

KOORDINAATTIMITTAKONEEN INTEGRAATIO AUTOMAATIOSOLUUN

Case: Sandvik Mining and Construction Oy Breakers
Lahti

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan koulutus-
ohjelma
Tuotantopainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2017
Jani Eskelinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ESKELINEN, JANI:

Koordinaattimittakoneen integraatio
automaatiosoluun
Sandvik Mining and Construction

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 33 sivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli koordinaattimittakoneen liittäminen robottisoluun. Työn laajuuden vuoksi se rajattiin koordinaattimittakoneen kiinnittimien valintaan ja layoutsuunnitteluun, solussa käsiteltävien nimikkeiden kiinnitysten suunnitteluun sekä robotin ja koordinaattimittakoneen välisen toimintakuvauksen ja layoutin suunnitteluun.

Opinnäytetyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy, Lahti Breaker-sille, johon vuodenvaihteessa 2017 hankittiin Zeiss Gagemax -koordinaattimittakone.

Työ aloitettiin määrittämällä solussa käsiteltävien nimikkeiden kappalekohtainen kiinnitystapa. Kiinnitystavan päättämisen jälkeen käytettiin manuaalisia kiinnittimiä koordinaattimittakoneella kiinnittimien layoutsuunnittelun apuna. Lopullisen layoutin varmistuttua valittiin kiinnittimien operointitapa servotoimiseksi. Koordinaattimittakoneelle tehtyjen suunnitelmien jälkeen luotiin toimintakuvaus robotin ja mittakoneen välille. Viimeiseksi määritettiin sopiva etäisyys robotin ja koordinaattimittakoneen välille.

Opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin laitetoimittajille perusta, jonka pohjalta he tekevät ohjelmoinnin ja laitteiston käyttöönoton, kun solun automatisointiprojekti etenee siihen vaiheeseen.

Asiasanat: koordinaattimittaus, koordinaattimittakone, automaatio, kiinnitysmenetelmät, toimintakuvaus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

ESKELINEN, JANI:

Integration of a coordinate measuring
machine to an automation cell
Sandvik Mining and Construction Oy

Bachelor's Thesis in production oriented mechatronics, 33 pages

Spring 2017

ABSTRACT

The objective of the thesis was to integrate CMM (Coordinate Measuring Machine) to an automated robot cell. The thesis was limited to choosing suitable clamps and designing their layout for CMM, designing a clamping method for all the products that will be manipulated in the cell, and designing the interface description and layout between CMM and the robot.

The thesis was made for Sandvik Mining and Construction Oy in Lahti, which had acquired a Zeiss Gagemax CMM.

The thesis was started by defining a clamping method for all parts individually. After that, manual clamps were used to help designing the layout for the final arrangement of clamps on the CMM. When the layout was finished, the operation method of clamps was chosen to be a servo-controlled. The interface between CMM and the robot was designed after the work with clamps. Finally, the optimized distance between the robot and CMM was defined.

The result was a foundation for a hardware supplier to program and install the hardware when the automation project of the cell reaches that point.

Key words: CMM, coordinate measuring, automation, clamping, interface description

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SANDVIK	2
3	KOORDINAATTIMITTAUS	3
3.1	Koordinaattimittauskone	3
3.2	Kappaleiden kiinnityksen teoria	5
3.3	Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät	6
3.4	Koordinaattimittakoneen kalibrointi	8
3.5	Koordinaattimittakoneet	9
3.6	Zeiss Gagemax	11
4	VALMISTUSAUTOMAATIO	14
4.1	Automaation määritelmä	14
4.2	Kone- ja kappaleenkäsittelyautomaatio	15
4.3	Robottiikka	16
4.4	Robottityypit	18
4.5	Motoman MH50 II	19
5	AUTOMAATIOSOLUN TOIMINTA	21
5.1	Solun toiminta	21
5.2	Kiinnitykset	21
5.3	Robotin ja KMK:n välinen toiminta	24
5.3.1	Toimintakuvaus	25
5.3.2	Layout	28
6	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koordinaattimittakoneen integrointi automaattiseen hiontasoluun. Opinnäytetyö tehtiin Lahdessa sijaitsevalle Sandvik Mining and Construction Oy, Lahti Breakersille, joka on maailman johtavia hydraulivasaroiden valmistajia.

