



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sami Männistö

MITTALAITE KONENÄÖLLÄ

Tekniikka ja liikenne
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Sami Männistö
Opinnäytetyön nimi	Mittalaite konenäöllä
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 3 liitettä
Ohjaaja	Juha Nieminen

Tämä opinnäytetyö tehtiin Veslatec Oy:n toimeksiannosta. Veslatec Oy on laser-teknologiaan erikoistunut yritys.

Työn tarkoituksena oli automatisoida tuotteen mittaus ja mittapöytäkirjojen teko käyttäen askelmoottoriohjainta, lineaarivaihteita, Cognex DVT-älykameraa ja konenäköohjelmistoa. Tavoitteena oli tehdä mittauksesta helpompaa ja nopeuttaa tuotteen mittausta. Kameralta saadusta mittausdatasta voitiin valita tuotteeseen parhaiten sopiva vastakappale, mikä puolestaan tehostaa valmiin tuotteen hyötysuhdetta.

Työn tutkimuksessa käytettiin elektronisia lähteitä ja omia testejä. Elektroniset lähteet sisälsivät käytettyjen laitteiden manuaaleja, vanhoja tallennettuja koulutusvideoita ja PowerPoint-esityksiä. Testeissä käytiin läpi kameran toimintoja ja katsottiin, mikä toiminto on paras kyseiselle tuotteelle.

Laite saatiin toimintaan ja sitä tullaan käyttämään jatkossa. Aluksi mittalaitetta käytetään profiiliprojektorin rinnalla, mutta myöhemmin tuotteet mitataan tehdyllä laitteella. Konenäkö on hyvä vaihtoehto kappaleiden tunnistamiseen ja mittaamiseen

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Sami Männistö
Title	Measuring Device with Machine Vision
Year	2015
Language	Finnish
Pages	35 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Juha Nieminen

This thesis was made for Veslatec Oy. Veslatec Oy is specialized in laser technology

The purpose of this thesis was to create an automatic measuring device using a stepper motor controller, linear stages and Cognex DVT machine vision camera. The objective of this thesis was to make product measuring easier and faster. The measurement data from the camera was used to match most suitable counterpiece for product, which increases final products' overall efficiency.

The research materials were based on electronic sources and own tests. Electronic sources included device manuals, recorded training courses and PowerPoint presentations. Tests performed during the thesis included camera functions and especially it was tested which function would be best for particular product.

The built measuring device is functional and it will be used in the future. Initially measuring device will be used along with profile projector, but later products will be measured only with the built measuring device. Machine vision is a good alternative to identify and measure products.

Keywords

Machine vision, stepper motor, programming, measurement

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	KONENÄKÖ	10
	2.1 Kamera.....	10
	2.2 I/O-moduuli.....	11
	2.3 Valaistus.....	12
	2.3.1 Taustavalaistus	14
	2.3.2 Suora valaistus	14
	2.3.3 Epäsuora valaistus.....	15
	2.3.4 Valolähteet	16
	2.4 Optiikka.....	16
	2.5 Kuvankäsittely	17
	2.6 Tiedonsiirto	20
3	XY-PÖYTÄ.....	21
	3.1 Askelmoottori	21
	3.1.1 Reluktanssiaskelmoottori	21
	3.1.2 Kestomagneettiaskelmoottori.....	22
	3.1.3 Hybridiaskelmoottori	23
	3.2 Lineaariyksikkö.....	23
	3.3 Ohjainyksikkö	24
4	TYÖN TOTEUTUS	25
	4.1 Konenäkökamera	26
	4.1.1 Optiikka.....	26
	4.1.2 Ohjelmisto	26
	4.2 Askelmoottorihjain	28
	4.3 Askelmoottorin ohjelma.....	29
	4.4 Mittausdatan analysointi	31
	4.4.1 Mittausdatan siivous	31
	4.4.2 Toleranssin tarkistus.....	32
	4.5 Testaus	33

4.6 Kehitys	33
5 YHTEENVETO	34
LÄHTEET.....	35
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. CCD- ja CMOS-valokennon kuvan muodostus. /1/	11
Kuva 2. Eristetty I/O-moduuli. /2/.....	12
Kuva 3. Esimerkki hyvästä valaistuksesta. /3/	13
Kuva 4. Esimerkki huonosta valaistuksesta. /3/	13
Kuva 5. Taustavalaistus. /4/	14
Kuva 6. Suoravalaistus sivulta ja kehävalaistus. /3/.....	15
Kuva 7. Alumiinifolio suoralla valaistuksella ja epäsuoralla valaistuksella. /4/..	16
Kuva 8. Linssin aiheuttama vääristymä. /5/	17
Kuva 9. Oikeanpuoleisesta kuvasta häiriöt on suodatettu pois. /6/.....	18
Kuva 10. Paikoitus.	18
Kuva 11. Reiän leveyden mittaus.....	19
Kuva 12. Reluktanssimoottorin poikkileikkaus. /7/	22
Kuva 13. Kestomagneettiaskelmoottorin poikkileikkaus. /7/.....	23
Kuva 14. SGSP26-200(X) lineaariyksikkö. /8/	24
Kuva 15. Alkutilanne.	25
Kuva 16. Intellect käyttöliittymä.....	27
Kuva 17. Mittaustietojen valinta ja esikatselu.....	28
Kuva 18. Ohjelman teko.....	30
Kuva 19. Reikien kopiointi ja liittäminen VBA makro.....	31
Kuva 20. Toleranssin tarkistuksen apusolut.....	32

LIITELUETTELO

LIITE 1. Askelmoottorihjaimen asetuslista

LIITE 2. Askelmoottorihjaimen ohjelmalista

LIITE 3. Excelin pääikkuna

LYHENTEEN JA MERKINNÄT

RAM	Random Access Memory, keskusmuisti
CCD	Charge-Coupled Device, CCD-valokenno
CMOS	Complementary Metal Oxide Silicon, CMOS-valokenno
LED	Light-Emitting Diode
VBA	Visual Basic for Applications, Excel makro kieli

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Veslatec Oy:n toimesta. Veslatec Oy on perustettu vuonna 1989 ja työllistää noin 12 henkilöä. Yritys on erikoistunut laserteknologiaan ja sen erikoisosaamisia ovat hienomekaanisten osien valmistus ja lasermerkintä. Veslatec Oy kehittää tuotteita ja palveluja mm. lääketieteelliseen, elektroniikkateollisuuteen, painoalalle ja energiantuotantoon.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda mittalaite, joka mittaa halutun kappaleen mitat ja tarkistaa ovatko mitat toleranssin sisällä.

Työn teoriaosassa käydään läpi konenäön ja askelmoottoriohjaimen toimintaperiaate sekä optiikan ja valaistuksen vaikutus saadun kuvan laatuun ja mittaustarkkuuteen. Työn käytännön osassa tuotteille tehtiin useita mittauksia erilaisilla asetuksilla, joista valittiin paras.

2 KONENÄKÖ

Konenäkö antaa nimensä mukaisesti tietokoneelle kyvyn nähdä. Järjestelmä koostuu kamerasta, optiikasta, valaistuksesta ja kamerassa tai tietokoneessa olevasta kuvankäsittelyohjelmasta. Kamera, optiikka ja valaistus ovat kuin järjestelmän silmät jotka ottavat kuvan kohteesta. Kuvankäsittelyohjelma on järjestelmän aivot, joka käsittelee ja analysoi silmien ottamaa kuvaa.

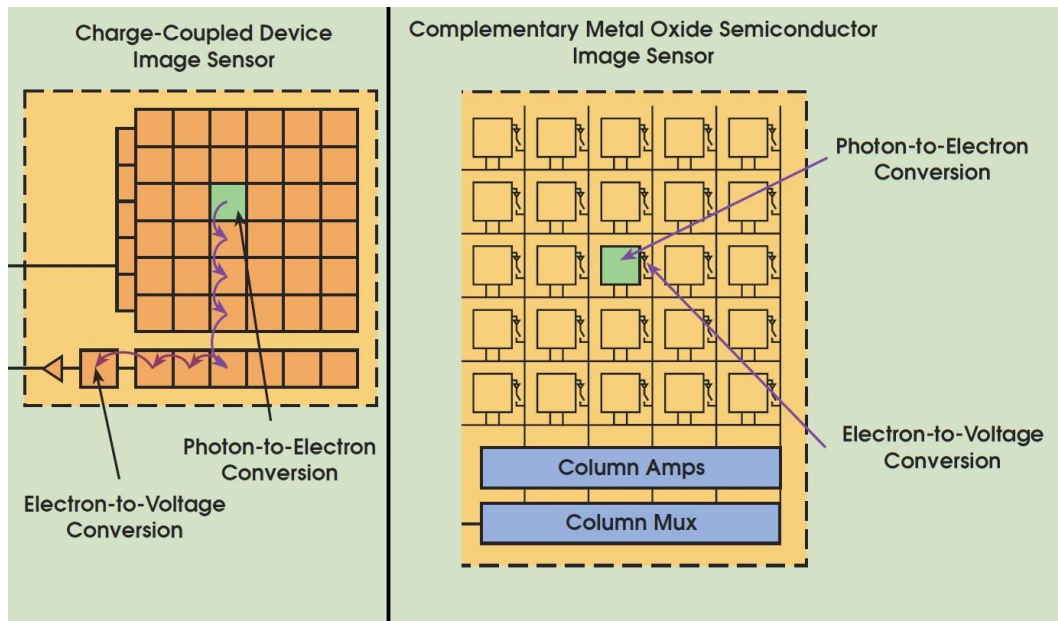
Konenäköä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen, kuten kappaleiden vian etsintään, tekstin lukuun tai mittaukseen. Konenäköä käytetään, kun tarkastelun pitää olla nopeaa, tarkkaa tai toistuvaa. Sillä saadaan poistettua esimerkiksi mittausvirheet, jotka johtuvat ihmisestä.

