

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Teppo Aalto

Automaattinen kalibrointilaite

Insinööriyö 26.5.2010

Ohjaaja: manager Valtteri Tuominen
Ohjaava opettaja: lehtori Timo Tuominen

Tekijä	Teppo Aalto
Otsikko	Automaattinen kalibrointilaite
Sivumäärä	38 sivua
Aika	26.5.2010
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	manager Valtteri Tuominen
Ohjaava opettaja	lehtori Timo Tuominen
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli optiseen Mapvision 4D -mittalaitteeseen liitettävän automaattisen kalibrointilaitteen dokumentointi, mahdollisten ongelmien kartoittaminen ja ratkaisujen etsiminen sekä englanninkielisen käyttöohjeen luominen.</p> <p>Mapvision 4D on fotogrammetrinen konenäköjärjestelmä, jonka avulla voidaan mitata erilaisia kappaleita koskematta niihin fyysisesti. Järjestelmän tarkkuus perustuu kehittyneeseen ja tarkkaan kalibrointiin, joka on patentoitu.</p> <p>Työssä selvitettiin kalibrointilaitteen osat, ominaisuudet sekä käytössä esiintyneet viat. Todettuihin vikoihin kuului mm. kalibrointilevyn kiinnitystangon heiluminen, kun levyä siirrettiin. Tälle esitettiin ratkaisuksi johteiden muuttamista servo-ohjatuiksi, joissa olisi pehmökäynnistys ja -pysäytys. Myös liikeanturin lisäämistä sekä automaattista kalibrointilevyn kääntöä ehdotettiin.</p>	
Hakusanat	Mapvision 4D, fotogrammetria, konenäkö, 3D

Author	Teppo Aalto
Title	Automatic calibration device
Number of Pages	38 pages
Date	26 May 2010
Degree Programme	Automation technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Valtteri Tuominen, Manager
Supervisor	Timo Tuominen, Lecturer
<p>The purpose of this thesis project was to create documentation, to map possible problems and to find the solutions to them, and also to create a short English user guide for the automatic calibration device. The automatic calibration device is connected to a Mapvision 4D optical gauge.</p> <p>Mapvision 4D is a photogrammetric machine vision system which allows the user to measure different kinds of physical objects without touching them physically. The accuracy of the system is based on highly advanced and accurate calibration which is patented.</p> <p>The parts and features of the automatic calibration device were documented. Also the problems during usage of the device were documented. The oscillation of the calibration plate mounting rod when moving the disc was documented as a fault. The proposed solution to this problem was to change the pneumatic guides to servo controlled guides with soft start and soft stop options. Also adding a movement sensor for detecting the movement of the calibration disc and creating an automatic turn option for the calibration disc were proposed.</p>	
Keywords	Mapvision 4D, photogrammetry, machine vision, 3D

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

1 Johdanto	6
1.1 Insinööriyön tarkoitus	6
1.2 Konenäköjärjestelmien sovelluksia	6
1.3 Oy Mapvision Ltd	7
1.3.1 Toimitilat	7
1.3.2 Henkilöstö	7
1.3.3 Tuote	8
1.3.3.1 3D-koordinaattien mittaustekniikoita	8
1.3.4 Asiakkaat ja referenssit	10
1.3.5 Toimintatapa	10
2 Laitteisto	11
2.1.1 Mittauslaitteisto	11
2.1.2 Konenäköjärjestelmä	11
2.1.2.1 Kameran ja kuvien ottaminen	11
2.1.2.2 Valaistus	15
2.1.2.3 Mittalaitteen kamerarunko	16
2.1.3 Kalibroinnin suunnittelu ja toteutus	17
2.1.3.1 Kalibrointilevy ja paikoituspisteet	17
2.1.4 Automaattinen kalibrointilaite	18
2.1.4.1 Mekaaninen rakenne	19
2.1.5 Kalibrointilaitteen operointi	20
2.1.5.1 Paineilmajärjestelmä	24
2.1.5.2 Parannusehdotuksia mahdollisesti toteutettavaan uuteen versioon	28
2.1.6 Kalibrointilaitteen liitäntä konenäkölaitteeseen	29
3 Short user manual	31
4 Yhteenveto	31
Lähteet	32
Liitteet	33
Liite 1: Kalibrointilaitteen osaluettelo	33
Liite 2: Short User Manual	34

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
CMM	Coordinate Measuring Machine, koordinaattimittalaite.
D/A-muunnin	Muuntaa digitaalisen signaalin analogiseksi.
DIP-kytkin	Dual inline package. Yksinkertainen toimintavarma kytkin, joka on toteutettu esim. liukutekniikalla.
Firewire	Liitäntästandardi tietokoneen ulkoisille oheislaitteille.
Fotogrammetria	Kohteen kolmiulotteista mittaamista siitä otetuilta valokuvilta.
Induktiivinen anturi	Anturi metallin tunnistamiseen. Tunnistaa metallin mittakelan induktanssin muutoksen johdosta.
Keskitin	Läheittää saamansa signaalin eteenpäin muuttumattomana.
LED	Light-Emitting Diode, loistediodi
Servo	Toimilaitteen ohjauspiiri, joka sisältää takaisinkytkennän asema-anturiin. Käytetään asemointiin.
Sub-D –liitin	Yleisesti tietokoneissa käytetty liitin.
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri. Käytetään oheislaitteiden liittämiseen tietokoneeseen
Vasteaika	Aika, joka kuluu signaalin saamisesta toiminnon suorittamiseen.

1 Johdanto

1.1 Insinööriyön tarkoitus

Tämän insinööriyön tarkoituksena on dokumentoida optisen mittalaitteiston kalibrointilaitteen ominaisuuksia ja liitäntöjä, sen liittämistä konenäkölaitteistoon sekä kartoittaa mahdollisia ongelmia ja etsiä niihin ratkaisuja.

Tarkoituksena on myös luoda lyhyt englanninkielinen käyttöohje, joka voidaan luovuttaa asiakkaalle koneen toimituksen yhteydessä. Käyttöohjeessa on tarkoitus kuvata kalibrointilaitteen käyttöä ja sen toimintavalmiuteen saattamista.

Aiheena olevan kalibrointilaitteen dokumentointi tuli ajankohtaiseksi, kun aloitettiin Oy Mapvision Ltd:n sisäisten toimintojen laajempi dokumentointi. Tarkoituksena oli saada mahdollisimman paljon tietoa käytetyistä menetelmistä luettavaan ja helposti saatavilla olevaan muotoon. Tätä ennen suurin osa kaikesta osaamisesta siirtyi eteenpäin lähinnä suullisesti. Kalibrointilaitteen dokumentoinnin myötä kaikki tarvittava tieto siitä olisi saatavilla, mikä helpottaa esimerkiksi laitteen käyttöönottoa ulkomailla.

1.2 Konenäköjärjestelmien sovelluksia

Konenäköä käytetään nykyisin teollisuudessa yhä enemmän. Järjestelmiä kehitetään jatkuvasti ja uusia sovelluskohteita yritetään löytää melkein mistä vain. Hyvinä esimerkkeinä toimivat Mapvisionin kehittämän järjestelmän lisäksi seuraavat uudet sovellukset.

Öljyn analysointi konenäköä hyväksikäyttäen on yksi uusista kehitteillä olevista sovelluksista. Öljyä pumpataan taustavalaistun läpinäkyvän levyn läpi. Ethernet-kamera kuvaa tätä levyä ja mittaa öljyssä esiintyvien partikkelien kokoa. Mitatuista partikkeleista saadun tiedon avulla olisi mahdollista ennakoida jonkin tuotantolinjan koneen hajoamista. Mittausta voitaisiin viedä niin pitkälle, että sillä yritettäisiin tunnistaa, mistä koneesta öljyn seassa liikkuvat partikkelit ovat peräisin. Näin korjaustoimenpiteet voitaisiin ohjata suoraan oikeaan koneeseen. (Vision Club of Finland 2009: 5)

Talojen käyttämien vesi- ja sähkömittarien lukemiseksi konenäköä hyväksikäyttäen on kehitetty seuraavanlainen järjestelmä. Vesi- tai sähkömittarin yläpuolelle asennetaan konenäkökamera, joka tarkkailee mittarin lukemaan. Kameran kuvaama mittarinäkymä muutetaan numeroiksi ja lähetetään eteenpäin. Tämän järjestelmän tarkoituksena on seurata erilaisten prosessien vaikutusta kulutukseen. Myös vikoja ja vuotoja voitaisiin havaita tämän järjestelmän avulla. (Vision Club of Finland 2009: 5)

1.3 Oy Mapvision Ltd

Oy Mapvision Ltd on konenäön hyödyntämiseen perustuvien tarkkuusmittausten suunnittelija, toteuttaja ja mittauslaitteistojen valmistaja. VTT:n, TKK:n ja Oy Mapvision Ltd:n yhteistyönä on kehitetty ensimmäinen kaupallinen reaaliaikainen 3D-kuvamittausjärjestelmä. Tämä järjestelmä sai nimekseen Mapvision (**M**achine **A**utomated **P**hotogrammetric **V**ision). (Tuominen 2007: 13.)

1.3.1 Toimitilat

Suunnittelutoiminta ja ohjelmointi tapahtuvat yhtiön pääkonttorissa Vantaankoskella. Laitteistojen valmistus ja testaus tehdään Vantaan Petikossa sijaitsevilla teollisuustiloissa. Mittalaitteistot tehdään valmiiksi tehtaalla, jossa ne myös testataan.

1.3.2 Henkilöstö

Yhtiössä on nuorehko kehitysorientoitunut, pääasiassa insinööreistä koostuva henkilöstö, joka osallistuu tarpeen mukaan lähes kaikkiin toimintoihin; suunnittelutehtävien lisäksi myös toimitusprojektien toteutukseen. Vuonna 2010 henkilöstön lukumäärä oli noin kaksikymmentä.