Vuodenvaiheessa 2017 Sandvik Lahden-tehtaille hankittiin Zeiss Gagemax-koordinaattimittakone. Se haluttiin yhdistää osaksi hiontasolua, millä mahdollistetaan miehittämättömät työvuorot automaatioastetta nostamalla sekä vapauttamalla työntekijöitä muihin tehtäviin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koordinaattimittakoneen integrointi automaattiosoluun. Projektin laajuuden vuoksi se rajattiin koordinaattimittakoneen kiinnittimien valintaan ja layoutsuunnitteluun sekä robotin ja mittakoneen välisen layoutin ja toimintakuvauksen määrittämiseen.

2 SANDVIK

Sandvik perustettiin vuonna 1862 Göran Fredrik Göranssonin toimesta. Alun perin Sandvikin toiminta oli korkealaatuisen teräksen tuotantoa kallio-poraukseen. Sittemmin yrityksen liiketoiminta on laajentunut, ja nykyisen ydinsaaminen koostuu teollisuustyökalujen valmistuksesta, kaivos- ja rakennusteollisuuden tarvikkeiden ja työkalujen valmistuksesta sekä kehittyneistä ruostumattomien terästen seosten tuotannosta. Nykyisin Sandvik koostuu kolmesta vahvasta liiketoiminta-alueesta, jotka ovat Sandvik Machining Solutions, Sandvik Mining and Rock Technology ja Sandvik Materials Technology. (Sandvik AB 2017b).

Sandvik Groupin liikevaihto vuonna 2016 oli noin 82 miljardia Ruotsin kruunua. Se työllisti 43 000 ihmistä ympäri maailman, ja sillä oli 8 000 aktiivista patenttia. Pääkonttori sijaitsee Tukholmassa ja toimitusjohtaja on Björn Rosengren. (Sandvik AB 2017a).

Sandvik Mining and Construction Oy on osa Sandvik-konsernia. Se kattaa suurimman osan Sandvik Mining and Rock technologyn toiminnoista Suomessa sekä kaikki kahden muun liiketoiminta-alueen Machining Solutionsin ja Materials Technologyn Suomen toiminnoista. Liiketoiminta-alue Sandvik Mining and Rock Technologyn liikevaihto vuonna 2016 oli noin 31 miljardia Ruotsin kruunua ja se työllisti 14 000 ihmistä (SMC Intranet 2017).

Rammer Oy perustettiin Lahdessa vuonna 1978. Lukuisten omistajanvaihdosten jälkeen vuosien mittaan alkuperäinen Rammer päättyi Tampellan omistukseen vuonna 1995. Tampellan nimi vaihtui Tamrockiksi, ja vuonna 1998 Sandvik Rock Tools yhdistyi Tamrockin kanssa muodostaen Sandvik Mining and Construction liiketoiminta-alueen. Lahdessa valmistetaan hydraulisia iskuvasaroita kaivos- ja rakennusteollisuudelle sekä komponentti-valmistusta porakoneisiin. (SMC Intranet 2017).

3 KOORDINAATTIMITTAUS

3.1 Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittausta voidaan tehdä monella tavalla. Näistä tunnetuin lienee GPS, joka löytyy lähes jokaisen nykypäivän matkapuhelimen navigaattorista. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kuitenkin NC KMK -mittausta, eli numeerisesti ohjattua mittausta koordinaattimittauskoneella (NC = Numerical Control ja KMK = koordinaattimittakone).

Ensimmäinen tunnettu koordinaattimittauskone on ollut käytössä Englannissa vuonna 1855 Joseph Whitworthin tehtaalla, jossa sillä mitattiin tulkkeja ja kierteitä. Sillä kyettiin havaitsemaan tuuman miljoonasosan pituusero. (Tikka 2007, 17).

