen pituudet. Mittaustulokset tarkastetaan ja tallennetaan mittauksen jälkeen. Jos mittaustulokset poikkeavat suuresti halutusta 90 asteesta, tuotteet jäävät odottamaan prosessikontrollista vastaavien tarkastusta.

## 5 Mittaustulokset

### 5.1 Sahauskulma

Vision 2 -mittalaitteen tulokset koottiin Excel-taulukkoon, josta kerättiin tätä työtä koskevat tulokset. Taulukosta 1 voidaan lukea jokaisen kiekon kaikkien neljän mittapisteen (kuva 18) tulokset.



Taulukko 1: Ote Vision 2 -mittalaitteelta kerätyistä mittaustuloksista. Ensimmäisenä rivillä näkyy eräkoodi, jolla voidaan jäljittää erää aina anturivalmistuksen loppuun asti. Seuraavana voidaan lukea järjestyksessä vasemmalta oikealle mittauspäivä, prosessivaiheen nimi, tuote, tuotetyyppi, näytteen numero, pitkän sivun pituus, 1. pitkän sivun kulma, 2. pitkän sivun kulma sekä sivun kulman eroavuus asteina halutusta 90 asteesta.

LOT_ID	COLLECTED_DATE	OPERATION	PRODUCT_ID	LOT_TYPE	CHIP	LONG_EDGE	ANGLE_1	ANGLE_2	max
GJ2H10N304	10.3.2017 14:29	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	1	2.5987	89.7262	89.8692	0.2738
GJ2H10N304	10.3.2017 14:29	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	2	2.5853	89.9829	89.9275	0.0725
GJ2H10N304	10.3.2017 14:29	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	3	2.5961	90.3402	90.6453	0.6453
GJ2H10N304	10.3.2017 14:29	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	4	2.6077	89.2865	89.5009	0.7135
GE3F10N355	10.3.2017 13:46	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	1	2.6159	89.3995	89.7523	0.6005
GE3F10N355	10.3.2017 13:46	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	2	2.6001	89.9833	90.5001	0.5001
GE3F10N355	10.3.2017 13:46	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	3	2.5876	90.0297	90.2007	0.2007
GE3F10N355	10.3.2017 13:46	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	4	2.5957	89.8099	89.9679	0.1901
GJ2H10N301	10.3.2017 13:38	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	1	2.61	89.1484	89.208	0.8516
GJ2H10N301	10.3.2017 13:38	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	2	2.5957	89.5442	89.3844	0.6156
GJ2H10N301	10.3.2017 13:38	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	3	2.5984	89.8846	89.7184	0.2816
GJ2H10N301	10.3.2017 13:38	DCOP.DIMENSIOI	GJ2H	PROD_A	4	2.5889	90.095	90.4543	0.4543
GE3F10N352	10.3.2017 11:00	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	1	2.6107	89.1933	89.2924	0.8067
GE3F10N352	10.3.2017 11:00	DCOP.DIMENSIOI	GE3F	PROD_A	2	2.5867	90.4576	90.0351	0.4576

Insinööriyössä käytettiin tuloksia kahden viikon aikajaksolta. Tulokset aseteltiin analyysiä varten suurimmasta pienimpään sen mukaan, kuinka paljon kulma eroaa 90 asteesta (taulukko 2). Kokonaisuudessaan tulokset löytyvät liitteestä 1. Tulosten asettelun jälkeen valittiin tarkasteltavat eräkoodit. Kahden viikon ajalta tuloksia saatiin 337 erästä. Tarkasteluun otettiin yhteensä 176 erää, jotka edustavat tuloksia tasapuolisesti. Yhteensä selvästi 90 asteen kulmasta eroavia eriä käsiteltiin 43 kappaletta. Näitä eriä olivat erät, joiden kulman suuruuden eroavuus 90 asteesta oli yhden asteen tai enemmän. Hieman 90 asteen kulmasta eroavia eriä käsiteltiin 42 kappaletta. Nämä erät erosivat 90 asteen kulmasta enimmillään 0,13 astetta. Edellisten erien lisäksi tutkittiin vielä 91 sellaista erää, joiden tulokset sijoittuivat edellisten erien väliin.

Taulukko 2: Ote tuloksista, kun ne on aseteltu kulmapoikkeaman suuruuden mukaiseen järjestykseen.

LOT_ID	COLLECTED_DATE	ANGLE_1	ANGLE_2	max
GE3F08N358	24.2.2017 17:15	88.9638	88.0598	1.9402
GE3F08N335	23.2.2017 5:51	91.721	89.1475	1.721
GE3F09N325	1.3.2017 1:48	89.185	88.3953	1.6047
GJ2H08N307	25.2.2017 4:55	90.6689	91.535	1.535
GE3F08N386	26.2.2017 18:49	91.5344	90.7994	1.5344
GJ2A08N328	26.2.2017 22:00	91.1961	91.4693	1.4693
GE3F08N382	26.2.2017 16:35	90.9213	91.3629	1.3629
GJ2H08N314	27.2.2017 7:18	88.8756	88.6954	1.3046
GE3F10N339	9.3.2017 16:41	91.2923	90.6608	1.2923
GJ1A09N307	5.3.2017 5:26	88.7385	89.0432	1.2615

## 5.2 Höyrystyksen visuaalinen tarkastus

Vision 2 -mittalaitteelta saaduista sahauskulman tuloksista saatiin eräkoodit, joilla etsittiin höyrystyksen visuaalisessa mikroskooppitarkastuksessa hylättyjä anturielementtimääriä.

Metallipinnoitteen höyrystämisen jälkeen on useita syitä hylätä anturielementtejä. Tähän työhön vaikuttava anturielementtien hylkäämisen syy on murtuma anturielementillä. Jos anturielementit eivät maskaudu kunnolla, on mahdollista, että ne murtuvat höyrystysmaskin sisällä ja tämä huomataan höyrystyksen jälkeisessä visuaalisessa tarkastuksessa.