1.3.3 Tuote

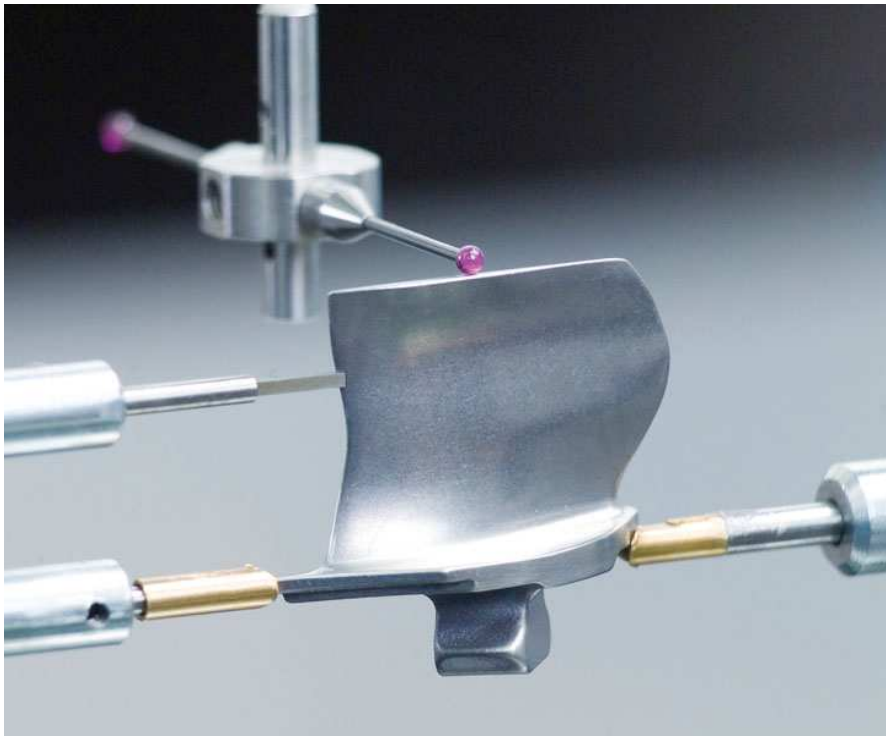
Mapvisionin päätuote on automaattinen fotogrammetrinen konenäköjärjestelmä, jonka avulla voidaan mitata erilaisia kappaleita (lähinnä autoteollisuuden komponentteja) koskematta niihin fyysisesti. Järjestelmän tarkka nimi on Mapvision 4D. Nimessä esiintyvä 4D viittaa X-, Y- ja Z-koordinaattien lisäksi mitattavaan mittausten tarkkuudesta kertovaan hyvyyslukuun. (Tuominen 2007: 13.)

Yksinkertaisesti esitettynä järjestelmä toimii siten, että mitattavasta kohteesta otetaan kuvia kameroilla. Kameroita on useita, ja ne on sijoitettu vapaasti mittaustilanteen vaatimalla tavalla. Kameroiden sijoittelun jälkeen suoritetaan kamerajärjestelmän kalibrointi. Mitattavasta kohteesta otetuista kuvista etsitään mitattavan piirteen kuvakoordinaatit jokaiselle kuvalle. Mitattava piirre voi olla lähes minkäläinen vain havaittava hahmo, esimerkiksi reikä tai kulma. (Tuominen 2007: 13.)

Piirre voidaan etsiä kuvasta aktiivisesti tai passiivisesti. Aktiivisella etsinnällä tarkoitetaan käyttäjän toimesta tapahtuvaa toimintaa. Passiivisella etsinnällä tarkoitetaan automaattista toimintaa, joka käyttää hyväksi kohteen omaa harmaasävyinformaatiota. Passiivinen etsintä toimii siten, että järjestelmälle opetetaan mitattavan piirteen hahmo jokaisen sen näkevän kameran näkemänä. (Tuominen 2007: 13.)

1.3.3.1 3D-koordinaattien mittaustekniikoita

Yleisin 3D-koordinaattien mittaamiseen käytetty laite on koordinaattimittauskone (CMM). CMM tulee sanoista **C**oordinate-**M**easuring **M**achine. CMM-laite seuraa kappaleen reunoja mittapään avulla (kuva 1). Mittapään koskettava X-, Y- ja Z-koordinaatti tallennetaan. Tämän jälkeen mittapää siirretään seuraavaan pisteeseen mitattavalla osalla. Tätä jatketaan niin kauan, että koko osa on käyty läpi systemaattisesti. (Lieu & Sorby 2005: 8-4.) CMM-laitteen käyttö nopeissa tuotantoprosesseissa laadunvalvontaan on kuitenkin melko hankalaa sen hitauden vuoksi (Leondes 2000: 2-23).



Kuva 1. CMM-mittalaitteen mittapää ja mitattava kappale. Kuva: BDLI

Tähän asti autotehtaat ovat hoitaneet tuotteidensa tarkastuksen erilaisilla mittausjigeillä. Mitattavaa kappaletta varten on tehty alusta, johon se asetetaan. Mekaaniset anturit koskettavat kappaletta ja hyväksyvät tai hylkäävät sen. Vaikka tämä menetelmä on hyvä ja toimiva, se on hidas eikä ole joustava. Kun tuotettavaa kappaletta muutetaan, pitää rakentaa kokonaan uusi mittausjigi tai tehdä muutoksia vanhaan. Yhdellä mittausjigillä on myös vaikea mitata useampaa erilaista kappaletta. (Tuominen 2007: 5.)

Optisella 3D-mittalaitteella saavutetaan haluttu joustavuus. Vaikka mitattava kappale muuttuisikin, ei mittalaitetta tarvitse muuttaa mekaanisesti. Kaikki muutokset onnistuvat ohjelmallisesti ja hyvin vähällä työllä verrattuna mekaanisen mittalaitteen tarvitsemiin muutoksiin. Optisella 3D-mittalaitteella on mahdollista mitata kohteen useita variaatioita, joka tarkoittaa sitä, että yhdellä mittalaitteella voidaan samanaikaisesti hoitaa monen erilaisen kappaleen laadunvalvonta. (Tuominen 2007: 1.)

1.3.4 Asiakkaat ja referenssit

Asiakkaina ovat ensisijaisesti henkilöautojen valmistajayritykset. Esimerkkeinä mainittakoon OEM:t (Daimler, BMW) sekä Tier-1 osavalmistajat (Magna, Thyssen, PWO).

Tällä hetkellä toiminta kattaa autotehtaita mm. Euroopasta, USA:sta ja Meksikosta.

1.3.5 Toimintatapa

Ohjelmointi ja kamerasuuntaus tehdään CAD-ympäristössä, joka nopeuttaa järjestelmän rakentamista huomattavasti. Tämän jälkeen kamerat voidaan suunnata CAD-suuntauksen avulla oikeassa ympäristössä kerralla kohdalleen. Asiakas toimittaa mitattavasta osasta CMM-mittauksella mitatut arvot.

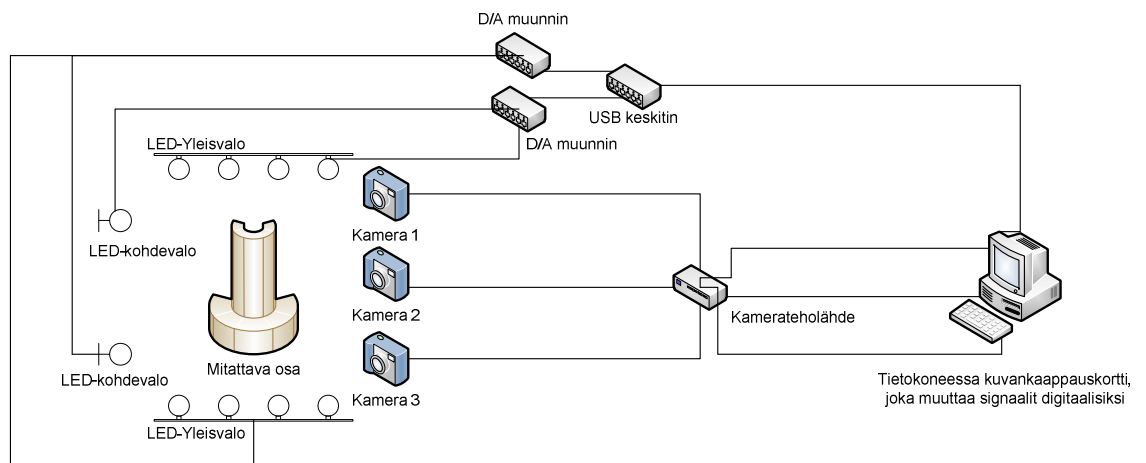
Mittalaite suunnitellaan yksilöllisesti tilaajan antamien tietojen ja reunaehtojen mukaisesti. Nämä tiedot ja reunaehdot määrää yleensä asiakkaan tiloihin asennettava valmistuslinja. Mittauslaitteisto kootaan ja testataan tehtaalla Petikossa, jonka jälkeen laitteisto toimitetaan asiakkaan tehtaalle tehdastehtäjä ja mittausten viritystä varten. Samalla tehtaalla koulutetaan asiakkaan käyttöhenkilöstö. Laitteiston ohjelmien päivitykset tehdään Suomesta käsin etäyhteyden avulla.

Laitteisto kalibroidaan tehtaalla varsinaisessa käyttöympäristössä ja liitetään tuotantolinjaan. Todellinen laitteiston toimivuus nähdään kuitenkin vasta, kun tuotantotoiminta on käynnistynyt kunnolla ja osia tuotetaan linjan kapasiteetin mukaisesti. Mittausta voidaan säätää tarvittaessa tuotannon muuttuessa. Asiakas haluaa yleensä laitteistoon ohjelmoitavan useamman tuotanto-osan, esimerkiksi kaksi hieman erilaista auton etuapurunkoa. Tässä tapauksessa laitteisto valmistellaan molemmille kappaleille, eli mittauskopin sisään toteutettava kappaletuenta tehdään molemmille kappaleille sopivaksi. Kappale voidaan mitata myös robotin kädessä. Useamman tuotantovariantin tapauksessa järjestelmään voidaan ohjelmoida kappaleen tunnistus. Mitattava kappale voidaan myös valita suoraan tietokoneelta.

2 Laitteisto

2.1.1 Mittauslaitteisto

Mittauslaitteistoon kuuluvat osat on esitetty kuvassa 2. Kameroilta tuodaan videosaali tietokoneeseen. Kameratehtälähteeltä. LED-valot on kytketty D/A-muuntimen ja USB-keskitimen kautta tietokoneeseen. Digitaalikamerajärjestelmän asettelu on lähes samanlainen. Videosaali kulkee digitaalikameroiden tapauksessa FireWire-keskitimen kautta tietokoneelle (kuva 4).



