

Laseranturitekniikan soveltuvuus vaneriviilun paksuusmittaukseen

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK) Konetekniikka
2022
Teemu Aholainen

Tiivistelmä

Tekijä Aholainen Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 46	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Laseranturitekniiikan soveltuvuus vaneriviilun paksuusmittaukseen		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Roope Eskola, Manager R&D Tekniikan lisensiaatti, Raute Oyj		
Tiivistelmä Tutkimuksessa selvitettiin laseranturitekniiikan soveltuvuutta vaneriviilun paksuusmittaukseen. Viilujen paksuuden mittausta tehdään käsimitoituksella, joten laseranturitekniiikka ei ole aikaisemmin hyödynnetty viilun paksuusmittauksessa. Tavoitteena oli kehittää mittaustekniikan sekä selvittää miten mittaustuloksia voidaan hyödyntää laadunvalvonnassa. Työn tilaaja oli Raute Oyj. Tutkimuksessa kerättiin teoriapohjaista tietoa laserantureista, tuloksien suodattamisesta sekä matemaattisesta analysoinnista. Laboratorioon rakennettiin testilaitteisto, jolla mitattiin viilujen paksuuksia. Tuloksien analysointia varten tehtiin tietokoneohjelma. Mittaustulokset analysoitiin ja niistä tehtiin johtopäätökset. Opinnäytetyö kehitti ymmärrystä laseranturitekniiikasta sekä datankäsittelystä. Mittaustuloksien suodatustekniikkaa ja hyödyntämistapoja laadunvalvonnassa saatiin kehitettyä. Mittaustuloksien analysointia hyödyntäen paksuuden mittausta on mahdollista. Tuloksia voidaan hyödyntää jatkotutkimuksessa, jota täytyy tehdä haastavammassa ympäristössä.		
Asiasanat Viilu, Mittaus, Analysointi		

Abstract

Author Aholainen Teemu	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 46	
Title of Publication Suitability of laser sensors for measuring veneer thickness		
Degree and field of study Engineer(UAS) Bachelor of Engineering		
Name, title and organisation of the client Roope Eskola, Manager R&D Lic. Sc. (Tech), Raute Oyj		
Abstract <p>The aim of the research was to find out the suitability of laser sensors for measuring veneer thickness. Veneer thickness is measured by using a handheld tool, so laser sensors have not been used before for measuring veneer thickness. The goal was to develop measuring techniques and how to utilize measured results in quality control. The research was commissioned by Raute Oyj. Theoretical information about laser sensors and mathematical filtering of data was collected. For the purpose of testing the laser sensors, a testing setup was created in a laboratory environment. A computer program was created to analyze the measured values. Value were analyzed and conclusions were drawn from them. The thesis improved understanding about laser technology and data management. Filtering techniques of the measured values and their utilization in quality control were developed. Using value analysis it is possible to measure veneer thickness by using laser sensors. The results of the thesis can be utilized in further research that must be done in a more challenging environment.</p>		
Keywords Veneer, Measuring, Analysis		

Sisällys

1	JOHDANTO	1
1.1	Toimeksianto ja tutkimustarpeen määrittely	1
1.1.1	Työmenetelmät.....	1
1.1.2	Tavoitteet.....	1
2	Viilu ja vaneri	2
2.1	Viilun valmistus ja käyttökohteet	2
2.2	Vaneri.....	2
2.3	Viilupuu.....	3
3	MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TEKNIikka.....	5
3.1	Viilunpaksuusmittari.....	5
3.2	Laser-etäisyysanturit ja niiden toimintaperiaate	5
3.2.1	Vastakkaiset	5
3.2.2	Retroheijastava.....	6
3.2.3	Heijastava.....	6
3.2.4	Etäisyyden ja paksuuden mittaaminen.....	10
3.3	Analysointitekniikka	12
3.4	Muita hyödynnettäviä tekniikoita	14
4	Tutkimuksen suunnittelu	16
4.1	Kokonaiskuva	16
4.1.1	Testaustapa.....	16
4.1.2	Mittaukseen vaikuttavat tekijät	16
4.2	Testausympäristö	18
4.2.1	Testausympäristöltä vaadittavat ominaisuudet.....	18
4.2.2	Testiympäristön osat.....	18
5	LAITTEISTO JA OHJELMISTO	20
5.1	Anturit.....	20
5.2	Logiikka	21
5.2.1	Logiikkaohjelma.....	21
5.3	Analysointiohjelma.....	23
5.4	Testilaitteisto.....	25
5.5	Mittalaitteisto.....	26
6	TULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI	31
6.1	Mittaaminen.....	31
6.1.1	Mittaustulokset.....	31

6.2	Analysoinnin tulokset	43
6.3	Mekaanisen ja lasermittauksen erot.....	44
7	YHTEENVETO	45
7.1	Tutkimuksen kokonaistulos.....	45
7.2	Jatkomahdollisuudet	45
	Lähteet	47

Liitteet

Liite 1. Anturin tietolehti

Liite 2. Paksuuden kuviot

Sanasto

Analysointi – Tietojen tai asioiden tieteellinen tarkkailu ja vertailu, josta seuraa johtopäätökset

Array – Lista, johon voidaan kirjoittaa ja josta voidaan lukea informaatiota

Häiriötekijä – Mittauksen tarkkuuteen negatiivisesti vaikuttava tekijä

Integrointi – Ominaisuuden tai toiminnon liittäminen järjestelmään

Mittausdata – Tieto, joka saadaan mittalaitteelta

Simulointi – Olosuhteiden tuottaminen keinotekoisesti niin, että tulokset vastaavat todellisuutta

Soveltuvuus – Kuinka hyvin tekniikka sopii ennalta määrätyn asian tekemiseen

Suodattaminen – Tiedon käsitteleminen niin, että vain asetettuja ehtoja noudattavat arvot huomioidaan

Testiympäristö – Testausta varten laboratorioon rakennettu ympäristö, jossa mittaukset suoritetaan

Syntax – Koodissa käytetty kieli, joka seuraa sille asetettuja sääntöjä

Lähdekoodi – Ohjelmointikielellä tehty koodi, joka on ohjelman toiminnan ydin

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksianto ja tutkimustarpeen määrittely

Tutkimus käsittelee vaneriviilun paksuuden mittauksessa käytettävää tekniikka, ja sen kehittämistä, keskittyen laseranturitekniikan hyödyntämiseen mittauksessa. Tällä hetkellä käytössä oleva mittaustekniikka on manuaalinen, käsimittarilla suoritettava mittausta, joka perustuu standardiin. Suurien kappalemäärien laadunvalvonta käsimittauksella on ongelmallista.

Tutkimuksen ydinkysymyksenä on voidaanko viilun paksuutta mitata luotettavasti laseretäisyysantureilla. Anturitekniikan vaatii aina kokonaisuuden, johon sisältyy esimerkiksi mekaniikka ja sähkötekniikka. Häiriöiden tunnistaminen, mittausdatan käsittely ja analysointi, sekä oikeanlainen hyödyntäminen tuovat mukaan omat haasteensa. Toimeksiantaja on Raute Oyj, joka on laittanut alulle idean mittaustekniikan ja laitteiston kehittämisestä.

1.1.1 Työmenetelmät

Tutkimus koostuu teoriaosuudesta ja käytännön osuudesta. Teoriaosuus luo tietopohjan tutkimukselle, jonka kautta käytännön testaukset voidaan suorittaa vaadittavat ominaisuudet huomioiden.

Teoriaosuudessa tutkitaan viilun paksuusmittauksessa käytettävää tekniikkaa sekä anturitekniikan integroinnissa vaadittavia teknisiä ominaisuuksia. Lisäksi selvitetään tekniikoita mittaustietojen analysointiin ja käsittelyyn. Käytännön osuudessa tutkitaan anturitekniikan soveltuvuutta simuloimalla tehdasolosuhteita. Mittatulokset analysoidaan ja tekijöiden vaikutukset mittatuloksiin selvitetään. Työmenetelmät sivuavat toisiaan, ja käytännön mittauksissa tehtyjen havaintojen pohjalta pystytään tarkemmin määrittelemään tekniset vaatimukset.

1.1.2 Tavoitteet

Vaneriviilujen paksuusmittauksessa käytettävän anturitekniikan kehittäminen ja laseranturitekniikan soveltuvuuden selvittäminen kyseiseen sovellukseen. Anturitekniikasta tavoitteena on selvittää sen hyödyt ja haitat, sekä häiriötekijöiden vaikutusten selvittäminen. Myös datan analysointi ja hyödyntäminen laadunvalvonnassa on osa tutkimusta. Tutkimuksessa ei suunnitella tehtaaseen valmista mittaustekniikkaa.

2 Viilu ja vaneri

2.1 Viilun valmistus ja käyttökohteet

Viilu on ohut, 0,3...3,2 mm paksu puulevy (kuva 1), joka valmistetaan pölistä sorvaamalla tai leikkaamalla. Viilua käytetään monien tuotteiden, kuten vanerin ja viilupuun valmistusmateriaalina. Maailmassa on lukuisia puulajeja joista voidaan valmistaa viilua. Suomessa viilun raaka-aineena käytetään kotimaista puuta. Koivu, kuusi ja mänty ovat yleisimmät käytössä olevat raaka-aineet. (Koponen 2002, 23–25.)

Sorvatuille viiluille asetetaan tarkkoja vaatimuksia, jotka perustuvat standardeihin. Viilun valmistuksessa huomioitavana on pintaviilun ulkonäkö, levyn mitat ja lujuusominaisuudet. Tutkimuksessa tarkastellaan viilun paksuutta, ja sen mittaamista, mikä on yksi tärkeimmistä laatuun vaikuttavista tekijöistä. (Koponen 2002, 37.)



Kuva 1. Viilua (Koskisen)

2.2 Vaneri

Vaneri on monipuolinen levy materiaali, joka on valmistettu useista tason suuntaan liimatuista viiluista. Perusvanerityypit ovat koivuvaneri, sekavaneri ja havuvaneri. Koivu on hyvä materiaali sorvata, työstää, kuivata ja liimata, joten se soveltuu hyvin vanerin valmistukseen. Vanereita voidaan pinnoittaa erilaisten pintaominaisuuksien saavuttamiseksi. Koivuvaneria käytetään lujuutta ja laatua vaativissa kohteissa. (Puuinfo Oy 2020a, 2–3.)

Sekavanerit ovat yleiskäyttövanereita, ja ne koostuvat koivu- ja kuusiviilusta. Koivuviilua käytetään pintaviiluna, ja pintaviilun syyn kanssa kohtisuorassa olevina viiluna, muut viilut ovat havuviilua. (Koponen 2002, 18–19.)

Havuvanerin (kuva 2) materiaalina käytetään yleensä kuusta tai mäntyä. Havuvaneria käytetään paljon rakentamisessa lujuusominaisuuksiensa vuoksi (Puuinfo Oy 2020a, 2–3).

Standardisoidussa koivuvanerissa ja sekavanerissa paksuutena käytetään 1,4mm paksuisia viiluja. Havupuuvanerissa käytetään 1,5 mm, 2,6 mm ja 3,2 mm paksuisia viiluja. (Koponen 2002, 18–19.)

Viiluille on asetettu laatuluokat, jotka määräytyvät suurelta osin ulkonäön perusteella. Koivuviilupintaiset luokitellaan asteikolla paremmuusjärjestyksessä E, I, II, III ja IV. Havuvanerit luokitellaan II, III ja IV. Luokka E on virheetön erikoislaatu, jonka saatavuus on rajoitettua. (Koponen 2002, 19–21.)



Kuva 2. Havuvaneria (Bauhaus)

2.3 Viilupuu

Viilupuu tai LVL on viilusta valmistettu tuote, joka on samankaltainen vanerin kanssa. Viilupuussa liimattujen viilujen syyt ovat yleensä pituussuunnassa, mutta myös ristiin liimattuja rakenteita tehdään. Viilut ovat usein hiomattomia ja paikkaamattomia. Karkeuden vuoksi viilupuu soveltuu uudis- ja korjausrakentamiseen, esimerkiksi rakenteiden tekemiseen (kuva 3).

Suomalaisessa viilupuussa raaka-aineena käytetään 3 mm paksuisia kuusiviiluja. Valmistusteknisesti viilupuusta saadaan paksua, palkkimaista rakennemateriaalia 27...75 mm paksuisena tuotteena. Tuotteen maksimileveys on 2,5 metriä ja maksimipituus 25 metriä. Kuljetustekniikka rajoittaa ulottuvuuksia. (Puuinfo Oy 2020b.)



Kuva 3. LVL-palkkeja (Stora-Enso)

3 MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TEKNIikka

3.1 Viilunpaksuusmittari

Viilunpaksuusmittauksessa käytetään käsimitaria, jossa kahden mittakärjen väliin asetetun viilun paksuus voidaan todeta mittaajasta riippumattomalla tarkkuudella. Tämä on ollut haasteellista vanhemmissa laitteissa. Rauten kehittämässä laitteessa jousivoima painaa kärjet viilun pintaa vasten, minimoiden viilun pinnalla olevat mittaukseen vaikuttavat häiriötekijät ja mahdollistaen näin oikean mittatuloksen.

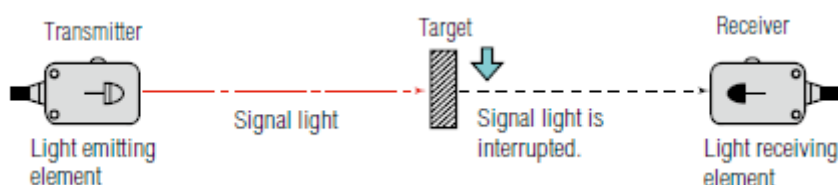
Paksuusmittari on mahdollista varustaa langattomalla tiedonsiirrolla, jonka kantama on noin 200 metriä. Mittadata voidaan lähettää langattomasti tietokoneelle jatkokäsittelyä varten.

3.2 Laser-etäisyysanturit ja niiden toimintaperiaate

Opinnäytetyössä tutkitaan pääasiassa valosähköisiä antureita, joiden käyttö teollisuudessa on laajaa. Laser-etäisyysanturit voidaan kategorisoida kolmeen eri ryhmään: vastakkaiset, retroheijastavat ja heijastavat. Heijastavan tyyppin anturit voidaan vielä jakaa neljää eli alakategoriaan. Anturit koostuvat kahdesta osasta, lähetin ja vastaanotin. Retroheijastavassa ja heijastavassa anturissa vastaanottimet sijaitsevat lähettimen kanssa samassa laitteessa. Lähetin lähettää valoa, joka on näkyvää tai infrapunavaloa. Vastaanotin tarkkailee lähetetyn valon määrää, joten tunnistus tapahtuu valon määrän vaihteluiden perusteella. (Keyence 2019, 4–6.)

3.2.1 Vastakkaiset

Vastakkaisantureissa eli lähetin vastaanottopari-tyyppisissä antureissa lähetin lähettää valosäteen vastaanottimelle. Valosäteen eteen tuleva kappale estää valosäteen pääsyn vastaanottimelle, jolloin tunnistus tapahtuu (kuvio 1).



Kuvio 1. Lähetin ja vastaanottopari (Keyence 2019, 4)

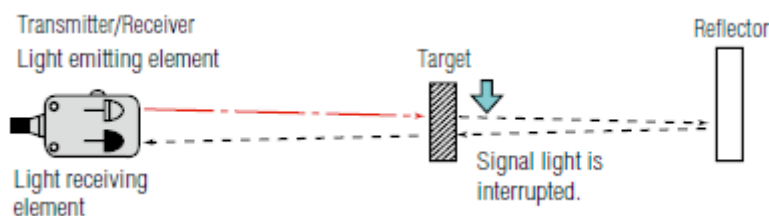
Valonsäteen lähettäminen vastaanottimelle mahdollistaa pitkän kantaman. Tekniikka sietää hyvin ulkoisia häiriötekijöitä, kuten ilmassa olevaa pölyä tai ”saastetta”, mutta läpinäkyvien

kohteiden tunnistaminen saattaa olla hankalaa vastaanottimen herkkyyden vuoksi. (Rockwell Automation 2017, 41, 43.)

Lähetin ja vastaanottopari -tyypin anturit vaativat enemmän tilaa kuin muut vaihtoehdot erillisen vastaanottimen vuoksi. Tästä syystä täytyy molemmille osille järjestää sähkön syöttö kaapeleilla jotka vievät myös tilaa ja vaativat suunnittelua.

3.2.2 Retroheijastava

Retroheijastavassa anturissa lähetin lähettää valosäteen, joka palautuu vastapuolelle asennetusta peilistä takaisin laitteessa olevaan vastaanottimeen. Tunnistus tapahtuu, kun kappale tulee valosäteen eteen estäen valosäteen kulun peilin kautta vastaanottimeen (kuvio 2). Tekniikka soveltuu läpinäkymättömien kappaleiden tunnistamiseen.

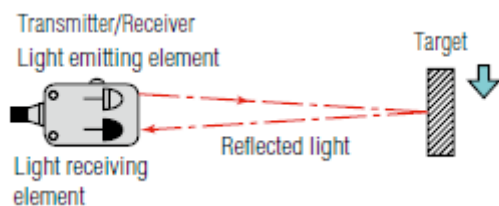


Kuvio 2. Retroheijastava (Keyence 2019, 4)

Toimintaperiaate on lähes samanlainen kuin vastakkaistyyppissä, mutta peili toimii ylimääräisenä etappina valosäteelle. Tekniikka voidaan hyödyntää, kun käytössä on rajallinen tila, sillä peili vie vähemmän tilaa kuin vastaanotin. (Keyence 2019, 4–6.) Anturin johdotus on helpompi toteuttaa kuin vastakkaistyyppin antureissa, mutta peili vaatii silti kiinnityksen mekaanisesti.

3.2.3 Heijastava

Heijastavassa anturissa lähetin lähettää valosäteen lähietäisyydellä olevaa kappaletta kohti. Valosäde palautuu kappaleesta takaisin vastaanottimelle (kuvio 3).



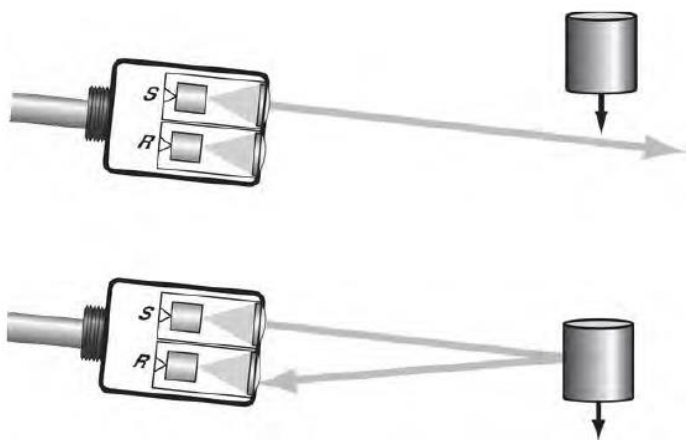
Kuvio 3. Heijastava (Keyence 2019, 4)

Tekniikka eroaa aikaisemmista niin, että kappale ei missään vaiheessa katkaise valosädettä. Se mahdollistaa anturin käyttämisen paikoissa, joihin vastaanottimen tai peilin asentaminen on vaikeaa. (Rockwell Automation 2017, 49.)

Koska tekniikka käyttää kappaletta valosäteen palauttamiseen, vaikuttaa kappaleen heijastavuus, kulma ja etäisyys anturin toimintaan. Heikkouksien vaikutusta on kuitenkin mahdollista vähentää erilaisilla alikonfiguraatioilla, jotka ovat sopivia erilaisiin tunnistustarkoituksiin. Nykyinen kamerateknologia mahdollistaa kappaleen tunnistamisen entistä tarkemmin ja mahdollistaa etäisyyden mittaamisen. Heijastavat anturit on jaettu neljään kategoriaan, jotka ovat: diffuusio, divergentti, konvergentti ja vakioetäisyysanturi.