Taulukossa 3 on esitetty höyrystyksen visuaalisessa vaiheessa murtuman takia hylättyjen anturielementtien määriä. Kokonaisuudessaan tulokset löytyvät liitteestä 2.

Taulukko 3: Ote murtuman takia hylättyjen anturielementtien määristä. Ensin anturielementtikiekkon eräkoodi ja sen jälkeen kyseiseltä kiekolta murtuman takia hylättyjen anturielementtien lukumäärä.

	Suuri ero 90 asteeseen	
	Eräkoodi	Hylätty koodilla FC3
1	GE3F08N358	Erää ei löydy
2	GE3F08N335	2
3	GE3F09N325	0
4	GJ2H08N307	1
5	GE3F08N386	16
6	GJ2A08N328	1
7	GE3F08N382	Erää ei löydy
8	GJ2H08N314	4
9	GE3F10N339	4
10	GJ1A09N307	0
11	GE3F08N336	9

Erille, joissa sahauskulman poikkeama oli suuri, keskinkertainen tai pieni, laskettiin murtuman takia hylättyjen anturielementtien määrän keskiarvo (taulukko 4) ja tätä keskiarvoa käytettiin johtopäätösten tekemisessä. Eriltä, joilta löytyi suuri eroavuus 90 asteen kulmaan, laskettu hylättyjen anturielementtien keskiarvo oli 4,24 kappaletta. Eriltä, joilla ei ollut juuri lainkaan eroa 90 asteen kulmaan, keskiarvo oli 2,95 kappaletta. Eri-

en, joiden poikkeavuus 90 asteesta oli noin 0,5 asteen luokkaa, keskiarvo oli 3,18 kappaletta.

Taulukko 4: Höyrystyksen visuaalisessa tarkastuksessa murtuman takia hylättyjen anturielementtien tuotantoerien kappalemäärien keskiarvot

Erä:	Suuri ero 90 asteeseen	Noin 0,5 asteen ero 90 asteeseen	Pieni ero 90 asteeseen
Keskiarvo	4.24	3.18	2.95

### 5.3 Höyrystyspinnoitteen sijainti

Kaikki höyrystetyt tuotteet tarkastetaan vielä AVI-laitteella. Vision 2 -mittalaitteen tuloksista saatiin tutkittavien erien koodit, jotka etsittiin AVI-laitteen mittaustulosten historiasista. Tuloksista haluttiin tietää, kuinka monta anturielementtiä hylättiin höyrystetyn pinnoitteen väärän sijainnin takia.

Taulukossa 5 on esitetty eräkoodeittain hylkykoodilla 1203 hylättyjä anturielementtejä AVI-laitteella. Koodi 1203 kertoo esimerkiksi metallipinnoitteen siirtymisen takia hylättyjen anturielementtien määrän. Kokonaisuudessaan tulokset löytyvät liitteestä 3. Muutamien erien tuloksia ei löytynyt AVI-laitteelta, koska ne oli jo hylätty aiemmissa työvaiheissa.

Taulukko 5: Ote höyrystyspinnoitteen väärän sijainnin vuoksi hylätyistä kappalemääristä eräkohtaisesti.

	Suuri ero 90 asteeseen	
	Eräkoodi	Hylätty koodilla 1203
1	GE3F08N358	tiedostoa ei löydy
2	GE3F08N335	27
3	GE3F09N325	63
4	GJ2H08N307	11
5	GE3F08N386	37
6	GJ2A08N328	26
7	GE3F08N382	tiedostoa ei löydy
8	GJ2H08N314	22
9	GE3F10N339	30
10	GJ1A09N307	19
11	GE3F08N336	13
12	GJ1A08N314	26

Erille, joissa sahauskulman poikkeama oli suuri, keskinkertainen tai pieni, laskettiin syyllä 1203 hylättyjen anturielementtien määrän keskiarvo (taulukko 6) ja tätä keskiarvoa käytettiin johtopäätösten tekemisessä. Eriltä, joilta löytyi suuri eroavuus 90 asteen kulmaan, laskettu keskiarvo oli 32,71 kappaletta. Eriltä, joilla ei ollut juuri lainkaan eroa 90 asteen kulmaan, keskiarvo oli 29,76 kappaletta. Erien, joiden poikkeavuus 90 asteesta oli noin 0,5 asteen luokkaa, keskiarvo oli 29,62 kappaletta.

Taulukko 6: AVI-laitteen tuotantoeristä hylkäämien anturielementtien kappalemäärien keskiarvot sekä hylkymäärien keskihajonta

Erä:	Suuri ero 90 asteeseen	Noin 0,5 asteen ero 90 asteeseen	Pieni ero 90 asteeseen
Keskiarvo	32.71	29.62	29.76
Keskihajonta	28.14	17.08	18.59

Hylättyjen anturielementtien kappalemäärän keskiarvon lisäksi laskettiin tulosten keskihajonta (taulukko 6). Eriltä, joilta löytyi suuri eroavuus 90 asteen kulmaan, laskettu keskihajonta oli 28,14. Eriltä, joilla ei ollut juuri lainkaan eroa 90 asteen kulmaan, keskihajonta oli 18,59. Erien, joiden poikkeavuus 90 asteesta oli noin 0,5 asteen luokkaa, keskihajonta oli 17,08.

## 6 Tulosten tarkastelu

Olemassa oleva hypoteesi insinööriyön takana oli, että Triax-anturielementin pitkän sivun kulman suuruus vaikuttaisi jatkoprosesseihin ja niiden saantoon. Kulman suuruuden vaihtelu normaalista 90 asteesta vaikuttaisi kahdella tavalla. Ensimmäinen näistä olisi maskaamisen vaikeutuminen ennen höyrystyspinnoitusta ja siitä aiheutuvat metallipinnoitteiden väärät paikat anturielementeillä. Toinen seuraus olisi maskausvaikeuksien aiheuttamat murtumat anturielementeillä.