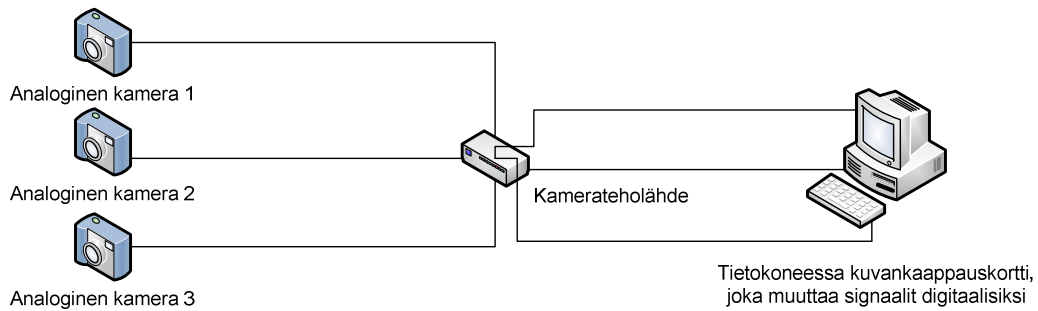
Kuva 2. Järjestelmän kuvaus analogisilla kameroilla

2.1.2 Konenäköjärjestelmä

2.1.2.1 Kamerrat ja kuvien ottaminen

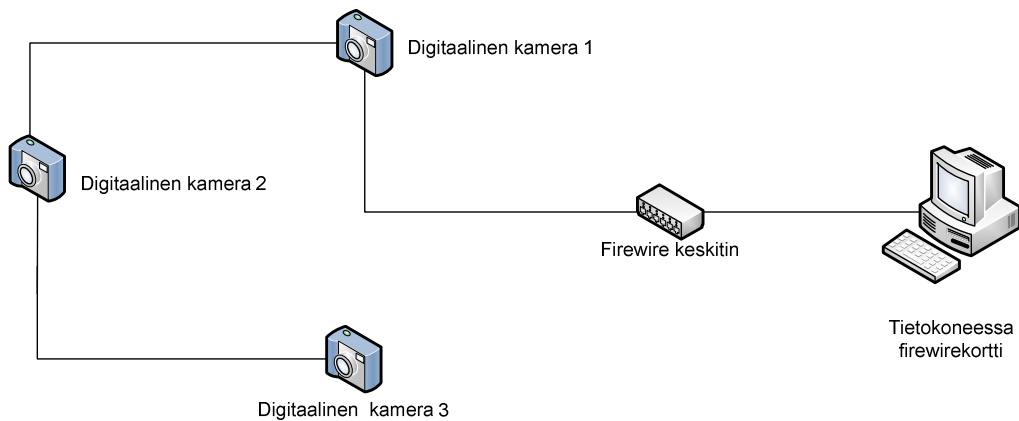
Mittausjärjestelmissä on tähän asti käytetty analogisia videokameroita. Nyt on kuitenkin siirrytty digitaalisiin videokameroihin, koska niiden erotelukyky on analogista parempi eli saadaan tarkempia mittaustuloksia. Digitaalisilla videokameroilla nähdään myös analogisia kameroita suurempi alue.

Analogiset kamerrat kytketään yksitellen kameratehtälähteisiin, josta ne liitetään tietokoneen kuvankaappauskorttiin. Jokaiselta kameralta tulee oma kaapelinsa kuvankaappauskorttiin.



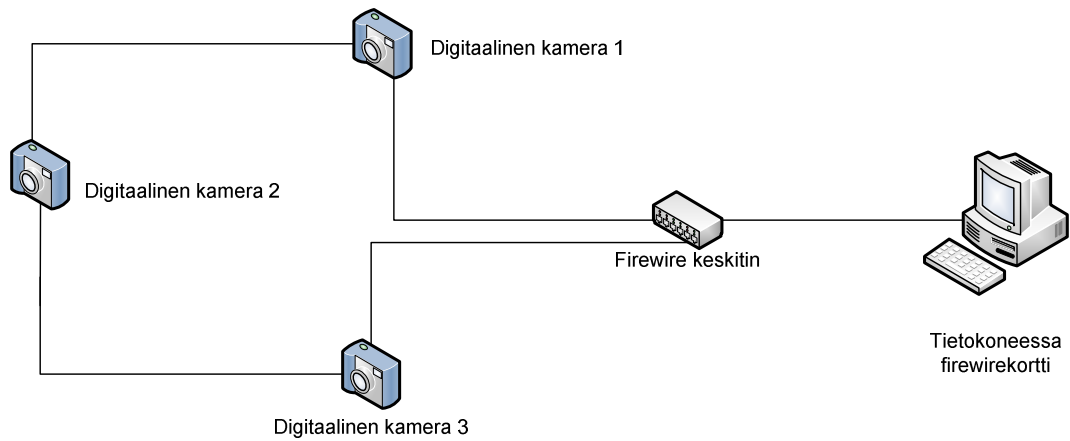
Kuva 3. Analogisten kameroiden liittäminen tietokoneeseen.

Digitaalikameroissa on kaksi FireWire-porttia, jotka mahdollistavat niiden kytkemisen ketjuun, joka kytketään FireWire hubiin, josta signaali viedään tietokoneelle yhdellä kaapelilla. Käytettävä liitäntästandardi on siis FireWire 800, jonka maksimitiedonsiirtonopeus on 800 megabittia sekunnissa.



Kuva 4. Digitaalikameroiden liittäminen tietokoneeseen.

Kamerat voidaan myös liittää ns. rinkiin (kuva 5), jolloin yhden kameran hajoaminen ringin keskeltä ei haittaa muiden kameroiden toimintaa. Vikatilanteessa signaali kiertää rikkinäisen kameran. Tällä voidaan varmistaa järjestelmän toimivuus, vaikka kamera vioittuisi.



Kuva 5. Digitaalikameroiden liittäminen tietokoneeseen rinkimenetelmällä.

Kamerat ovat teollisuuskäyttöön tarkoitettuja videokameroita. Sekä digitaalinen että analoginen kamera ovat Sonyn valmistamia. Analoginen kamera on tyypiltään XC-EI50 (kuvat 6 ja 8) ja digitaalinen kamera XCD-SX90 (kuvat 7 ja 8). Kameroissa yleisimmin käytetyt optiikat ovat 6 mm, 8,5 mm, 12 mm, 16 mm ja 25 mm. Optiikat tulevat usealta valmistajalta. Käytössä on mm. Kowan sekä Pentaxin valmistamia optiikoita. Analogisten kameroiden resoluutio on 768 x 576 pikseliä ja digitaalisten kameroiden 1280 x 960.



Kuva 6. Analoginen videokamera, jossa 25 mm optiikka kiinnitettyinä.



Kuva 7. Digitaalinen videokamera, jossa 25 mm optiikka kiinnitettyä.



Kuva 8. Digitaalinen ja analoginen videokamera vierekkäin kokoverailua varten.



Kuva 9. Kameroiden liittännät, vasemmalla digitaalikamera ja oikealla analogiakamera.

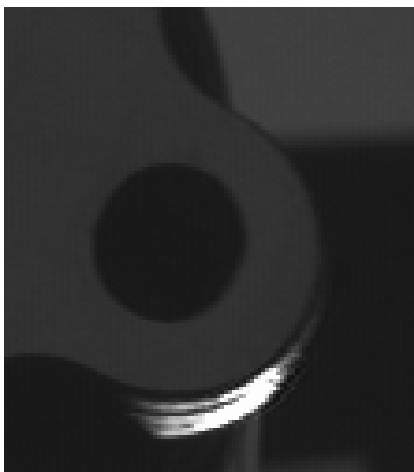
Analogisissa kameroissa on normaalit DIP-kytkimet (kuva 9), joilla valitaan kameran asetukset. Tämän lisäksi kameraan tulee liitin, josta videosignaali viedään tietokoneelle. Samasta liittimestä tuodaan myös virta kameralle.

Digitaalisissa kameroissa kaikki asetukset tehdään ohjelmallisesti, joten DIP-kytkimiä ei ole (kuva 9). Digitaalikameroissa on myös samanlainen liitin kuin analogisissa kameroissa. Tätä liittintä käytetään kuitenkin pelkästään lisävirransyöttöön. Kamerat saavat käynnistysvirran suoraan 1394 FireWire -väylästä. Lisävirransyöttöä tarvitaan, kun kytketään yli kymmenen kameraa samaan järjestelmään.

2.1.2.2 Valaistus

Mittakopissa on maksimissaan kahdeksan ns. yleisvaloa. Nämä ovat leveitä valaisimia, joissa on LED-valoja vierekkäin. Näitä käytetään mittakappaleen valaisemiseen, jotta se voidaan mitata. Jokainen kamera näkee kappaleen hieman eri tavalla, joten kappale pitää valaista tietyllä tavalla, että kamera näkee mitattavan piirteen optimaalisesti. Optimaalisella tarkoitetaan tässä tapauksessa esimerkiksi reikää, josta läpi näkyy mustaa, jossa reunat eivät kiillä ja päälipuoli on kirkkaampi kuin reikä (kuva 10).

Jokaiselle kameralle säädetään oma valaistus, jota käytetään silloin, kun kamera ottaa kuvan. Tarvittaessa voidaan myös lisätä LED-spotteja, joilla saadaan valaistua jokin tietty piirre halutusti tietystä kulmasta.



Kuva 10. Esimerkki optimaalisesti valaistusta mittapisteestä (reikä).

2.1.2.3 Mittalaitteen kamerarunko

Mittalaitteen kamerarunko (kuva 11) on valmistettu neliöprofiiliputkesta, jossa on reikiä kameroiden asettelua varten. Kehikon putket pultataan toisiinsa kiinni T-pulteilla ja kulmiin asennetaan lattaraudasta poikkitukia jäykistääksi. Kamerarunko kootaan metallisen paletin päälle, joka on kumitassujen päällä. Kumitassut estävät teollisuusympäristössä esiintyviä värähtelyjä kulkeutumasta kamerarunkoon.

Kehikon sisään tulee jokaiselle osalle erikseen suunniteltava alusta. Mitattava osa asetetaan tämän päälle, ja sen tarkoitus on saada osa istumaan mahdollisimman tarkasti samaan paikkaan joka kerta.



Kuva 11. Kamerarunko (musta), jonka ympärillä mittakoppi (valkoinen). Kuvassa näkyy myös kameroita ja LED-valoja kiinnitettynä kamerarunkoon sekä mitattava kappale, joka on asetettu alustan päälle.

2.1.3 Kalibroinnin suunnittelu ja toteutus

Kalibrointia edeltävät toimenpiteet on esitetty seuraavassa:

Aluksi kamerat asetellaan kamerarunkoon virtuaaliympäristössä. Seuraavaksi tätä asettelua analysoidaan ja tarvittaessa muutetaan. Tarkoituksena on saada toteutettua systeemi mahdollisimman pienellä määrällä kameroita, mutta kuitenkin luotettavalla määrällä havaintoja. Mittaukseen vaaditaan minimissään hyvät havainnot kolmelta kameralta. Hyvä havainto tarkoittaa, että piirteessä ei ole esimerkiksi heijastumia.

Tämän jälkeen kamerat asetellaan kamerarunkoon kutakuinkin oikeille paikoille virtuaalimallin mukaan. Jotta kamerat saadaan mahdollisimman tarkasti oikeille paikoille, voidaan virtuaalimallista ottaa kameranäkymien kuvat talteen. Tämä näkymä asetetaan oikean kameran kuvan päälle ja kamera käännetään niin, että oikea kuva ja virtuaalikuva ovat päällekkäin mahdollisimman hyvin. Tässä samalla on helppo todeta, jos kamera on asetettu vahingossa väärään kohtaan tai siinä on väärä optiikka.

2.1.3.1 Kalibrointilevy ja paikoituspisteet

Kalibrointilevy on valmistettu hiilikuidusta. Sen pintaan liimataan mustia tarroja, joiden keskellä on valkoinen ympyrä, nämä tunnetaan tähyksinä. Levyn molemmille puolille muodostetaan tähyksistä jokin helposti tunnistettava kuvio, kummallekin puolelle erilainen. Tämän jälkeen levy joko lähetetään mitattavaksi, tai se mitataan jollakin omalla mittalaitteella. Tämän jälkeen levyn tähyksien etäisyydet ovat tunnetut toistensa suhteen.