Diffuusiotyyppi

Diffuusiotyyppin etäisyysanturissa lähetin lähettää valosäteen kohteeseen, josta pieni osa valosta palautuu takaisin vastaanottimelle (kuvio 4). Hyvin heijastavien ja mattapintaisten materiaalien tunnistaminen voi tällä teknologialla olla vaikeaa. (Rockwell Automation 2017, 49.)

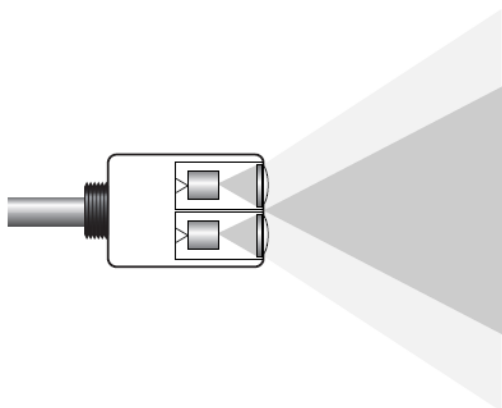


Kuvio 4. Diffuusiotyyppi (Rockwell Automation 2017, 49)

Anturin valosäteen saaminen kohtisuoraksi tunnistettavan kappaleen pintaa vasten on tärkeää mahdollisimman hyvän mittaustuloksen saavuttamiseksi, varsinkin heijastavilla kohteilla. Taustalla olevat kohteet saattavat häiritä kappaleen tunnistamista, ja ne on otettava huomioon. (Rockwell Automation 2017, 49.)

Divergenttityyppi

Divergenttityypin etäisyysantureissa ei luoda yhdensuuntaistettua valosädettä. Valoa lähetetään normaalin lampun tavoin kappaletta kohti (kuvio 5).

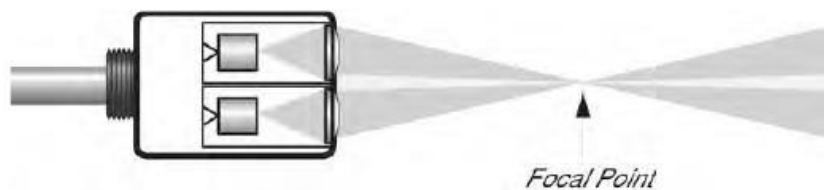


Kuvio 5. Divergenttityyppi (Rockwell Automation 2017, 52)

Anturin riippuvuutta kappaleen kulmasta ja heijastavuudesta saadaan vähennettyä, mutta se lyhentää tunnistusetäisyyttä. Tämä vähentää taustakohteiden häiriötunnistamista. Pienien ja kiiltävien kohteiden tunnistaminen on helpompaa laajan säteen ansiosta. (Rockwell Automation 2017, 52, 54.)

Konvergenttityyppi ja vakioetäisyysanturi

Konvergenttityypin anturi luo keskitetyn säteen. Säteellä luodaan keskitetty piste asetetulle etäisyydelle anturista. Vastaanotin viritetään tarkkailemaan keskitettyä pistettä määrittäen näin anturin optimimittausetäisyyden eli leikkauspisteen, joka nähdään kuviossa 6.

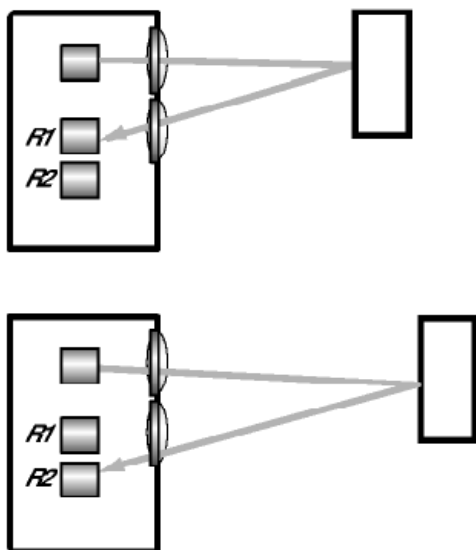


Kuvio 6. Konvergenttityyppi (Rockwell Automation 2017, 51)

Anturi saa parhaan mittaustuloksen kappaleista, jotka ovat optimietäisyydellä. Anturilla on myös näkökenttä, joka ulottuu ulos ja sisäänpäin leikkauspisteestä. (Rockwell Automation 2017, 51.)

Anturi pystyy tunnistamaan kappaleen leikkauspisteessä sekä osittain näkökentän alueella. Keskitetty piste mahdollistaa pienien tai huonosti heijastavien kohteiden tunnistuksen. Taustalla liikkuvat kohteet saattavat häiritä tunnistamista.

Vakioetäisyysanturilla on mahdollista luoda rajoja, joiden ulkopuolella tapahtuva liike ei häiritse tunnistamista. Anturissa on normaalista poiketen kaksi vastaanotinta, joiden välistä valoeroa anturi tarkkailee (kuvio 7).



Kuvio 7. Vakioetäisyysanturi (Rockwell Automation 2017, 51)

Jos kappale sijaitsee asetetun alueen sisällä, säde osuu R1-vastaanottimelle. Alueen ulkopuolella sijaitsevat kappaleet osuvat R2-vastaanottimelle, jonka tulokset eliminoidaan elektronisesti. (Rockwell Automation 2017, 51.)

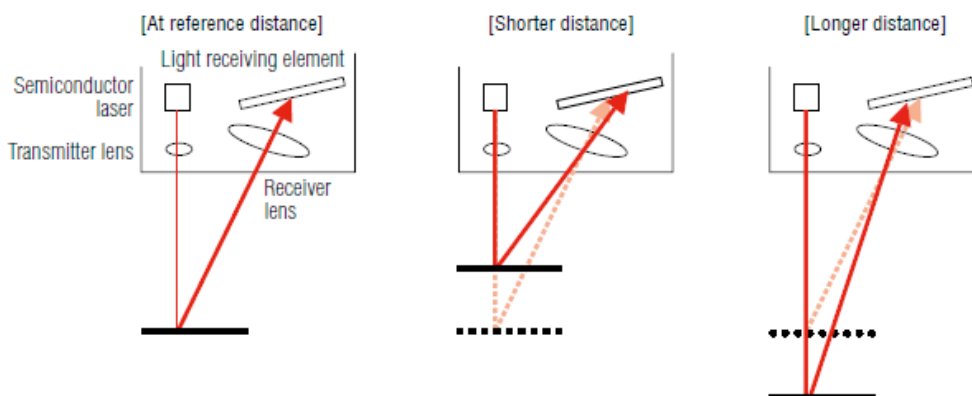
3.2.4 Etäisyyden ja paksuuden mittaaminen

Heijastavan tyyppin antureissa etäisyyden mittaaminen kappaleeseen on mahdollista käyttämällä kolmio- tai aikamittausta. Tutkimuksen teoriaosuudessa tutkittava laitteisto käyttää kolmiomittausta, joka hyödyntää vastaanottimessa olevan CMOS-tunnistusyksikön tekniikkaa.

CMOS-laitteistoa käytetään kamerateknologiassa. Käytännössä se on levy, jossa on valoherkkiä alueita (pikseleitä), jotka vastaanottavat saapuvan fotonin sähköisen varauksen. Tunnistus tapahtuu pikselikohtaisesti, joten sillä voidaan hyvin tarkasti määrittää saapuvan valon määrä.

Kolmiomittauksessa lähetin lähettää valosäteen kappaleeseen. Valo palautuu kappaleesta vastaanotinlinssiin, joka keskittää valosäteen pisteeseen CMOS-tunnistusyksiköllä. Paikka tunnistusyksiköllä määräytyy kuvion 8 mukaisesti kappaleen etäisyydestä anturiin, koska lähempänä olevat kappaleet luovat loivemman taivutuskulman valosäteelle. (Keyence 2019, 14.)

Aikamittauksessa lasketaan valon kulkema matka. Laskentaa varten tarvitaan valonnopeus ja matkaa käytetty aika.



Kuvio 8. Kolmiomittaus (Keyence 2019, 14)

Tunnistusyksikön ulostulosignaalinä on virtatieto 4...20 mA tai jännitetieto 0...10 V. Signaalialueet perustuvat standardiin. Virta- tai jännitetiedon jatkokäsittelyssä voidaan hyödyntää esimerkiksi logiikkaa tai tietokoneita.

Virta- ja jännitetieto tulee anturilta datana, joka hyödyntäminen vaatii skaalausta, eli arvon muuntamista. Anturin arvokäyrä on lineaarinen, eli anturin arvon noustessa, etäisyyden arvo nousee samassa suhteessa. Arvon pystyy laskemaan lineaarisella funktiolla (kaava 1).

$$f(x) = a + kx \quad (\text{Kaava 1})$$

jossa

a = vakio

k = kulmakerroin

x = muuttuja

Lineaarinen funktio voidaan näyttää kaavan 2 muodossa.

$$\text{anturin etäisyys kappaleeseen} = \text{vakio} + \text{kulmakerroin} * \text{virta tai jännitetieto} \quad (\text{Kaava 2})$$

Ensimmäiseksi lasketaan muuttuja x , joka on tässä tapauksessa alueelle 0...16 mA muunnettu virtatieto. Esimerkiksi anturilta tulee virtatietona kokonaisluku 900. Luku jaetaan vakioilla 100, jotta saadaan arvo alueelle 4...20 mA. Näin saadaan arvo, joka on 9,0 mA. Tästä vähennetään luku 4, jotta anturiarvo saataisiin alueelle 0...16, muodostetaan kaava 3.

$$\frac{900}{100} - 4 = 5 \text{ mA} \quad (\text{Kaava 3})$$

Kaava 3. Anturin virtatiedon muuntaminen

Kaavan 1 kulmakerroin k lasketaan mittausetäisyyden ja anturin virta-alueen suhteesta, joka nähdään kaavassa 4. Kulmakertoimen avulla voidaan laskea etäisyys, kun virta-arvo tiedetään. Opinnäytetyössä käytetyn anturin mittausetäisyys on 50 mm ja virta-alue on 16 mA.

$$k = \frac{50}{16} = 3,125 \quad (\text{Kaava 4})$$

Kaava 4. Kulmakerroin

Kaavan 1 vakio a on anturin mitta-alueen "kuollut alue", joka on 30 mm. Tämä täytyy lisätä arvoon, jotta anturin oikea etäisyys kappaleesta saadaan laskettua. Ilman vakion lisäystä anturi antaa etäisyydeksi 0 mm, vaikka kappale on oikeasti 30 mm päässä. Luvuilla muodostetaan kaava 5.

$$\text{lopullinen etäisyys} = 30 \text{ mm} + 3,125 * 5 = 45,625 \text{ mm} \quad (\text{Kaava 5})$$

Molemmille antureille suoritetaan sama laskenta, josta saadaan Anturi A tulos ja Anturi B tulos

Paksuuden mittausta tapahtuu kahden toisistaan vakioetäisyydelle asetetun anturin avulla. Anturit sijoitetaan vaneriviilun molemmille puolille ja mittaavat etäisyyttä viiluun. Koska anturien keskinäinen etäisyys tiedetään, voidaan tuloksia hyödyntämällä laskea levyn paksuus (Kaava 6).

$$\text{paksuus} = \text{keskinäinen etäisyys} - \text{anturi a tulos} + \text{anturi b tulos} \quad (\text{Kaava 6})$$

3.3 Analysointitekniikka

Anturilta tulee logiikalle dataa, joka on suodattamatonta. Tuloksien suodattaminen on tärkeää, sillä datan mukana voi olla paksuuden mittausta väärentäviä tuloksia, jotka voivat antaa tulokseksi normaalista moninkertaisen arvon. Väärentävät tulokset voivat johtua häiriötekijöistä, joita ovat esimerkiksi kappaleen vaihtuminen, pintavirheet, karheus ja reiät.

Suodattaminen on mahdollista tehdä luomalla mitattavan kappaleen paksuudelle ”toleranssialueen”. Esimerkiksi jos kappaleen paksuus on 1,5 mm ja ”toleranssialue” on $\pm 0,2$ mm, tarkoittaa se 1,3–1,7 mm hyväksyttävää mittausaluetta. Alueen ulkopuolelle jääneet arvot suodatetaan pois laskennoista. Optimaalinen suodatustapa pyritään selvittämään tutkimuksessa.

Mittaustulosten analysoinnissa käytetään tilastomatematiikka, joka mahdollistaa arvojen vertailun tieteellisesti. Tuloksista otetaan keskiarvo, mediaani ja keskihajonta. Mediaania ja keskiarvoa voidaan käyttää suhteasteikolla, joten ne soveltuvat hyvin muuttujien välisten suhteiden analysointiin (Tampereen yliopisto 2018b). Jotta mittaustuloksia voitaisiin analysoida monipuolisesti, on hyvä ottaa tuloksista useita eri arvoja.

Keskiarvo saadaan summaamalla kaikki havaintoarvot yhteen ja jakamalla summan arvojen määrällä (kaava 7) (Tampereen yliopisto 2018b).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Kaava 7})$$

jossa

\bar{x} = keskiarvo

$\sum_{i=1}^n x_i$ = havaintojen summa

n = havaintojen määrä

Mediaani on keskiluku, joka on suuruusjärjestykseen lajitellun jakauman keskimäinen luku. Jos lukuja on parillinen määrä, mediaani on kahden keskimäisen luvun keskiarvo (Tampereen yliopisto 2018a; MAOL ry 2012, 52).

Keskihajonta, joka saadaan kaavasta 8, kuvaa sitä, miten kaukana yksittäiset muuttujat ovat keskimäärin tilaston keskiarvosta. (Tampereen yliopisto 2018a.)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Kaava 8})$$

Kun mittaustuloksista on saatu keskiluvut ja hajontaluvut, voidaan niiden vertailu aloittaa. Anturiarvojen tutkimisessa voidaan hyödyntää Pearsonin korrelaatiokerrointa ja regressioanalyysia.

Korrelaatiokertoimen laskemisessa käytetään kovarianssia, joka voidaan laskea kaavalla 9. Se esittää kahden muuttujan yhteisvaihtelua. (Tampereen yliopisto 2018c.)

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (\text{Kaava 9})$$

Kovarianssi ei yksistään sovi muuttujien välisten suhteiden selvittämiseen, sillä se antaa tietoa vain yhteyden suunnasta, ei voimakkuudesta (Tampereen yliopisto 2018c).

Pearsonin korrelaatiokertoimella, joka lasketaan kaavalla 10, saadaan selvitettyä kahden muuttujan suhdetta toisiinsa. Korrelaatiokerroin näyttää onko muuttujien välillä lineaarinen yhteys, eli yhden muuttujan arvon muuttuessa toisenkin muuttujan arvo joko kasvaa tai pienenee. Asteikko toimii välillä -1 ja 1, joka tarkoittaa sitä, että -1 on negatiivinen yhteys, eli muuttujan arvon noustessa, toisen arvo laskee. Korrelaatiokerroin 1 tarkoittaa positiivista yhteyttä, eli muuttujan arvon noustessa toisenkin muuttujan arvo nousee. Jos kerroin on 0, niin muuttujien välillä ei ole yhteyttä. (Tampereen yliopisto 2018c.)

$$r = \frac{\text{cov}(x,y)}{s_x s_y} \quad (\text{Kaava 10})$$

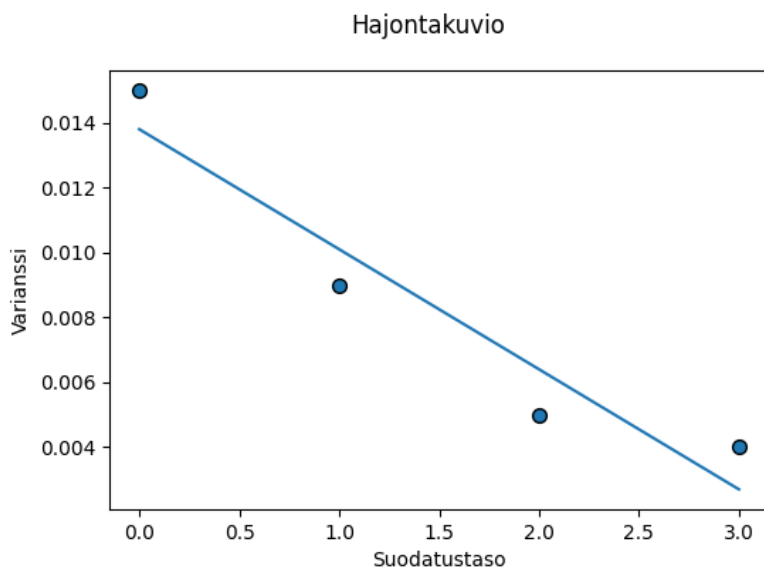
Regressioanalyysi toimii samalla periaatteella, mutta siitä saadaan regressiosuora, joka voidaan havainnollistaa kaavioon. Regressiosuoran yhtälöstä nähdään muuttujien välisen yhteyden suunta ja voimakkuus. (Tampereen yliopisto 2018d.)

Regressiosuora esitetään kaavalla 11. Se muodostetaan hajontakuviioon hyödyntäen muuttujien arvoja.

$$Y = a + bX + \epsilon \quad (\text{Kaava 11})$$

Regressiosuoran yhtälö on muuten sama kuin suoran yhtälö, mutta siihen on merkitty epävarmuutta kuvaava muuttuja epsilon. Käytännössä epsilona ei käytetä kaavassa, mutta se muistuttaa, että tuloksia ei saa pitää absoluuttisina.

Esimerkki hajontakuviosta nähdään kuvioista 9, jossa tutkitaan suodatustason vaikutusta varianssiin.



Kuvio 9. Hajontakuvio ja regressiosuora

Kuviosta nähdään, että yhteys on negatiivinen, eli suodatustason kasvaessa varianssi pienenee. Tuloksia tuleekin käyttää suuntaa antavina, eikä niillä pysty ennustamaan arvojen muutoksia tarkasti. Kuvioista voidaan arvioida häiriötekijän vaikutusta mittaustuloksiin.

3.4 Muita hyödynnettäviä tekniikoita

Paksuuden mittausta voidaan mahdollisesti tehdä myös ultraäänellä. Tekniikan perusperiaate on samanlainen kuin lasermittauksessa, mutta valon sijasta kappaleesta palautuu takaisin ääniaaltoja. Etäisyys pystytään laskemaan takaisin palautuneen ääniaallon matkaan käyttämän ajan avulla.

Ultraäänimittaus on kosketukseton mittaustapa, jota käytetään laajemmin esim. laivarakenteiden, putkien, pinnoitteen ja seinäpaksuuksien mittauksessa. Puuhun liittyvät mittaukset keskittyvät enemmän pinnoitteen paksuuden mittaukseen. Tavanomaiset ultraäänimittarit eivät sovi puun paksuuden mittaamiseen puun ominaisuuksien vuoksi. Suurin osa ultraäänimittareista on käsikäyttöisiä mittareita, jotka vaativat kosketuksen kappaleeseen. Linjastolle sijoitettavia laitteita on, mutta ne vaativat väliaineen, esimerkiksi vettä, jonka avulla aalto keskitetään. (Olympus 2021, 5.)

4 Tutkimuksen suunnittelu

4.1 Kokonaiskuva

Soveltuvuuden vertailupiste on manuaalinen mittaus, joten selvittävänä on miten lähelle anturin tarkkuus saadaan manuaalista mittausta. Manuaalisessa mittauksessa häiriötekijät eliminoituvat, mutta tehdasympäristössä mittauksen tarkkuuteen negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä on monia. Testauksella selvitetään, miten anturien asetukset tai muut häiriötekijät vaikuttavat tuloksiin, ja miten niitä voidaan suodattaa parhaan tarkkuuden varmistamiseksi. Kun arvot on saatu mahdollisimman tarkaksi, niitä voidaan verrata manuaaliseen mittaukseen.