Tuloksista kävi ilmi, ettei höyrystyksen jälkeen hylätty juuri lainkaan enempää anturielementtejä murtuman takia, vaikka sahauskulman suuruus olisi eronnut selvästi 90 asteesta. Liitteen 2 tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että anturielementtikiekoilta, joilla oli havaittavissa suurempaa poikkeamaa sahauskulmassa, on höyrystyksessä hylätty keskimäärin vain 1,3 anturielementtiä enemmän kuin anturielementtikiekoilta, joilla sahauskulma oli ollut noin 90 astetta.

Työssä käsiteltiin myös AVI-laitteen tuloksia (liite 3) siitä, kuinka moni anturielementti hylätään höyrystetyn metallipinnoitteen väärän paikan takia. Tuloksista nähdään, että anturielementtikiekoilta, joilla sahauskulma on poikennut reilummin 90 asteesta, hylätyt anturielementtejä AVI-laitteella on ollut keskimäärin 3 kappaletta enemmän kuin muilla anturielementtikiekoilla.

AVI-laitteen tuloksista lasketut keskihajonnat näyttävät, että kiekoilla, joilla oli havaittavissa suurempaa poikkeamaa, on enemmän hajontaa tulosten kesken kuin muilla erillä. Keskihajonta kasvoi kulmapoikkeamaltaan suuremmilla erillä 10 kappaleen verran. Keskihajonta kertoo, kuinka tulokset sijoittuvat keskiarvoon verrattuna. Mitä pienempi keskihajonta on, sitä lähempänä tulokset ovat keskiarvoa. Suuri keskihajonta kulmapoikkeamaltaan suuremmilla erillä kertoo siitä, että näillä erillä on ollut enemmän vaihtelua hylättyjen anturielementtien määrissä. Näissä erissä on siis esiintynyt useammin sellaisia anturielementtikiekoja, joilta on hylätty hyvin paljon tai hyvin vähän anturielementtejä verrattuna tulosten keskiarvoon.

Tulokset viittaavat siihen, että pitkän sivun kulman muutoksilla on vaikutusta hylättyjen anturielementtien kappalemääriin. Tämä nähdään siitä, kuinka hylättyjen anturielementtien määrät kasvavat enemmän 90 asteesta poikkeavilla erillä ja kuinka keskihajonta kasvaa myös näillä tuotantoerillä. Yhdelle anturielementtikiekolle mahtuu kuitenkin

kin tuhansia anturielementtejä. Sahauksen vaikutukset ovat Murata Electronicsin tuotantokapasiteetissa niin pieniä, ettei niistä saada relevanttia tietoa koskien muita prosesseja tai prosessi-poikkeamia.

Jos paljon 90 asteesta eroavia anturielementtikiekkkoja alettaisiin hylätä tämän mittauksen perusteella, hylkymäärät kasvaisivat nykyisestä määrästä. Tämä johtuu siitä, että koko anturielementtikiekkko hylättäisiin. Tämä ei ole kustannuksellisesti kannattavaa, koska muutaman anturielementin kokonaishinta on hyvin matala verrattuna kokonaisen anturielementtikiekkon kokonaishintaan nähden. Suurin osa anturielementeistä on kuitenkin hyviä, vaikka kulmapoikkeamaa esiintyisi. Nämä hyvät anturielementit menetettäisiin samalla, jos kokonaisia anturielementtikiekkkoja alettaisiin hylätä suuren kulmapoikkeaman takia.

## **7 Johtopäätökset**

Tulosten pohjalta ei voida suositella ottamaan Triax-anturielementin pitkän sivun kulman mittausta aktiiviseksi mittaukseksi sahaukseen. Tulevaisuuden kannalta saattaa olla aiheellista tutkia, voisiko pitkän sivun kulman mittaamista muokata siten, että se tukisi Triax-anturielementin prosessikontrollia. Esimerkiksi mittausta voitaisiin muokata siten, että mitattaisiinkin sahaushäntää kulman suuruuden sijasta. Sahaushäntä on kapea kaistale piitä, joka jää anturielementin pohjapuolelle sahauksen takia. Nykyinen mittausohjelma ei havaitse sahaushäntää tällä hetkellä, sillä se ei kuulu sen ajoparametreihin. Jos mittausohjelmaa muutettaisiin, olisi sahaushännän mittaaminen tässä vaiheessa mahdollista.

## Lähteet

- 1 Mahdollisuuksia Muratalla. Murata Manufacturing Co. Verkkodokumentti. <<http://careers.teamio.net/murata/>>. Luettu 28.1.2017.
- 2 Nurmela Ville. Automotive products Murata Electronics. PowerPoint-dokumentti. Päivitetty 16.5.2013. Viitattu 28.1.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 3 Anturi. 2017. Verkkodokumentti. Wikimedia Foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Anturi>>. Päivitetty 8.1.2017. Luettu 28.1.2017
- 4 Mikrosysteemit. 2014. Verkkodokumentti. Wikimedia Foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Mikrosysteemit>>. Päivitetty 14.4.2014. Luettu 28.1.2017.
- 5 What is MEMS. The MEMS and Nanotechnology Exchange (MNX). Verkkodokumentti. <<https://www.memsnet.org/about/what-is.html>>. Luettu 28.1.2017
- 6 Koivisto Kaarlo, Laitinen Esko, Niinimäki Matti, Tiainen Tuomo, Tiilikka Pentti, Tuomikoski Juho, 1999, Konetekniikan materiaalioppi, Edita.
- 7 Elementtivalmistuksen piikiekon rakenne. OCD/PIHK. PowerPoint-dokumentti. Päivitetty 13.11.2015. Viitattu 28.1.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 8 Puolijohdteollisuus. 2013. Verkkodokumentti. Wikimedia Foundation. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Puolijohdteollisuus>>. Päivitetty 13.3.2013. Luettu 28.1.2017.
- 9 Pietari Riku, Process Control Engineer, Murata Electronics Oy.
- 10 Roininen Suvi. Terät ja sahausparametrit. PDF-dokumentti. Päivitetty 19.2.2015. Viitattu 28.1.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 11 Harilainen Ilmari. Tuotannon työohje. WI 1848 Rev. 6 COMBO3 Urasahaus FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 2.1.2017. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 12 Pietari Riku, Process Control Engineer, Murata Electronics Oy. Keskustelu 23.1.2017.
- 13 Sahaus. Prosessikoulutus. PowerPoint-dokumentti. Viitattu 28.1.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.