2.1.4 Automaattinen kalibrointilaite

Mapvision 4D -mittalaitteen tarkkuus perustuu kehittyneeseen ja tarkkaan kalibrointiin. Patentoitu kalibrointi perustuu vapaan verkon sädekimpputasoitukseen. (Tuominen 2007: 19.)

Koordinaattijärjestelmä sidotaan todelliseen mittakaavaan havaitsemalla pituudeltaan tunnettua kappaletta ja käyttämällä tätä mitta pakkoehtona. Jotta koordinaattijärjestelmä ei vääristyisi, tulee mittauksia tehdä riittävän monta, noin viidestäkymmenestä sataan mittausta. Nämä mittaukset ovat jakautuneet mielivaltaisesti kalibrointiavaruuteen. (Tuominen 2007: 19-20.)

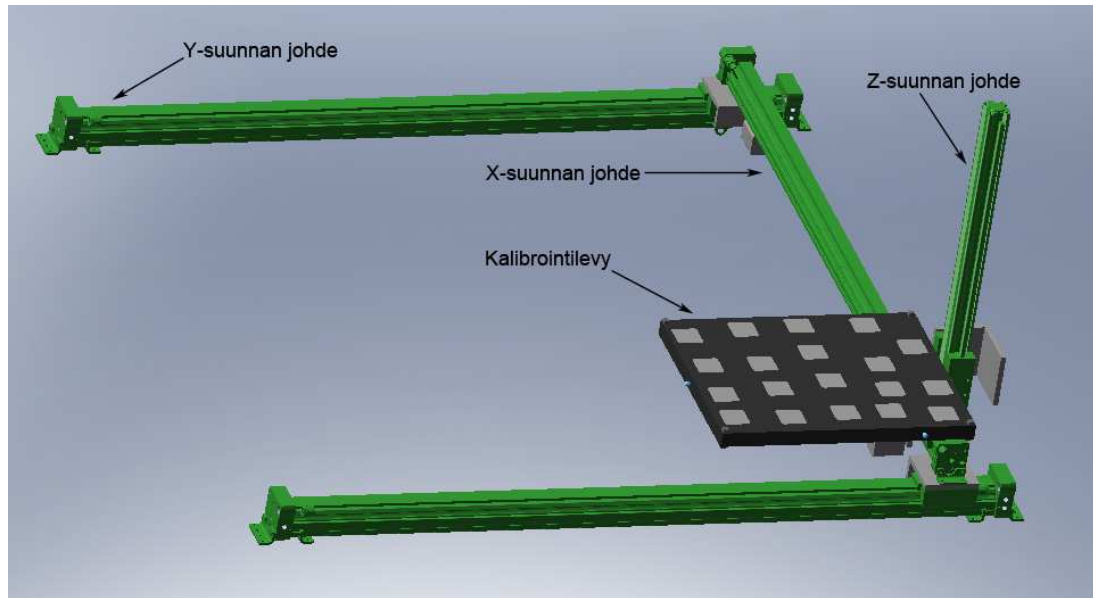
Työn kohteena oleva konenäkölaitteiston automaattinen kalibrointilaite sijaitsee fyysisesti konenäköjärjestelmän ulkopuolella, ja siihen on yhdistetty kalibrointilevy, jossa on paikoituspisteitä. Kalibrointilaite liikkuu pyörillä, ja se työnnetään mittakopin eteen kalibrointia varten. Levyä liikutellaan konenäkölaitteiston sisällä ja siitä otetaan kuvia eri paikoissa. Levyn asentojen määrän määrittää mitattavan kappaleen koko. Kalibrointilaitteeseen kuuluu myös koppi, joka tulee laitteen ympärille estämään ylimääräisen valon pääsyn mittakoppiin.

Kalibrointilevyn asentojen tulee kattaa vähintään koko mitattavan kappaleen alue. Ennen kalibroinnin aloitusta katsotaan, kuinka isolle alueelle mitattava kappale sijoittuu. Tämän jälkeen voidaan virtuaaliympäristössä koostaa mittapisteistö, jonka nähdään kattavan hyvin mitattavan kappaleen ala. Tämän mittapisteistön avulla saadaan määritettyä kalibrointilevyn asentojen määrä. Tärkeintä on kuitenkin mitata levyn siirrot asentojen välissä. Mapvision-ohjelmalla saadaan sitten näiden arvojen avulla määritettyä levyn paikka ja levyssä olevien pisteiden avulla absoluuttinen paikka.

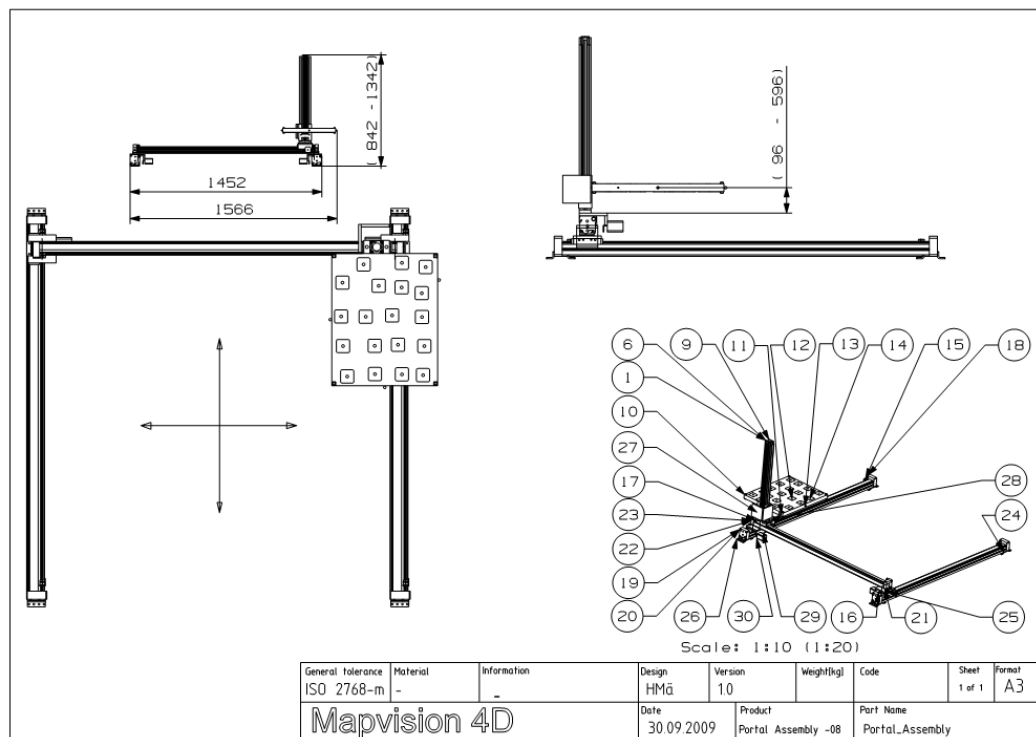
Kalibroinnilla saadaan selvitettyä kameroiden ulkoinen sekä sisäinen orientaatio. Tällä tarkoitetaan esim. kiertoa ja linssivirhettä. Tulevaisuudessa kalibrointilaite on automaattinen, eli se sijoitetaan paikalleen ja liitetään konenäkölaitteiston ohjelmistoon, minkä jälkeen ohjelmisto hoitaa kuvien ottamisen ja kalibroinnin niiden pohjalta. Tällä hetkellä laitetta kuitenkin ohjataan kaukosäätimellä. Kalibrointilaitteiston ohjaus ja toiminta on toteutettu Feston pneumaattikalaitteilla.

2.1.4.1 Mekaaninen rakenne

Kalibrintilaitteen pääosiin kuuluu kolme johdetta, joilla on toteutettu X-, Y- ja Z-suunnan liikkeet. Nämä on kuvattu kuvissa 12 ja 13.



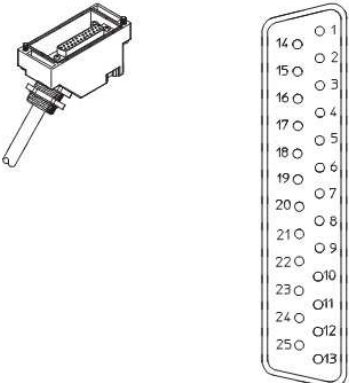
Kuva 12. Kalibrintilaitteen mekaaninen rakenne.



Kuva 13. Kalibrintilaitteen CAD-mallista otettuja mittoja.

2.1.5 Kalibrointilaitteen operointi

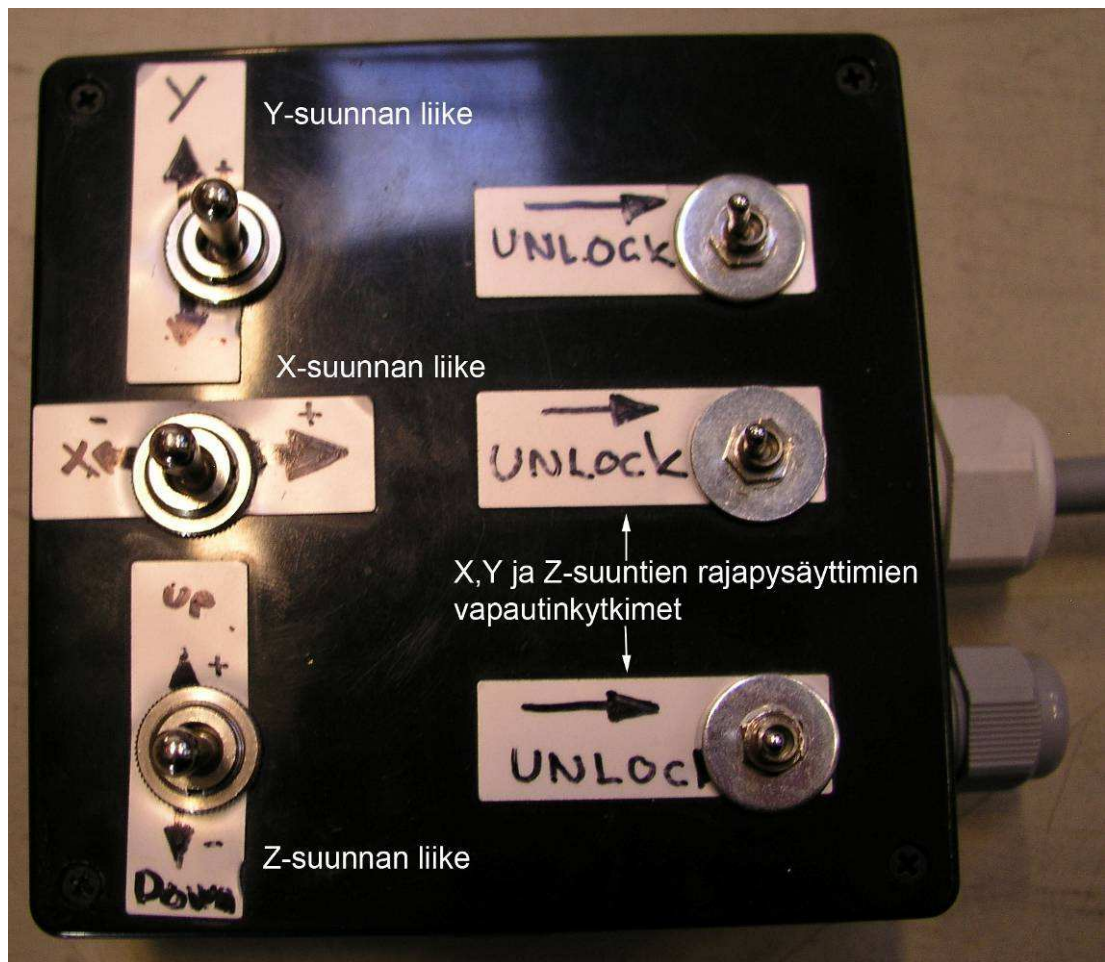
Kalibrointilaitteeseen kytketään ennen käytön aloittamista paineilma ja sähkö (24 V muuntajan kautta). Laitetta operoidaan kaukosäätimellä, joka kytketään Feston CPV14-VI -venttiiliterminaalisiin 25-pinnisellä Sub-D-liittimellä. Liittimen johtojen värit ja paikat näkyvät kuvassa 14.