4.1.1 Testaustapa

Paksuuden mittauksessa käytetään kahta anturia, jotka mittaavat kappaleen ylä- ja alapuolelta. Testauksessa vain yhden muuttujan arvoa muutetaan kerrallaan. Esimerkiksi toteutetaan viisi mittausta samalla tarkkuudella, materiaalilla ja tärinällä, ainoastaan kappaleen liikenopeutta muutetaan. Mittauksista lasketaan keskiarvo, mediaani ja hajonta, jonka jälkeen niitä verrataan toisiinsa. Arvo, esimerkiksi keskiarvo asetetaan käyrän x-akselille ja muuttuja, esimerkiksi nopeus asetetaan käyrän y-akselille. Korrelaatiokertoimen ja regressiosuoran avulla saadaan kuva anturin asetusten ja häiriötekijöiden vaikutuksesta tarkkuuteen. Tuloksia tarkastellaan eri suodatusvaihtoehtojen kanssa ja pyritään määrittämään niistä paras vaihtoehto.

4.1.2 Mittaukseen vaikuttavat tekijät

Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä on lukuisia, joten niiden listaaminen on testauksen onnistumisen kannalta tärkeää. Tekijät on kategorisoitu niiden tutkimisen vaikeustason mukaan.

Helposti testattavat tekijät

Helposti testattavien tekijöiden voimakkuutta voidaan säätää lineaarisella arvolla, eikä testikapaleita tarvitse muokata. Näitä tekijöitä ovat:

- linjaston nopeus
- anturin suodatusvaihtoehdot
- arvojen suodattaminen tietokoneella
- samojen asetusten mittausvarianssi.

Liikenopeutta pystytään säätämään testilaitteiston moottorilla. Nopeus voidaan asettaa halutuille väleille, rajoituksena tulee huomioida moottorin minimi- ja maksiminopeudet.

Anturin suodatusvaihtoehtoja on neljä: suodattamaton ja kolme suodatustasoa kasvavalla voimakkuudella. Suodatustasoa voidaan säätää anturin asetuksista.

Arvoja pystytään suodattamaan myös tietokoneella, jossa suodatuksen tasoa pystytään hallitsemaan muuttujilla. Samojen asetusten mittavarianssi testataan mittaamalla samaa kappaletta samoilla asetuksilla tarkastellen mittauksen staattista hajontaa.

Keskivaikeat tekijät

Keskivaikeat tekijät vaativat testikappaleen muokkaamista tai vaihtamista ja niiden voimakkuus ei välttämättä ole täysin lineaarinen. Näihin kuuluvat:

- puun hienovaraiset pintavirheet
- sorvin aiheuttamat vauriot
- puun käppyräisyys
- reikäisyys ja pinnankarheus.

Puun pintavirheitä voidaan tehdä esimerkiksi työkaluilla. Tämä vaatii useita eri testikappaleita, joissa on eriasteisia vaurioita. Vaurion aste voidaan määrittellä esimerkiksi määrällä. Reikäisyys ja pinnankarheus voidaan myös tutkia samalla tavalla.

Sorvin aiheuttamien vaurioiden tutkiminen vaatii myös eriasteisia vaurioita sisältäviä kappaleita. Sorvivaurioiden tuottaminen laboratoriossa on hankalaa. Puun käppyräisyys voidaan määrittellä silmämääräisesti eri voimakkuusasteille.

Vaikeat tekijät

Vaikeasti testattavat tekijöiden vaikutus on käytössä olevalla testilaitteistolla erittäin vaikeaa. Tekijän vaikutuksen simuloiminen vaatii uudenlaisen systeemin tai sen voimakkuus on vaikea määrittää.

Vaikeita tekijöitä ovat:

- värinän vaikutus
- puun kosteus
- puun pehmeys
- puun syiden vaikutus
- säteen absorboituminen puuhun
- ilmassa olevan pölyn tai roskan vaikutus.

Tärinän simuloiminen vaatii systeemin, joka aiheuttaa antureihin ja laitteistoon tärinää. Maanalaaisesti toteutetun tärinän voimakkuutta ei pystytä säätämään tarpeeksi tarkasti, joten tuloksien tarkkuus kärsii.

Puun kosteus on hankala tekijä määrittää, sillä se vaihtelee jatkuvasti ja vaikuttaa muihin puun ominaisuuksiin, kuten pehmeeseen. Säteen absorboituminen on myös sidoksissa puun muihin ominaisuuksiin, joten sen yksittäisvaikutusta on hankala mitata. Ilmassa olevan pölyn tai roskan vaikutusta on vaikea tuottaa testausympäristössä.

4.2 Testausympäristö

Kun selvitetään häiriötekijöiden vaikutusta ja suodattamista, täytyy testiympäristö rakentaa niin, että häiriötekijät voidaan "eristää". Hyvin kontrolloidussa ympäristössä sinne kuulumatomat häiriötekijät on eliminoitu. Mittaustulosten luotettavuus on tärkeää, joten testiympäristössä tarkkaillaan tulosten yhdenmukaisuutta.

4.2.1 Testausympäristöltä vaadittavat ominaisuudet

Kappaleet liikkuvat linjastolla jopa 90 metriä minuutissa aiheuttaen vaatimuksia mittauksen ja analysoinnin nopeudelle. Testilaitteistolla tehdasnopeuden simulointi voi olla hankalaa.

Anturi tuottaa maksimissaan 1500 mittausta sekunnissa eli kahden mittauksen aikaväli on noin 666 mikrosekuntia. Ison datamäärän käsittelyminen lyhyessä ajassa voi olla haastavaa pienimmille logiikoille. Suurien datamäärien käsittelyyn soveltuva edistysellinen logiikka saattaa olla tarpeellinen, jos mittausten määrä ja mittaustiheys suuri.

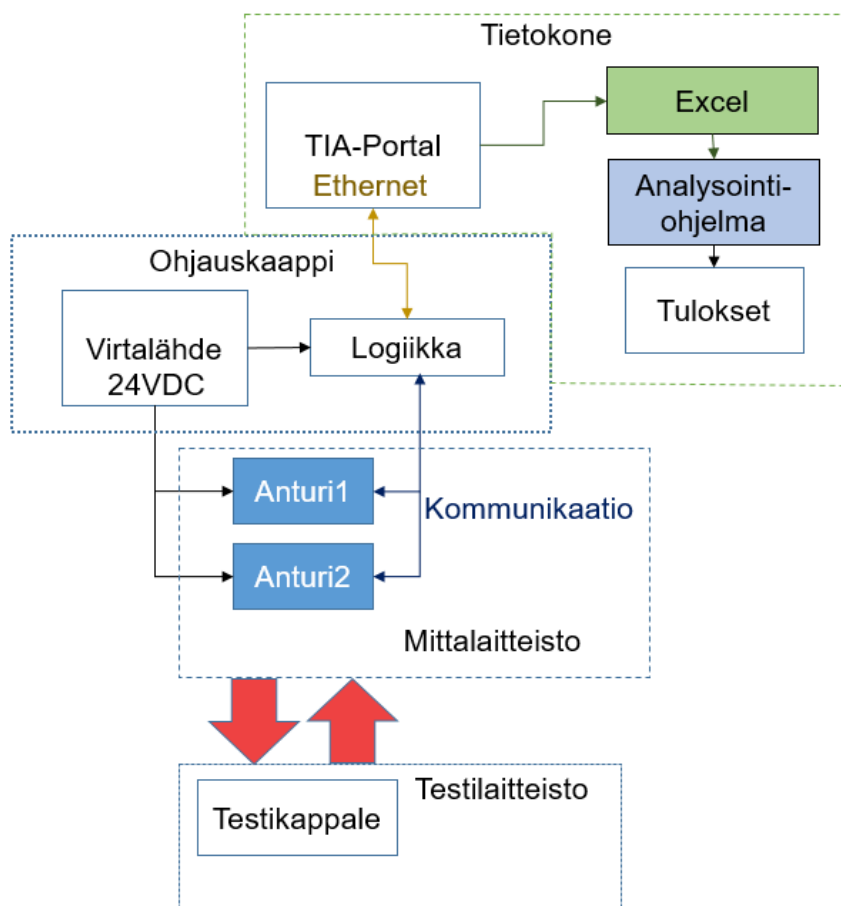
Testikappaleen liikuttaminen olisi hyvä tehdä niin, että liike on aina testikappaleen samasta kohdasta. Kun mittauskohta on aina sama, pitäisi tuloksissa näkyä vain häiriöiden vaikutukset.

4.2.2 Testiympäristön osat

Testausympäristö koostuu neljästä eri osasta:

- Mittalaitteisto, joka sisältää anturit ja kiinnitysrungon.
- Testilaitteisto, jolla simuloidaan kappaleen liikettä hihnalla.
- Ohjauskaappi ja logiikka, joka vastaanottaa antureilta tulevan datan ja lähettää sen eteenpäin tietokoneelle.
- Tietokone, jolla analysoidaan logiikalta vastaanotettu data.

Testilaitteiston toimintaperiaate on esitetty kuviossa 10. Onnistunut analysointi vaatii neljän osa-alueen yhteistoimintaa, joten tärkeää on, että testausympäristön kasaamisessa virheet minimoidaan. Pienet virheet voivat aiheuttaa vaikeasti havaittavia ja normaalin mittatulokseen kuulumattomia vääristymiä. Esimerkiksi logiikan väärällä syklinopeudella voidaan menettää anturilta tulevaa mittadataa.



Kuvio 10. Testausjärjestelmän toimintakuvi

Virtalähde antaa virran logiikalle ja antureille. Anturit mittaavat arvon testikappaleesta, jonka logiikka vastaanottaa. Logiikka on kytketty ethernet-kommunikoinnin avulla tietokoneeseen, jossa on TIA-portal ohjelmisto. TIA-portalista arvot siirretään Exceliin ja sieltä analysointiohjelmaan.

5 LAITTEISTO JA OHJELMISTO

5.1 Anturit

Testauksessa käytetään Wenglor CP08MHT80 (kuva 4) anturia. Anturin syöttöjännite on 18...32 V DC.



Kuva 4. CP08MHT80 (Wenglor)

Anturi on varustettu lähettimellä ja vastaanottimella. Vastaanotin mittaa etäisyyttä kappaleeseen siitä palautuneen valosäteen tulokulmaa hyödyntäen. Anturin toimintaetäisyys on 30...80 mm ja mittausetäisyys on 50 mm.

Vastaanottimessa sijaitsee CMOS-linja, jonka resoluutio on 8 μ m tai 12 μ m anturin asetuksista riippuen. Resoluutio viittaa valoherkän pikselin kokoon, joka vaikuttaa suoraan mitaustarkkuuteen. Asetuksissa on kaksi eri nopeustoimintoa resolution ja speed.

Resoluutio-tilassa anturilla on hitaampi vasteaika, 1660 μ s, Se tuottaa 600 mittaustulosta sekunnissa, mutta toimii tarkemmalla resoluutiolla, 8 μ m. Speed-tilassa anturilla on nopea vasteaika, 660 μ s, ja se tuottaa enemmän mittaustuloksia, 1500 mittausta sekunnissa 12 μ m resoluutiolla.

Anturissa on sisäänrakennettu arvojen suodatusominaisuus. Suodattamattoman signaalin lisäksi mahdollisuutena on valita suodatustaso yhdestä kolmeen. Suodatustasot hallitsevat signaalin ylä- ja alarajoja.

CMOS-linjan mittaama signaali saadaan ulos analogisena virta- tai jännitetietona. Tämä on mahdollista valita anturin asetuksista. Jännitetietona toimii alue 0...10 V ja virtatietona 4...20 A. Anturi on varustettu M12 x 1; 8-pin liitännällä, joka on yhteensopiva RS-232-liitäntäkaapelin kanssa. Anturin tarkemmat tiedot on nähtävillä liitteessä 1.

5.2 Logiikka

PLC, eli Programmable Logic Controller tai logiikka, on eräänlainen pieni tietokone, joka vastaanottaa anturidataa siinä olevien tulojen kautta. Toimilaitteita ohjataan lähtöjen kautta. Logiikka suorittaa siihen ladatun logiikkaohjelman mukaisia prosesseja. Ohjelmointi tehdään visuaalisella ohjelmointikielellä. Logiikkoja käytetään laajasti automaatiotekniikassa, esimerkiksi tehtaassa prosessihallinnassa. (Polycase 2021)

Tutkimuksessa käytetään Siemensin logiikkaa Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/relay (kuva 5).



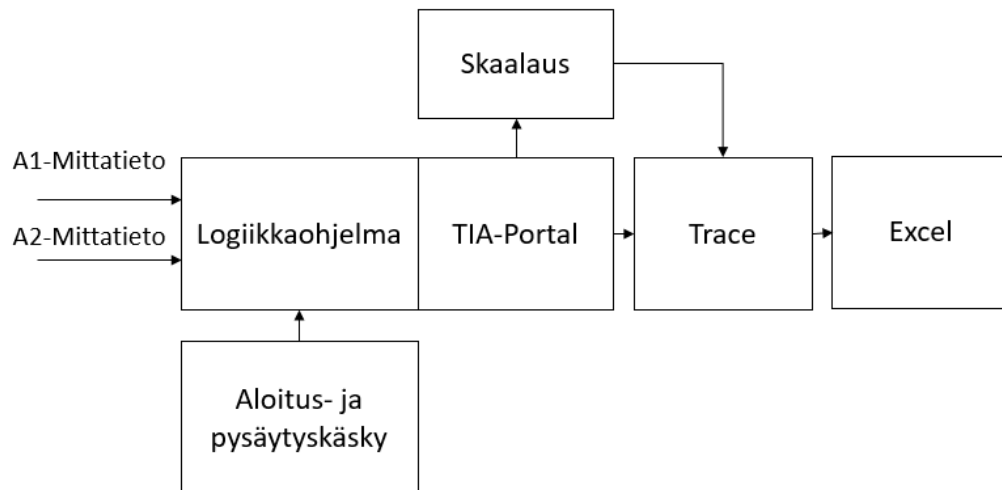
Kuva 5. Logiikka (Siemens)

PLC toimii 24 voltin tasajännitteellä ja vaatii toimiakseen virtalähteen. Siinä on kaksi analogiatuloa, joihin anturit kytketään. Analogiatulojen käsittelynopeus on 625 mikrosekuntia/kanaava, joten anturien speed-tilassa voi logiikan käsittelynopeus olla riittämätön.

5.2.1 Logiikkaohjelma

Logiikkaohjelman toimintaperiaate on kuvion 11 mukainen. Ohjelma ei ole monimutkainen, sillä logiikkaa käytetään vain anturidatan tallentamisessa Exceliin. Tehtaassa logiikalla olisi isompi rooli arvojen käsittelyssä, esimerkiksi skaalaamisessa tai suodattamisessa.

Logiikka lähettäisi anturidatan tietokoneelle, tiedon käsittelemiseen erikoistuneeseen ohjelmaan. Tutkimus käyttää suoraa yhteyttä, koska se on kätevin tapa saada mittatietoa jatkokäsittelyä varten.

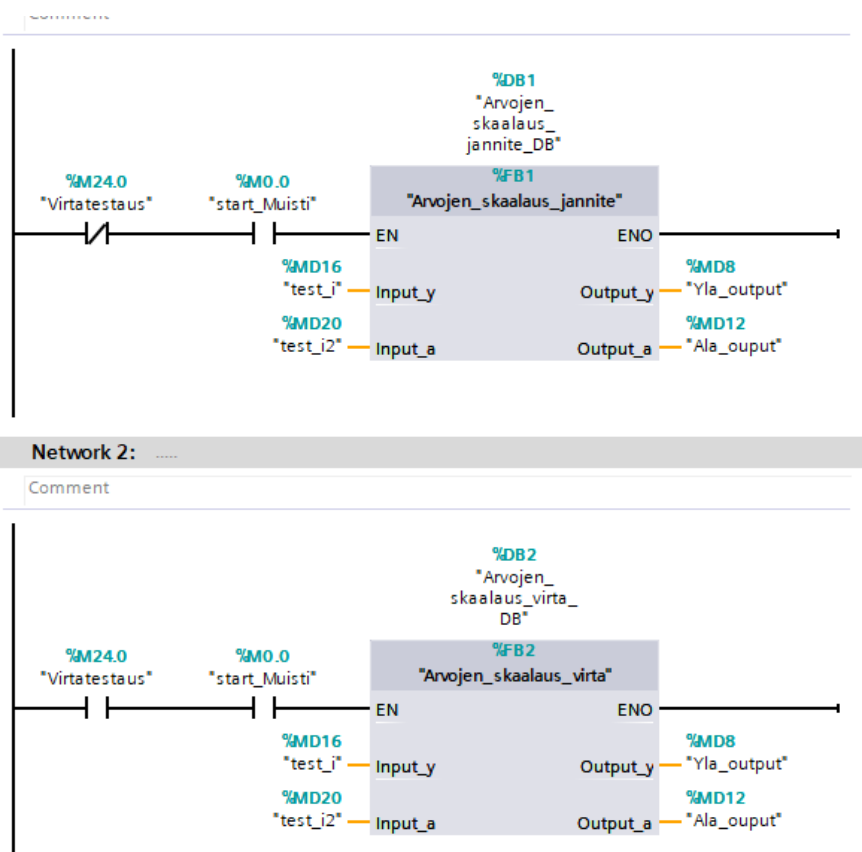


Kuvio 11. Logiikan toimintaperiaate

Logiikkaohjelma vaatii aloituskäskyn ja pysäytyskäskyn. Ne voidaan toteuttaa painonapeilla tai testilaitteiston output-signaaleilla. Ohjelmaan on lisätty mahdollisuus skaalata anturiarvoja.

Ohjelma on tehty niin, että anturitieto tulee analogiatuloihin, testilaitteisto aloittaa levyn pyörittämisen ja lähettää aloitus-signaalin. Kun logiikka saa signaalin, menee trace-toiminto päälle. Anturilla on kahdenlaiset nopeudet, joten niiden erojen testaus vaatii saman jäljitysajan. Anturin syklinopeus ei riitä anturin resoluutiomittaukseen, joten sykli ajoitetaan tallentamaan anturin joka kolmannen mittauksen. Tämä tarkoittaa sitä, että mittauksia tulee esimerkiksi sekunnissa kolme kertaa vähemmän mahdollistaen logiikan laskentanopeuden riittävyyden. Toiminto suoritetaan molemmille nopeusasetuksille, jotta tuloksia voitaisiin verrata. Laskenta-aika voidaan kolminkertaistaa saman tulosmäärän saavuttamiseksi.

Kuvasta 6 nähdään ohjelman skaalausfunktio, joka on tehty ladder-pohjaisella ohjelmoinnilla.

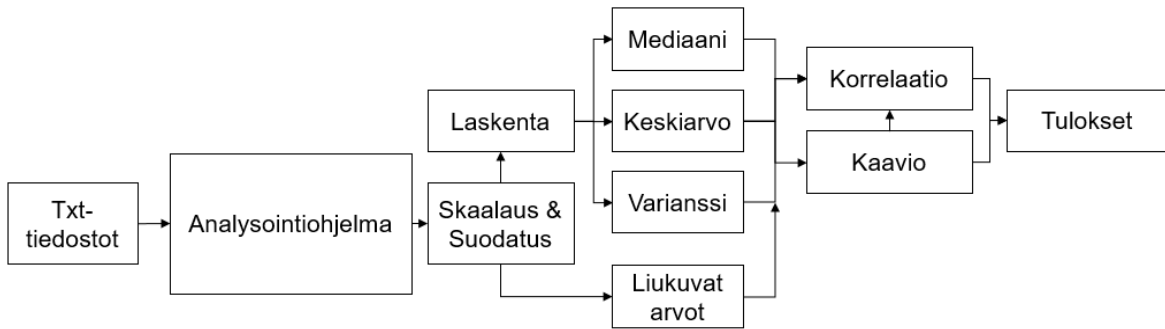


Kuva 6. Logiikkaohjelman skaalausfunktio

5.3 Analysointiohjelma

Tuloksien analysointia varten kehitettiin analysointi-ohjelma, joka käsittelee antureilta saatua dataa. Ohjelmalla voidaan tehdä toimenpiteitä, kuten skaalata ja suodattaa anturiarvoja. Lisäksi ohjelma laskee anturiarvoista tilastomatematiikkaa hyödyntäen arvoja, joiden avulla esimerkiksi häiriötekijöiden vaikutusta voidaan tutkia.