- 14 Sahauksen laitteet. Laitekoulutus. ARKO. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.4.2015. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 15 Halttunen Ville. Tuotannon työohje. WI 1202 Rev.1 Saha- ja flangepesu FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 21.12.2011. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 16 Huhtala Kaisa. Tuotannon työohje. WI 1255 Rev. 12 Pick'n'Turn nypintä FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.2.2017. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ei saatavissa.
- 17 Höyrystyksen prosessikoulutus. EH ja KPH. PDF-dokumentti. Päivitetty 6.4.2016. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 18 Huhtala Kaisa. Tuotannon työohje. WI 1258 Rev.9 Maskaus Chip höyrystys FIN. Päivitetty 8.11.2016. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 19 Huhtala Kaisa. Tuotannon työohje. WI 1249 Rev. 7 Triax takapinnan visuaalinen FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 27.1.2017. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 20 Huhtala Kaisa. Tuotannon työohje. WI 1256 Rev.6 PNP-nypintä FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 22.9.2016. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 21 Halonen Elina. AVI perusteet 2016. PowerPoint -dokumentti. Päivitetty 15.4.2016. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 22 Halttunen Ville. Tuotannon työohje. WI 1202 Rev.3 Vision 2 mittausohjeet FIN. PDF-dokumentti. Päivitetty 30.8.2016. Viitattu 20.2.2017. Yrityksen sisäinen dokumentti.



**Vision 2 -mittalaitteen tulokset tutkimukseen valituilta eriltä**

<b>LOT_ID</b>	<b>COLLECTED_DATE</b>	<b>ANGLE_1</b>	<b>ANGLE_2</b>	<b>max</b>
GE3F08N358	24.2.2017 17:15	88.9638	88.0598	1.9402
GE3F08N335	23.2.2017 5:51	91.721	89.1475	1.721
GE3F09N325	1.3.2017 1:48	89.185	88.3953	1.6047
GJ2H08N307	25.2.2017 4:55	90.6689	91.535	1.535
GE3F08N386	26.2.2017 18:49	91.5344	90.7994	1.5344
GJ2A08N328	26.2.2017 22:00	91.1961	91.4693	1.4693
GE3F08N382	26.2.2017 16:35	90.9213	91.3629	1.3629
GJ2H08N314	27.2.2017 7:18	88.8756	88.6954	1.3046
GE3F10N339	9.3.2017 16:41	91.2923	90.6608	1.2923
GJ1A09N307	5.3.2017 5:26	88.7385	89.0432	1.2615
GE3F08N336	22.2.2017 12:11	88.7689	88.7652	1.2348
GJ1A08N314	26.2.2017 6:13	89.0382	88.8098	1.1902
GE3F09N303	28.2.2017 8:09	91.1776	90.6621	1.1776
GJ1A09N308	5.3.2017 3:31	89.5216	88.8292	1.1708
GE3F10N347	10.3.2017 6:22	91.1703	90.7671	1.1703
GE3F10N345	10.3.2017 1:33	90.888	91.1699	1.1699
GJ2A08N304	21.2.2017 12:21	91.1659	90.5073	1.1659
GE3F09N320	1.3.2017 0:30	89.4365	88.8537	1.1463
GE3F10N351	10.3.2017 8:21	88.9161	88.8556	1.1444
GJ2A08N303	21.2.2017 15:57	89.3033	88.8895	1.1105
GJ2A10N318	8.3.2017 16:54	91.1097	90.0087	1.1097
GE3F10N340	10.3.2017 4:28	90.7065	91.1094	1.1094
GE3F09N312	28.2.2017 15:46	91.0896	90.1115	1.0896
GE3F08N342	22.2.2017 18:38	89.111	88.9199	1.0801
GE3F09N306	28.2.2017 4:43	90.5129	91.0722	1.0722
GE3F08N349	24.2.2017 3:34	89.6202	88.9318	1.0682
GE3F08N365	25.2.2017 1:04	90.8146	91.0643	1.0643
GE3F09N325	1.3.2017 1:48	88.9404	89.3364	1.0596
GE3F08N375	26.2.2017 2:21	91.0562	90.5161	1.0562
GJ2A09N304	28.2.2017 19:30	90.6377	91.0501	1.0501
GE3F08N360	24.2.2017 17:31	89.3958	88.952	1.048
GE3F10N317	7.3.2017 9:00	91.0471	90.3526	1.0471
GE3F10N342	9.3.2017 23:32	90.6446	91.0442	1.0442
GJ2A08N322	24.2.2017 13:41	90.4614	91.0423	1.0423
GJ2H09N306	4.3.2017 23:55	88.967	89.2473	1.033
GE3F09N326	1.3.2017 8:46	89.2976	88.9713	1.0287
GJ2A10N304	7.3.2017 10:08	89.182	88.9777	1.0223
GE3F09N301	28.2.2017 2:15	90.4591	91.014	1.014
GJ2H09N305	4.3.2017 21:23	89.3772	88.9897	1.0103
GE3F08N352	24.2.2017 1:49	91.0046	90.6265	1.0046
GE3F08N385	26.2.2017 19:07	88.9975	89.8192	1.0025