Pin allocation – Pre-assembled multi-pin cable (viewed from plug-in direction)			
Plug view	Pin	Core color	Valve 24 V DC
Cable KMP3-25P-16... or KMP4-25P... with 25-pin Sub-D plug for 6-fold and 8-fold valve terminal			
	1	White	1
	2	Green	
	3	Yellow	2
	4	Grey	
	5	Pink	3
	6	Blue	
	7	Red	4
	8	Purple	
	9	Grey-pink	5
	10	Red-blue	
	11	White-green	6
	12	Brown-green	
	13	White-yellow	7
	14	Yellow-brown	
	15	White-grey	8
	16	Grey-brown	
	17	White-pink (KMP4 only)	
	18	Pink-brown (KMP4 only)	
	19	White-blue (KMP4 only)	
	20	Brown-blue (KMP4 only)	
	21	White-red (KMP4 only)	
	22	Brown-red (KMP4 only)	
	23	White-black (KMP4 only)	
	24	Brown	(0 V) ¹⁾
	25	Black	(0 V) ¹⁾

Kuva 14. Kaukosäätimen Sub-D-liittimen johtojen värit ja paikat. (Festo 2008: 32)

Kaukosäätimessä on jokaiselle suunnalle oma kytkimensä (kuva 15). Kytkimet ovat seuraavat:

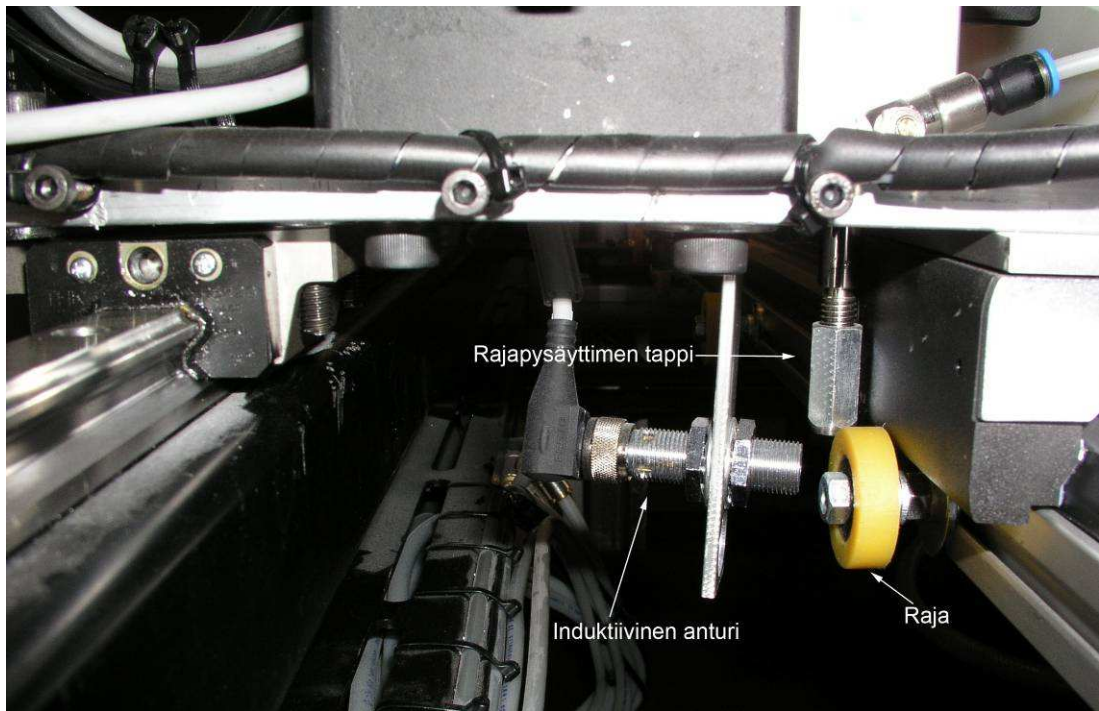
- X-suunnan kytkin ja rajapysäyttimen vapautin
- Y-suunnan kytkin ja rajapysäyttimen vapautin
- Z-suunnan kytkin ja rajapysäyttimen vapautin.



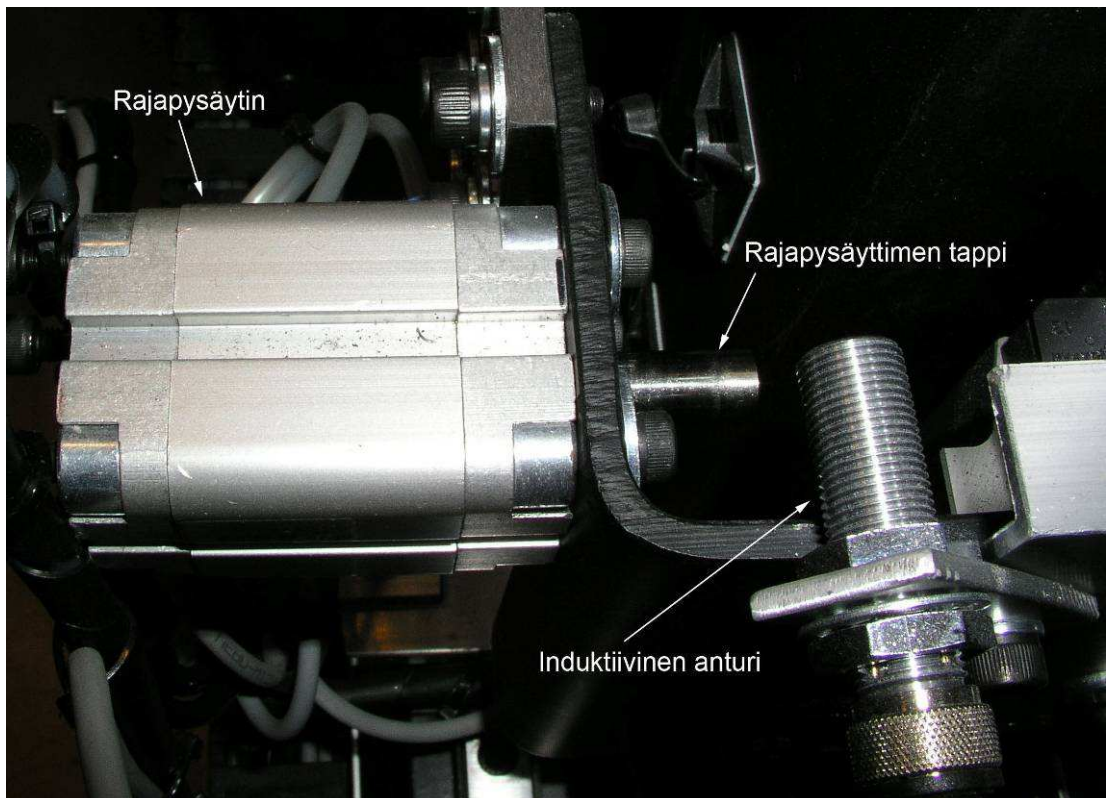
Kuva 15. Käytettävä kaukosäädin ja sen kytkimien selitykset

Kaukosäätimellä ohjataan kalibrointilaitteen eri suuntien liikettä. Jokaisen suunnan liikkeeseen on myös lisätty rajapysäytin, joka on paineilmaohjattu tappi. Rajapysäytin on kuvattu kuvissa 16 ja 17. Rajapysäyttimen tappi on ulkona, kun sitä ei käytetä. Jokaisessa johteessa on noin viisi rajaa. Rajapysäyttimen vapautinta käytettäessä tappi liikkuu taakse ja kalibrointilaitte voidaan ajaa rajan ohi.

Rajan kohdan tunnistusta varten laitteeseen on lisätty myös induktiivisia antureita (kuvat 16 ja 17). Kalibrointilaitte ajetaan aina rajaa vasten, jotta se olisi mahdollisimman tarkasti samassa kohdassa, kun asentoja toistetaan. Rajat ovat kiskoihin ruuvattavia pyörällisiä tappeja (kuva 18), joiden paikkaa voidaan muuttaa sen mukaan, millaista aluetta laitteella halutaan kalibroida. Rajojen sijoittelu johteeseen on kuvattu kuvassa 19.