Kuvankäsittelyohjelma tarkastelee otettua kuvaa ja etsii muutoksia kontrastissa ja värisävyissä, joiden avulla konenäkö löytää muotoja kuvatulalta alueelta. Harmaasävykameroissa jokaisella pikselillä on arvo välillä 0 ja 255, joka muunnetaan välille 0 ja 100. Tämä arvo on pikselin intensiteetti. Intensiteettitaso 0 vastaa mustaa ja taso 100 vastaa valkoista. Arvot niiden välissä vastaa harmaan eri sävyjä. Värikameroissa jokaisella pikselillä on 3 erilaista intensiteettiarvoa, yksi punaiselle, yksi vihreälle ja yksi siniselle.

2.1 Kamera

Konenäköjärjestelmissä kuvankäsittelyohjelma sijaitsee yleensä kamerassa eikä tietokoneessa, jolloin kamera voi toimia itsenäisesti ja nopeasti, koska kuvaa ei tarvitse siirtää laitteesta toiseen.

Kamera koostuu joko Charge-Coupled Device (CCD) tai Complementary Metal Oxide Silicon (CMOS) -valokennosta. Molempien valokennojen toimintaperiaate on samantyylinen, kennoon osunut valo muutetaan varaukseksi, joka taas muutetaan jännitteeksi. Vahvistuksen jälkeen jännite muutetaan digitaaliseksi. Kennon alue on jaettu yhtä moneen osaan kuin kamerassa on pikseleitä. CCD-kennon liikuttaa pikselin varausta yhteiseen ulostuloon, joka muuntaa varauksen jännitteeksi ja vahvistaa sitä. CMOS-valokennossa varaus muutetaan jännitteeksi pikselissä. Kuvassa 1 on esitetty CCD- ja CMOS-kennojen ero. /1/



Kuva 1. CCD- ja CMOS-valokennon kuvan muodostus. /1/

Kameran muut osat ovat mikroprosessori, joka hoitaa kuvan ottamisen, tiedonsiirron ja muistien hallintaa. RAM-muistissa suoritetaan kuvan käsittely ja väliaikaiset tapahtumat. Flash-muistiin tallennetaan pysyvät tiedot, kuten tuotteen tarkistusparametrit, opitut muodot ja I/O-signaalien asetukset. /2/

2.2 I/O-moduuli

Kamerassa on 8 kappaletta ohjelmoitavia I/O-pinnejä, jotka kytketään kuvan 2 mukaiseen I/O-moduuliin. Moduulissa on liitännät 24 V:n virtalähteelle, eristetyille ja eristämättömille sisään- ja ulostuloille. Kuvassa 2 on esitetty työssä käytetty I/O-moduuli. Kamera kytketään moduulin erikoiskaapelilla, jossa toisessa päässä on RJ-45-liitin ja toisessa 15-pinninen D-liitäntä. /2/

Eristettyä I/O-moduulia käytettiin, koska kytkennöissä käytettiin askelmoottoriohjaimen omia jännite- ja nollaliittimiä.

Isolated BOB



Kuva 2. Eristetty I/O-moduuli. /2/

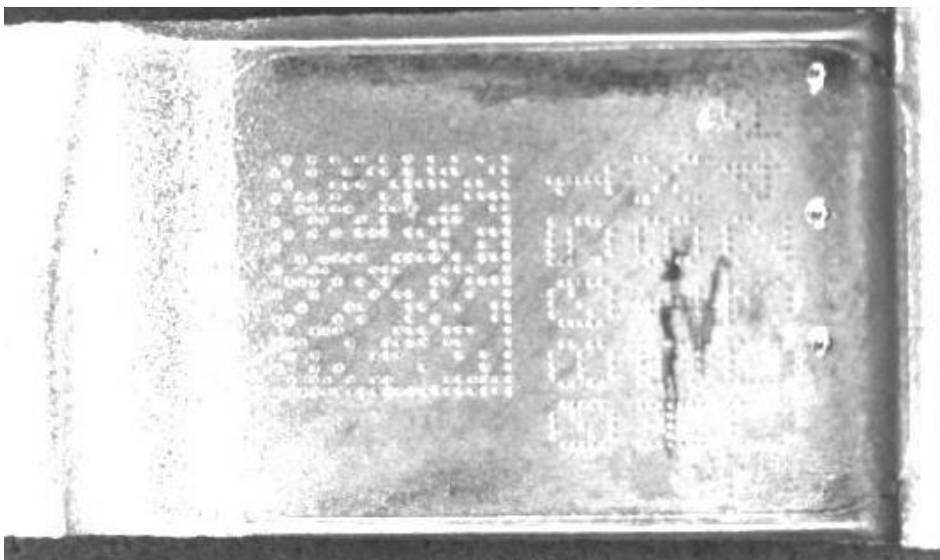
2.3 Valaistus

Valaistuksen tarkoitus on korostaa kappaleen värisävyjä ja tehdä kuvausalaista selkeää. Huonolla ja epätasaisella valaistuksella on suuri vaikutus kameralla otetun kuvan laatuun, jonka seurauksena kamera ja tietokone tarvitsevat enemmän aikaa käsitellä kuvaa tarkastelua varten. Myös kuvan tarkastelutuloksissa, esimerkiksi mitauksissa, voi olla suurta heittoa tai kamera ei löydä tarkasteltavaa kohdetta ollenkaan.

Kuvissa 3 ja 4 on kuvattu sama kappale. Kuvassa 3 on kunnollinen valaistus, jolloin kuvasta näkee selvästi tarvittava tieto. Kuvassa 4 on vääränlainen valaistus, jolloin kuvasta tulee vaikeasti luettava.



Kuva 3. Esimerkki hyvästä valaistuksesta. /3/



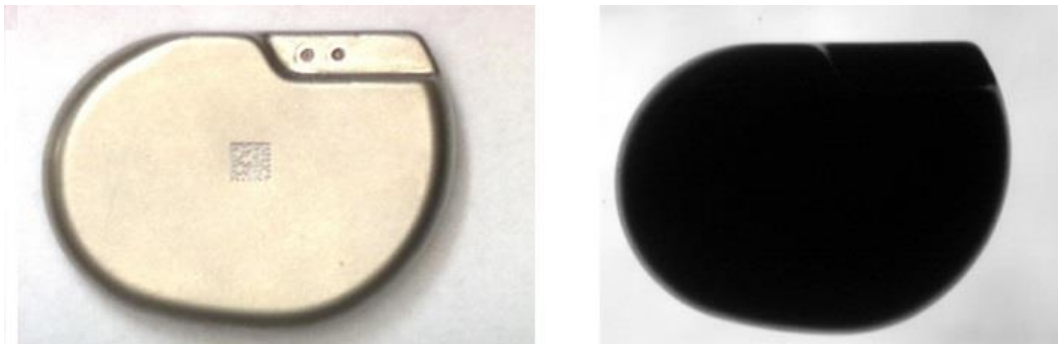
Kuva 4. Esimerkki huonosta valaistuksesta. /3/

Jokaiselle kappaleelle on omanlaisensa valaistus, riippuen siitä, mitä kappaleesta halutaan korostaa. Esimerkiksi kuvan 3 valaistus tulee sivulta, jolloin epätasaisuudet muodostavat varjoja varsinkin pyöreissä pinnoissa, jotka haittaavat mittauksia.

Liikkuvan kappaleen kuvauksessa kuvasta saattaa tulla epäselvä. Välkkyvalolla saadaan kuvattava alue pysymään paikoillaan, jolloin kuvasta saadaan selkeä.

2.3.1 Taustavalaistus

Taustavalaistuksessa kappale asetetaan valolähteen ja kameran väliin jolloin kappaleen ja taustan välillä suuri sävyero. Taustavalaistus yksinkertaistaa kuvan korostamalla kappaleesta ääriviivat. Sitä käytetään reikien ja ulkomuotojen mittaamiseen. Kuvassa 5 on esimerkki taustavalaistuksesta. Kappaleen pyöreät reunat tekevät reunasta epäselvän.



Kuva 5. Taustavalaistus. /4/

Huono puoli taustavalaistuksessa on, että pinnan muodot katoavat ja tausta on pidettävänä puhtaana. Jos kappaleen reunat ovat pyöristettyjä, kamera näkee reunan hieman suttuisena.

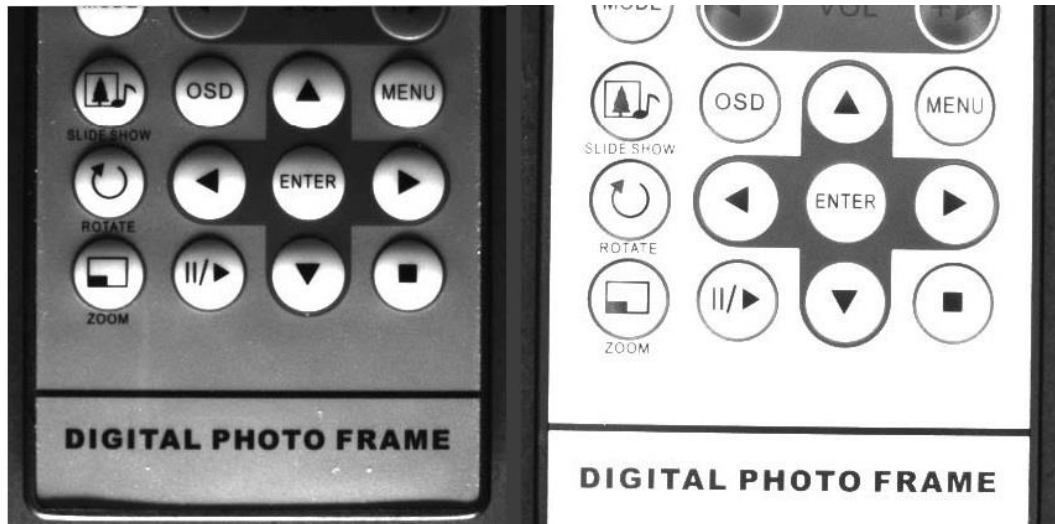
2.3.2 Suora valaistus

Suorassa valaistuksessa valo kohdistetaan suoraan kuvattavaan kappaleeseen.