Koordinaattimittauskone, lyhennettynä KMK tai CMM (Coordinated Measuring Machine), on äärimmäisen tarkka mittauslaite. Sen rakenne koostuu kolmesta akselista X, Y ja Z, jotka ovat mahdollisimman kohtisuorassa toisiinsa nähden, mittaustasosta sekä yhdestä tai useammasta mittapäädystä ja -kärjestä, tietokoneesta ja ohjelmistosta. Sen akselit ovat ilmalaakeroituja. Käytetyn paineilman tulee olla erittäin puhdasta laitteen moitteettoman toimivuuden edellytyksenä, eli ilmalta vaaditaan matala vesi- ja öljypitoisuus. Akseleiden paikoitus perustuu inkrementti- tai absoluuttiantureihin, joiden referenssikohteena on erittäin tarkka lasisauva, johon lämpölaajeneminen ei vaikuta suuresti. Modernit KMK:t ovat CNC (Computer Numerical Control) -ohjattuja ja kykeneväisiä automaattiseen mittaukseen. Erilaisia koordinaattimittakoneen rakenteita on esitelty sivulla 10 kuvassa 1.

”Koordinaattimittaus tarkoittaa koordinaattien määrittämistä avaruudessa, joskus tasossa.” (Tikka 2007, 16). Tämä sitaatti tarkoittaa sitä, että KMK kykenee itsessään hahmottamaan vain yksittäisiä pisteitä 3D-koordinaatissa millä ei sellaisenaan ole mittakoneen käyttäjälle mitään käyttöarvoa. KMK:n niin sanotut ”aivot” ovat sen toimintaa ohjaava tietokoneohjelma. Kun ohjelma vastaanottaa mittapään rekisteröimät pisteet, se huomioi mit-

takärjen halkaisijan, kappaleen lämpötilan ja muut mittatulokseen vaikuttavat tekijät ja muodostaa sitten virtuaalisen 3D-mallin ja vertailee saatuja tuloksia ennalta asetettuihin toleransseihin. Esimerkiksi lieriön ulkohalkaisijaa kosketusmittaamalla KMK ajaa mittakärjen lieriön ulkoreunaa pitkin. Samalla se rekisteröi tuhansia yksittäisiä pisteitä akseleiden liikeanturien paikkatietojen perusteella. Nämä pisteet ohjelma osaa ensin piirtää geometriseksi ympyräksi ja sitten laskea siitä halkaisijan ensin kompensoituaan kaikki mittaustulokseen vaikuttavat tekijät. Erilaisia korjauksia, joita koordinaattimittakoneen ohjelma voi tehdä, ovat liikkeet, kohtisuoruudet, mittakärkien halkaisijat ja keskipisteet, mittapään ja kärjen välisen varren taipuma, mittapää itsessään, pöydän taipuma, dynamiikan vaikutukset, as-teikkojen (mekaaninen referenssiasteikko) sekä työkappaleen lämpötilat (Tikka 2007, 26).

Koordinaattimittakoneella voidaan mitata muun muassa seuraavia ominaisuuksia (Sinisalo 2017):

- sisä- ja ulkohalkaisijat
- pituus
- yhdensuuntaisuus
- heitto (Epäkeskisyys)
- ympyrämäisyys
- samankeskeisyys
- tasomaisuus
- kohtisuoruus.

Yllä mainitut ominaisuudet ovat sellaisia, joita perinteisillä mittavälineillä olisi hyvin hankala mitata, lukuun ottamatta pituuksia ja halkaisijoita. KMK:n ohjelmaan syötetään mitä ominaisuutta mitataan ja mikä on sen ohjearvo. Ohjearvon poikkeaman perusteella KMK laskee mittaustuloksen.

3.2 Kappaleiden kiinnityksen teoria

Mitattavan kappaleen asema ja asento mittauspöydällä tulee suunnitella siten, että kappalekoordinaatiston nollapiste tulee konekoordinaatiston puolelle ja koneen akseliston positiiviset suunnat piirustuksen tai CAD-mallin mukaisiksi. Mikäli se ei ole mahdollista, voidaan tämä korjata ohjelmallisesti antamalla mittakoneesta riippumattomat oikeakätisen koordinaatiston nimet ja suunnat koneen akselistolle. (Tikka 2007, 240).