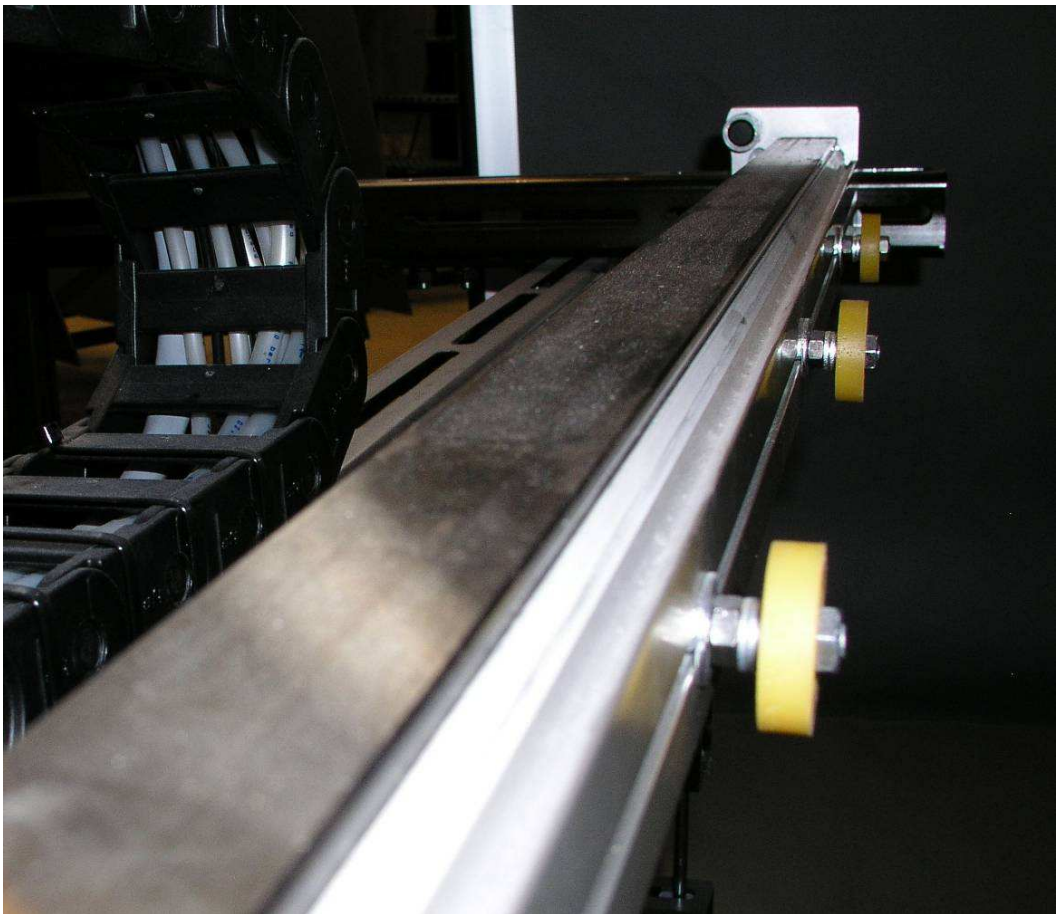
Kuva 16. Rajapysäyttimen tappi ja sen toimintaan liittyvät komponentit



Kuva 17. Rajapysäytin ja siihen liittyvät komponentit



Kuva 18. Raja



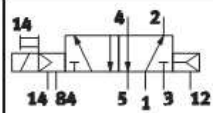
Kuva 19. Rajojen sijoittelu johteeseen.

2.1.5.1 Paineilmajärjestelmä

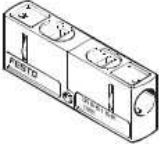
Laitteiston rakennuksessa on käytetty Feston paineilmalaitteita ja johteita. Tällä hetkellä kalibrointilaitetta ohjataan kytkimin toteutetulla kaukosäätimellä, jonka toiminta on kuvattu aiemmin. Logiikkaperusteinen ohjaus on vielä tekemättä.

Kaukosäätimellä ohjataan Feston CPV14-IV -venttiiliterminaalia (kuva 26). Venttiiliterminaali koostuu kuudesta venttiiliyksiköstä, päätylevyistä sekä liitântäkannesta. Kaukosäätimeltä tuleva sähköinen käsky kertoo, mihin laitteen porttiin ohjataan paineilmaa. Terminaali kertoo ledien avulla, mihin porttiin tulee ohjaus milloinkin. Tähän on helppo kytkeä myös logiikka ohjaamaan venttiileitä.

Venttiiliterminaalissa on kuusi venttiiliyksikköä. Kolme 5/2-suuntaventtiiliyksikköä (kuva 20) ja kolme 2x3/2 NC (Normally Closed) -suuntaventtiiliyksikköä (kuva 22). Molempien suuntaventtiilien vasteajat löytyvät kuvasta 23. 5/2-suuntaventtiilien pohjassa on moduulit, jotka muuttavat ne 5/3-tyyppisiksi (kuva 2). 5/3-suuntaventtiilissä keskiasento on suljettu. Kuvassa 21 on esitetty lisämoduulien ominaisuuksia.

Valve function					
Code	Circuit symbol	Size			Description
		10	14	18	
M		■	■	■	5/2-way valve, single solenoid <ul style="list-style-type: none"> • Pneumatic spring return • Piston spool valve

Kuva 20. 5/2-suuntaventtiilin piirrosmerkki ja kuvaus. Kalibrointilaitteessa käytettävä koko on 14. (Festo 2008: 9)

CPV valve terminal size 10 and 14 with valve extensions			
Functional modules			
	CPV10-BS-5/3G-M7 CPV14-BS-5/3G-1/8	Valve kit 5/3G for creating a 5/3-way function, mid-position closed, for size 10 and 14: The valve function "mid-position closed" is created from one valve slice with 2x 3/2-way valve, normally closed (valve function code C). The valve kit CPV10-BS-5/3G-M7 or CPV14-BS-5/3G-1/8 (incorporating a	double piloted non-return valve function) is used for this. This valve kit is intended for applications with one working pressure level per valve slice, i.e. it may not be used in dual-pressure applications (where there are different pressure levels at port 1 and 11).

Kuva 21. 5/2-suuntaventtiilien lisämoduuli. (Festo 2008: 23)

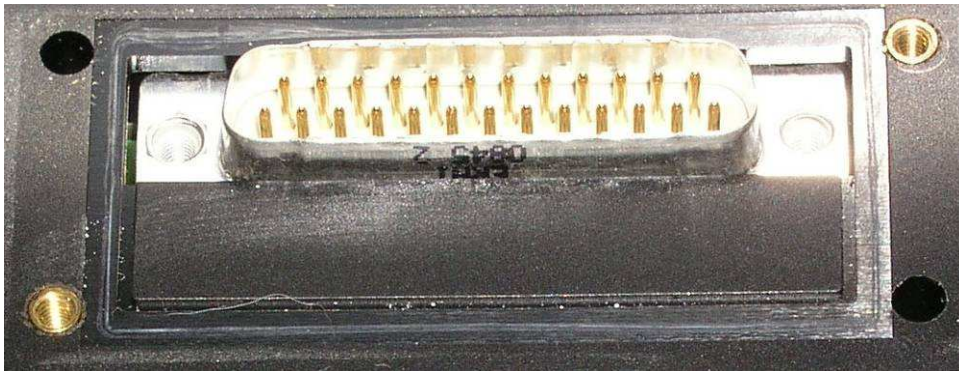
Valve function					
Code	Circuit symbol	Size			Description
		10	14	18	
C		■	■	■	2x 3/2-way valve, single solenoid <ul style="list-style-type: none"> • Normally closed • Pneumatic spring return • Piston spool valve

Kuva 22. 2x3/2-suuntaventtiilin piirrosmerkki ja kuvaus. Kalibrointilaitteessa käytettävä koko on 14. (Festo 2008: 9)

Valve response times [ms]			
Valve function order code		M	C
CPV14			
Switching times	on	25	24
	off	35	30

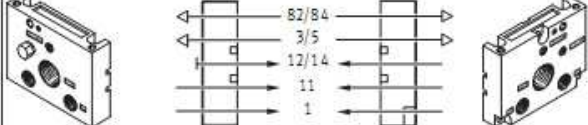
Kuva 23. M- ja C-suuntaventtiilin vasteajat millisekunteina. (Festo 2008: 38)

Liitäntäkannessa on 25-pinninen Sub-D-liitin (kuva 24). Tähän liittimeen kytketään kaukosäädin (kuva 26).

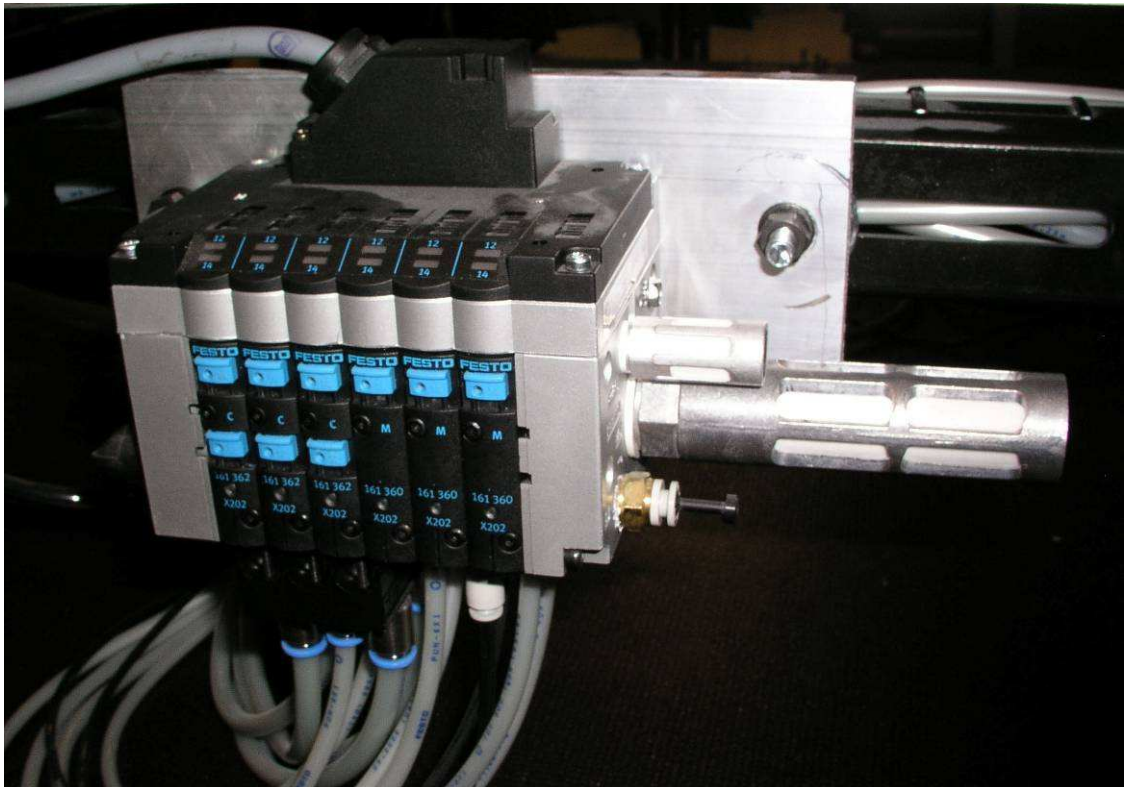


Kuva 24. Liitäntäkannessa sijaitseva Sub-D-liitin.

Venttiilterminaalin päätylevyjen kautta tuodaan paineilma sisään sekä päästetään ulos hukkailma. Hukkailman äänenvaimentimet on esitetty kuvassa 26 oikealla. Venttiilterminaalin toisesta päästä tuodaan paineilma sisään. Päätylevyjen piirrosmerkit on esitetty kuvassa 25.

End plate combination for compressed air supply via end plate					
Code	Graphic symbol Type of pilot air supply (internal/external)	Size			Note
		10	14	18	
Z	External pilot air supply 	■	■	■	<ul style="list-style-type: none"> Ports in left-hand and right-hand end plate Maximum four pressure zones Suitable for vacuum

Kuva 25. Päätylevyjen piirrosmerkit. Kalibrointilaitteessa käytettävien levyjen koko on 14. (Festo 2008: 17)



Kuva 26. Festo CPV14-VI. Oikealla hukkailman äänenvaimentimet. Liitäntäkanteen on kytketty kaukosäätimen liitin.