Suorassa valaistuksessa etuna on, että valaistus on helposti käytettävissä ja antaa suuren sävyeron kuvaan. Huonona puolena on, että suora valaistus aiheuttaa heijastuksia kappaleen pintaan, jolloin kuva ylivalottuu ja laatu huononee. Suora valaistus synnyttää varjoja kolmiulotteisissa kappaleissa.

Suoran valaistuksen haittoja voidaan ehkäistä hajautetulla suoralla valaistuksella esimerkiksi rengaslampulla, jossa valo tulee tasaisesti joka suunnasta kappaleeseen. Tällä tavoin kappaleeseen ei tule varjoja ja antaa tasaisen valaistuksen kaikista

suunnista. Hajautettua suoraa valaistusta käytetään kiiltävissä metalliosissa ja kolmiulotteisissa kappaleissa, jos varjot ovat ongelmallisia. Kuvassa 6 on kuvattu sama kappale kahdella erilaisella valaistuksella.



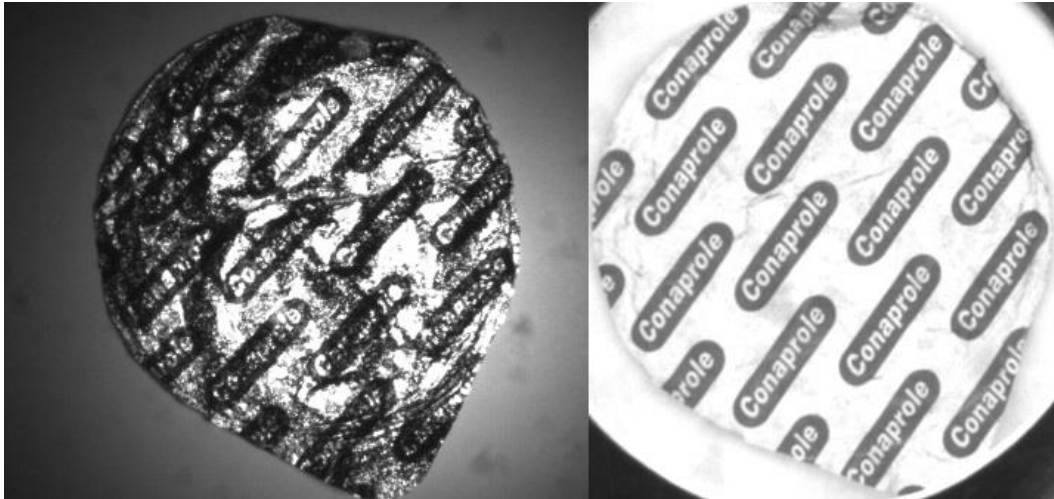
Kuva 6. Suoravalaistus sivulta ja kehävalaistus. /3/

Kuvassa 6 on kuvattu kaukosäätimen nappulat suoralla valaistuksella. Vasemmanpuoleisessa kuvassa valo tulee alhaalta, jolloin nappuloiden yläpuolelle syntyy varjoja. Oikeanpuoleisessa on käytetty rengasvaloa, jolloin valo tulee tasaisesti joka puolelta.

Valoa voidaan myös syöttää samalle akselille, millä kamera on, tällöin ei tule perspektiivivirheitä vääristymiä.

2.3.3 Epäsuora valaistus

Epäsuorassa valaistuksessa valo syötetään esimerkiksi kupuun, josta se heijastuu kappaleeseen. Tällä tavalla valaistus saadaan hajotettua yli 180°:tta. Epäsuora valaistus sopii hyvin heijastavien ja epätasaisten pintojen kuvaamiseen. Kuvassa 7 on alumiinifolio valaistu suoralla ja epäsuoralla valaistuksella. Kuten vasemmasta kuvasta nähdään, suora valaistus heijastuu folion kautta kameraan, joka aiheuttaa valkoisia alueita kuvassa.



Kuva 7. Alumiinifolio suoralla valaistuksella ja epäsuoralla valaistuksella. /4/

2.3.4 Valolähteet

Valonlähteitä on erilaisia ja jokaisella on oma käyttötarkoitus. Halogeeni ja hehkulamput antavat suoran valaistuksen ja ovat halpoja.

Loistelamput tuottavat hajautettua suoraa valoa, joka vähentää heijastusta. Loistelamppuja saadaan erimuotoisina esimerkiksi renkaan muotoisina, joka sopii hyvin konenäön valaisuun. Valaistusvoimakkuutta on hankala säätää.

LED-valot ovat yleistyneet konenäköjärjestelmissä. LED on puolijohdekomponentti, joka synnyttää valoa kun sille syötetään jännitettä. LED-valoilla on pitkä käyttöikä, jopa yli 10 000 tuntia, ja niiden valoteho pienenee vain vähän LEDin elinkaaren aikana. LEDit eivät lämpene kuten hehkulamput ja halogeenit, joten niillä on turvallista tehdä taustavalaistus jossa valaistus tehdään laatikon sisään, jossa on yksi läpinäkyvä pinta. LED-valojen kytkennöillä voidaan muokata valon muotoa. Esimerkiksi pyöreä loistevalaisin voidaan korvata LED-valoilla asentamalla niitä ympyrän muotoon ja tarvittaessa laittamalla kupu valon eteen jotta, saadaan valo hajautettua paremmin. /4/

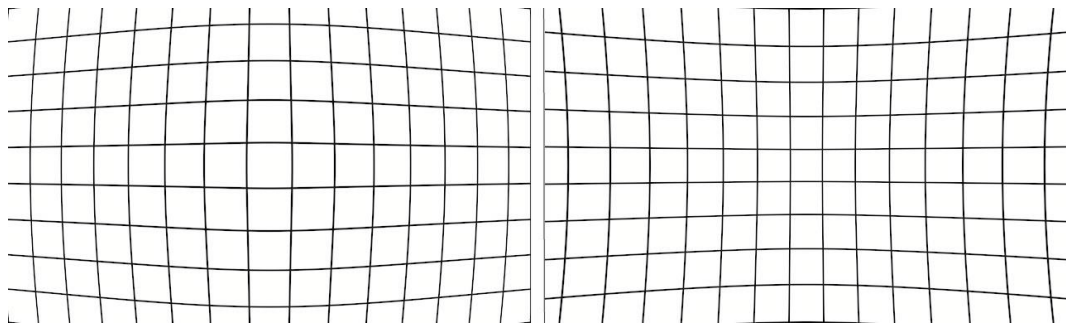
2.4 Optiikka

Kameraan tulee valita sopiva linssi eri käyttötarkoituksiin. Linssin valinnassa tulee huomioida työetäisyys, syvyysterävyys, aukon koko ja polttoväli.

Syvyysterävyysalue on kahden pisteen välinen alue, jossa kuva on tarpeeksi terävä. Jos kappale on syvyysterävyysalueen ulkopuolella, kamera on joko liian lähellä tai kaukana, kuvasta tulee sumea. Suurella syvyysterävyysalueella kuvasta tulee tarkka vaikka itse kuvattava kappale ei ole täysin suora. Aukon koko määrää kuinka paljon valoa valokennon pääsee. Konenäköjärjestelmissä suurella aukon koolla kuva muodostuu nopeasti, mutta syvyysterävyysalue pienenee. Polttoväli määrittää syntyvän kuvan koon. Suurella polttovälillä kuvasta tulee isompi. Työetäisyys tarkoittaa etäisyyttä linssin ja kappaleen välillä. /5/

Kaikki edellä mainitut seikat vaikuttavat toisiinsa. Jos yhtä muuttaa, kaikki muuttuvat. Esimerkiksi syvyysterävyysaluetta saadaan siirrettyä lisäämällä loittorengas kameran ja linssin väliin. Tällöin syvyysterävyysalue tulee lähemmäksi kameraa ja työetäisyys pienenee.

Kaikki linssit aiheuttavat hieman vääristymistä kuvissa. Kuvassa 8 on esimerkki kuvan vääristymisestä. Vääristymät johtuvat valon taitumisesta linssissä. Valo taituu erilaisilla linssin eri kohdissa. Vääristyminen on voimakkainta linssin ulkoreunoilla. Konenäköjärjestelmissä vääristymiä voidaan korjata kalibroimalla kamera, jolloin esimerkiksi kappaleen mittauksessa yksi pikseli kuvan keskellä vastaa 0,0122 mm ja kuvan reunalla pikseli vastaa 0,0123 mm.

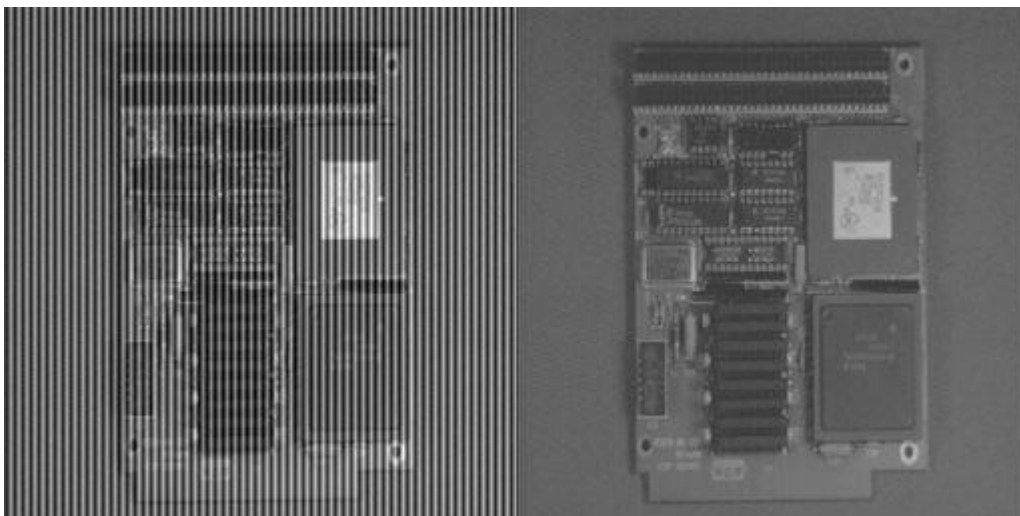


Kuva 8. Linssin aiheuttama vääristymä. /5/

2.5 Kuvankäsittely

Kameran sisäänrakennettu tai ulkopuolinen kuvankäsittelyohjelmisto analysoi otettua kuvaa, suodattaa ja tunnistaa kuvasta ennalta-asetellut muodot. Suodatuksen