GE3F10N352	10.3.2017 11:00	88.9981	89.2099	1.0019
GE3F09N317	1.3.2017 1:16	90.6169	91	1

LOT_ID	COLLECTED_DATE	ANGLE_1	ANGLE_2	max
GE3F08N323	22.2.2017 2:11	89.8736	90.1131	0.1264
GJ2A09N314	2.3.2017 7:51	90.1256	90.0358	0.1256
GJ2H09N310	4.3.2017 19:06	90.0712	89.876	0.124
GJ2A08N329	25.2.2017 18:12	89.8766	90.0815	0.1234
GJ2A08N321	24.2.2017 13:59	89.8767	89.9699	0.1233
GE3F08N327	22.2.2017 1:16	89.9159	90.1217	0.1217
GE3F09N307	28.2.2017 5:45	89.8884	89.8816	0.1184
GE3F08N341	22.2.2017 15:09	89.9952	90.1168	0.1168
GE3F08N330	22.2.2017 0:44	90.1164	90.1113	0.1164
GE3F08N320	21.2.2017 9:56	90.0118	89.8844	0.1156
GJ2H08N311	25.2.2017 8:25	90.055	90.115	0.115
GE3F09N371	6.3.2017 2:09	89.9176	89.8857	0.1143
GE3F08N347	24.2.2017 0:13	89.8903	89.955	0.1097
GE3F09N343	3.3.2017 9:29	90.1077	90.0812	0.1077
GE3F08N378	26.2.2017 10:16	90.0335	89.8935	0.1065
GJ1A09N301	1.3.2017 21:58	90.1063	89.9401	0.1063
GE3F09N334	2.3.2017 12:16	90.0846	90.106	0.106
GJ2H08N301	22.2.2017 5:55	89.9076	90.106	0.106
GJ2A08N304	21.2.2017 12:21	90.1051	90.0057	0.1051
GE3F09N321	28.2.2017 23:40	90.0123	90.1037	0.1037
GE3F10N314	7.3.2017 0:39	90.0718	90.1	0.1
GJ2A09N323	3.3.2017 3:18	89.9764	89.9038	0.0962
GJ2A09N310	1.3.2017 18:14	89.9047	90.066	0.0953
GE3F09N347	4.3.2017 0:33	89.9059	89.9507	0.0941
GJ2A09N321	3.3.2017 0:27	90.0258	89.9095	0.0905
GJ2H08N313	27.2.2017 9:43	89.9118	89.9671	0.0882
GJ1A08N316	26.2.2017 10:27	89.9887	89.9141	0.0859
GE3F08N321	21.2.2017 18:26	89.9927	89.915	0.085
GE3F09N349	4.3.2017 3:31	90.0797	89.9862	0.0797
GE3F08N343	24.2.2017 1:26	90.0088	90.0783	0.0783
GE3F10N308	6.3.2017 21:43	89.9575	89.9225	0.0775
GE3F09N355	4.3.2017 5:04	89.9255	89.9449	0.0745
GJ2H10N304	10.3.2017 14:29	89.9829	89.9275	0.0725
GE3F09N330	2.3.2017 2:07	90.004	89.9282	0.0718
GJ2A09N312	1.3.2017 12:26	89.9319	89.9968	0.0681
GJ2A08N305	21.2.2017 15:44	89.9741	90.0678	0.0678
GE3F09N311	28.2.2017 14:50	90.0648	89.9831	0.0648
GE3F09N372	6.3.2017 4:06	90.0389	89.9392	0.0608

GE3F08N377	26.2.2017 7:17	89.9434	89.984	0.0566
GJ2A09N339	6.3.2017 17:06	90.0389	89.9617	0.0389
GE3F09N328	1.3.2017 23:45	89.9633	90.0038	0.0367
GE3F09N350	4.3.2017 2:58	90.028	89.9723	0.028

<b>LOT_ID</b>	<b>COLLECTED_DATE</b>	<b>ANGLE_1</b>	<b>ANGLE_2</b>	<b>max</b>
GE3F10N335	8.3.2017 22:16	89.4757	89.7826	0.5243
GE3F08N328	21.2.2017 22:39	89.7269	89.4759	0.5241
GE3F09N347	4.3.2017 0:33	90.1929	90.5236	0.5236
GE3F09N312	28.2.2017 15:46	89.4769	89.7079	0.5231
GJ1A08N307	24.2.2017 4:10	89.8117	89.477	0.523
GJ2A10N306	7.3.2017 15:01	89.788	89.4778	0.5222
GE3F10N336	8.3.2017 23:07	89.635	89.478	0.522
GE3F10N332	8.3.2017 21:54	90.5218	90.3044	0.5218
GJ2A09N308	1.3.2017 9:42	89.479	89.6968	0.521
GJ2A09N304	28.2.2017 19:30	90.2967	90.521	0.521
GJ2A09N309	1.3.2017 14:33	89.6829	89.4803	0.5197
GJ2A09N325	4.3.2017 19:48	90.5196	90.3823	0.5196
GE3F09N363	5.3.2017 1:24	90.4944	90.5194	0.5194
GJ2H09N307	4.3.2017 14:56	90.5194	90.0667	0.5194
GE3F10N326	8.3.2017 4:51	90.5184	89.8281	0.5184
GE3F08N347	24.2.2017 0:13	89.6291	89.4829	0.5171
GE3F10N320	7.3.2017 7:38	90.4012	90.5167	0.5167
GE3F08N326	22.2.2017 0:18	90.5165	90.326	0.5165
GE3F09N367	5.3.2017 23:54	89.6143	89.4836	0.5164
GE3F09N364	5.3.2017 21:39	90.5162	90.1413	0.5162
GE3F09N321	28.2.2017 23:40	89.8113	89.4842	0.5158
GE3F10N329	7.3.2017 20:21	89.5613	89.4845	0.5155
GJ1A10N301	9.3.2017 9:27	89.4848	89.8544	0.5152
GE3F09N308	28.2.2017 8:18	90.515	90.1397	0.515
GE3F08N374	26.2.2017 7:28	90.515	90.2196	0.515
GE3F10N321	7.3.2017 4:31	89.4851	89.8949	0.5149
GJ2H08N305	24.2.2017 22:10	89.513	89.4856	0.5144
GJ2A09N321	3.3.2017 0:27	90.2483	90.5139	0.5139
GJ2A08N319	24.2.2017 7:15	90.5139	90.2332	0.5139
GJ2A09N302	28.2.2017 21:39	90.3144	90.5128	0.5128
GE3F08N366	26.2.2017 0:57	90.5128	90.2692	0.5128
GE3F10N307	6.3.2017 20:37	89.6068	89.4878	0.5122
GJ2A09N300	27.2.2017 21:42	90.5121	90.1472	0.5121
GJ2A09N314	2.3.2017 7:51	90.3068	90.5119	0.5119
GJ2A09N306	1.3.2017 7:23	89.7749	89.4883	0.5117
GJ2A09N323	3.3.2017 3:18	89.8606	89.4886	0.5114