Käytössä ovat tällä hetkellä seuraavat paineilmalähdöt (kuva 27):

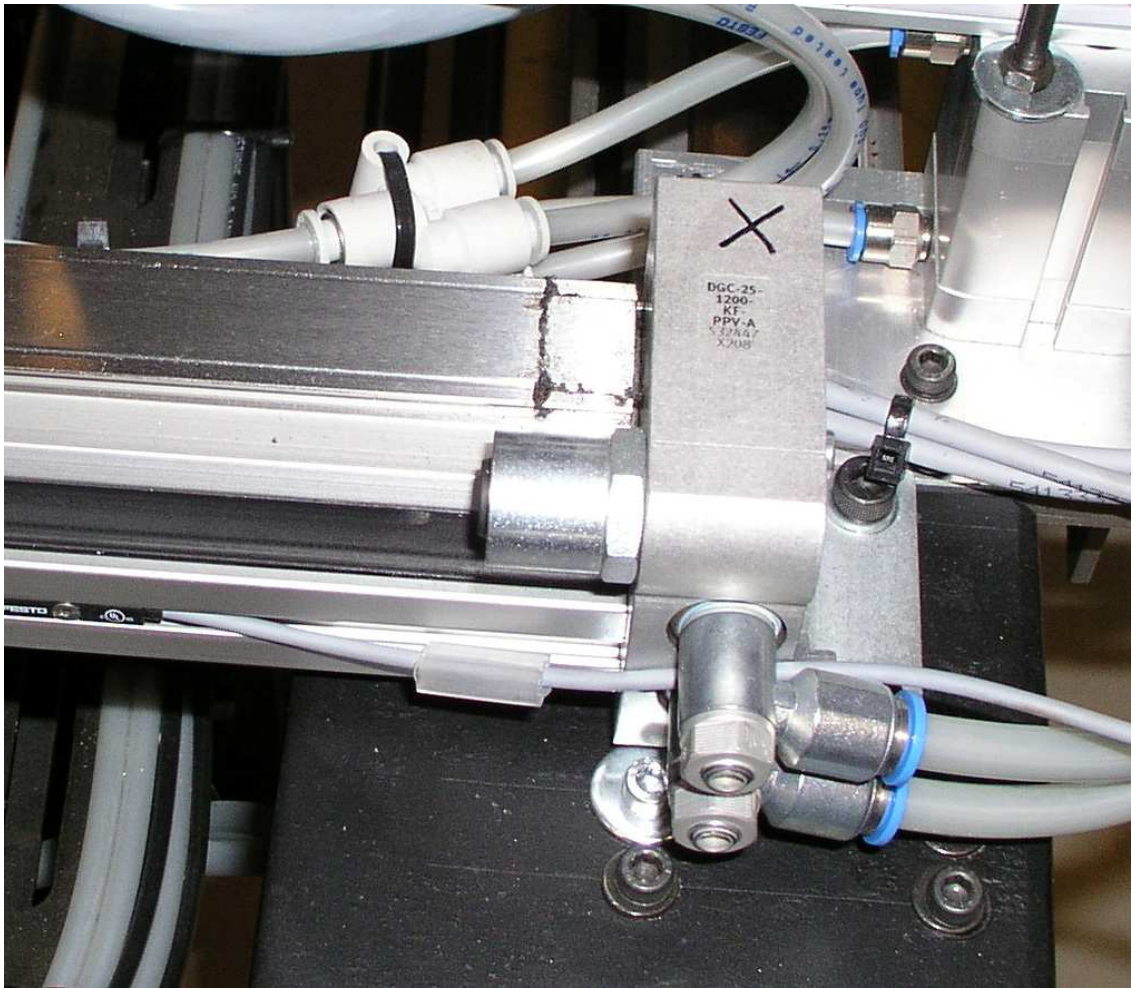
- X-suunnan johde, kaksi paineilmalähtöä (kuva 29)
- X-suunnan rajapysäytin, kaksi paineilmalähtöä
- Y-suunnan johde, kaksi paineilmalähtöä
- Y-suunnan rajapysäytin, kaksi paineilmalähtöä
- Z-suunnan johde, kaksi paineilmalähtöä
- Z-suunnan rajapysäytin, kaksi paineilmalähtöä (kuva 28)



Kuva 27. Käytössä olevat paineilmalähdöt



Kuva 28. Rajapysäyttimen paineilmaliiännät



Kuva 29. Johteen paineilmaliiännät

2.1.5.2 Parannusehdotuksia mahdollisesti toteutettavaan uuteen versioon

Kalibrointilaitteen liikuttelu voitaisiin toteuttaa edelleen johteilla, mutta niissä voisi olla servoilla ajettavat kuularuuvit. Näin laitteen tarkkuus paranisi, eikä pysäytyksestä tai liikkeellelähdistä aiheutuisi turhaa levyn heilumista. Esimerkiksi Bosch Rexroth tarjoaa servojärjestelmiä, joissa on logiikka itsessään. Tätä käyttämällä ei tarvitsisi hankkia logiikkaa erikseen ja yrittää liittää sitä järjestelmään.

Kalibrointilevyn kiinnitystankoon pitäisi lisätä jäykistystä. Tällä hetkellä levyn liikuttamisen jälkeen se heiluu kauan (n. 40 sekuntia). Heilumisesta on haittaa otetuissa kuvissa, toisin sanoen levy ei ole heiluessaan siinä paikassa, mihin se on siirretty. Tästä taas aiheutuu virhettä kalibroinnissa, joka vaikuttaa suoraan mittalaitteen tarkkuuteen.

Edellä selostettujen syiden takia levyn heilumisen loppumista on odotettava jokaisen siirron jälkeen. Keskimääräiseen kuvanottoaikaan (n. 10 sekuntia) verrattuna heilumista

joutuu odottamaan melko kauan. Heilumisaika vaihtelee levyn kiinnityksestä tankoon. Kun levy on vaakatasossa, se heiluu eniten, kun sitä liikutetaan ylös ja alas. Jos taas levy on kiinnitetty pystyasentoon, niin se heiluu eniten, kun sitä liikutetaan sivuttain. Levyn heiluminen johtuu myös suureksi osaksi laitteen pysäytyksestä. Tällä hetkellä pysäytys tapahtuu melko terävästi. Servoilla ohjattaviin kuularuuveihin voisi toteuttaa pehmökäynnistyksen ja -pysäytyksen, joka eliminoisi liikkeen aloituksesta tai lopetuksesta johtuvan heilumisen lähes kokonaan.

Kiinnitystangon päähän voisi asentaa liikeanturin. Anturi havaitsisi tangon liikkeen ja heilumisen. Kuvanotto voitaisiin aloittaa vasta sitten, kun anturi ei enää havaitsisi heilumista. Näin olisi mahdollista varmistua, että otetut kuvat ovat todellakin kunnollisia eikä heilumista ole tapahtunut.

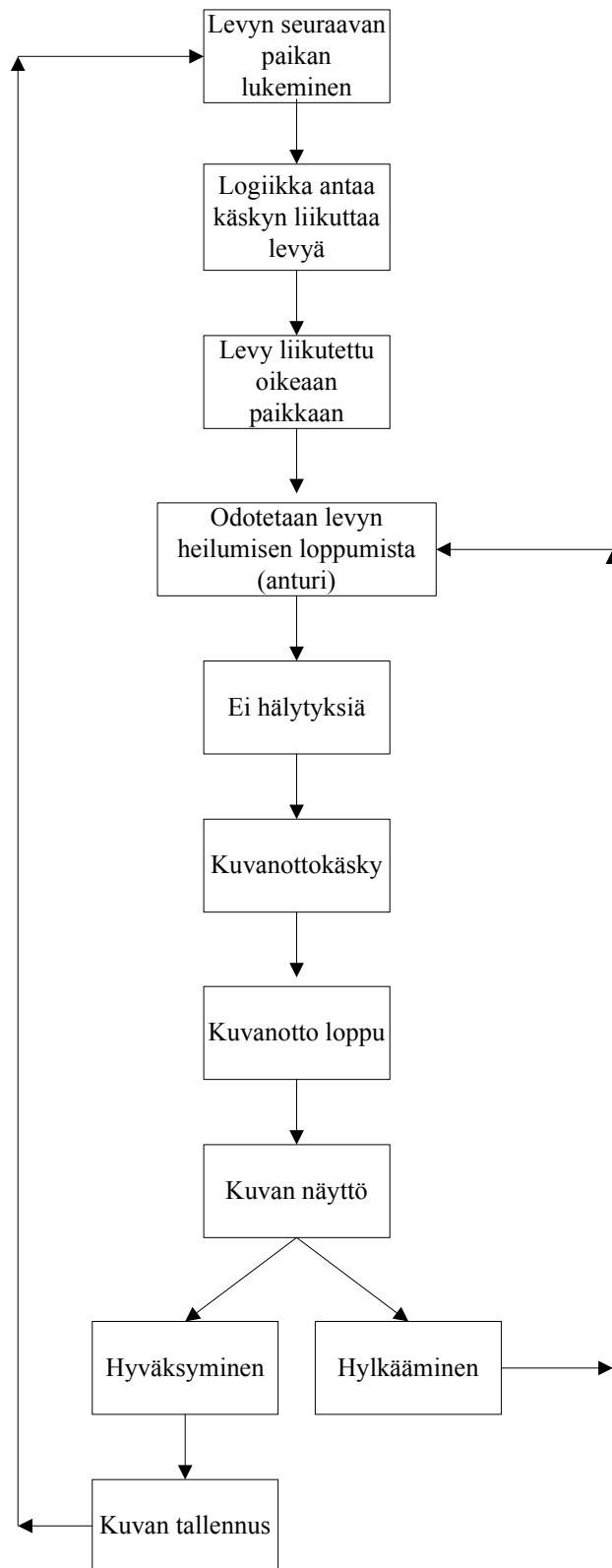
Automaattisen kalibrointilevyn käännön lisääminen vähentäisi koneen käyttäjän työtä entisestään. Tähän soveltuva laite voisi olla esimerkiksi servo, joka kääntäisi kiinnitystangon päässä olevaa kalibrointilevyä 90 astetta, käyttäjän haluamaan suuntaan. Tämä tietysti lisittäisiin logiikkaohjelman suoritukseen, ja se hoitaisi levyn käännön automaattisesti kuvasarjojen välissä.

Näillä uudistuksilla sekä logiikkaohjauksen lisäyksellä kalibrointilaitteesta olisi mahdollista saada oikeasti automaattinen. Ainoat tarpeelliset toimenpiteet olisivat tarvittavien asentojen kartoitus, niiden syöttäminen logiikalle, laitteen työntäminen mittakopin eteen ja käynnistys.