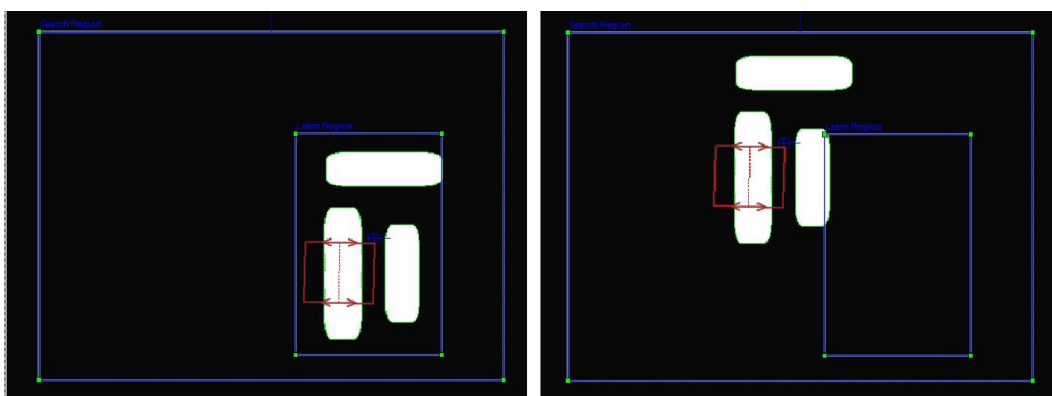
avulla saadaan poistettua kuvasta häiriöitä. Kuvassa 9 sinimuotoinen häiriö on suodatettu pois.



Kuva 9. Oikeanpuoleisesta kuvasta häiriöt on suodatettu pois. /6/

Suodattimia käytetään parantamaan kuvaa ja tuomaan paremmin esille tarkastettavia kohteita. Esimerkiksi reunasuodatus korostaa kuvan reunoja ja kokkaresuodatus korostaa kappaleessa olevia roiskeita, möykkyjä ja pisaroita.

Paikoitus-toiminolla ohjelma tunnistaa kuvasta ennalta opetetut kuviot tai möykyt. Paikoitusta käytetään muiden toimintojen referenssipisteenä, jolloin esimerkiksi mittaustoiminto tarkastelee oikeaa reikää.

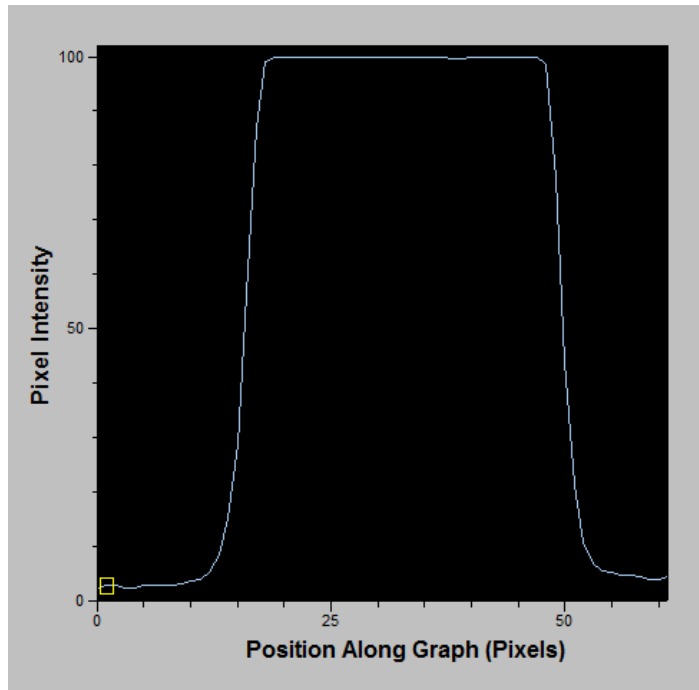


Kuva 10. Paikoitus.

Kuvan 10 vasemmalla puolella pienempi sininen suorakaide on opetusalue. Isompi sininen suorakaide on etsintäalue, joka etsii kyseiseltä alueelta opetettua ryhmää.

Punaisella piirretty suorakaide mittaa kyseisen reiän leveyttä. Oikeanpuoleisessa kuvassa reikäryhmä on liikkunut. Koska reikäryhmä on vielä etsintäalueen sisällä niin paikannin löytää ryhmän ja siirtää mittaustoiminnon reiän mukana.

Kuvankäsittelyssä on monenlaisia toimintoja, kuten vian etsintää, tekstin tunnistusta ja viivakoodien luku. Kaikki toiminnot perustuvat pikselin intensiteettitasoon.



Kuva 11. Reiän leveyden mittaaminen.

Kuvassa 11 on kuvankäsittelyohjelman työkalun piirtämä käyrä, jossa näkyy pikselin intensiteettitaso. Kuvankäsittelyohjelma analysoi käyrää ja laskee reiän reunan sijainnin. Kuvassa 11 nopea intensiteetin muutos kuvastaa löytyvää reuna. Käyrä on otettu kappaleesta, joka on taustavalaistu, joten suuri intensiteetti tarkoittaa avointa aluetta, ja pieni intensiteetti kiinteää aluetta. Kuvankäsittelyohjelma käyttää omia algoritmeja jotka laskevat reunojen tarkan sijainnin alle pikselin tarkkuudella.

2.6 Tiedonsiirto

Työssä käytetyssä DVT-535-konenäkökamerassa on kaksi erilaista tapaa siirtää tietoa. Yksi on I/O-pinnit, joiden avulla suoritetaan yksinkertaisia päälle/pois – komentoja. Toinen tapa on kamerassa olevan ethernet-portin avulla, joka mahdollistaa saatujen mittaustuloksien tallentamista tietokoneelle tai verkkoon.

3 XY-PÖYTÄ

Kappaleita mitattaessa, jotka ovat suurempia kuin kameralla saatu kuva-alue, käytetään liikkuvaa mittausaluetta. Mittausaluetta voidaan liikuttaa kolmella erilaisella tavalla: mittauspöytää liikutetaan, kameraa liikutetaan tai edellisten yhdistelmä, jossa pöytä liikkuu esimerkiksi Y-suunnassa ja kamera X-suunnassa.

Mittausalueen liikuttamiseen käytetään sähkömoottoreita. Sähkömoottoreilla saadaan liikutettua mittausaluetta tarkasti ja saadaan tieto, missä kohtaa mittausalue on menossa.

3.1 Askelmoottori

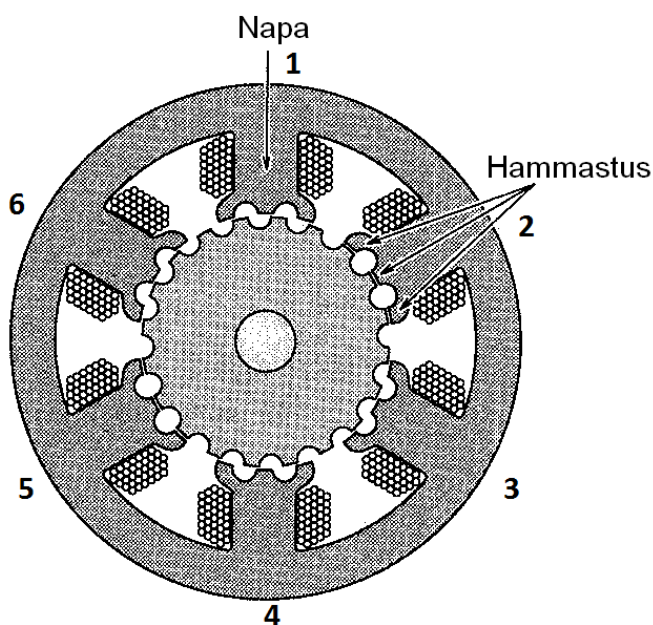
Askelmoottoreita käytetään sovelluksiin, joissa tarvitaan tarkkaa paikoitusta. Askelmoottori on sähkömoottori, jota ajetaan askeleittain. Askelmoottorilla on tietty määrä askeleita ja askeleiden etäisyys toisistaan on vakio. Askeleen suuruus riippuu moottorin rakenteesta ja ohjaustavasta. Askelmoottorin ohjaukseen tarvitaan erillistä ohjauspiiriä. Ohjauspiiri antaa virtapulssin, jolloin askelmoottorin roottori kiertyy yhden askeleen verran.

Askelmoottorit jaetaan kolmeen ryhmään: reluktanssiaskelmoottori, kestromagneettiaskelmoottori ja hybridiaskelmoottori. Kyseiset moottorit toimivat samalla periaatteella, staattorissa syntyvä magneettivuo pyörittää roottoria.

3.1.1 Reluktanssiaskelmoottori

Kuvassa 12 on esitetty reluktanssiaskelmoottorin poikkileikkaus. Moottorissa on kolme vaihetta ja vastakkaiset navat kuuluvat samaan vaiheeseen. Vaiheeseen 1 kuuluvat navat 1 ja 4, vaiheeseen 2 navat 2 ja 5, vaiheeseen 3 navat 3 ja 6. Kun vaiheeseen 2 syötetään virtaa, muodostuu napojen 2 ja 5 välille magneettivuo. Vuo kulkee sitä reittiä, jossa on vähiten vastusta eli napojen ja hammastuksen välillä on mahdollisimman pieni väli. Kun navasta 2 katkaistaan ja napaan 3 kytetään virta, roottori pyörii myötäpäivään niin kauan kunnes vuon vastus on pienemmällä.