Mitattavan kappaleen asennon tarkkuus mittauspöydällä riippuu mittaustavasta. Manuaalisesti mitattaessa riittää, että mittakärjet ylettyvät koskettamaan haluttuihin paikkoihin esteettä ilman varsikosketuksia. Automaattisesti mitattaessa kappaleen asennon tarkkuus riippuu useasta tekijästä, koska mittauksen edellytyksenä on työkappaleaseman määrittäminen. Hyvä sääntö uusien kappaleiden aseman tarkkuudelle on 0,5 mm, jotta mittaus voidaan tehdä ilman työkappaleaseman määrittämistä. (Tikka 2007, 241).

Kiinnityksen suunnittelussa on tärkeää huomioida, että sen peruselementtejä ja mitattavia pintoja on mahdollista koskettaa. Usein käy niin, että kiinnitin estää mittakärkeä koskettamasta mitattavaa pintaa tai ei mahdollista sen pääsyä riittävän lähelle. Koordinaattimitakoneiden Z-akselin suuntainen liike harvemmin laskee kovin alas. Lähellä pöytää olevia kappaleita on hankala mitata etenkin sellaisilla kärjillä, joiden varsi on vaakatasossa. Tästä syystä mitattava kappale on tuotava riittävän ylös. (Tikka 2007, 241).

Jos kappale liikkuu mittauksen aikana, mittatulos on virheellinen. Vain hyvin harvoissa tapauksissa kappale voidaan mitata ilman kiinnitystä. Mittakärjen kosketuksesta syntyvä mitattavaan kappaleeseen kohdistuva voima ei ole suuri, mutta kevyet ja huonosti kiinnitetyt kappaleet se saa liikkeelle. Myös mittakoneiden värähtelynvaimennus heiluttaa laitetta sekä suuret nopeudet ja kiihtyvyydet takaavat kehnosti tuetun kappaleen liikkumisen mittauksen aikana. (Tikka 2007, 241).

Työkappaleen kiinnittimessä tulee huomioida, ettei se aiheuta muodonmuutoksia mitattavaan kappaleeseen. Tämä vaikeuttaa automatisoitua mittausta etenkin hentorakenteisissa kappaleissa. Automaattisissa valmistusyksiköissä onkin joskus tapana tuoda mitattava kappale koordinaattimitaukseen suoraan sen työstökoneen kiinnittimessä. Tällöin mitataan kuitenkin työstökoneen tarkkuutta eikä kappaleen todellista tarkkuutta. Kun kappale lopulta irroitetaan työstökonekiinnitimestä ja vaputuu sen aiheuttamista kiinnitysvoimista, sen muoto on hyvin todennäköisesti muuttunut. (Tikka 2007, 241).