Ohjelma on tehty python-ohjelmointikielellä. Analysointiohjelma päädyttiin tekemään, koska anturiarvojen vertailu esimerkiksi Excel-ohjelmistolla on hankalaa ja työlästä. Ohjelma lukee mitta-arvot txt-tiedostosta, johon esimerkiksi Excel-tiedostot on mahdollista muuttaa. Ohjelman yleinen toimintaperiaate nähdään kuvioista 12.



Kuvio 12. Analysointiohjelman toimintaperiaate

Ohjelmalle annetaan tekstitiedostot, jotka on muutettu sarkainerotettuun tekstitiedostomuotoon Excelillä.

Molemmat anturiarvot ovat samassa tekstitiedostossa, joten ohjelma eristää ne omiin array-muuttujiin. Arvoihin siirretään skaalausoperaatiot, joista saadaan varsinainen etäisyys. Anturiarvoja ja keskinäistä etäisyyttä hyödyntämällä saadaan viulun paksuus. Kun paksuudet on saatu laskettua, voidaan niistä suodattaa pois arvoja, jotka ovat halutun alueen ulkopuolella.

Suodatetut arvot siirretään laskentafunktioon, jonka avulla voidaan tehdä monia tilastomaatemaattisia operaatioita, esimerkiksi: mediaani, keskiarvo ja varianssi. Ohjelmassa on ominaisuus, jolla voidaan laskea liukuvia arvoja, esimerkiksi liukuva keskiarvo, joka näyttää keskiarvon testikappaleen rajatulla alueella. Arvoista ja laskelmista pystytään tuottamaan havainnollistavat kaaviot, joista nähdään esimerkiksi arvojen muuttuminen. Ohjelmaan voidaan ladata useampi tekstitiedosto kerralla, joista voidaan laskea keskinäinen korrelaatio ja regressiosuora. Ohjelma tulostaa näytölle tilastollisten laskelmien tulokset, ja niiden kaaviokuvat.

Ohjelmassa on myös kokeellinen funktio, joka laskee anturien keskinäisen etäisyyden keskiarvon. Tämä saattaa auttaa äärinän vaikutuksen poistamisessa, mutta vaatii lisää tutkimista.

Analysointiohjelma on noin 250 riviä pitkä, se koostuu erilaisista aliohjelmista, jotka suorittavat sille ohjelmoidun tehtävän. Kuvassa 7 on osa lähdekoodia, ja siinä näkyy mm. arvokäsittelyfunktio.

```

File Edit Format View Help
    tulosArr.append(keskiArvoArr[i])
kaavio(tulosArr,0,len(tulosArr),"Liukuva Keskiarvo")

def mittaArvokasittelyJannite(ar):
    #Arrayn arvojen filerointi ja käsittely
    #palauttaa eri monta arrayta, mutta aF on filteroitu array
    ar = tiedTark(ar)
    #ar = tiedTark(ar)
    #muuttaa array arvot integereiksi
    ar = [int(x) for x in ar]
    #Jännitealue 0...10V
    ar = [(x/100) for x in ar]
    """"#KOODIN TESTAUS VIRTATIEDOLLA
    ar = [(x/100-4) for x in ar]
    ar = [(3.125)*x + 30 for x in ar]
    ar = [(x-30)/5) for x in ar]""""
    #Arvot kerrotaan kulkemertomella (Jännite) ja plussataan 30
    #Saadaan etäisyys välille 30-80 mm
    ar = [(5)*x + 30 for x in ar]
    #Anturien mediaanietäisyys lasketaan periaatteella:
    # a1Arvo + viulunPaksuus + a2Arvo = etäisyys
    #aEtäisyys = AnMediaaniEtäisyys(ar)
    #Otetaan parittomat arvot omaan arrayhyn, eristäen anturi 1 mittaukset
    a1 = ar[::2]
    #Otetaan Parilliset arvot omaan arrayhyn, eristäen anturi 2 mittaukset
    a2 = ar[1::2]
    #Muutetaan arrayt jatkokäsittelyä varten
    a1 = np.array(a1)
    a2 = np.array(a2)
    #Lasketaan kappaleen paksuus,
    #Paksuus = (Anturien keskinäinen etäisyys) - ((a1 arvo) + (a2 arvo))
    aC = abs(aEtäisyys-(a1+a2))
    #Filteroidaan paksuusarvot jotka menevät yli asetettujen rajojen
    #otetaan arvot jotka läpäisevät filterin uuteen arrayhyn aF
    aF = []
    for i in range(0,len(aC)):
        if aC[i] <= viiluPaksuus+toleranssiAlue and aC[i] >= viiluPaksuus-toleranssiAlue:
            aF.append(aC[i])
    return a1,a2,aC,aF

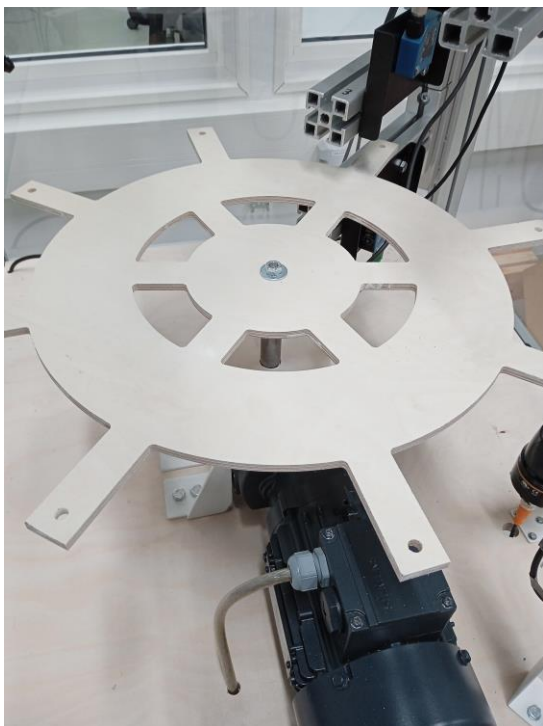
def calc(arr,kaavionimi):
    statsArr = []
    vertailuArr = []
    #Laskee annetusta arraysta statistista dataa.
    varianssi = round(statistics.pvariance(arr),3)
    mediaani = round(statistics.median(arr),3)
    geomKeskiarvo = round(statistics.geometric_mean(arr),3)
    harmKeskiarvo = round(statistics.harmonic_mean(arr),3)
    moodi = round(statistics.mode(arr),3)
    keskiarvo = round(statistics.mean(arr),3)
    medianLow = round(statistics.median_low(arr),3)
    medianHigh = round(statistics.median_high(arr),3)
    multiMode = statistics.multimode(arr)
    statsArr.append(kaavionimi)

```

Kuva 7. Analysointiohjelman lähdekoodia

5.4 Testilaitteisto

Oppilaitoksen olemassa olevaa laitetta (kuva 8) pystyi pienen muokkauksen jälkeen hyödyntämään viulun liikkeen simuloinnissa. Laitteisto toimii niin, että moottori pyörittää pysty-akselia. Akseliin kiinnitetään levy, joka toimii testikappaleiden kiinnitysraamina ja sen ulkokehällä on reiät johon pienet testikappaleet voidaan kiinnittää. Keskiakseliin voidaan myös kiinnittää yksi iso testikappale. Moottorilla pyöritetään levyä, jonka seurauksena testikappaleet pyöriivät. Pyörimisnopeutta voidaan säätää logiikalla.

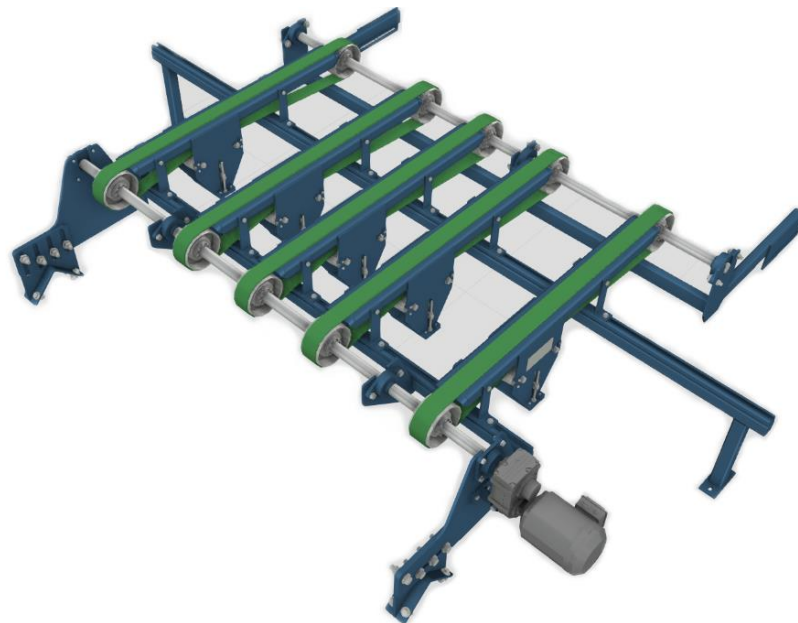


Kuva 8. Testilaitteisto

Mittalaite sijoitetaan testilaitteiston vierelle niin, että testikappaleet liikkuvat anturien välistä. Isot testikappaleet ovat pyöreitä, halkaisijaltaan noin 64 cm levyjä. Pienet testikappaleet ovat noin 15x15 cm levyjä.

5.5 Mittalaitteisto

Anturit on kiinnitetty viilun molemmille puolille ennalta määrätyn etäisyyden päähän, ja ne vaativat kiinnitysmekanismit. Jos anturien kiinnitys on yhdistetty linjastoon, saattaa niihin kohdistua värinää, joka voi heikentää mittaustarkkuutta. Mekaniikka ei saa estää muita linjaston toimintoja, ja anturien sijoitus on huomattavan lähellä liikkuvia kappaleita. Tehdasolosuhteessa kuljetusmekanismi on tehty useammasta pienestä hinnasta mahdollistaen mittauksen ylä- ja alapuolelta (kuva 9).

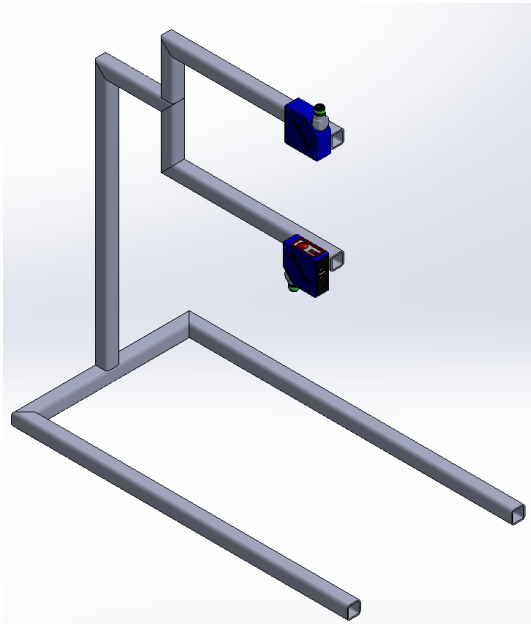


Kuva 9. Vanerinkuljetushihna

Antureiden kiinnitys on mahdollista toteuttaa kiinnitystelineellä, joka sijoittaa anturit kappaleen molemmille puolille. Anturit kiinnitetään mekaanisesti, sivussa olevista kiinnitysrei'istä. Antureiden paino ei aiheuta ongelmia rakenteellisen kestävyuden näkökulmasta, mutta telineen tulisi olla vakaa mahdollisen tärinän vuoksi. Telineen mittoja tulisi pystyä säätämään, helpottaen antureiden sijoittamista oikealle etäisyydelle. Tehdasolosuhteissa anturipareja on yhdessä mittayksikössä useita.

Testirungon Ideointi

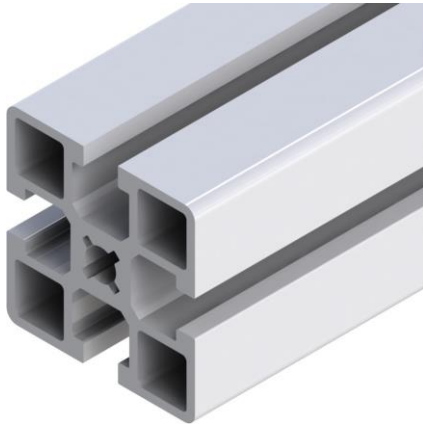
Rungosta suunniteltiin kuvan 10 mukainen konseptimalli. Mallissa on kaksi anturia, ja se on suunniteltu mittaamaan kappaleen ylä ja alapuolelta. Helposti siirrettävä ja pienikokoinen malli soveltuu hyvin testaukseen. Testikappale sijaitsee antureiden välissä. Konseptimallin runko on 20 x 20 x 2,0 mm putkipalkkia.



Kuva 10. Konseptimalli

Testirungon rakentaminen

Testirungon konseptia kehitettiin edelleen pajaolosuhteissa. Runkomateriaaliksi valittiin 45x45 mm alumiiniprofiili (kuva 11). Alumiiniprofiili on saatavana metritavarana, se on helpposti muokattavaa ja rungon rakentaminen on mahdollista ilman hitsausta. Profiilin päät on suunniteltu niin, että niihin on mahdollista tehdä M8 kierre. Rungon pystyy kasaamaan poraamalla pultille sopivat reiät rungon läpi ja kiinnittämällä toisen kappaleen pätyyn tehdyn kierteen avulla. Rungon etäisyyksiä on helppo säätää, hyödyntämällä profiilissa olevia kiskoja.



Kuva 11. Alumiiniprofiili(GreenLab)

Alumiiniprofiilin soveltaminen rungon rakentamiseen kehitti testilaitteen rakennetta (Kuva 12). Valmistavarasta leikattiin metallivannesahalla suunnitelman mukaiset osat. Runkopätkiin tehtiin pylväsporakoneella reiät ja päätyihin tehtiin kierteet. Testausrunko koostuu seitsemästä erilaisesta osasta, ja se voidaan jakaa kolmeen eri osaan: alaosa, keskiosa ja yläosa.

Alaosa koostuu kahdesta tukijalasta ja poikkituesta. Tukijalkojen päätyihin on tehty M8 kierteet. Poikkitukeen on porattu kolme läpireikää, kaksi tukijaloille ja yksi alapystypalkille. Läpireikien kautta palkit kiinnitetään toisiinsa M8 pulteilla hyödyntäen palkkien päätyjen kierteitä.

Keskiosa koostuu kahdesta pystypalkista. Pidempään alapystypalkkiin kiinnitetään ylempi pystypalkki. Ylempää pystypalkkiin on porattu läpireiät M8 pulteille. Läpireikien kautta yläpalkki kiinnitetään alapalkkiin niin, että mutteri tulee alapalkin kiskoon. Löysäämällä yläpalkin pulttien kiristystä on yläpalkin korkeutta pystyakselilla mahdollista säätää.



Kuva 12. Testirunko

Yläosa koostuu kahdesta t-palkista ja anturien kiinnityslevyistä. T-palkki koostuu kahdesta osasta, jotka on kiinnitetty toisiinsa hyödyntäen läpiporausta ja kierteistystä. T-palkit on kiinnitetty yläpystypalkin kiskoon läpiporauksella mahdollistaen etäisyyden säätämisen.

Anturien kiinnityslevyt on kiinnitetty t-palkkiin läpiporausta ja kiskoa hyödyntäen. Kiinnityslevyyn on porattu reiät anturien kiinnitystä varten. Reiät on sijoitettu levyn laitaan sijoittaen anturin noin 30 mm päähän kiinnityslevyn toisesta reunasta. Kiinnityslevyn reunat on taitettu jäykkyyden maksimoimiseksi.

6 TULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI

6.1 Mittaaminen

Ennen mittauksen aloittamista laitteistot, ja niiden kytkennät täytyy tarkastaa. Logiikkaohjelma täytyy testata ja hienosäätää toimintakuntoon. Anturien asetukset tarkastetaan ja ne asetetaan vastaamaan testattavaa tekijää. Kun kaikki laitteiston osat on testattu, testikappaleet valitaan. Kappaleen kiinnityksen jälkeen testaus voidaan aloittaa. Mittauksissa on käytetty isoja testikappaleita.

Logiikasta aloitetaan mittaus, joka käynnistää pyörimisen, ja tuloksien tallennuksen. Tallennus toimii määritellyn ajan, jonka jälkeen mittaustapahtuma loppuu. Mittaustulokset tallennetaan ja nimetään asianmukaisesti analysointia varten. Tallennetut tiedostot ovat Excel-tiedostoja, ja ne täytyy muuttaa tekstitiedostoksi, jota analysointiohjelma pystyy hyödyntämään.

6.1.1 Mittaustulokset

Tutkimukseen valittiin viisi laitteistolla testattavissa olevaa tekijää. Mittauksista karsittiin tekijät, joiden simuloiminen on haastavaa.

Mittauksissa otettiin maksimissaan 3200 mittausta kerrallaan. Mittauksissa pyrittiin simuloimaan tehdasolosuhteita ja erityisesti kappaleen liikenopeuden aiheuttamia rajoituksia.

Tuloksia suodatettiin analysointiohjelman omalla suodatuksella, jonka aste säädettiin paksuuden mukaan. Suodatuksen ylä- ja alarajat ovat 20 % oletetusta paksuudesta.

Mittaustuloksia on paljon, joten opinnäytetyössä näytetään muuttujien regressiokuviot, näistä voidaan nähdä muuttujien vaikutukset silmämääräisesti.

Paksuutta esittäviä mittauksia löytyy liitteestä 2.

Kuvioiden tulkitseminen

Kuvioiden selkeä tulkitseminen vaatii yhdenmukaisia sääntöjä. Kuvioissa y-akseli on aina viilun paksuus tai paksuudesta laskettava arvo, joka on aina millimetreissä. Näitä arvoja ovat:

- paksuus
- varianssi
- mediaani
- keskiarvo

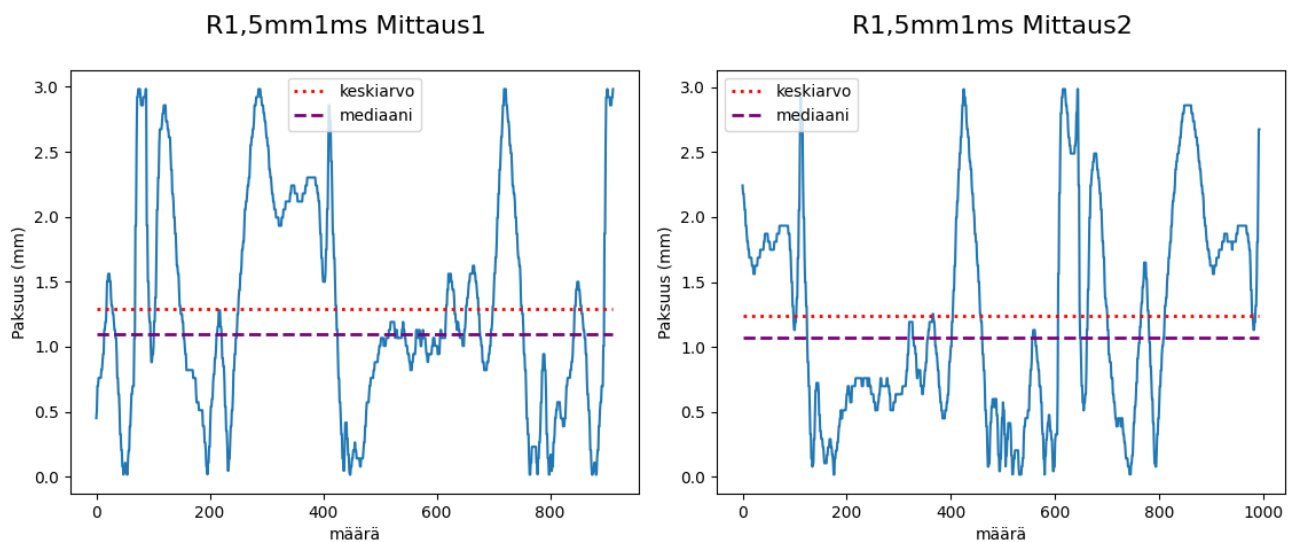
Kuvioissa x-akseli on otoksien määrä, joka suurenee aina vasemmalta oikealle. Paksuuden kaaviossa x-akselilla näkyy kaikki otokset. Suodattamattomassa määrä on suoraan anturin mittaamien otosten määrä. Suodatetussa kuviossa näytetään suodatuksen läpäisseiden otosten määrä.