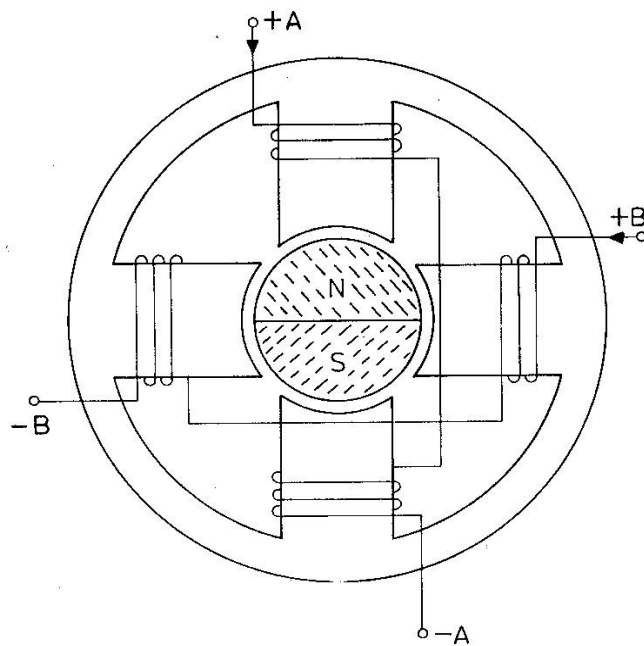
Syöttämällä virtaa napoihin järjestelmällisesti saadaan roottori pyörimään. Roottorin hammastuksella, staattorin napaluvulla ja vaihemäärillä saadaan muokattua moottorin askeleen suuruutta. /7/



Kuva 12. Reluktanssimoottorin poikkileikkaus. /7/

3.1.2 Kestomagneettiaskelmoottori

Kestomagneettiaskelmoottorin rakenne on samanlainen kuin reluktanssimoottorissa, mutta roottori on tehty kestmagneetista. Kestomagneettiaskelmoottori saadaan pyörimään syöttämällä virtaa napoihin, jolloin syntyy magneettikenttä, joka kiertää staattoria. Roottori saadaan pyörimään magnetoimalla käämejä vuorotellen. Kestomagneettiaskelmoottorin ohjauksessa tulee huomioida staattorin napojen virran suunta. Kuvassa 13 on esitetty kestmagneettiaskelmoottorin poikkileikkaus. Virran positiivinen suunta on esitetty nuolella. Jotta roottori saadaan pyörimään, magnetoidaan A- ja B-napoja vuorotellen ja huomioidaan virran suunta. Kuvan 13 mukainen moottori saadaan pyörimään myötäpäivään syöttämällä $+I_B, -I_A, -I_B, +I_A$ virtojen tuossa järjestyksessä. /7/



Kuva 13. Kestomagneettiaskelmoottorin poikkileikkaus. /7/

3.1.3 Hybridiaskelmoottori

Hybridiaskelmoottori on kestopagneetti- ja reluktanssiaskelmoottorin yhdistelmä. Hybridiaskelmoottorin etuina on suuri vääntövoima ja tarkka askellus pienessä koossa. Monimutkaisen rakenteen takia melko kallis.

3.2 Lineaariyksikkö

Lineaariyksikkö koostuu rungosta, lineaarivaihteesta ja toimilaitteesta. Linearivaihteen tarkoitus on muuntaa moottorin pyörivä liike lineaariseksi. Jokainen liikesuunta tarvitsee oman lineaarivaihteen. Kuvassa 14 on esitetty työssä käytetty lineaariyksikkö.



Kuva 14. SGSP26-200(X) lineaariyksikkö. /8/

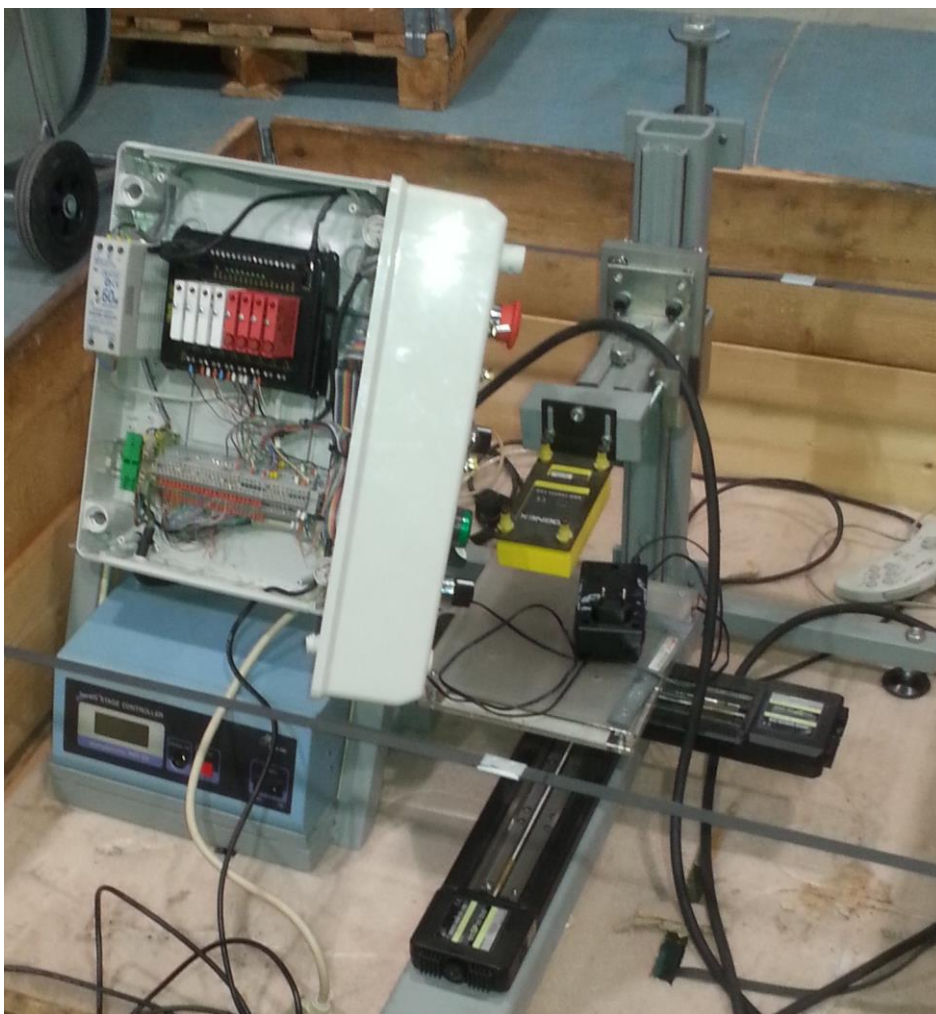
3.3 Ohjainyksikkö

Askelmoottorit tarvitsevat erillisen ohjausyksikön. Ohjausyksikölle asetellaan ohjattavan askelmoottorin suurin sallittu virta, kiihtyvyydet ja nopeus. Mallista riippuen ohjaimelle asetetaan askelmoottorin rajakytkimien toiminta. Ohjainyksikkö sisältää I/O-liittimiä, joilla voidaan antaa ja ottaa vastaan komentoja konenäkökamerasta tai ulkoisesta lähteestä. Ohjain pitää muistissa, missä kohtaa askelmoottori on menossa, sillä useimmissa askelmoottoreista puuttuu takaisinkytkentä.

4 TYÖN TOTEUTUS

Mittalaite tuotiin työpaikalle lavalla (kuva 15.) Laitteessa oli runko ja kytkentäkaappi valmiina. Lineaarivaihteet oli kytketty toisiinsa ja niihin oli asennettu valopöytä, joka koostui hiekkapuhalletusta akryylilevystä, ledinauhoista ja virtalähteestä. Kamera oli kiinnitetty runkoon kierretangolla, jonka avulla korkeutta saatiin säädettyä.

Työnä oli tehdä liitos kameran ja askelmoottoriohjaimen välille, jotta kamera saa mitattua automaattisesti kaikki tuotteessa olevat reiät.



Kuva 15. Alkutilanne.

4.1 Konenäkökamera

4.1.1 Optiikka

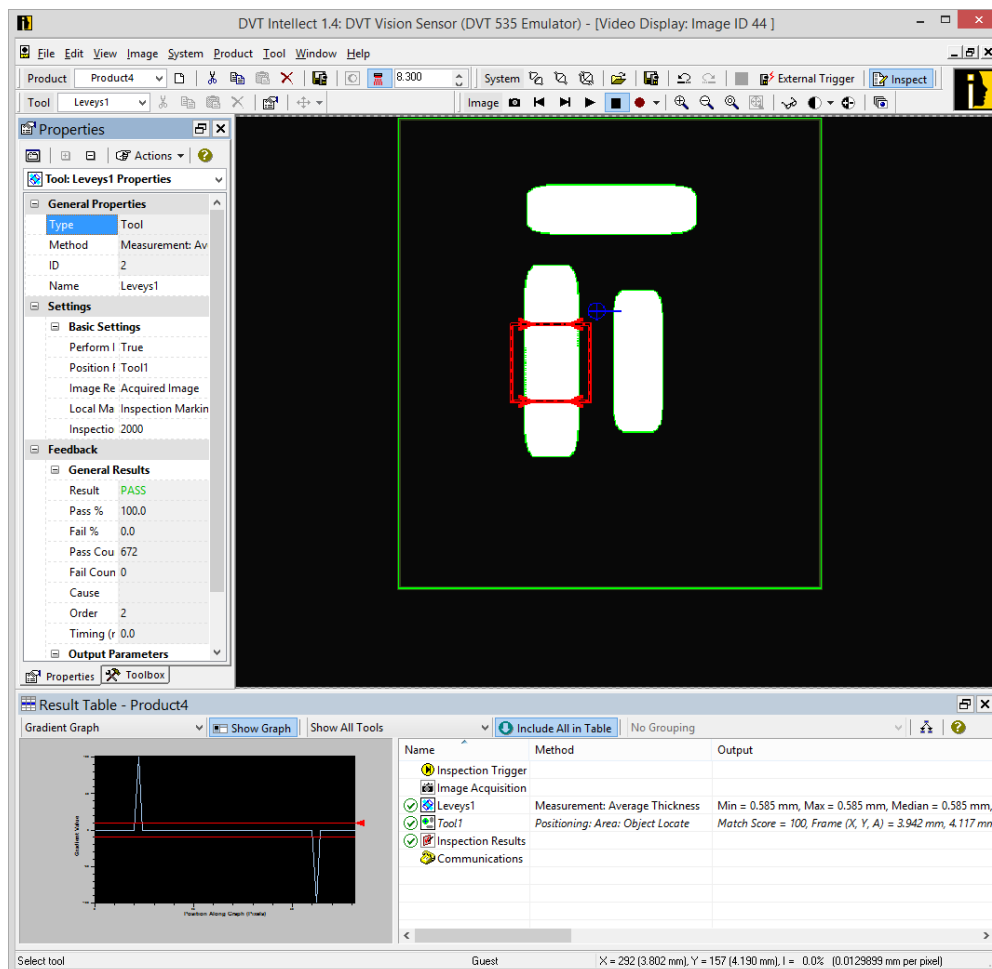
Mittalaitteen tullessa tarkasteltiin tulleita osia ja huomattiin, että kamerasta puuttui optiikka. Konenäkökameroiden optiikoiden tutustumisen jälkeen otettiin yhteyttä kameran valmistajaan ja kysyttiin tarjousta optiikasta.