3.3 Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät

Mittausvirhe ilmoitetaan ISO 10360-2 -standardin mukaan muodossa

$$MPE(\textit{Maximum Permissible Error}) = A + \frac{L}{K} < B,$$

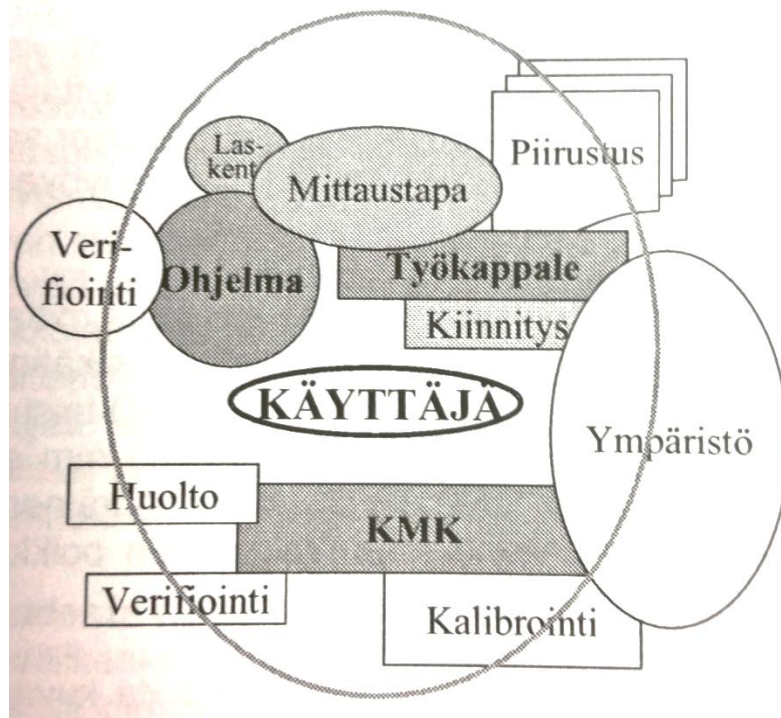
KAAVA 1. Suurin sallittu virhe

jossa A kuvaa mittauspituudesta riippumatonta vakiota, joka vastaa toistuvuutta ja $\frac{L}{K}$ on mittauspituudesta riippuvat osat (Tikka 2007, 38-39). MPE tarkoittaa suurinta sallittua virhettä. Sillä saa usein riittävän tarkan kuvan kertomaan koneen mittaustarkuudesta, mutta se ei ilmoita mittausepävarmuutta. MPE arvon saamiseksi on mitattu viisi pituutta seitsemässä eri paikassa, ja tämä on toistettu kolme kertaa. Yksikään tuloksista ei saa ylittää valmistajan ilmoittamaa MPE arvoa (Tikka 2007, 346). Mittausepävarmuus koostuu koskettavassa koordinaattimitauksessa neljästä eri pääteki- jästä (Tikka 2007, 345):

- koneen käyttäjä
- mittakone
- ympäristö
- mitattava kappale

Epävarmuustekijöiden painoarvot jakautuvat siten, että eniten vaikuttaa koneen käyttäjä 30 - 50 %:n osuudella. Koneen ja ympäristön aiheuttaman epävarmuuden painoarvo on molemmilla erikseen 5 - 20 %. Mitattava kappale vaikuttaa 10 - 30 %. (Tikka 2007, 344).

Koneen käyttäjää siis pidetään yleisesti suurimpana tekijänä mittaustuloksen epävarmuudelle. Käyttäjän on tunnettava mittakoneen toimintaperiaate ja hallittava mittausmenetelmät, jotta mittausepävarmuus pysyy hyväksyttävänä. Mittaustulokseen vaikuttaa myös paljon muita tekijöitä, joista käyttäjän tulee olla tietoinen.



KUVIO 1. Mittausepävarmuuteen vaikuttavat tekijät (Tikka 2007, 345)

Kuviossa 1 on esitelty kaikki mittausepävarmuuteen vaikuttavat tekijät. Pällekkäin asetetut tekijät vaikuttavat toisiinsa. Kaikkia epävarmuustekijöitä ei ole mahdollista korjata kalibroimalla. Osa pitää laskea tai arvioida.

Kun mittausepävarmuus on tiedossa, voidaan saada luotettavaa dataa mittauksesta virhemarginaaleineen. (Tikka 2007, 345).

Virhettä mittaustulokseen lisäävät myös seuraavat tekijät (Tikka 2007, 343):

- Anturin ja koneen liikkeiden aiheuttamat voimat mittauspisteen rekisteröinnin yhteydessä.
- Mahdolliset virheelliset kosketukset (esim. varsikosketus).
- Mittakärjen voiman vakaus, hallinta ja yhdensuuntaisuus.
- Mekaanisesti kytkevän anturin nollapisteen palautus kosketuksen jälkeen.
- Niin sanottu Abbé virhe, eli kulmavirheen skaalautuminen välimatkan kasvaessa.
- Antureiden referenssiasteikkojen virheet ja nollapisteen vakaus.
- Mittakärjen geometria-, paikka-, ja halkaisijan virhe.
- Mittausvoiman, kimmoisuuden, magneettisuuden ja kitkan aiheuttamat virheet.
- Mitattavan kappaleen epäpuhtaudet.
- Mittakärjen vaihtaminen kesken mittauksen.
- Mitattavan kappaleen kääntäminen kesken mittauksen.