Regressiokuviossa x-akselilla on häiriötekijä joka on mittausten muuttuja. Muuttujat on lisätty kaavioille voimakkuustason mukaan kasvavasti vasemmalta oikealle. Esimerkiksi paksuudet 1,5 mm 2,0 mm 3,2 mm. Muuttujia on rajallinen määrä, joten mittauksia on tehty yhtä muuttujaa kohden useampi. Tämä selitetään kaavioita edeltävässä tekstissä. Esimerkiksi paksuuksia on kolme ja jokaisella paksuudella on tehty kolme mittausta, eli muuttujia on siis yhdeksän kappaletta.

Regressiokuvioista ei tarvitse tulkita yksittäisiä arvoja, vaan kuvio näyttää kokonaisuuden muuttujan vaikutuksesta mittaustuloksiin.

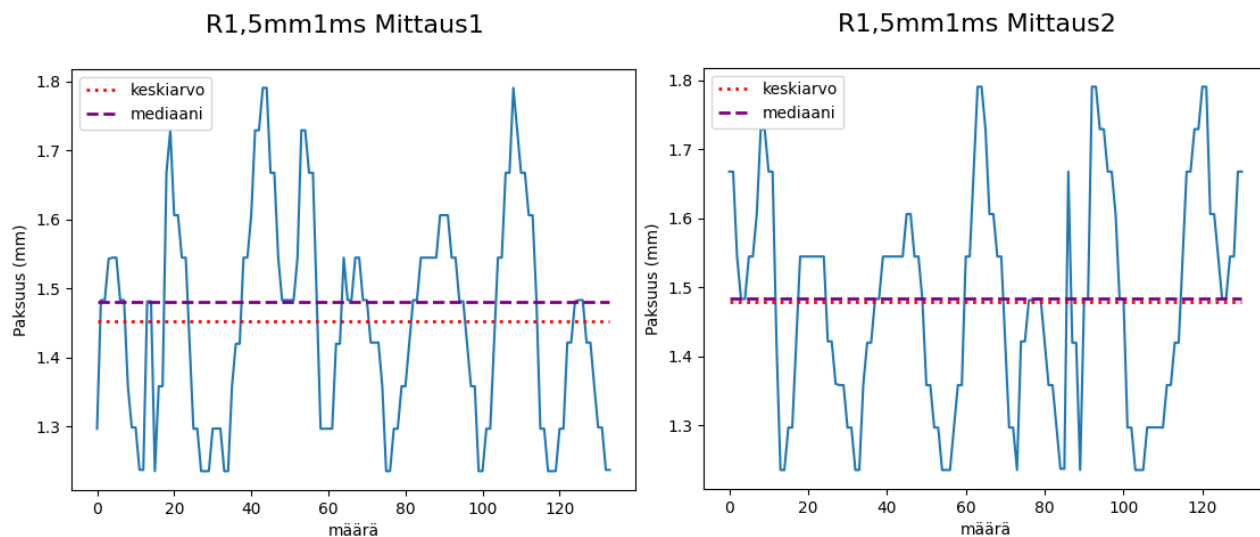
Vakiomittaukset ja analysointiohjelman suodatus

Vakiomittauksissa testataan anturien luontaista hajontaa vakioasetuksilla. Kuvioista 13 nähdään kahden mittauksen eroavaisuuksia suodattamattomana. Tuloksien keskiarvo ja mediaani ovat suodattamattomina huomattavan epätarkkoja, mutta mittauksissa ei ole huomattavia eroja varianssin suhteen.



Kuvio 13. Suodattamaton mittaustulos

Suodattaminen, joka nähdään kuviosta 14, pienentää eroja ja tarkentaa tuloksia huomattavasti. Arvojen suurin suodatus tulee analysointiohjelmasta. Riippuen suodatusasteesta, ohjelma voi karsia suurimman osa arvoista pois. Poistoaste voi kertoa epäsuorasti mittaukseen vaikuttavien häiriötekijöiden määrästä.

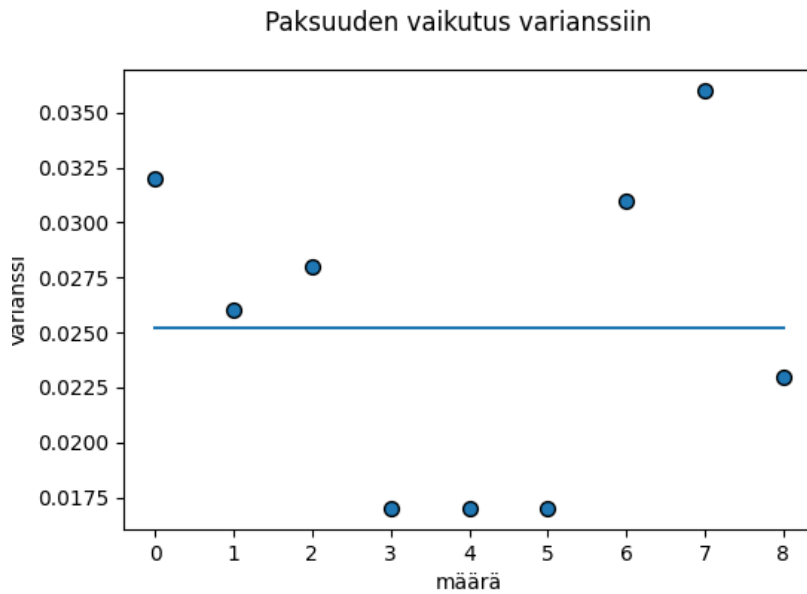


Kuvio 14. Suodatettu mittaustulos

Kahdessa samanlaisessa mittauksessa ei ole merkittäviä eroja toisiinsa nähden laskennallisesta näkökulmasta. Anturien vakiovirhe on aina huomioitava.

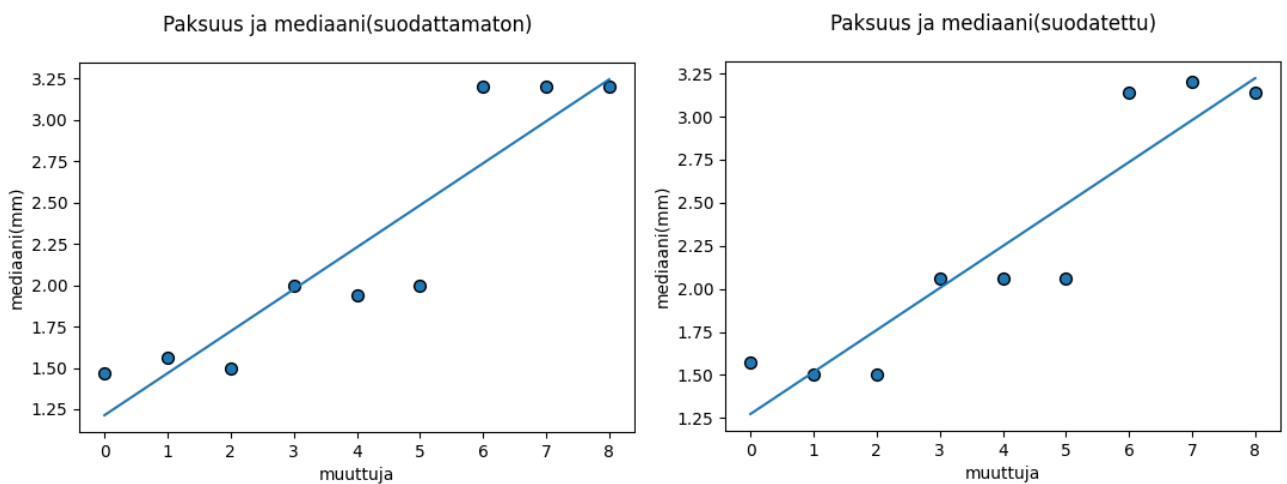
Viilun paksuus

Viilun paksuuden vaikutusta testattiin kolmella eri vaihtoehdolla; 1,5 mm, 2mm ja 3,2 mm viiluilla. Kuviosta 15 nähdään viilun paksuuden vaikutus mittaustulosten varianssiin, ja se näyttäisi olevan vähäistä. Suurimmat vaikutukset todennäköisesti katoavat suodatuksen aikana pois. Samalla paksuudella on tehty kolme laskentaa. Korrelaatiokerroin ja kulmakerroin ovat molemmat lähellä nollaa, joka viittaa vaikutuksen puuttumiseen.



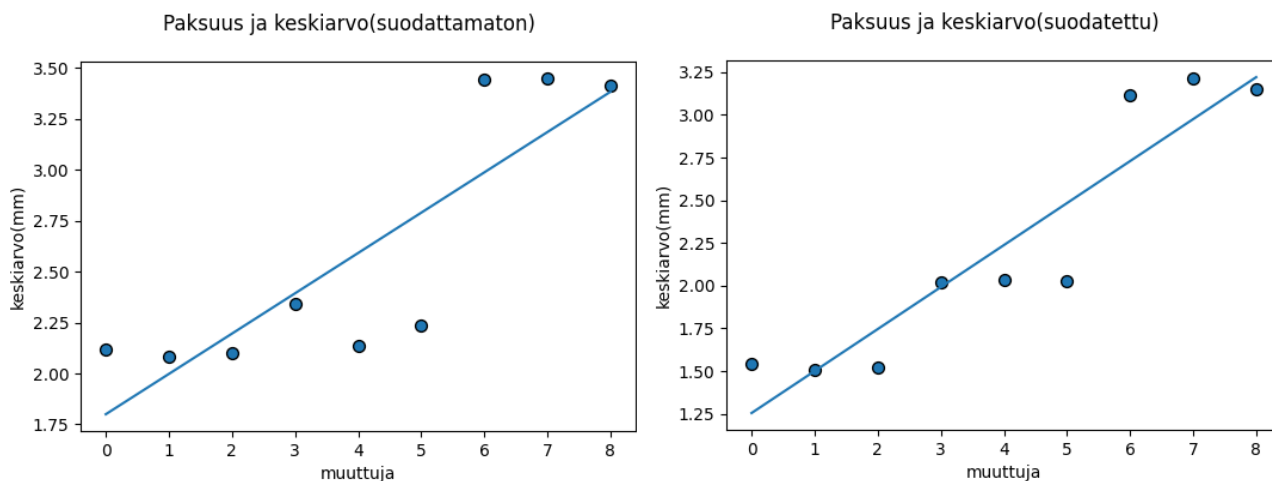
Kuvio 15. Paksuuden vaikutus varianssiin

Paksuuden vaikutus mediaaniasteikolla nähdään kuviosta 16. Mittauksessa käytettiin antureiden välistä mediaanietäisyyttä, jolla voidaan arvioida tarkka antureiden välinen etäisyys. Se saattaa pakottaa mediaanin tarkaksi, vaikka arvojen suodatus ei ole käytössä. Ilman mediaanietäisyyttä mittaukset muuttuvat epätarkoiksi, sillä anturien etäisyyden mittaaminen tarkasti testiympäristössä on erittäin vaikeaa.



Kuvio 16. Paksuus ja mediaani

Paksuuden vertailu näyttää, että mediaani ei ole täysin riippuvainen suodatuksesta. Arvot ovat jakautuneet hyvin omille paksuusalueille. Keskiarvolla, suodattamattomat arvot poikkeavat huomattavasti normaalista, mutta suodatuksen kanssa erot tasaantuvat. Paksuusmittauksen tuloksia on nähtävissä kuviossa 17.

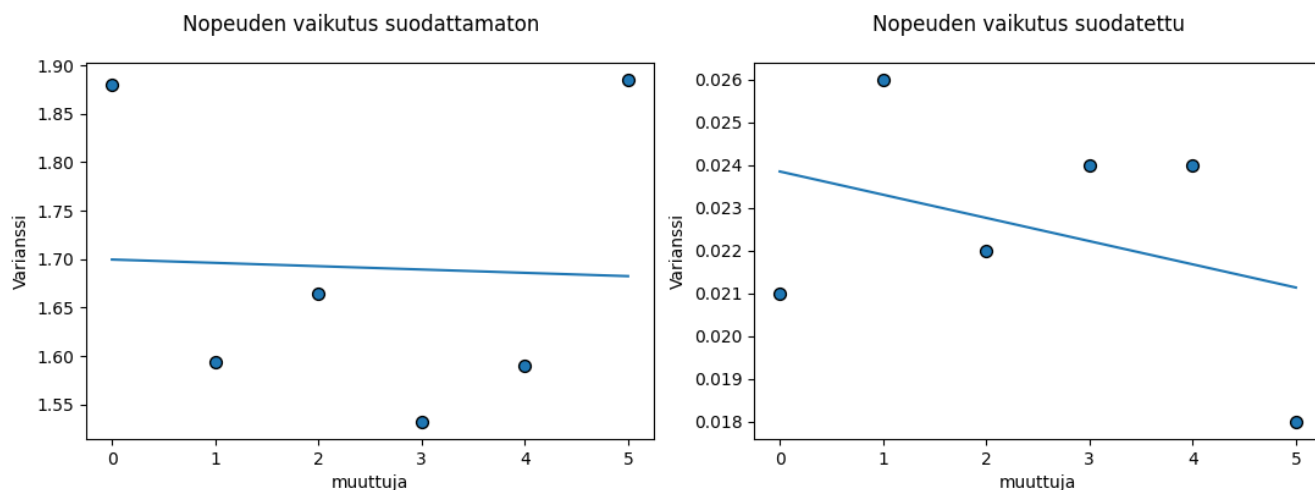


Kuvio 17. Paksuus ja keskiarvo

Paksuuden vaikutusta, ja siihen liittyvää lasersäteen absorboitumista täytyy tutkia suuremmilla kappalemäärillä tehdasolosuhteissa.

Nopeuden vaikutus

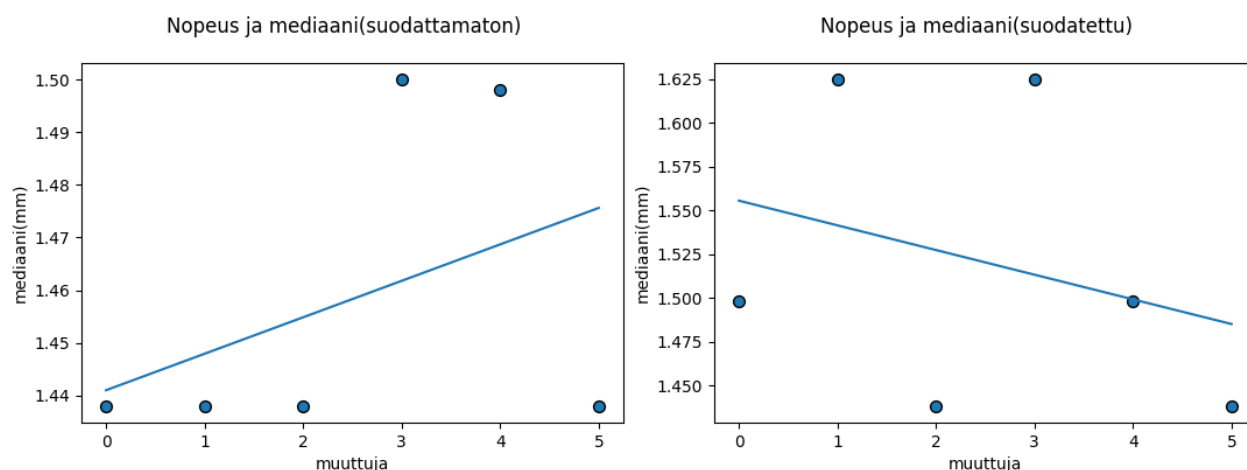
Nopeuden parametreiksi valittiin 1,5 m/s, 1,25 m/s ja 1 m/s. Kappaleista mitattiin useita tekijöitä eri nopeuksilla. Nopeus näyttää kuvion 18 perusteella vaikuttavan mittauksen varianssiin hieman, mutta merkittävää muutosta ei ole näkyvissä. Vertailussa on samasta nopeudesta kaksi eri mittausta eli kokonaisuudessaan 6 mittausta. Kuviossa muuttujan arvoilla 0-1 on nopeus 1 m/s, 2-3 on nopeus 1,25 m/s ja 4-5 on nopeus 1,5 m/s.



Kuvio 18. Nopeuden vaikutus varianssiin

Suodattamattomassa kuviossa nopeus ei näytä vaikuttavan valtavasti, joten korrelaatiokerroin on lähellä nollaa. Suodatettujen arvojen regressiosuora on kulmassa, mutta arvojen vaihtelu on keskittynyt hyvin pienelle alueelle.

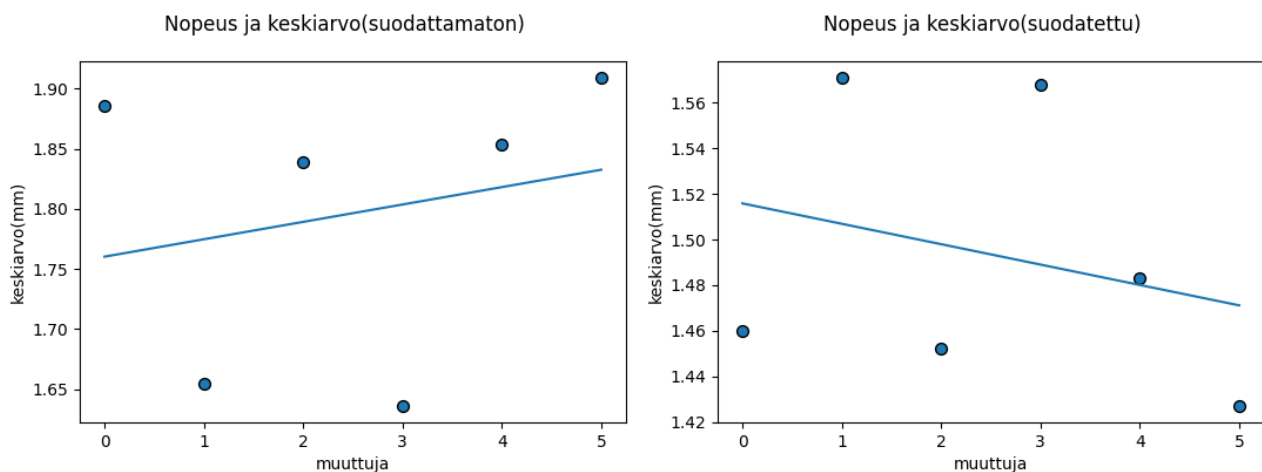
Mediaani on nähtävissä suodatettuna ja suodattamattomana kuviossa 19. Mediaanietäisyys vaikuttaa tarkkuuteen, mutta suodattamattomassa näkyy arvojen välinen variaatio paremmin.



Kuvio 19. Nopeus ja mediaani

Tuloksissa ei ole nähtävää riippuvuutta nopeuden suhteen. Tämä voi ilmaista sen, että pienilläkin määrällä arvoja voidaan paksuutta määrittää tarkasti.

Keskiarvo on nähtävissä kuviosta 20. Keskiarvo on suodattamattomana huomattavasti suurempaa, tämä voi viitata antureiden antavan yläkantillisia arvoja.