Uusi optiikka asennettiin kameraan. Asentamisen jälkeen huomattiin, ettei kyseisellä optiikalla saatu fokusoitua haluttua aluetta tarpeeksi läheltä. Vanha optiikka palautettiin ja tilattiin uusi. Uuden optiikan mukana tuli tarvittava loittorengas, jonka avulla työtäisyyttä saatiin pienennettyä tarpeeksi.

4.1.2 Ohjelmisto

Tietokoneelle asennettiin DVT Intellect –ohjelma, joka avulla saatiin yhteys kameraan. Itse kuvankäsittelyohjelmisto oli rakennettu kameran sisään. Kamera yhdistettiin tietokoneeseen verkkokaapelilla. Ohjelman opettelussa käytettiin laitteen käyttöohjeita, help-toimintoa ja tallennettuja internetkurseja, mutta parhaiten oppi itse kokeilemalla laitteen toimintoja.

Ohjelman käyttöliittymä on esitetty kuvassa 16. Keskellä kuvaa on kameran ottama kuva, josta ohjelmisto tekee opetetut mittaukset. Vasemmassa palkissa on valinnan ominaisuudet, työkalut löytyvät vasemmasta palkista välilehden takaa. Alhaalla vasemmalla on kuvan analysoinnin graafinen näyttö. Alhaalla oikealla on työkalujen mittaustuloksia, tarkistuksen tulos ja pikakuvake kameran kommunikointiasetukseen.

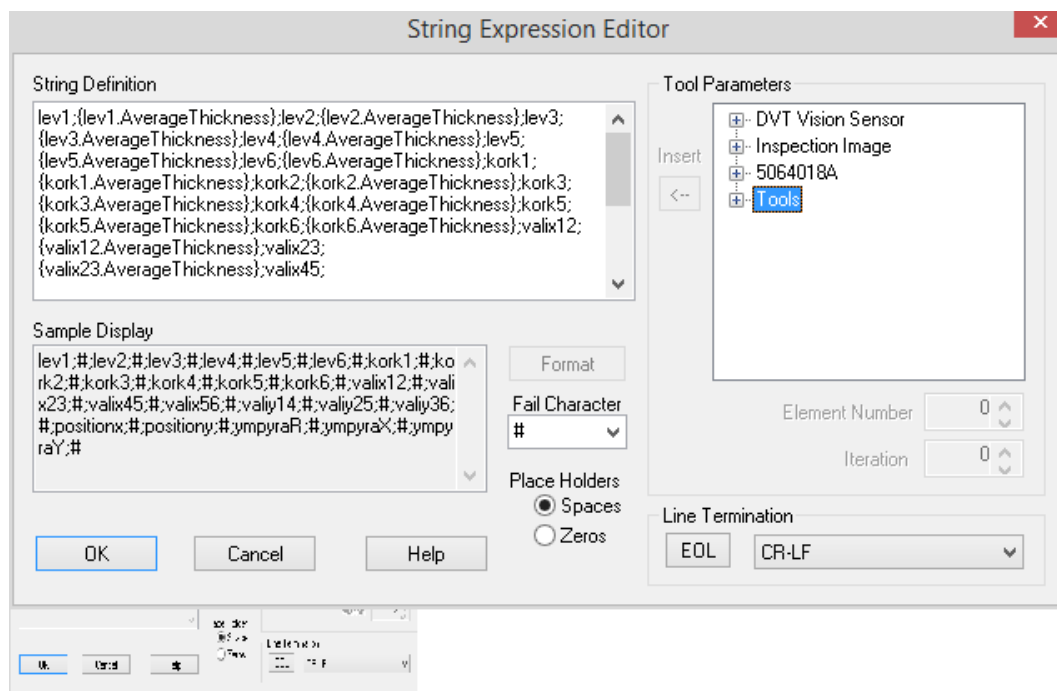


Kuva 16. Intellect käyttöliittymä.

Ohjelmaan luotiin uusi tuote, jonka alle rakennetaan erilaisia mittaustoimintoja ja kuvankäsittelyjä. Kaikki tuotteet ovat eristettyjä toisista tuotteista. Ainoastaan taustaskriptien avulla voidaan yhdistellä eri tuotteiden mittauksia. Tuotteen luomisen jälkeen luodaan työkaluja. Työkaluja ovat: suodatus, paikoitus, mittaus, virheen tunnistus ja skriptit. Suodatuksen avulla kuvasta poistetaan häiriöt, paikoituksen avulla saadaan työkaluille referenssipisteet. Mittaustyökaluja on monta erilaista, mutta parhaiten tähän työhön toimii aluemittaus, jossa piirrettiin suorakaide mitattavalle alueelle. Kyseinen työkalu täyttää alueen viivoilla ja etsii jokaisesta viivasta suuria intensiteettieroja ja laskee intensiteettierojen etäisyyden. Lopuksi se laskee yksittäisten viivojen tietojen avulla mitattavan alueen paksuuden.

Kamerassa on DataLink-toiminto, joka lähettää mittaustiedot verkkokaapelin kautta tietokoneelle. Käyttäjä saa itse valita, mitä mittaustietoja lähetetään. Kuvassa

17 on esitetty yhden tuotteen DataLink-asetukset. Tieto on tekstiä, joka on eroteltu puolipisteellä, ensin on mittauksen nimi ja sitten mittausrarvo.



Kuva 17. Mittaustietojen valinta ja esikatselu.

Kommunikointi askelmoottoriohjaimen kanssa tehtiin kameran I/O-moduulin kautta. Moduulista käytettiin yksi sisääntulo ja yksi ulostulopinni.

Askelmoottoriohjain antaa signaalin, kun pöytä on oikealla paikalla, jolloin kamera ottaa kuvan. Kamerassa oli ”Busy”-ulostulo, joka on päällä kun kamera ottaa kuvaa tai analysoi kuvaa. Kyseinen ulostulo käännettiin, jolloin ulostulo on päällä, kun kamera on vapaa ottamaan seuraavan kuvan. Käännetty ”Busy”-ulostulo vietiin askelmoottoriohjaimen sisääntuloon, jolloin pöytä jatkoi seuraavaan mittauskohtaan.

4.2 Askelmoottoriohjain

Askelmoottoriohjain liitettiin tietokoneeseen RS-232-portilla. Ohjaimen konfigurointi voitiin tehdä ohjaimen paneelista tai tietokoneelta käyttäen laitteen mukana tullutta SG Commander -ohjelmaa. Askelmoottoriohjaimelle tehtiin käytössä ole-

van lineaarivaihteen mukaiset asetukset. Tärkeimmät asetukset olivat askelien määrät ja yhden pulssin aiheuttama muutos. Askelmoottorille maksimi syötettävä virta aseteltiin kiertokytkimistä, jotka löytyivät ohjaimen alta luukuun takana.

SG Commander –ohjelmalla ohjaimelle syötettiin Excelillä tehty ohjelma.

4.3 Askelmoottorin ohjelma

Askelmoottoriohjaimelle tehtiin ohjelma käyttäen Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Askelmoottoriohjaimen ohjelman rakenne on esitettyinä taulukossa 1. Toiminnan valinta määrittää mitkä akselit liikkuvat, ajavat akselit nollakohtaan tai jäävät odottamaan komentoa ulkoisesta lähteestä. Koordinaattisarake määrää kuinka monta pulssia askelmoottori siirtyy kyseiseen suuntaan.

Taulukko 1. Askelmoottoriohjaimen ohjelman rakenne.

① Line number	② Operating pattern	③ First-axis coordinate	④ Second axis coordinate	⑤ Output instruction	⑥ Speed setting	⑦ Wait time
1	0	1234	100	0	1	0
2	0	1000	900	0	1	0
3	0	- 500	350	0	1	0
4	99	-	-	-	-	-
8000						

Kappaleen piirustuksesta katsottiin tarvittavat mitat ja asetettiin ne Excelin soluihin. Asetellut mitat muuttavat askelmoottoriohjaimen ohjelmaa soluihin asetettujen kaavojen avulla. Kuvassa 18 on askelmoottoriohjaimen ohjelman alkuparametrien syöttöikkuna.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Vasen yläreuna (X ₀ , Y ₀)	40	150	mm			
3	Ensimmäinen reikä (C, D)	6	6	mm			
4	Reikien väli (E, F)	3	4	mm			
5	Reikien lukumäärä (lkmX, lkmY)	80	75	mm			
6	Ruuvin reikä (A,B)	4	4	mm			
7							
8	Väli 1	50	mm				
9	Väli 2	50	mm				
10	Väli 3	50	mm				
11	Väli 4	50	mm				
12							
13							

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Line number	Operating pattern	X-axis coordinate mm	coordinate pulse	Y-axis coordinate mm	coordinate	Output instruction	Speed setting	Wait
1	1	32	-	-	-	-	-	-	-
2	2	20	40	100000	150	375000	1S	2	2
3	3	20	4	10000	-4	-10000	1M	2	2
4	4	?	1	1	-	-	-	-	-
5	5	20	50	125000	0	0	1M	2	2
6	6	?	1	1	-	-	-	-	-
7	7	20	50	125000	0	0	1M	2	2

Kuva 18. Ohjelman teko.