GE3F09N302	28.2.2017 3:42	90.2072	90.5112	0.5112
GJ2A08N331	27.2.2017 14:42	89.6896	89.489	0.511
GJ1A09N302	3.3.2017 20:02	89.4902	89.8213	0.5098
GE3F09N314	28.2.2017 22:02	89.4908	89.8103	0.5092
GE3F09N300	27.2.2017 23:31	89.9115	89.4909	0.5091
GE3F10N331	8.3.2017 20:52	89.8399	89.493	0.507
GE3F09N372	6.3.2017 4:06	90.3642	90.5064	0.5064
GE3F08N377	26.2.2017 7:17	89.8363	89.4938	0.5062
GJ1A09N311	5.3.2017 3:09	89.4945	89.725	0.5055
GE3F09N328	1.3.2017 23:45	90.5054	90.1675	0.5054
GJ2H08N308	25.2.2017 3:34	90.4237	90.5054	0.5054
GJ2A08N315	24.2.2017 9:56	89.4947	89.6134	0.5053
GE3F09N366	6.3.2017 1:38	89.6719	89.4953	0.5047
GJ2A08N306	21.2.2017 12:51	89.4955	89.5535	0.5045
GJ1A10N305	9.3.2017 13:48	89.4958	89.9526	0.5042
GJ2A09N326	4.3.2017 17:33	89.718	89.4963	0.5037
GJ2A09N322	3.3.2017 3:06	89.7823	89.4963	0.5037
GJ2A08N311	22.2.2017 22:10	89.4966	89.7487	0.5034
GE3F08N352	24.2.2017 1:49	89.7115	89.4969	0.5031
GJ2A10N314	8.3.2017 9:09	89.497	89.7766	0.503
GE3F08N372	26.2.2017 1:04	89.5299	89.4978	0.5022
GE3F09N341	3.3.2017 10:08	90.502	89.941	0.502
GJ2A08N332	27.2.2017 14:02	90.1515	90.5009	0.5009
GE3F10N355	10.3.2017 13:46	89.9833	90.5001	0.5001
GE3F08N360	24.2.2017 17:31	89.8827	89.5008	0.4992
GE3F09N305	28.2.2017 1:16	90.3278	90.4986	0.4986
GJ2H08N300	22.2.2017 3:33	89.8308	89.5022	0.4978
GJ2H09N309	4.3.2017 14:46	89.8607	89.5025	0.4975
GE3F09N342	3.3.2017 9:14	89.7272	89.507	0.493
GE3F09N334	2.3.2017 12:16	90.4917	90.0334	0.4917
GJ2A09N319	2.3.2017 18:01	90.4908	90.1652	0.4908
GE3F09N335	2.3.2017 4:48	89.9454	89.5097	0.4903
GJ2A10N311	7.3.2017 19:06	89.5101	89.8147	0.4899
GE3F09N319	1.3.2017 2:07	90.4869	90.3461	0.4869
GJ1A09N310	5.3.2017 1:12	89.7364	89.5136	0.4864
GJ2A09N311	1.3.2017 12:32	89.9474	90.4862	0.4862
GJ1A09N308	5.3.2017 3:31	89.7463	89.514	0.486
GJ1A10N308	9.3.2017 18:43	90.4857	90.1221	0.4857
GJ1A08N315	26.2.2017 21:39	90.4842	90.3548	0.4842
GE3F08N361	24.2.2017 18:06	90.4838	90.1636	0.4838
GE3F08N375	26.2.2017 2:21	89.7123	89.517	0.483
GJ2A08N303	21.2.2017 15:57	90.482	90.3389	0.482
GE3F08N380	26.2.2017 13:25	89.5184	89.6723	0.4816
GJ2H09N308	4.3.2017 12:36	89.7709	89.5187	0.4813
GE3F09N350	4.3.2017 2:58	89.7608	89.5191	0.4809
GE3F08N325	21.2.2017 22:29	90.4809	90.1724	0.4809

GJ2A08N325	25.2.2017 12:30	90.4788	90.2895	0.4788
GE3F09N361	4.3.2017 6:29	90.4787	90.0635	0.4787
GE3F08N363	24.2.2017 22:03	89.8458	89.5219	0.4781
GJ1A10N310	9.3.2017 12:25	89.522	89.8342	0.478
GJ2A09N317	2.3.2017 11:04	89.5236	89.7967	0.4764
GJ1A08N317	26.2.2017 11:04	90.2964	90.4764	0.4764
GE3F10N322	7.3.2017 18:01	89.8632	89.5245	0.4755
GE3F10N344	10.3.2017 3:17	90.1292	90.4752	0.4752
GE3F08N356	24.2.2017 16:16	89.5749	89.5248	0.4752