2.1.6 Kalibrointilaitteen liitäntä konenäkölaitteeseen

Kalibrointilaitteen liittäminen konenäköjärjestelmään on vielä toistaiseksi toteuttamatta. Suunnitelmia tämän tekemiseksi on kuitenkin tehty. Todennäköisin ja helpoin tapa tehdä liitos on käyttää ohjelmoitavaa logiikkaa. Ohjelman suoritus kävisi periaatteessa seuraavalla tavalla:

Käyttäjä syöttää paikkatiedot, joissa halutaan ottaa kuvat. Paikkatiedolla tarkoitetaan tarkkoja koordinaatteja, joihin kalibrointilaitte liikuttaa kalibrointilevyn.



Kuva 30. Logiikkaohjelman suoritus.

Kuvassa 30 on esitetty yhden kuvanottosyklin toimenpiteet ohjelman näkökulmasta. Konenäkölaitteisto ilmoittaa logiikalle kuvanoton loppuneen ja antaa luvan siirtää levyn seuraavaan kuvanottoaikaan. Tähän voitaisiin yhdistää vielä otetun kuvan näyttö. Ohjelma voisi siis näyttää juuri otetun kuvan näytöllä, ennen seuraavan ottoa. Käyttäjää

voisi hylätä kuvan tarvittaessa ja esimerkiksi säätää valaistusta tässä välissä. Jos mitään toimenpiteitä ei havaita, tallennetaan juuri otettu kuva käyttäjän määrittämään hakemistoon ja se nimetään juoksevilla numeroinnilla. Lisäoptiona voisi olla kuvien pakkaus ja automaattinen lataus palvelimelle. Tämä lisättäisiin varsinaiseen Mapvision-ohjelmaan, josta sitä voitaisiin käyttää suoraan.

Toinen helpompi mahdollisuus on tehdä erillinen ohjelma ohjaamaan kalibrointilaitetta. Tämä ohjelma yhdistettäisiin sitten Mapvision-ohjelmaan. Ohjelman suoritus menisi periaatteessa samalla tavalla, kuten logiikkaohjelman kaaviossa on kuvattu.

3 Short user manual

Työn suoritukseen kuului myös lyhyen englanninkielisen käyttöohjeen luominen (liite 2). Ohje tehtiin mahdollisimman havainnolliseksi, jotta käyttöönotto olisi helppoa.

Ohjeessa on kuvattu automaattisen kalibrointilaitteen käyttöönoton vaatimat toimenpiteet, kaukosäätimen toimintojen käyttö sekä yleisiä ohjeita käyttöön.

4 Yhteenveto

Löydetyt ongelmat vaikuttavat kalibrointilaitteen toistotarkkuuteen, joka vaikuttaa suoraan koko järjestelmän kalibrointiin. Mitä tarkempi kalibrointi on, sitä tarkempia mittaustuloksia järjestelmällä on mahdollista saavuttaa. Jos löydetyt ongelmat korjattaisiin ja parannusehdotukset toteutettaisiin, olisi kalibrointilaitte tarkempi sekä se säästäisi työaikaa.

Työn tuloksena on tehty ehdotus automaattisen kalibrointilaitteen toimintojen parantamisesta tässä työssä kuvatuin menetelmin. Päätöstä näiden toteuttamiseksi ei ole vielä tehty.

Lähteet

Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI)

http://www.bdli.de/en/option.com_bdlmembers/view.members/layout.member/mid,77/Itemid,11/, luettu 15.2.2010

Festo Corporation, 2008. Valve terminals type 10 CPV, Compact Performance. New Horizon Graphic Inc, USA 2008.

Leondes Cornelius T., 2000. Computer Aided Design, Engineering, and Manufacturing: Systems Techniques. Taylor & Francis Ltd, USA 2000.

Lieu Dennis and Sheryl Sorby., 2005. Visualization, Modeling, and Graphics for Engineering Design. Cengage Learning Inc, USA 2005.

Tuominen, Valtteri., 2007. Reaaliaikaisen optisen 3D-mittalaitteen tarkkuuden verifiointi. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Espoo 2007.

Vision Club of Finland, 2009. Machine Vision News Vol. 14, 2009. Lehti, Forssan Kirjapaino Oy, Forssa 2009.

Liitteet

Liite 1: Kalibrointilaitteen osaluettelo

Pos.	Prod. No.	Desr.	Pcs.	MFG.
10	09330102601	Han E 10 Pos. M Insert Screw	1	Harting
20	09330102701	Han E 10 Pos. F Insert Screw	1	Harting
30	19000005150	Cable gland M20, 5-14mm, grey thermopla.	2	Harting
40	19300101230	Han B Base Surface LC 2 Levers 1 x M20	1	Harting
50	19300101520	Han B Hood Side Entry LC 4 Pegs M20	1	Harting
60	CONG1A-A5	Connection Cable	2	Carlo Gavazzi
70	IA30ASN22POM1	Inductive Proximity Switch	2	Carlo Gavazzi
80	KMYZ-9-24-5-LED-PURB	Plug + Cable	1	Festo
90	LFR-1/8-D-MINI-A	Universal Directional Control Valve	1	Festo
100	PUN-6X1-SI	Pneumatic hose	2,5 m.	Festo
110	CPE-14-M1BH-5L-1/8	Magnetic Valve	1	Festo
120	UC-1/8	Silencers	2	Festo
130	QS-1/8-6	Connector	5	Festo
140	SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D	Proximity Sensor	2	Festo
150	GRLA-M5-QS6D	One-Way Flow Control Valve	2	Festo
160	NEBU-M8G3-K-2,5-LE3	Connecting Cable	2	Festo
170	CLR-25-L-P-A	Linear/swivel clamp	1	Festo

Liite 2: Short User Manual

Short user manual for the Automatic Calibration Device

Preparing the device for usage:

Connect the remote controller's main connector to Festo CPV14-VI (image 2.). Be sure to tighten the two screws in the connector to secure it firmly to Festo CPV14-VI.

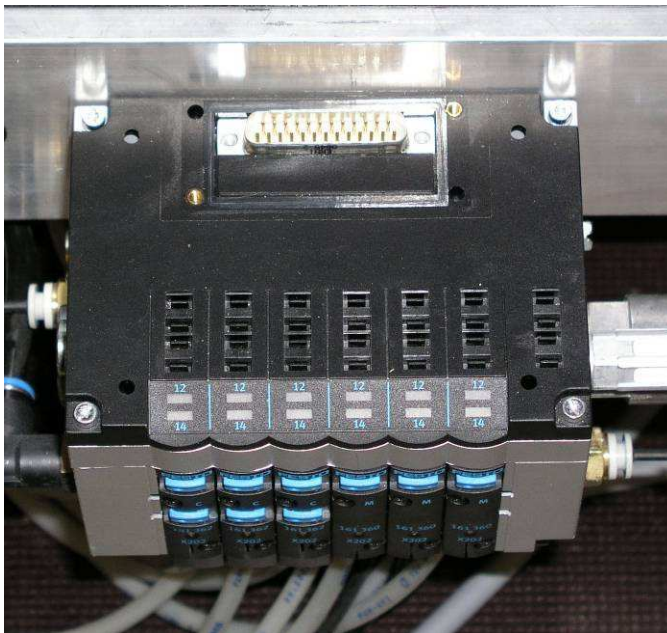


Image 1. Festo CPV14-VI, connector unplugged



Image 2. Festo CPV14-VI, connector in place

Check that the voltage selector switch on the power source is turned to point 24v (image 3.).



Image 3. Voltage selector on the power source

Connect the 24v power source to remote controller (image 4.).



Image 4. Power source connected to remote controller. Connector on the right.

Connect the 24v power source to 230AC.

Connect the pressurised air feed (image 5.).



Image 5. Pressurised air feed connector (circled in red).

Operating the device:

Numbers indicated here refer to image 6.

Moving the device:

- Switch 1. moves the device in Y-direction
- Switch 2. moves the device in X-direction
- Switch 3. moves the device in Z-direction

Unlocking the limiters:

- Switch 4. unlocks the Y-direction limiter
- Switch 5. unlocks the X-direction limiter
- Switch 6. unlocks the Z-direction limiter

To move the device past the limit user must hold the unlock switch and move the device at the same time.

When moving the device past the limit:

- Move the device slightly backwards.
- Hold the unlock switch and be sure you hear a click-noise.
- Move the device past the limit.
- Release the unlock switch.

RELEASE THE LIMITER SWITCH ONLY WHEN THE DEVICE HAS MOVED PAST THE LIMIT.

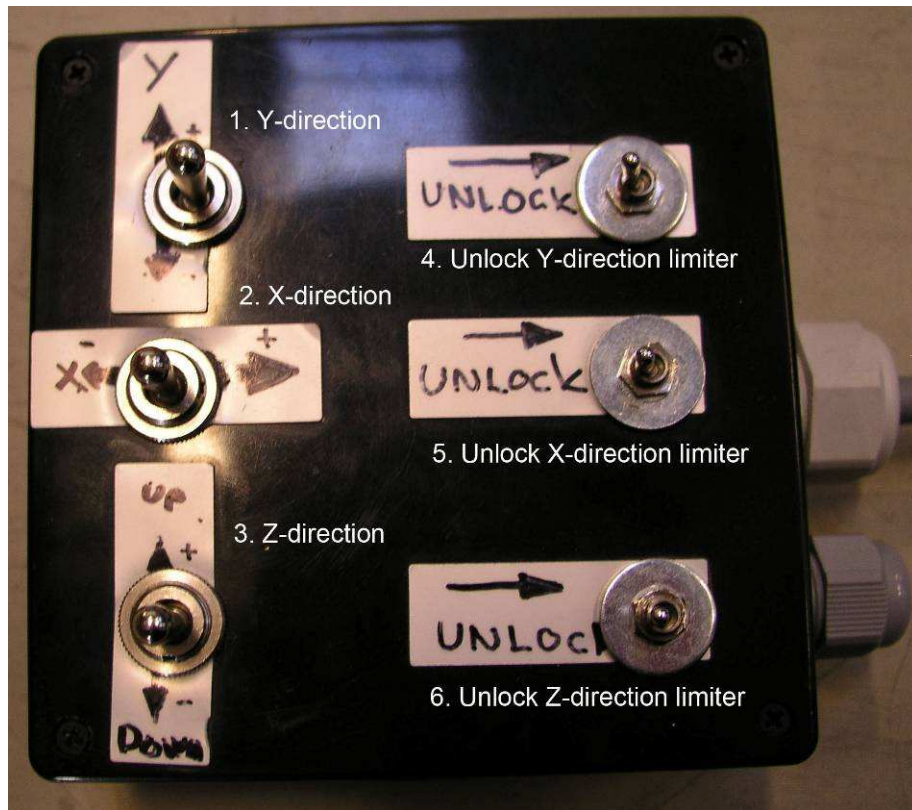


Image 6. Remote controller

Tips:

- To get accurate calibration images user should wait ~35s after moving the calibration device.
- Always move the device so that it touches the limits. This is to confirm that it is straight.
- Never release the limiters when they are on top of the limits.
- Be sure to check how much room the device needs to operate before you start using it. Check which limits are safe and don't move the device past them.
- Check between ~20 images that the calibration disc is still in level.