Kaikissa mitattavissa kappaleissa ohjelman alku on samanlainen. Ohjelma ajaa pöydän nolllapisteeseen, jonka jälkeen pöytä paikoittaa itsensä kappaleen vasempaan yläreunaan. Suurin ero ohjelmissa on reikien lukumäärä vaaka- ja pystysuunnassa. Askelmoottoriohjaimessa on funktio, joka toistaa pöydän siirtoa niin monta kertaa kuin siihen on asetettu, joten yhden reikärivin mittaaminen onnistuu kolmella rivillä koodia. Ongelmana oli riviltä toiselle siirtyminen, joka toteutettiin Excelin makroilla. Kyseinen makro kopioi solut, jotka mittaavat yhden reikärivin, jonka jälkeen makro lisää ohjelmaan rivin vaihdon ja liittää kopioidut solut. Makro toistaa kopiointia ja liittämistä niin monta kertaa kuin reikärivejä on. Kuvassa 19 on ote makrosta. Ensin katsotaan montako riviä tuotteessa on, sitten kopioidaan alkuparametrien muodostama ohjelman pätkä ja liitetään kopioidut solut niin monta kertaa kun tarvitsee.

```

'Montako kertaa kopioidaan
n = Sheets("main").Range("c5")

'Valitse kopioitava alue ja lisää leikepöydälle
Sheets("servo").Range("B25:I35").Select
Selection.Copy

'Laske montako riviä valinnassa
intHowmany = Selection.Rows.Count

'Valitse solu johonka liitetään
Sheets("servo").Range("B36").Select

'Liitä kopio x kertaa
For i = 1 To ((n - 2) / 2)
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    ActiveCell.Offset(intHowmany, 0).Select
Next i

```

Kuva 19. Reikien kopiointi ja liittäminen VBA makro.

Askelmoottorihjain ei osaa lukea Excel-tiedostoja, joten solujen linkityksillä ja Excelin nauhoitustoiminolla ohjelma taulukosta tehtiin pilkuilla erotettu tekstitiedosto. Liitteessä 2 on ohjaimelle syötettävä tekstitiedosto.

4.4 Mittausdatan analysointi

Ideana oli mitata tuote ja tarkistaa onko kaikki reiät toleranssin sisällä. Jos mittaukset olivat toleranssin ulkopuolella, niin Excel osasi hakea kyseiset reiät ja kertoa miltä riviltä ja sarakkeelta vialliset reiät löytyvät

Kamerasta saadut mittaustulokset tallennettiin tekstitiedostoon. Tallennettu tekstitiedosto tuotiin Exceliin. Tekstitiedostossa olevien puolipisteiden avulla mittausdata voitiin jakaa Excelin soluihin, eli yhdessä solussa oli yksi mitta.

4.4.1 Mittausdatan siivous

Mittausprosessista tehtiin nopeampi muokkaamalla askelmoottorin ohjelmaa siten, että kamera kuvaa yhden rivin vasemmalta oikealle, siirtyy yhden rivin alaspäin ja kuvaa oikealta vasemmalle sen sijaan, että kamera olisi mitannut vasemmalta oikealle, siirtynyt yhden rivin alaspäin, palannut takaisin vasemmalle ja sen jälkeen aloittanut uuden mittausrivin. Mittausprosessin nopeuttamisen takia mittaustiedot eivät ole järkevissä järjestyksessä, joten Exceliin tehtiin makro, joka kääntää joka toisen rivin mittaustulokset ympäri.

Kun mittaustiedot oli saatu järjestykseen, oli aika siivota niistä turhat mittaukset pois. Siivousta varten Exceliin tehtiin uusi välilehti. Välilehdeltä poistettiin mittaukset, joissa ei ollut mitattavia kohteita, kuten tyhjä väli reikien välillä ja aloitussekä loppupisteet.

4.4.2 Toleranssin tarkistus

Vaikein osuus työstä oli reikien toleranssin tarkistaminen. Excelissä oleva ominaisuus, joka muokkaa itsestään solujen kaavoja, jos käyttäjä poistaa tai lisää rivejä ja sarakkeita, aiheutti eniten ongelmia. Kun uusi mittaustiedot tuotiin, solujen kaavat muuttuivat ja eivät pitäneet paikkaansa. Kyseisen Excelin ominaisuuden takia tehtiin makro, joka tarkastaa toleranssit.

Kuvassa 20 on ote makron luomasta toleranssin tarkastuksesta. Makro käy jokaisen reiän läpi ja kirjoittaa soluun, onko kyseinen reikä toleranssin sisällä vai ei. Tällä tavalla on vain kaksi muuttujaa, läpi ja ei läpi.

CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	I
57	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
58	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
59	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
60	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
61	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
63	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
64	FAIL	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Ei Läpi	Läpi
65	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
66	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi
67	PASS	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi	Läpi

Kuva 20. Toleranssin tarkistuksen apusolut.

Toleranssin tarkistuksen jälkeen makro tarkastaa ”läpi” ja ”ei läpi” solut rivi riviltä ja kirjoittaa rivin alkuun, onko mitat kunnollisia vai hylättyjä. Yksi rivi vastaa yhden reiän mittaustuloksia. Syntyneestä listasta etsitään kaikki vialliset reiät ja niistä tehdään lista. Lista kertoo reiän numeron, jolloin vika on helppo paikallistaa tuotteesta.

Kaikki mittaustulosten muokkaamisen ja toleranssin tarkasteluun liittyvät makrot on laitettu yhden napin painalluksen taakse. Nappia painamalla avautuu ikkuna,

josta haetaan mittaustulokset. Kun mittaustulokset on valittu ja avattu, makro käynnistyy ja tekee kaikki edellä mainitut toiminnot. Käyttäjän pitää vain antaa toleranssi ja reiän oikea mitta, niin makrot hoitavat loput.

4.5 Testaus

Työn testaus tapahtui samalla kun sitä tehtiin. Kappaletta mitattiin useaan kertaan ja kameran ohjelmistosta muutettiin yksi asetus kerrallaan parhaan lopputuloksen saamiseksi. Kamerasta saatuja mittauksia verrattiin profiiliprojektorilla saatuihin mittoihin.

Askelmoottoriohjaimen ohjelma käynnistettiin ja kamerasta seurattiin mittausalueen liikkeitä. Ohjelma pysäytettiin ja aloitettiin alusta, jolloin nähdään mitä se tekee poikkeustilanteissa.

Excelin makroja testattiin sitä mukaan, kun saatiin kukin osa valmiiksi, makroja toistettiin useaan kertaan ja katsottiin tekevätkö ne aina samat toimenpiteet.

Lopuksi laitteella mitattiin tuotteen kaikki reiät ja verrattiin laitteesta saatuja mittaustuloksia profiiliprojektorilla otettuihin mittauksiin. Suorakulman muotoisissa rei'issä ei ollut suuria mittauseroja, mittauserot olivat alle 0,01 millimetriä. Pyöreissä muodoissa oli suuria eroavaisuuksia.

4.6 Kehitys

Laitetta voi kehittää eteenpäin yhdistämällä askelmoottoriohjaimen, mittaustulosten analysoinnin ja kameran ohjelmiston samaan ohjelmaan, jolloin laitteen ohjelmoinnista ja käyttämisestä tulee helpompaa. Tällä hetkellä laitteen käyttäminen on melko hankalaa, jos tuotteeseen tulee pieni muutos, pitää Excelin makroja muokata muutosta varten.

Kameran korkeudensäätö voidaan muuttaa automaattiseksi korvaamalla työssä käytetty askelmoottoriohjain uudella ohjaimella, jolla voi ohjata kolmea tai useampaa lineaariyksikköä samaan aikaan.

5 YHTEENVETO

Mittalaite saatiin toimimaan toivotulla tavalla ja laitteesta saatiin tuotteen mittaustulokset Excel-taulukkoon, jossa niitä voitiin tarkastella ja tarvittaessa tulostaa mittapöytäkirja. Mittalaitetta voidaan käyttää myös muiden tuotteiden tarkasteluun tekemällä pieniä muutoksia Excel-ohjelmaan.

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla konenäkökameraan ja sen toimintaan sekä tilaamalla mittaukseen sopiva optiikka. Samaan aikaan käytiin läpi askelmoottoriohjaimen ominaisuuksia ja tutkittiin, millä tavalla askelmoottoriohjain ja konenäkökamera saadaan kommunikoidaan keskenään. Seuraavaksi tehtiin Exceliin ohjelma, joka liikuttaa mittausaluetta ja analysoi mittaustuloksia.

Opinnäytetyössä oppi paljon konenäöstä ja sen sovelluksista. Vaikeinta työssä oli mittausten toleranssin tarkastaminen ja VBA-kielen opettelu. Tehty mittalaite on hyvä pohja, josta sitä voidaan kehittää eteenpäin.