## Höyrystyksessä visuaalisessa tarkastuksessa murtuman takia hylättyjen anturielementtien määrät

Suuri ero 90 asteeseen

Eräkoodi	Hylätty koodilla FC3
1 GE3F08N358	Erää ei löydy
2 GE3F08N335	2
3 GE3F09N325	0
4 GJ2H08N307	1
5 GE3F08N386	16
6 GJ2A08N328	1
7 GE3F08N382	Erää ei löydy
8 GJ2H08N314	4
9 GE3F10N339	4
10 GJ1A09N307	0
11 GE3F08N336	9
12 GJ1A08N314	0
13 GE3F09N303	19
14 GJ1A09N308	7
15 GE3F10N347	5
16 GE3F10N345	4
17 GJ2A08N304	1
18 GE3F09N320	28
19 GE3F10N351	6
20 GJ2A08N303	0
21 GJ2A10N318	2
22 GE3F10N340	3
23 GE3F09N312	1
24 GE3F08N342	1
25 GE3F09N306	2
26 GE3F08N349	0
27 GE3F08N365	1
28 GE3F09N325	0
29 GE3F08N375	0
30 GJ2A09N304	2
31 GE3F08N360	0
32 GE3F10N317	0
33 GE3F10N342	0
34 GJ2A08N322	3
35 GJ2H09N306	5
36 GE3F09N326	0
37 GJ2A10N304	1
38 GE3F09N301	0

39	GJ2H09N305	16
40	GE3F08N352	3
41	GE3F08N385	2
42	GE3F10N352	3
43	GE3F09N317	22
	average:	4.243902439

Hyvin pieni ero 90 asteeseen  
Eräkoodi

1	GE3F08N323	11
2	GJ2A09N314	26
3	GJ2H09N310	0
4	GJ2A08N329	0
5	GJ2A08N321	0
6	GE3F08N327	4
7	GE3F09N307	2
8	GE3F08N341	4
9	GE3F08N330	1
10	GE3F08N320	8
11	GJ2H08N311	0
12	GE3F09N371	1
13	GE3F08N347	0
14	GE3F09N343	1
15	GE3F08N378	3
16	GJ1A09N301	0
17	GE3F09N334	10
18	GJ2H08N301	1
19	GJ2A08N304	1
20	GE3F09N321	2
21	GE3F10N314	2
22	GJ2A09N323	0
23	GJ2A09N310	0
24	GE3F09N347	3
25	GJ2A09N321	1
26	GJ2H08N313	0
27	GJ1A08N316	0
28	GE3F08N321	1
29	GE3F09N349	10
30	GE3F08N343	0
31	GE3F10N308	9
32	GE3F09N355	1
33	GJ2H10N304	2
34	GE3F09N330	3
35	GJ2A09N312	1

36	GJ2A08N305	3
37	GE3F09N311	0
38	GE3F09N372	5
39	GE3F08N377	1
40	GJ2A09N339	5
41	GE3F09N328	1
42	GE3F09N350	1
	average:	2.952380952

noin 0,5 asteen ero 90 asteeseen

Eräkoodi

1	GE3F10N335	4
2	GE3F08N328	0
3	GE3F09N347	3
4	GE3F09N312	1
5	GJ1A08N307	4
6	GJ2A10N306	4
7	GE3F10N336	2
8	GE3F10N332	2
9	GJ2A09N308	4
10	GJ2A09N304	2
11	GJ2A09N309	4
12	GJ2A09N325	5
13	GE3F09N363	3
14	GJ2H09N307	0
15	GE3F10N326	7
16	GE3F08N347	0
17	GE3F10N320	0
18	GE3F08N326	4
19	GE3F09N367	5
20	GE3F09N364	2
21	GE3F09N321	2
22	GE3F10N329	0
23	GJ1A10N301	4
24	GE3F09N308	6
25	GE3F08N374	3
26	GE3F10N321	4
27	GJ2H08N305	0
28	GJ2A09N321	1
29	GJ2A08N319	0
30	GJ2A09N302	5
31	GE3F08N366	0
32	GE3F10N307	0
33	GJ2A09N300	0



34	GJ2A09N314	26
35	GJ2A09N306	1
36	GJ2A09N323	0
37	GE3F09N302	0
38	GJ2A08N331	0
39	GJ1A09N302	5
40	GE3F09N314	1
41	GE3F09N300	0
42	GE3F10N331	4
43	GE3F09N372	5
44	GE3F08N377	1
45	GJ1A09N311	0
46	GE3F09N328	1
47	GJ2H08N308	2
48	GJ2A08N315	19
49	GE3F09N366	5
50	GJ2A08N306	1
51	GJ1A10N305	5
52	GJ2A09N326	0
53	GJ2A09N322	0
54	GJ2A08N311	0
55	GE3F08N352	3
56	GJ2A10N314	1
57	GE3F08N372	5
58	GE3F09N341	1
59	GJ2A08N332	5
60	GE3F10N355	2
61	GE3F08N360	0
62	GE3F09N305	0
63	GJ2H08N300	0
64	GJ2H09N309	1
65	GE3F09N342	1
66	GE3F09N334	10
67	GJ2A09N319	1
68	GE3F09N335	39
69	GJ2A10N311	1
70	GE3F09N319	6
71	GJ1A09N310	1
72	GJ2A09N311	0
73	GJ1A09N308	7
74	GJ1A10N308	1
75	GJ1A08N315	1
76	GE3F08N361	8
77	GE3F08N375	0
78	GJ2A08N303	0
79	GE3F08N380	3

80	GJ2H09N308	0
81	GE3F09N350	1
82	GE3F08N325	3
83	GJ2A08N325	0
84	GE3F09N361	0
85	GE3F08N363	0
86	GJ1A10N310	0
87	GJ2A09N317	1
88	GJ1A08N317	27
89	GE3F10N322	2
90	GE3F10N344	0
91	GE3F08N356	1
Average:		3.175824176