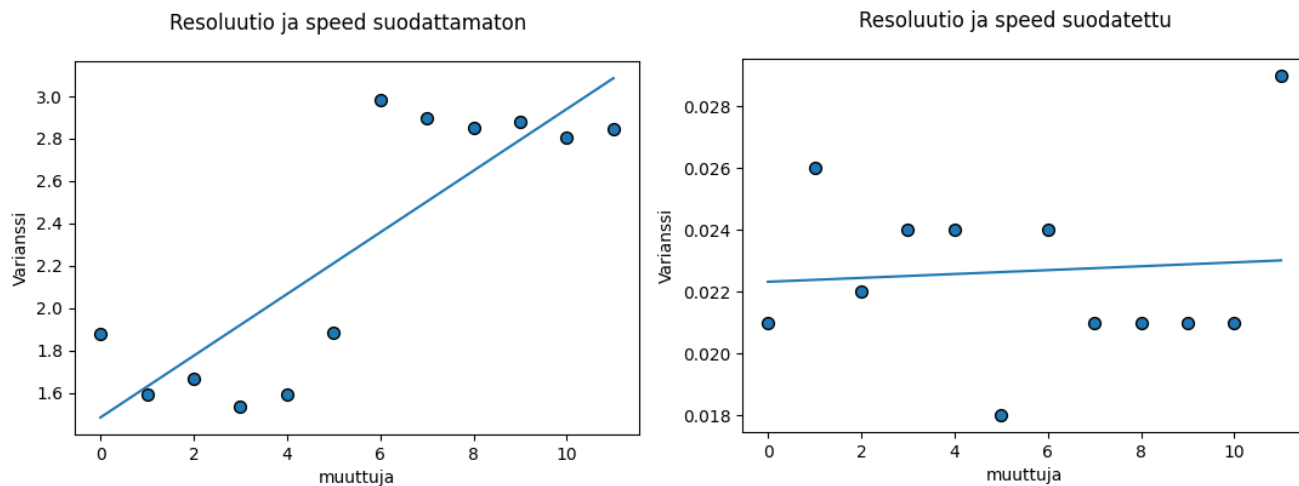


Kuvio 20. Nopeus ja keskiarvo

Pienemmällä nopeudella anturi pystyy mittaamaan kohdetta kauemmin. Suuremmalla mitattamäärällä taas saadaan enemmän tuloksia vertailuun.

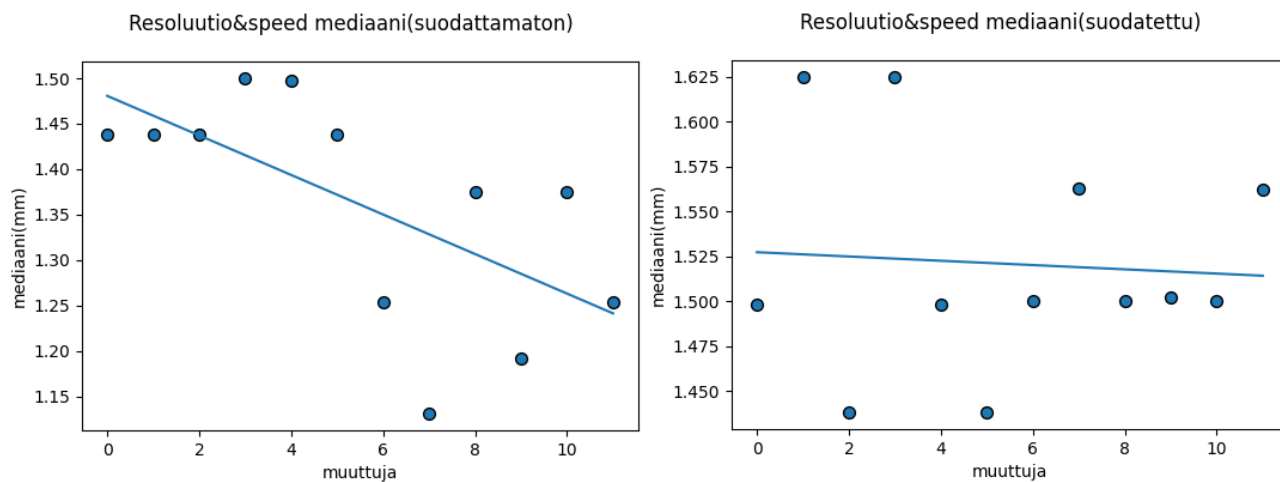
Anturien asetukset

Anturien resoluutio- ja nopeustilan vaikutus nähdään kuviossa 21, jossa on kuusi mittausta molemmilla tiloilla. Kuviossa resoluutiomittaukset ovat pisteet 0-5, ja speed-mittaukset ovat pisteet 6-11. Kuvioista nähdään selvästi, että suodattamattomissa tuloksissa speed-tilan varianssi on suurempaa. Korrelaatiokerroin on 0.83, joka viittaa vahvaan korrelaatioon. Vaikka speed-tila tuottaa enemmän mittauksia, se ei välttämättä tuo mittauksiin lisää tarkkuutta.



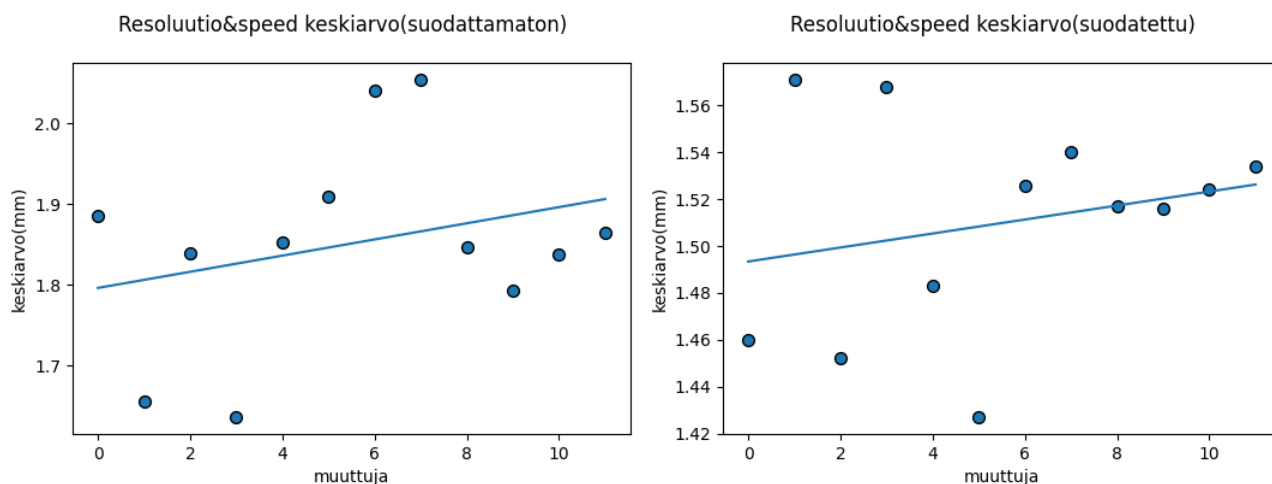
Kuvio 21. Resoluutio & speed varianssi

Analysointiohjelman toimiessa suodatuksen kanssa muuttujien vaikutus on huomattavasti pienempää, joten suodatus saattaa kompensoida arvojen hajontaa hieman. Tulokset medianin kanssa on nähtävissä kuviossa 22. Suodattamattomassa on speed-tilan mittauksissa nähtävissä suurempaa variaatiota. Suodatus vähentää tuloksien hajontaa.



Kuvio 22. Resoluutio & speed mediaani

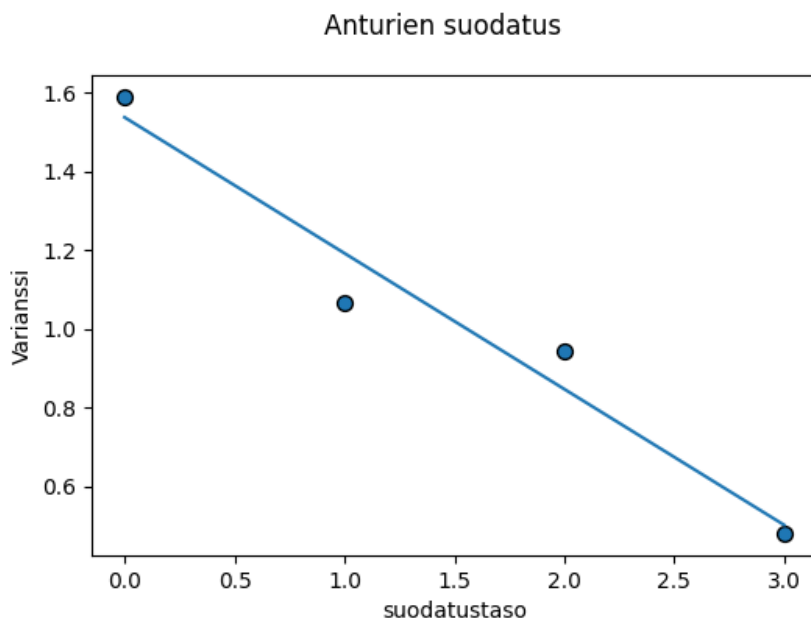
Keskiarvojen erot nähdään kuviosta 23. Suodattamattomat arvot ovat huomattavasti yläkanttiin, mutta suodatuksen kanssa arvot keskittyvät paksuuden ympärille. Tilojen välillä ei keskiarvossa näy huomattavaa varianssieroa.



Kuvio 23. Resoluutio & speed keskiarvo

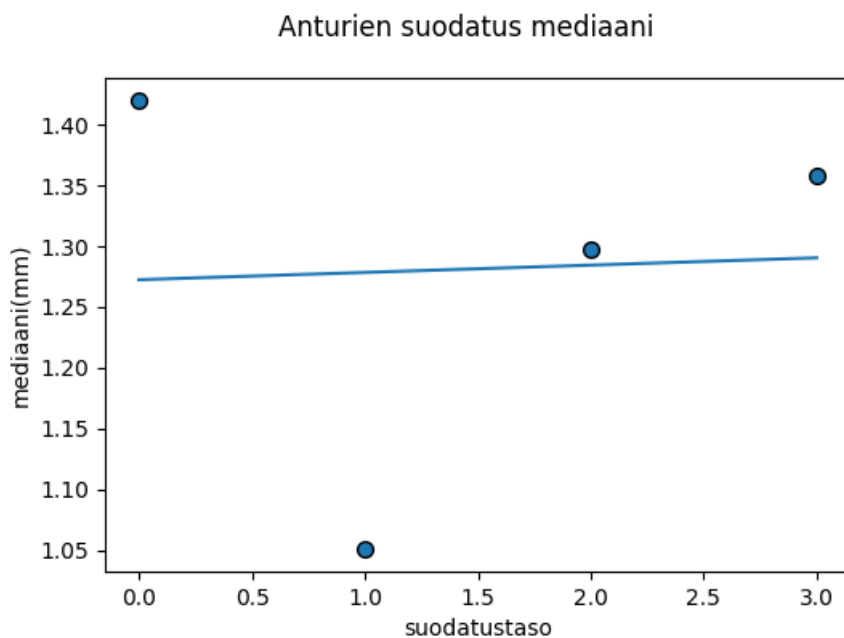
Anturin sisäistä suodatusta testattiin neljällä eri suodatustasolla, mukaan lukien nollassa, eli suodatukseton. Suodatustasot toimivat eräänlaisena arvonpehmennyksenä.

Kuviosta 24 nähdään tulokset ilman analysointiohjelman suodatusta. Kuviossa näkyy, että anturien oma suodatus vähentää tulosten hajontaa kuitenkin määrää karsimatta. Korrelaatiokerroin on lähellä $-0,97$, joka tarkoittaa merkittävää negatiivista korrelaatiota. Anturien arvosuodatusta voidaan ehkä hyödyntää tuloksien esisuodatuksessa. Analysointiohjelman toimiessa suodatuksella, tuloksien varianssi pienenee entisestään.



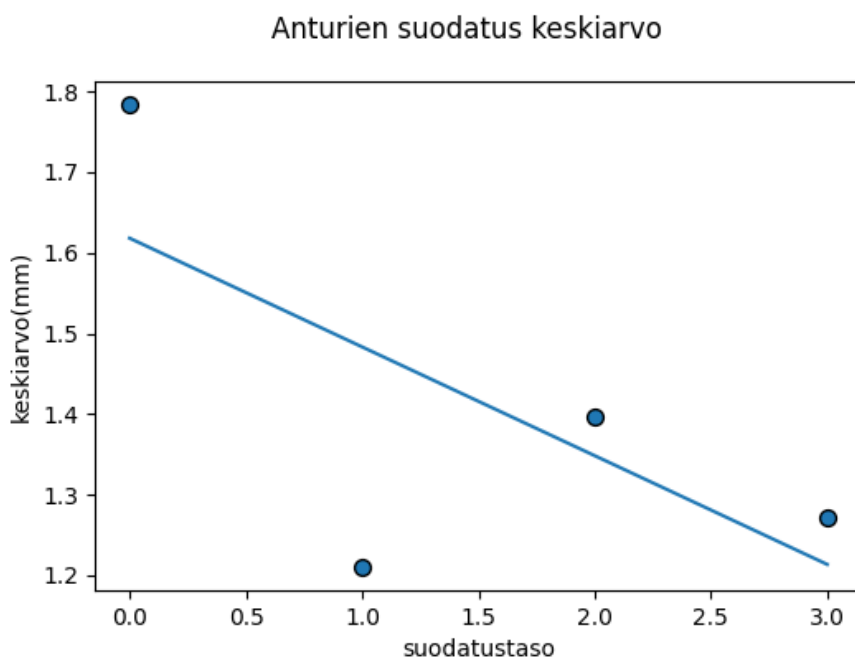
Kuvio 24. Anturien suodatustasot varianssi

Anturien suodatus ei näytä vaikuttavan merkittävästi mediaanin tulokseen. Tulosten vari-
anssi vaihtelu nähdään kuviosta 25. Suodatustasot pehmentävät arvoja ja tämä kohdentaa
mediaania lähemmäs kappaleen paksuutta.



Kuvio 25. Anturien suodatus mediaani

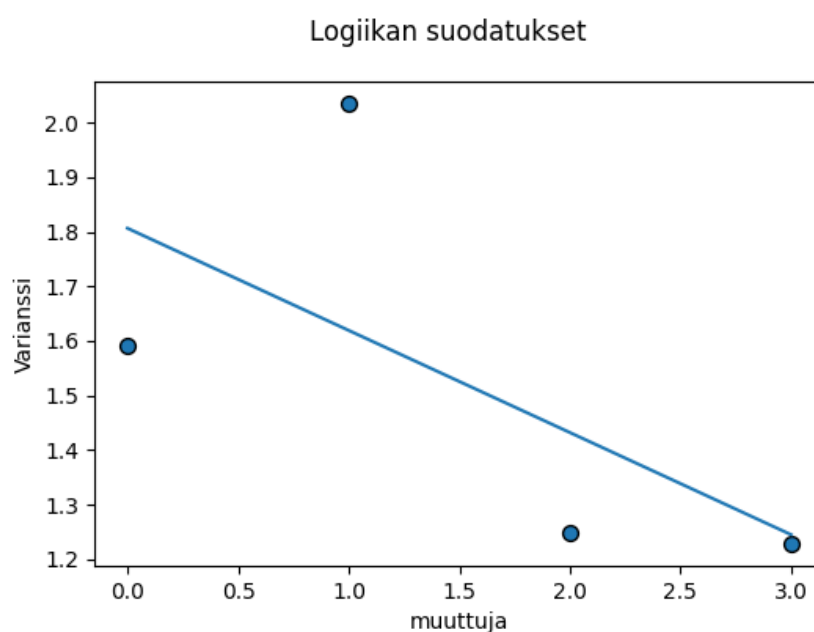
Tuloksien keskiarvot, jotka nähdään kuviosta 26, näyttävät keskittyvän paksuuden ympä-
rille. Anturien suodatus näyttää siirtävän arvoja paksuuden negatiiviselle puolelle.



Kuvio 26. Anturien suodatus keskiarvo

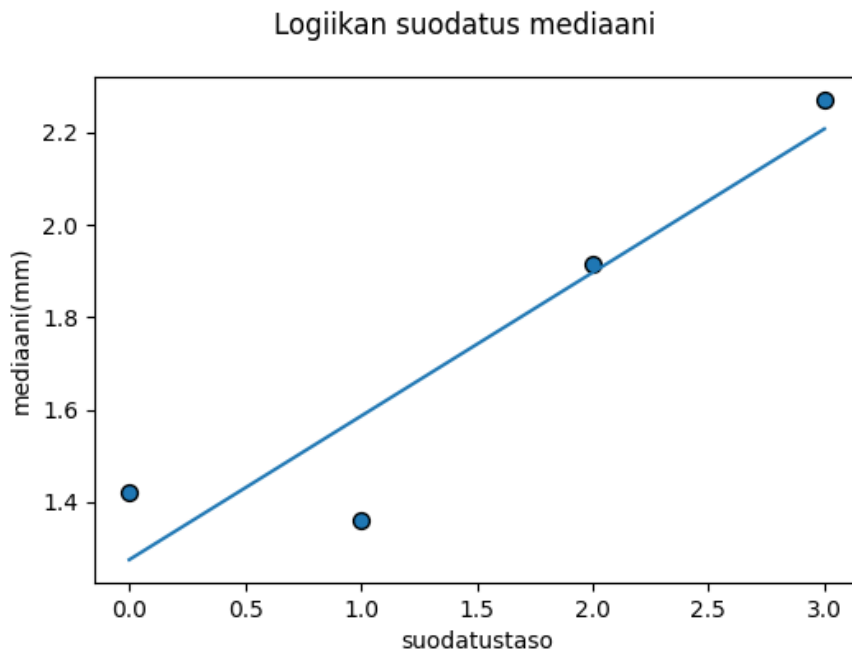
Logiikan asetukset

Logiikan asetuksissa suodatusvaihtoehtoja on neljä, mukaan lukien nollassa. Suodatustasot ovat samankaltaisia antureiden suodatuksen kanssa. Logiikan suodatus nähdään kuviossa 27, jossa muut suodatusvaihtoehdot on poissa käytöstä. Kuviossa nähdään, että logiikan suodatus laskee myös varianssia hieman, vaikutus ei näyttäisi olevan yhtä suuri kuin anturien suodatuksessa. Kun analysointiohjelman suodatus lisätään, tulokset tasaantuvat.



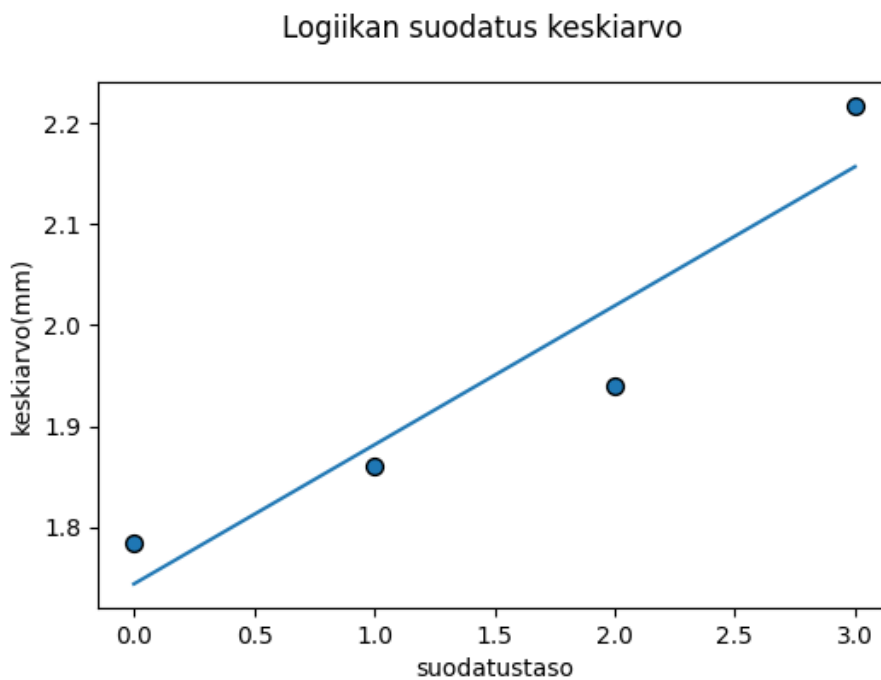
Kuvio 27. Logiikan suodatukset varianssi

Kun arvoja vertaillaan mediaanin kanssa, logiikan suodatus näyttää luovan kasvavasti suurempaa eroa todelliseen paksuuteen (kuvio 28).