LÄHTEET

- /1/ Litwiller, D. 2001. CCD vs. CMOS: Facts and Fiction. Viitattu 19.4.2015. www.teledynedalsa.com/public/corp/photonics_spectra_ccdvscmos_litwiller.pdf
- /2/ Cognex® Corporation. 2006. DVT® Intellect 1.4 Installation and User Guide.
- /3/ Cognex® Corporation. Lightning Advisor. Viitattu 29.3.2015 <http://www.cognex.com/ExploreLearn/UsefulTools/LightingAdvisor/>
- /4/ Cognex®. 2007. Lighting & Optics Course Slide.
- /5/ Hakola, K. 2014. Machine vision in motion guidance. Viitattu 21.4.2015. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77714/Hakola_Kari.pdf
- /6/ TKK Automation Technology Laboratory. Konenäkö robotin ohjauksessa. Viitattu 21.4.2015. www.automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teorija.pdf
- /7/ Sainio, V-M. 2010. Hybridiaskelmoottorin mallinnus ja ohjaus nosturiso-
velluksessa. Viitattu 2.5.2015. www.lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100145.pdf
- /8/ OptoSigma. Motorized Stage. SGSP26-200(X). Viitattu 2.5.2015. http://www.global-optosigma.com/en_eu/Catalogs/gno/?from=page&pno-name=SGSP26-%28X%29&ccode=W9014&dcode=&gnoname=SGSP26-200%28X%29

No.202	Memory-switch setting (display)	Range/Options	Default value
01	SPEED SEL	1 ~ 4	1
02	SPEED1 (S)	1 ~ 500000	100
03	SPEED1 (F)	1 ~ 500000	1000
04	SPEED1 (R)	0 ~ 1000	200
05	SPEED2 (S)	1 ~ 500000	500
06	SPEED2 (F)	1 ~ 500000	5000
07	SPEED2 (R)	0 ~ 1000	200
08	SPEED3 (S)	1 ~ 500000	750
09	SPEED3 (F)	1 ~ 500000	7500
10	SPEED3 (R)	0 ~ 1000	200
11	SPEED4 (S)	1 ~ 500000	1000
12	SPEED4 (F)	1 ~ 500000	10000
13	SPEED4 (R)	0 ~ 1000	200
14	AXIS	1 / 2	2
15	INTERFACE	RS232C / USB / GP-IB	RS232C
16	BAUDRATE	4800 / 9600 / 19200 / 38400	9600
17	DELIMIT	CR / LF / CR+LF / EOI	CRLF
18	GP-IB ADDR	0 ~ 30	8
19	STAGE1 UNIT	PULSE / MICRO / DEG	PULSE
20	STAGE2 UNIT	PULSE / MICRO / DEG	PULSE
21	NOT USE	—	—
22	DIVIDE1 M2	1,2,4,5,8,10,20,25,40,50,80,100,125,200,250	2
23	NOT USE	—	—
24	DIVIDE2 M2	1,2,4,5,8,10,20,25,40,50,80,100,125,200,250	2
25	NOT USE	—	—
26	NOT USE	—	—
27	BASE RATE1	1 ~ 1000	20
28	BASE RATE2	1 ~ 1000	20
29	TRG / LEV	HI / LO	HI
30	LS / LEV1	NORMAL CLOSE / NORMAL OPEN	NORMAL CLOSE
31	LS / LEV2	NORMAL CLOSE / NORMAL OPEN	NORMAL CLOSE
32	MOVE1	POS / NEG	POS
33	MOVE2	POS / NEG	POS
34	POSOUT	ON / OFF	ON
35	TRG WIDTH	10 / 100 / 1000	10
36	MODE SEL	HOST / MANUAL / REMOTE / TEACHING / EDIT / LOAD / TEST	HOST
37	ORIGIN1	ON/OFF	ON
38	ORIGIN2	ON/OFF	ON
39	ORG1 SEL	MARK / MINI / NOR	MINI
40	ORG2 SEL	MARK / MINI / NOR	MINI
41	ORG1 (S)	1 ~ 500000	500
42	ORG1 (F)	1 ~ 500000	5000
43	ORG1 (R)	0 ~ 1000	200
44	ORG2 (S)	1 ~ 500000	500
45	ORG2 (F)	1 ~ 500000	5000
46	ORG2 (R)	0 ~ 1000	200
47	COMM / ACK	MAIN / SUB	MAIN

[Plan]	45,20,0,-544,1M,2,2	90,F,19,-,-,-,-
1,32,-,-,-,-,-	46,F,19,-,-,-,-	91,20,408,0,1M,2,2
2,20,5440,20400,1S,2,2	47,20,408,0,1M,2,2	92,?,1,-,-,-,-
3,20,544,-544,1M,2,2	48,?,1,-,-,-,-	93,N,-,-,-,-,-
4,?,1,-,-,-,-	49,N,-,-,-,-,-	94,20,0,-544,1M,2,2
5,20,6800,0,1M,2,2	50,20,0,-544,1M,2,2	95,?,1,-,-,-,-
6,?,1,-,-,-,-	51,?,1,-,-,-,-	96,F,19,-,-,-,-
7,20,6800,0,1M,2,2	52,F,19,-,-,-,-	97,20,-408,0,1M,2,2
8,?,1,-,-,-,-	53,20,-408,0,1M,2,2	98,?,1,-,-,-,-
9,20,0,-6800,1M, ,2	54,?,1,-,-,-,-	99,N,-,-,-,-,-
10,?,1,-,-,-,-	55,N,-,-,-,-,-	100,20,0,-544,1M,2,2
11,20,-6800,0,1M,2,2	56,20,0,-544,1M,2,2	101,F,19,-,-,-,-
12,?,1,-,-,-,-	57,F,19,-,-,-,-	102,20,408,0,1M,2,2
13,20,-6800,0,1M,2,2	58,20,408,0,1M,2,2	103,?,1,-,-,-,-
14,?,1,-,-,-,-	59,?,1,-,-,-,-	104,N,-,-,-,-,-
15,20,0,-6800,1M,2,2	60,N,-,-,-,-,-	105,20,0,-544,1M,2,2
16,?,1,-,-,-,-	61,20,0,-544,1M,2,2	106,?,1,-,-,-,-
17,20,6800,0,1M,2,2	62,?,1,-,-,-,-	107,F,19,-,-,-,-
18,?,1,-,-,-,-	63,F,19,-,-,-,-	108,20,-408,0,1M,2,2
19,20,6800,0,1M,2,2	64,20,-408,0,1M,2,2	109,?,1,-,-,-,-
20,?,1,-,-,-,-	65,?,1,-,-,-,-	110,N,-,-,-,-,-
21,20,-13600,13600,1S,2,2	66,N,-,-,-,-,-	111,20,0,-544,1M,2,2
22,20,272,-272,1M,2,2	67,20,0,-544,1M,2,2	112,F,19,-,-,-,-
23,?,1,-,-,-,-	68,F,19,-,-,-,-	113,20,408,0,1M,2,2
24,F,19,-,-,-,-	69,20,408,0,1M,2,2	114,?,1,-,-,-,-
25,20,408,0,1M,2,2	70,?,1,-,-,-,-	115,N,-,-,-,-,-
26,?,1,-,-,-,-	71,N,-,-,-,-,-	116,20,0,-544,1M,2,2
27,N,-,-,-,-,-	72,20,0,-544,1M,2,2	117,?,1,-,-,-,-
28,20,0,-544,1M,2,2	73,?,1,-,-,-,-	118,F,19,-,-,-,-
29,?,1,-,-,-,-	74,F,19,-,-,-,-	119,20,-408,0,1M,2,2
30,F,19,-,-,-,-	75,20,-408,0,1M,2,2	120,?,1,-,-,-,-
31,20,-408,0,1M,2,2	76,?,1,-,-,-,-	121,N,-,-,-,-,-
32,?,1,-,-,-,-	77,N,-,-,-,-,-	122,20,0,-544,1M,2,2
33,N,-,-,-,-,-	78,20,0,-544,1M,2,2	123,F,19,-,-,-,-
34,20,0,-544,1M,2,2	79,F,19,-,-,-,-	124,20,408,0,1M,2,2
35,F,19,-,-,-,-	80,20,408,0,1M,2,2	125,?,1,-,-,-,-
36,20,408,0,1M,2,2	81,?,1,-,-,-,-	126,N,-,-,-,-,-
37,?,1,-,-,-,-	82,N,-,-,-,-,-	127,20,0,-544,1M,2,2
38,N,-,-,-,-,-	83,20,0,-544,1M,2,2	128,?,1,-,-,-,-
39,20,0,-544,1M,2,2	84,?,1,-,-,-,-	129,F,19,-,-,-,-
40,?,1,-,-,-,-	85,F,19,-,-,-,-	130,20,-408,0,1M,2,2
41,F,19,-,-,-,-	86,20,-408,0,1M,2,2	131,?,1,-,-,-,-
42,20,-408,0,1M,2,2	87,?,1,-,-,-,-	132,N,-,-,-,-,-
43,?,1,-,-,-,-	88,N,-,-,-,-,-	133,20,0,-544,1M,2,2
44,N,-,-,-,-,-	89,20,0,-544,1M,2,2	134,32,-,-,-,-,-
		135,99,-,-,-,-,-

Vasen yläreuna (X ₀ , Y ₀)		X	Y
		50	150 mm
Ensimmäinen reikä (C, D)		6	6 mm
Reikien väli (E, F)		3	4 mm
Reikien lukumäärä (lkmX, lkmY)		50	50 mm
Ruuvin reikä (A,B)		5	4 mm
Väli 1		50 mm	
Väli 2		50 mm	
Väli 3		50 mm	
Väli 4		50 mm	
Tallenna ohjelma		Tuo mittaustulokset	

Toleranssi	0,1	Reikä nro	
Rivi	12	577	
Sarake	27		

Oikea mitta	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1
Nimi	lev1	lev2	lev3	lev4	lev5	lev6	lev6	kor1	kor2	kor3	kor4	kor5	kor6	kor6
Mittattu	0,570	0,350	0,571	0,577	0,334	0,550	1,100	1,025	1,002	1,000	0,990	1,090	1,090	
PASS/FAIL	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	

Oikea mitta	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5						
Nimi	valix12	valix23	valix45	valix56	valiy14	valiy25	valiy36	vasennr	3,1099	4,3074	1,1542	0,0000	
Mittattu	0,300	0,300	0,310	0,330	0,510	0,512	0,513	x	y	y	ympyræ	0,000	0,000
PASS/FAIL	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	#####	#####	#####	#####	PASS	PASS

Oikea mitta													
Nimi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittattu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PASS/FAIL	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

Toleranssin ulkopuolella 17 kpl

1	64
2	218
3	219
4	249
5	250
6	280
7	281
8	282
9	311
10	312