## AVI-laitteella metallipinnoitteen väärän paikan takia hylättyjen anturiele- menttien määrät

Suuri ero 90 asteeseen

Eräkoodi	Hylätty koodilla 1203
1 GE3F08N358	tiedostoa ei löydy
2 GE3F08N335	27
3 GE3F09N325	63
4 GJ2H08N307	11
5 GE3F08N386	37
6 GJ2A08N328	26
7 GE3F08N382	tiedostoa ei löydy
8 GJ2H08N314	22
9 GE3F10N339	30
10 GJ1A09N307	19
11 GE3F08N336	13
12 GJ1A08N314	26
13 GE3F09N303	16
14 GJ1A09N308	26
15 GE3F10N347	34
16 GE3F10N345	12
17 GJ2A08N304	36
18 GE3F09N320	22
19 GE3F10N351	21
20 GJ2A08N303	21
21 GJ2A10N318	36
22 GE3F10N340	20
23 GE3F09N312	14
24 GE3F08N342	21
25 GE3F09N306	27
26 GE3F08N349	25
27 GE3F08N365	22
28 GE3F09N325	63
29 GE3F08N375	43
30 GJ2A09N304	17
31 GE3F08N360	17
32 GE3F10N317	182
33 GE3F10N342	46
34 GJ2A08N322	22
35 GJ2H09N306	17
36 GE3F09N326	76
37 GJ2A10N304	42
38 GE3F09N301	14

39	GJ2H09N305	45
40	GE3F08N352	16
41	GE3F08N385	29
42	GE3F10N352	34
43	GE3F09N317	51
	average:	32.70731707

Hyvin pieni ero 90 asteeseen  
Eräkoodi

Hylätty koodilla 1203

1	GE3F08N323	19
2	GJ2A09N314	43
3	GJ2H09N310	13
4	GJ2A08N329	9
5	GJ2A08N321	25
6	GE3F08N327	17
7	GE3F09N307	111
8	GE3F08N341	30
9	GE3F08N330	18
10	GE3F08N320	61
11	GJ2H08N311	9
12	GE3F09N371	29
13	GE3F08N347	25
14	GE3F09N343	30
15	GE3F08N378	31
16	GJ1A09N301	11
17	GE3F09N334	21
18	GJ2H08N301	21
19	GJ2A08N304	36
20	GE3F09N321	20
21	GE3F10N314	46
22	GJ2A09N323	24
23	GJ2A09N310	37
24	GE3F09N347	37
25	GJ2A09N321	37
26	GJ2H08N313	15
27	GJ1A08N316	13
28	GE3F08N321	23
29	GE3F09N349	19
30	GE3F08N343	25
31	GE3F10N308	16
32	GE3F09N355	35
33	GJ2H10N304	11
34	GE3F09N330	64
35	GJ2A09N312	34

36	GJ2A08N305	22
37	GE3F09N311	43
38	GE3F09N372	27
39	GE3F08N377	10
40	GJ2A09N339	43
41	GE3F09N328	43
42	GE3F09N350	47
	average:	29.76190476

noin 0,5 asteen ero 90 asteeseen

Eräkoodi

Hylätty koodilla 1203

1	GE3F10N335	22
2	GE3F08N328	30
3	GE3F09N347	37
4	GE3F09N312	14
5	GJ1A08N307	37
6	GJ2A10N306	20
7	GE3F10N336	14
8	GE3F10N332	28
9	GJ2A09N308	28
10	GJ2A09N304	17
11	GJ2A09N309	18
12	GJ2A09N325	62
13	GE3F09N363	42
14	GJ2H09N307	13
15	GE3F10N326	6
16	GE3F08N347	25
17	GE3F10N320	14
18	GE3F08N326	21
19	GE3F09N367	64
20	GE3F09N364	32
21	GE3F09N321	20
22	GE3F10N329	20
23	GJ1A10N301	28
24	GE3F09N308	28
25	GE3F08N374	13
26	GE3F10N321	38
27	GJ2H08N305	9
28	GJ2A09N321	37
29	GJ2A08N319	35
30	GJ2A09N302	48
31	GE3F08N366	27
32	GE3F10N307	12
33	GJ2A09N300	22

34	GJ2A09N314	43
35	GJ2A09N306	20
36	GJ2A09N323	24
37	GE3F09N302	82
38	GJ2A08N331	20
39	GJ1A09N302	23
40	GE3F09N314	42
41	GE3F09N300	49
42	GE3F10N331	32
43	GE3F09N372	27
44	GE3F08N377	10
45	GJ1A09N311	46
46	GE3F09N328	43
47	GJ2H08N308	8
48	GJ2A08N315	29
49	GE3F09N366	35
50	GJ2A08N306	40
51	GJ1A10N305	30
52	GJ2A09N326	32
53	GJ2A09N322	28
54	GJ2A08N311	24
55	GE3F08N352	16
56	GJ2A10N314	30
57	GE3F08N372	45
58	GE3F09N341	28
59	GJ2A08N332	10
60	GE3F10N355	24
61	GE3F08N360	17
62	GE3F09N305	40
63	GJ2H08N300	14
64	GJ2H09N309	15
65	GE3F09N342	30
66	GE3F09N334	21
67	GJ2A09N319	21
68	GE3F09N335	19
69	GJ2A10N311	37
70	GE3F09N319	35
71	GJ1A09N310	42
72	GJ2A09N311	30
73	GJ1A09N308	26
74	GJ1A10N308	129
75	GJ1A08N315	18
76	GE3F08N361	18
77	GE3F08N375	43
78	GJ2A08N303	21
79	GE3F08N380	42

80	GJ2H09N308		14
81	GE3F09N350		47
82	GE3F08N325		53
83	GJ2A08N325		33
84	GE3F09N361		23
85	GE3F08N363		10
86	GJ1A10N310	tiedostoa ei löydy	
87	GJ2A09N317		33
88	GJ1A08N317		30
89	GE3F10N322		21
90	GE3F10N344		40
91	GE3F08N356		23
	Average:		29.62222222