Kuvio 28. Logiikan suodatukset mediaani

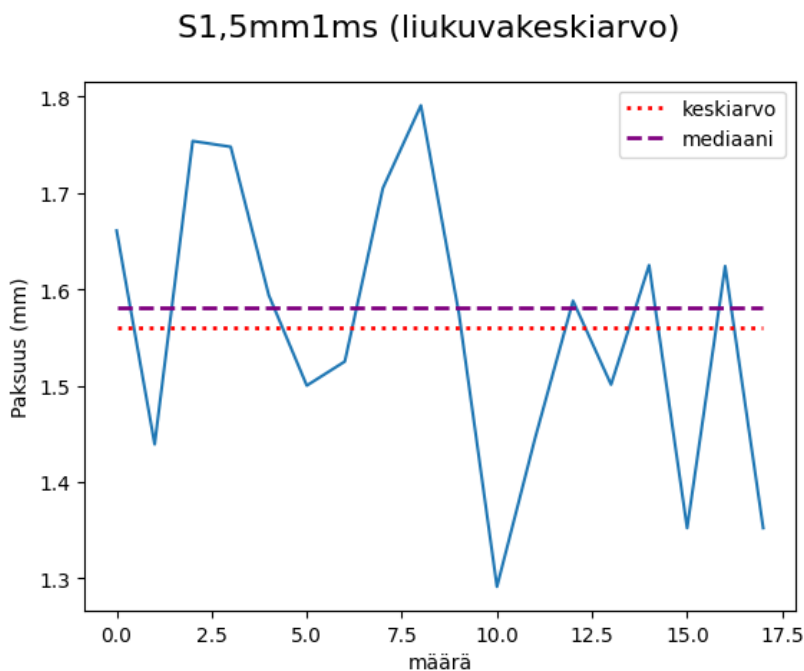
Keskiarvo osoittaa samanlaista ilmiötä kuin mediaani. Keskiarvo loittonee kauemmaksi todellisesta paksuudesta, kun logiikan suodatustasoa nostetaan (Kuvio 29)



Kuvio 29. Logiikan suodatus keskiarvo

Liukuva keskiarvo

Tuloksista voidaan ottaa myös liukuva keskiarvo, joka laskee valitusta määrästä, esimerkiksi aina kymmenestä paksuusarvosta keskiarvot, ja tulostaa ne taulukkoon. Tällä pystytään seuraamaan paksuuden vaihtelua pistemäisesti kappaleelta, esimerkiksi vakioetäisyyksien välillä. Kuvioista 30 nähdään liukuva keskiarvo joka kymmenennellä mittatuloksella.



Kuvio 30. Liukuva keskiarvo

6.2 Analysoinnin tulokset

Anturien suodattamattomissa tuloksissa näyttää olevan suuria piikkejä, jotka todennäköisesti aiheutuvat häiriötekijöistä. Suurimmat tekijät ovat todennäköisesti viulun pinnassa olevat virheet, eli reiät tai lohkeamat. Raja-arvosuodatuksella on mahdollista karsia häiriötekijöitä tehokkaasti.

Paksuus ei näytä vaikuttavat mittaustuloksiin merkittävästi, saattaa olla, että säteen absorboituminen on minimaalista, tämä vaatii lisää testausta. Nopeus ei näytä suuresti vaikuttavan mittaustuloksiin, todennäköisesti anturit tuottavat niin paljon tuloksia. Nopeus pidentää kuitenkin mittauspisteiden etäisyyksiä, tämä heikentää kokonaisresoluutiota, eli mittauksia/metri. Resoluutiota näyttäisi olevan speed-tilaa parempi tarkkuuden määrittämisessä, vaikka speed-tila tuottaa enemmän mittauksia. Anturien ja logiikan suodatukset näyttävät

vaikuttavan varianssiin positiivisesti. Niitä voidaan hyödyntää mahdollisena esisuodatuksena. Liukuvalla keskiarvolla voidaan tarkkailla kappaleen paksuutta pistemäisellä alueella. Tätä voidaan hyödyntää reaaliaikaisessa paksuuden valvonnassa.

Anturien asentaminen täytyy tehdä erittäin tarkasti, sillä tarkkuus riippuu anturien välisen etäisyyden tarkkuudesta, tästä syystä antureille täytyy tehdä tarkka kalibrointi. Inhimillinen virhe asennuksessa on yksi suurimmista häiriötekijöistä.

6.3 Mekaanisen ja lasermittauksen erot

Mekaanisen mittauksen vertaaminen lasermittaukseen on hankalaa, sillä ne toimivat eri periaatteella. Mekaaninen mittaus eliminoi suuren määrän virheitä vakauttamalla kappaleen mekaanisesti. Tekniikalla ei voida valvoa suuria tuotantoeriä tarkasti, sillä mittaus kohdistuu muutamisiin satunnaisesti valittuihin kappaleisiin.

Lasermittaus kärsii monista häiriötekijöistä, sillä se ei kosketuksettomana mittauksena voi mekaanisesti vaikuttaa kappaleen vakauteen. Kaikkien mittaukseen vaikuttavien tekijöiden täydellinen poistaminen on lähes mahdotonta, joten mittaustulos herättää epävarmuutta. Tätä voidaan vähentää lisäämällä erilaista tunnistustekniikkaa lasermittauksen lisäksi, kuten konenäköä. Työntömitalla viilun paksuuden mittaaminen tarkasti on erittäin hankalaa, koska siitä puuttuu käsimittalaitteen vakautusominaisuudet.

Kosketukseton ja nopea lasermittaus, joka voidaan automatisoida, mahdollistaa suurien kappalemäärien tarkastelun sekä kokonaisuuden paremman hahmottamisen. Molempien tekniikoiden parhaat puolet voidaan hyödyntää soveltamalla niitä laadunvalvonnassa.

7 YHTEENVETO

7.1 Tutkimuksen kokonaistulos

Tutkimuksessa saatiin mittatuloksia, joista voidaan tarkastella tekijöiden vaikutuksia viilun paksuusmittaukseen sekä tutkittiin mahdollisia ongelmakohtia tekniikan hyödyntämisen kannalta. Tuloksien perusteella yksittäisen viilukappaleen paksuus näyttää vaihtelevan laajasti. Tämä saattaa johtua testiympäristöstä, mutta eroja voi huomata jo silmämääräisesti katsottuna. Viilu saattaa olla myös erittäin käppyräistä, joka voi vaikeuttaa paksuuden mittaamista erityisesti rajoitetun mittausetäisyyden antureilla.

Joidenkin tekijöiden simuloiminen on laboratoriossa vaikeaa, joten opinnäytetyössä testattiin yleisimpiä mittatulokseen vaikuttavia tekijöitä. Tarkkuus riippuu mittauksen ja antureiden esivalmistelusta. Tästä syystä anturit tulee kalibroida tarkasti. Suodatuksen laatu vaikuttaa myös tuloksiin huomattavasti. Suodattamattomissa tuloksissa on havaittavissa suurta vaihtelua. Mittatulosten tarkkuus nousee, kun suodatustasoa nostetaan. Todellisten mitta-arvojen suodattaminen voi heikentää luotettavuutta, mutta suodatustekniikan kehittäminen, ja mahdollinen arvojen pehmennys voisi parantaa sitä. Ylä ja raja-arvo suodatus näyttää toimivan hyvin, ja sillä saadaan tehokas kuva viilun paksuudesta. Suodatuksen jälkeen laadunvalvontaa voidaan tehdä matemaattisesti. Useamman arvon samanaikainen vertailu on todennäköisesti paras vaihtoehto.

Tutkimuksessa onnistuttiin kehittämään mitta-arvojen suodatustekniikoita. Raja-arvo suodatusta hyödyntämällä saadaan tietoa kappaleen paksuuden vaihtelusta ja sen voimakkuudesta. Raja-arvo suodatuksen läpäisseiden arvojen prosentuaalista määrää voidaan käyttää viilun paksuuden laadunvalvonnassa. Jos viilun paksuutta halutaan mitata käsimitarin tavoin, soveltuu liukuva keskiarvo hyvin tähän tarkoitukseen.

7.2 Jatkomahdollisuudet

Antureilla täytyy tehdä tutkimusta testiympäristössä, jossa viilujen laatuja voidaan vertailla. Haastavampi testiympäristö mahdollistaa tarkemman tuloksen. Viilun paksuudelle täytyy kehittää laatukriteerit joiden perusteella huonolaatuisia viiluja voidaan tunnistaa. Laatukriteereitä täytyy testata erilaisilla viilulaaduilla ja testata niiden toimivuutta.

Anturitekniikan integroiminen tehdasjärjestelmiin vaatii moniasteisen kehittämisen. Tekniikan tehokkuutta laadunvalvonnallisesta näkökulmasta, tuotantolinjan eri osissa tulisi tutkia lisää.

Mekaniikka- ja sähkösuunnittelu täytyy tehdä anturien heikkoudet huomioiden. Datankäsittelyyn täytyy kehittää järjestelmä jolla voidaan tehdä mittatuloksille suodatusta ja laskentaa. Lasertekniikan hyödyntäminen muun tekniikan, kuten konenäön kanssa täytyy selvittää.

Lähteet

Bauhaus. 2022. Kuva 2. Havuvaneria. Viitattu 30.3.2022. Saatavissa

https://cdn.bauhaus.fi/media/catalog/product/cache/569848a67a579fd0e29cbf678dbb39c0/s/p/spruce-2-36974-2_3.jpg

GreenLab. 2022. Kuva 1011. Alumiiniprofiili. Viitattu 18.2.2022. Saatavissa

<https://greenlab.fi/en/product/aluminium-profile-45x45-light/>

Keyence International. 2019. What is a sensor ?. Technical Guide. Viitattu 23.11.2021.

Saatavissa <https://www.keyence.eu/mykeyence/?ptn=001>

Koponen, H. 2002. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. 3. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Koskisen. 2022. Kuva 1. Viilua. Viitattu 30.3.2022. Saatavissa

<https://koskisen.fi/tuotteet/ohutvaneri-ja-viilut/ohutviiluvanerituotteet/>

Matemaattisten aineiden opettajien liitto MAOL ry. 2012. Maol taulukot. 2.-10. painos.

Helsinki: Otava

Olympus. 2021. Ultrasonic Thickness gauge e-book. Viitattu 29.3.2022. Saatavissa

<https://www.olympus-ims.com/en/resources/books/>

Polycase. 2021. What is a programmable logic controller?. Viitattu 15.3.2022. Saatavissa

<https://www.polycase.com/techtalk/electronics-tips/what-is-a-programmable-logic-controller.html>

Puinfo Oy. 2020a. Puutieto: Levytuotteet. Viitattu 02.2.2022. Saatavissa

<https://puinfo.fi/puutieto/puulevyt/vaneri/>

Puinfo Oy. 2020b. Puutieto: Viilupuu (LVL). Viitattu 30.3.2022. Saatavissa

<https://puinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/viilupuu-lvl/>

Rockwell Automation. 2017. Sensor Technology and Application Basics. Viitattu

21.2.2022. Saatavissa

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/c117-rm001_-en-p.pdf

Siemens. Kuva 5. Logiikka. Viitattu 15.3.2022. Saatavissa

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6ES72141HG400XB0>

Stora-Enso. Kuva 3. LVL-palkkia. Viitattu 30.3.2022. Saatavissa

https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/stora_enso_factsheet_lvl_g_v1.pdf

Tampereen yliopisto. 2018a. Tietoarkisto: hajontaluvut. Viitattu 17.2.2022. Saatavissa

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/hajontaluvut/hajontaluvut/>

Tampereen yliopisto. 2018b. Tietoarkisto: keskiluvut. Viitattu 16.2.2022. Saatavissa

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/keskiluvut/keskiluvut/>

Tampereen yliopisto. 2018c. Tietoarkisto: kovarianssi ja korrelaatio. Viitattu 17.2.2022.

Saatavissa

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/korrelaatio/korrelaatio/>

Tampereen yliopisto. 2018d. Tietoarkisto: regressioanalyysi. Viitattu 17.2.2022.

Saatavissa <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/regressio/analyysi/>

Wenglor. Kuva 4. CP08MHT80. Viitattu 18.2.2022. Saatavissa

<https://www.wenglor.com/en/Photoelectronic-Sensors/Laser-Distance-Sensors-High-Precision/Laser-Distance-Sensor-High-Precision/p/CP08M>

Liite 1. Anturin tietolehti

CP08MHT80 LASER

Part Number



- High resolution: 8 μm (resolution-mode)
- Linearity: 0,1 % (resolution-mode)
- Measured value independent of material, color and brightness
- Response time: < 660 μs (speed-mode)
- Zoom function

These sensors work with a high-resolution CMOS line and DSP technology and determine distance using angular measurement. As a result, material, color and brightness related measurement differences are virtually eliminated.

Integrated analogue output can be configured for voltage 0...10 V (10...0 V) or current 4...20 mA (20...4 mA).

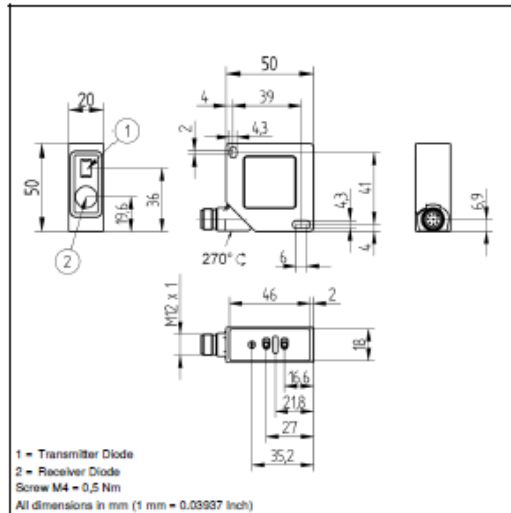
**Technical Data**

Optical Data	
Working Range	30...80 mm
Measuring Range	50 mm
Resolution	8 μm
Resolution (Speed-Mode)	12 μm
Linearity	0,1 %
Linearity (Speed-Mode)	0,2 %
Light Source	Laser (red)
Wavelength	660 nm
Service Life (T = +25 °C)	100000 h
Laser Class (EN 60825-1)	2
Max. Ambient Light	10000 Lux
Light Spot Diameter	see Table 1
Electrical Data	
Supply Voltage	18...30 V DC
Current Consumption (U _b = 24 V)	< 80 mA
Measuring Rate	1500 /s
Measuring Rate (Resolution-Mode)	600 /s
Response Time	< 660 μs
Response Time (Resolution Mode)	< 1660 μs
Temperature Drift	< 5 $\mu\text{m/K}$
Temperature Range	-25...50 °C
Analog Output	0...10 V/4...20 mA
Load Current Voltage Output	< 1 mA
Current Output Load Resistance	< 500 Ohm
Interface	RS-232
Baud Rate	38400 Bd
Protection Class	III
FDA Accession Number	0620588-000
Mechanical Data	
Setting Method	Teach-In
Housing Material	Plastic
Degree of Protection	IP67
Connection	M12 x 1; 8-pin
Safety-relevant Data	
MTTFd (EN ISO 13849-1)	713,97 a
Error Output	●
Analog Output	●
RS-232 Interface	●
Connection Diagram No.	529
Control Panel No.	P7
Suitable Connection Equipment No.	80
Suitable Mounting Technology No.	380

Complementary Products

Analog Evaluation Unit AW02	
Fieldbus Gateway ZAGxxxN01, EPGG001	
Interface Cable S232W3	
Protective Housing ZSV-0x-01	
Set Protective Housing ZSP-NN-02	
Software	

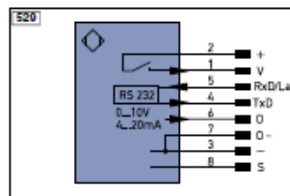
Liite 1. Anturin tietolehti



Ctrl. Panel



- 03 = Error Indicator
- 07 = Selector Switch
- 12 = Analog Output Indicator
- 24 = Plus Button
- 25 = Minus Button
- 63 = Analog Output Current Indicator

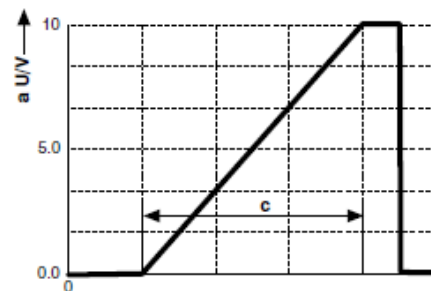


Legend					
+	Supply Voltage +	PT	Platinum measuring resistor	EN _{AN}	Encoder A/A (TTL)
-	Supply Voltage 0 V	nc	not connected	EN _{BN}	Encoder B/B (TTL)
~	Supply Voltage (AC Voltage)	U	Test Input	EN _A	Encoder A
A	Switching Output (NO)	U ⁻	Test Input Inverted	EN _B	Encoder B
A ⁻	Switching Output (NC)	W	Trigger Input	AN _A	Digital output MIN
V	Contamination/Error Output (NC)	W ⁻	Ground for the Trigger Input	AN _{MAX}	Digital output MAX
V ⁻	Contamination/Error Output (NC)	O	Analog Output	AN _{OK}	Digital output OK
E	Input (analog or digital)	O ⁻	Ground for the Analog Output	SY _{IN}	Synchronization In
T	Teach Input	RZ	Block Discharge	SY _{OUT}	Synchronization OUT
Z	Time Delay (activation)	AV _V	Valve Output	BS	Brightness output
S	Shielding	a	Valve Control Output ±	M	Maintenance
I _{VO}	Interface Receive Path	b	Valve Control Output 0 V	nc	reserved
I _{VO}	Interface Send Path	SY	Synchronization	Wire Colors according to IEC 60398	
RDY	Ready	SY ⁻	Ground for the Synchronization	PK	Black
GND	Ground	E ⁺	Receiver-Line	BN	Brown
CL	Clock	E ⁻	Emitter-Line	PK	Red
EA	Output/Input programmable	+	Grounding	OR	Orange
IO-Link	IO-Link	SR	Switching Distance Reduction	Y	Yellow
POE	Power over Ethernet	R ₊	Ethernet Receive Path	G	Green
S	Safety Input	R ₋	Ethernet Send Path	B	Blue
SSD	Safety Output	Int ₊	Interface-Bus A(+)/B(-)	V	Violet
SL	Signal Output	L	Emitted Light (dischargeable)	Y	Gray
ML ₊	Ethernet Gigabit bidirect. data line (A-D)	M ₊	Magnet activation	W	White
EN ₀₋₅	Encoder 0-pulse 0-5 (TTL)	IC	Input confirmation	PK	Pink
		CM	Contact Monitoring	GN	Green/Yellow

Table 1

Working Distance	30 mm	80 mm
Spot Size	0,5 x 1 mm	1 x 2 mm

Output Graph



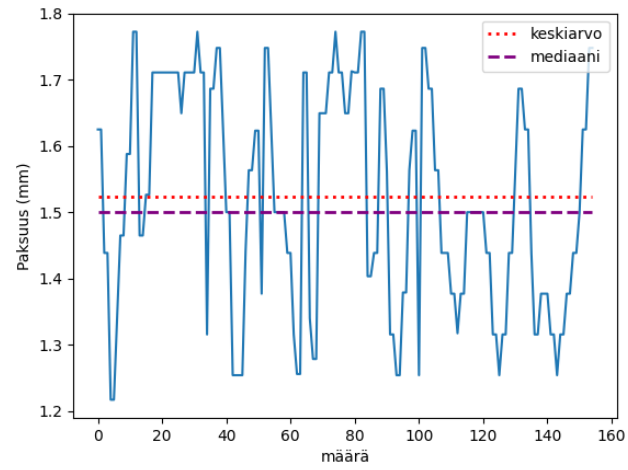
c = Measuring Range
a = Analog Voltage Output

Specifications are subject to change without notice

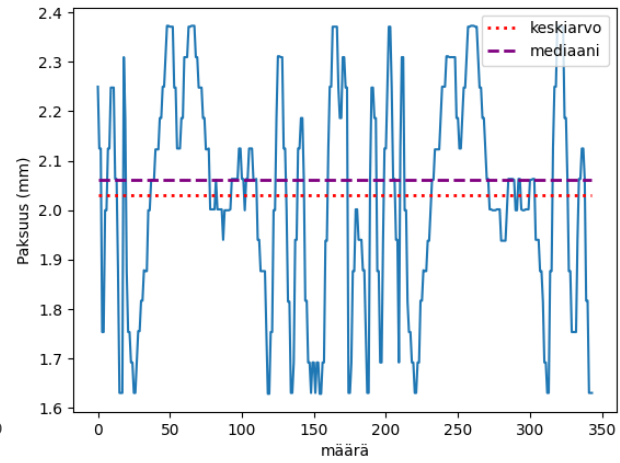


Liite 2. Paksuuden kuviot

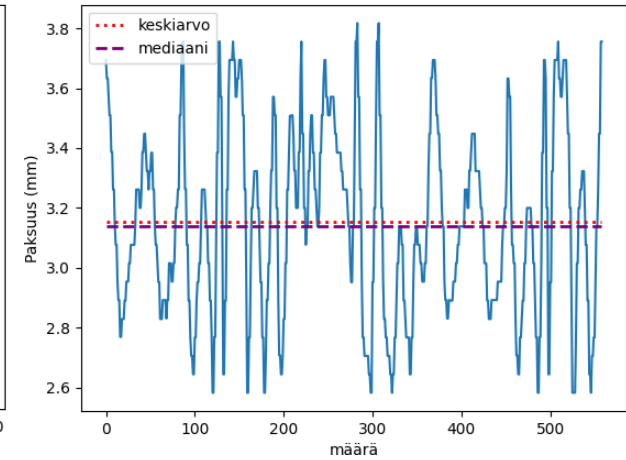
1,5mm Suodatettu



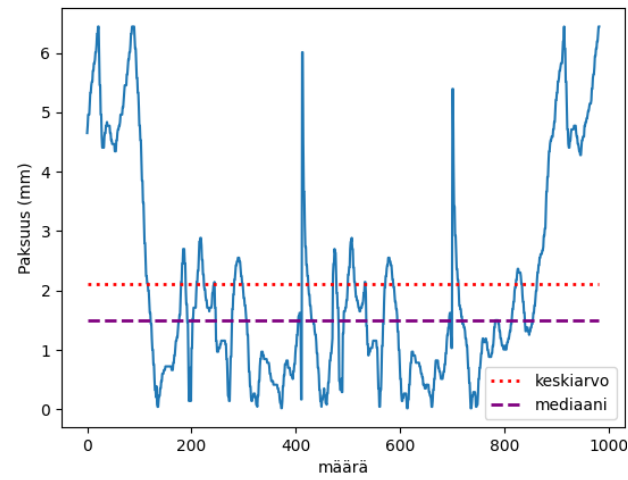
2mm Suodatettu



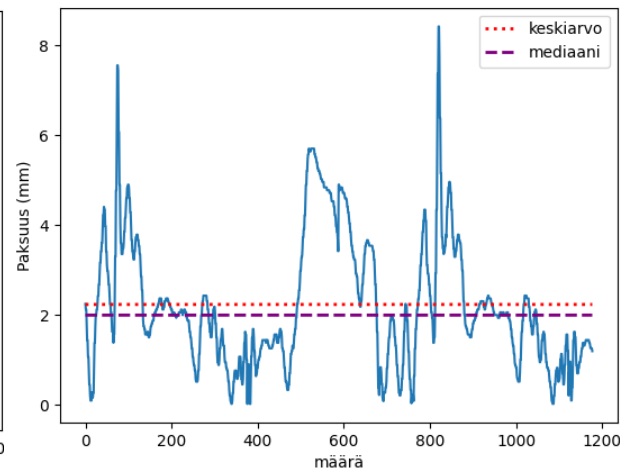
3,2mm Suodatettu



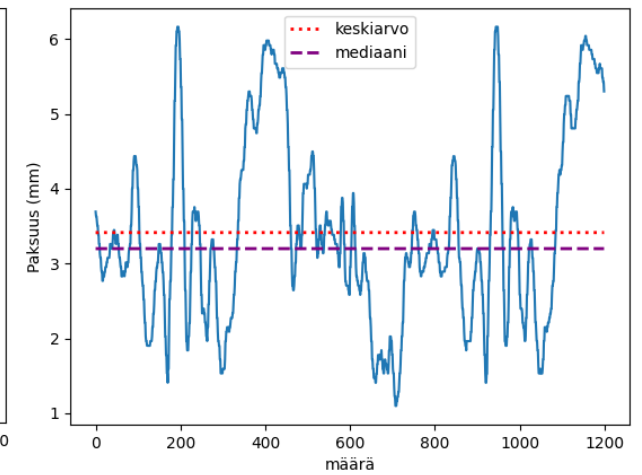
1,5mm Suodattamaton



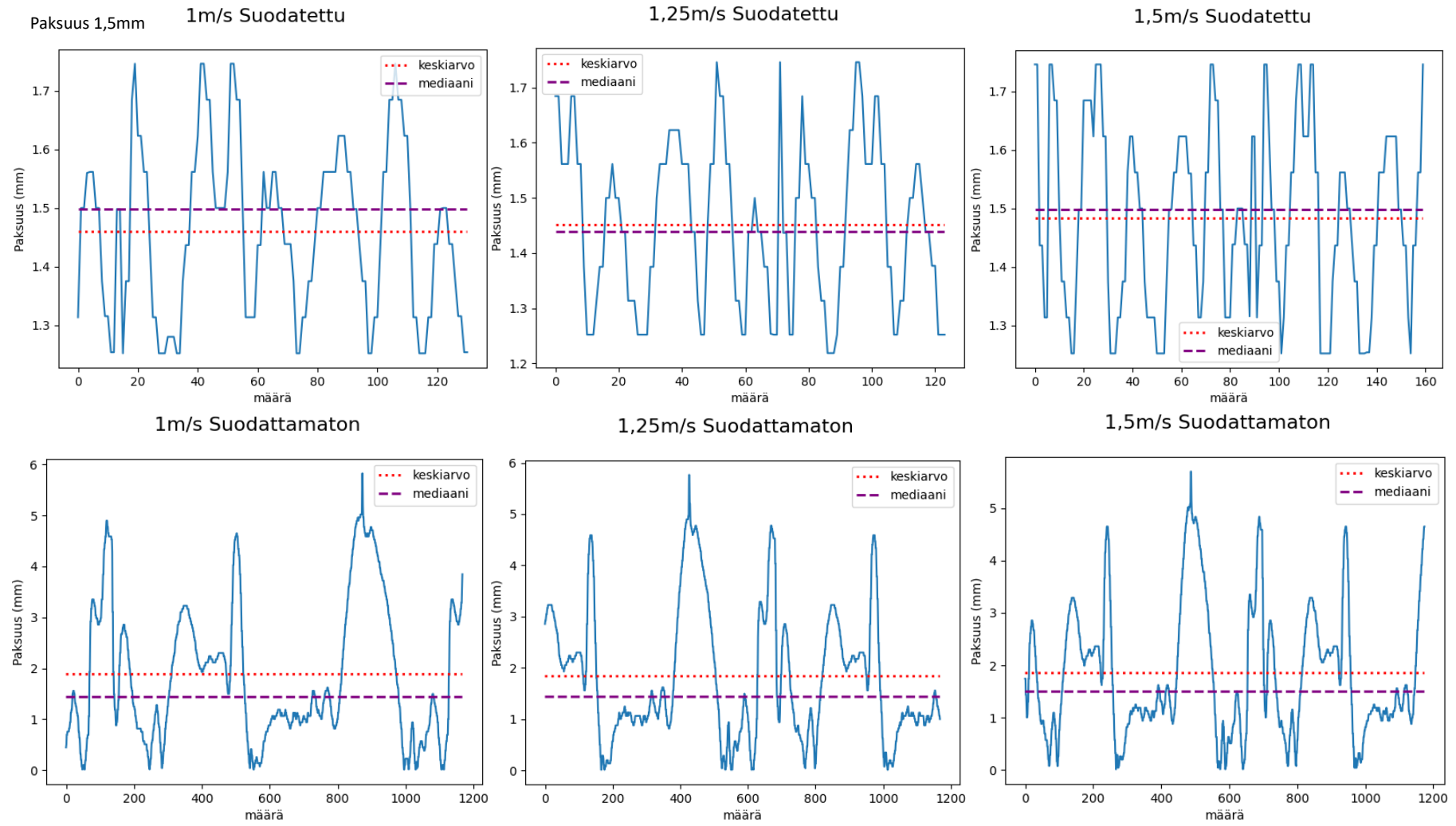
2mm Suodattamaton



3,2mm Suodattamaton

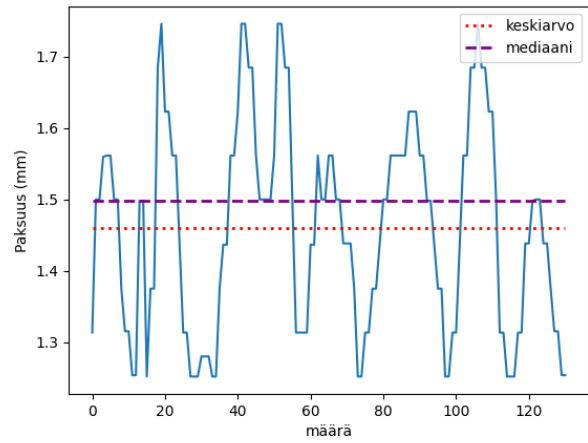


Liite 2. Paksuuden kuviot

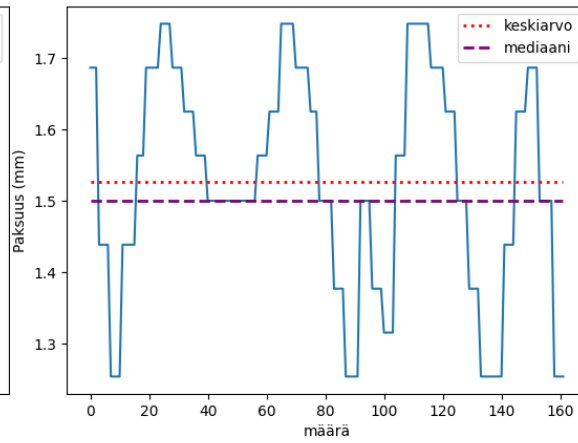


Liite 2. Paksuuden kuviot

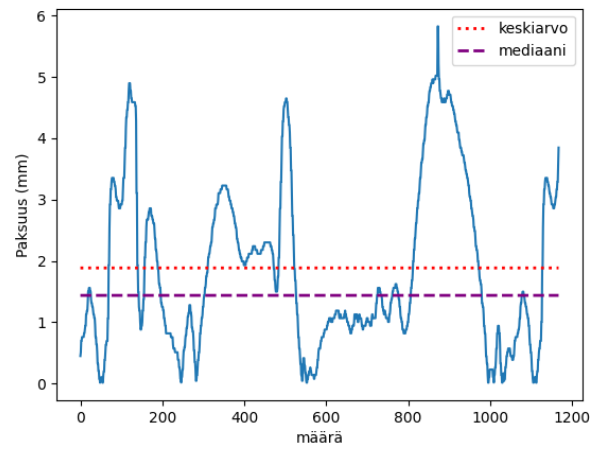
Paksuus 1,5mm Resoluutio Suodatettu



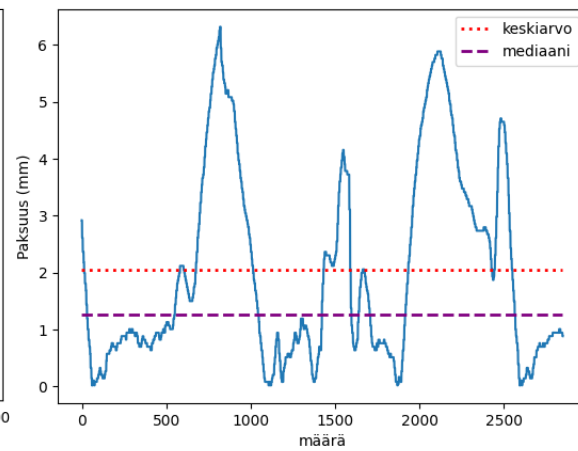
Speed Suodatettu



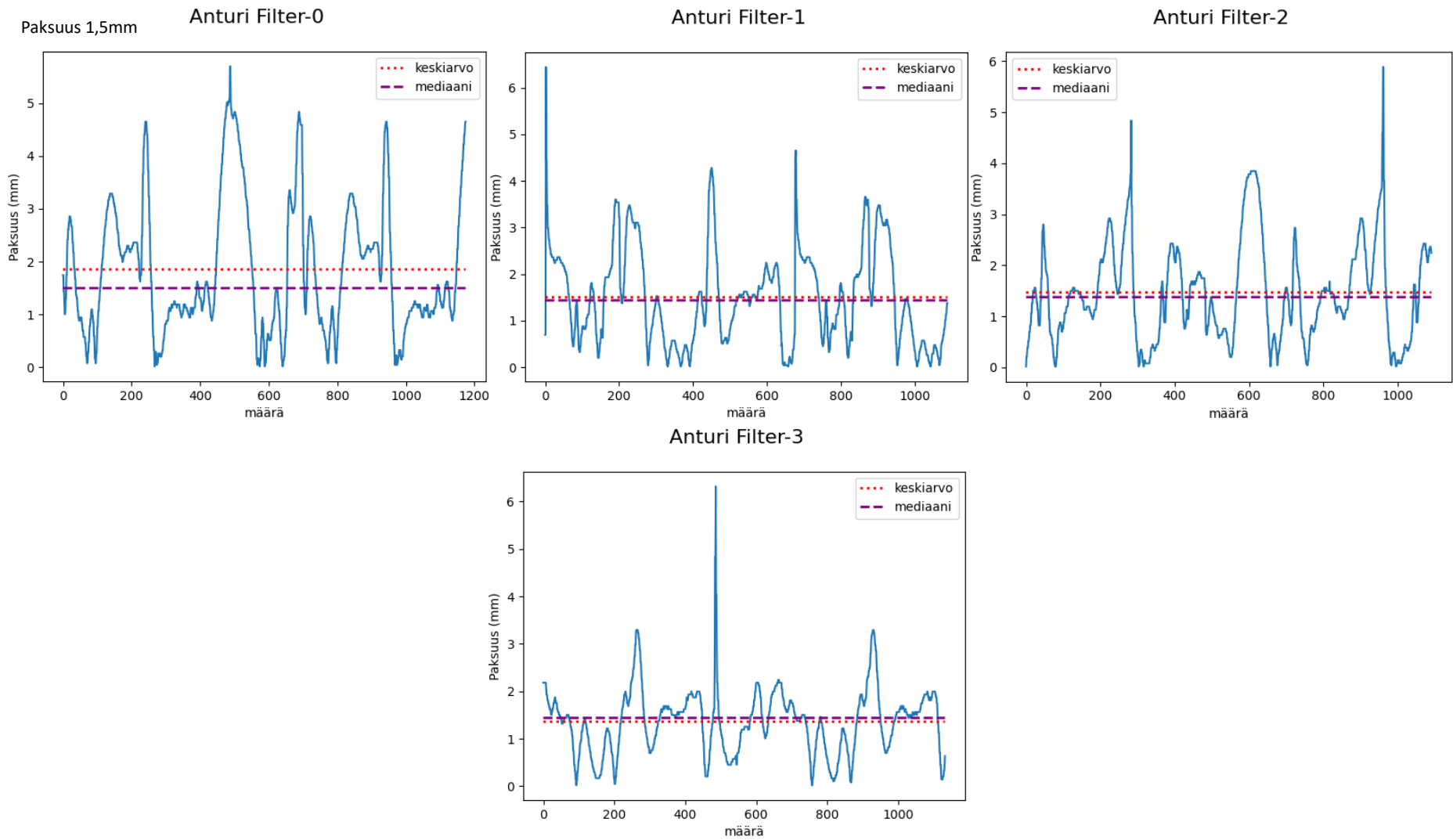
Resoluutio Suodattamaton



Speed Suodattamaton



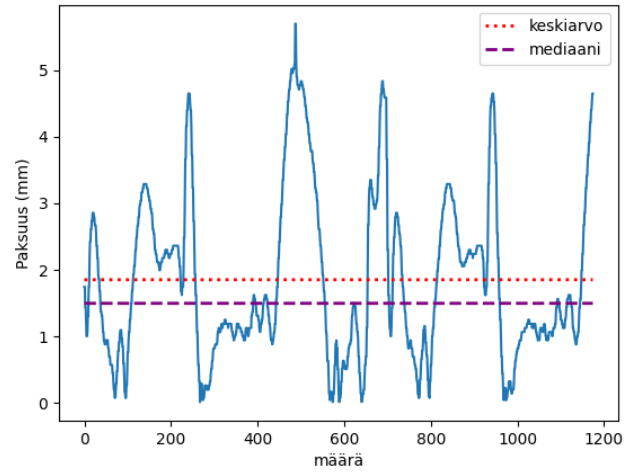
Liite 2. Paksuuden kuviot



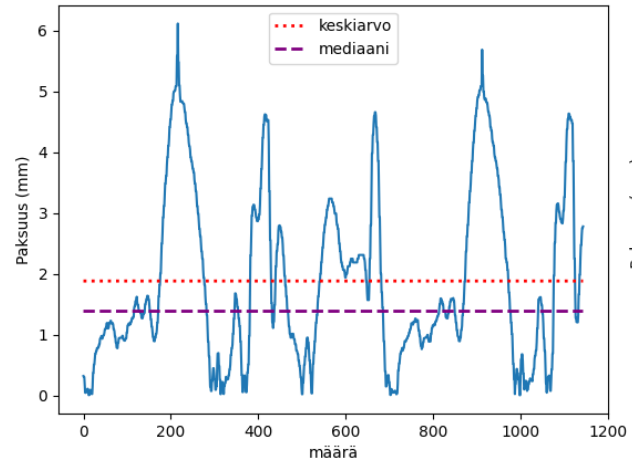
Liite 2. Paksuuden kuviot

Paksuus 1,5mm

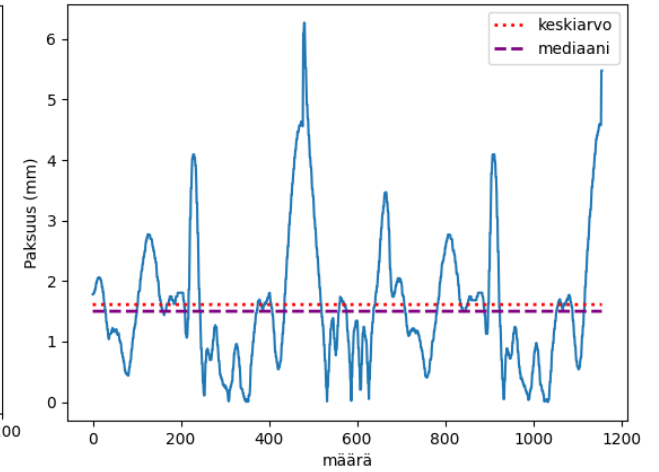
Logiikka Filter-0



Logiikka Filter-1



Logiikka Filter-2



Logiikka Filter-3