Yllä ovat listattuna koskettavan mittauksen tärkeimmät virhetekijät. Hyvä nyrkkisääntö mittauksen suunnittelussa on, että mittaus pyritään tekemään yhdellä kärjellä ja kiinnittämällä se vain kerran ilman kääntelyä. Mittaustuloksen tarkkuus kärsii aina kun kärki vaihtuu tai kääntyy, tai kun mitattava kappale kiinnitetään uudestaan tai käännetään.

3.4 Koordinaattimittakoneen kalibrointi

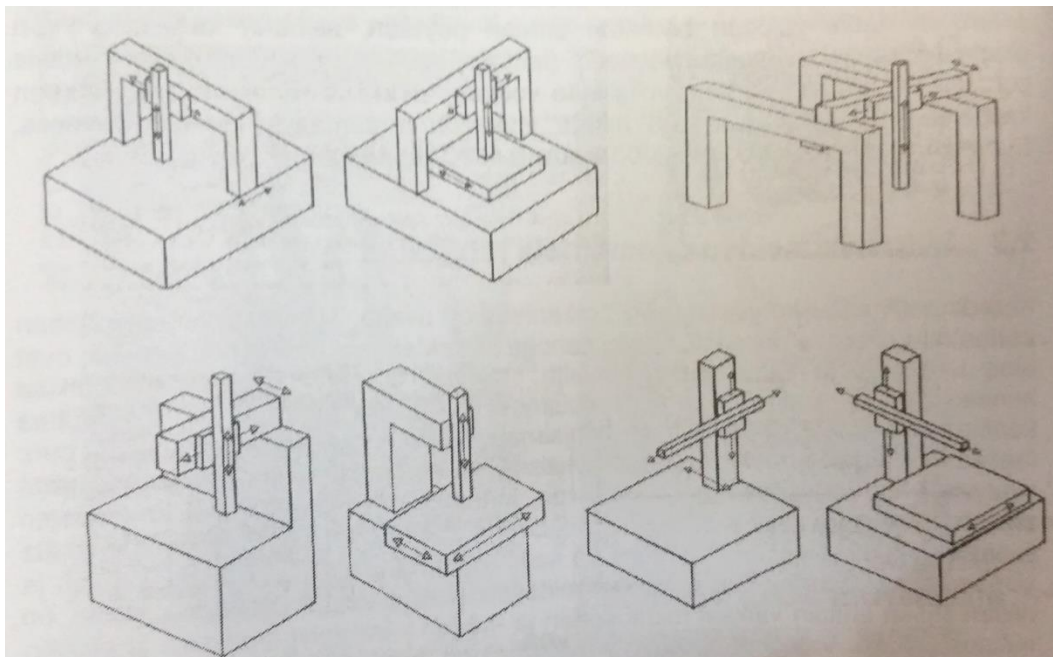
Kalibroinnin tarkoituksena on kyetä mittaamaan kaikilla eri mittakärjillä siten, että kuitenkin saadaan validia mittausdataa, vaikka kärkien halkaisijat ja sijainnit mittapään suhteen voivat vaihdella suurestikin. Kalibrointi suoritetaan yleensä mittaamalla referenssipalloa, jonka halkaisija on ennalta

tiedossa ja syötetty järjestelmään. Kalibrointipallot valmistetaan mekaanista kulutusta ja korroosiota kestävästä materiaalista, esimerkiksi alumiinioksidista. Pallojen lisäksi kalibroinneissa voidaan käyttää myös rengastulkkia tai mittapalaa.

Kalibrointi suoritetaan koskettamalla referenssipalloa vähintään neljästä pisteestä. Sillä ei tosin saada varmistusta kalibroinnin onnistumisesta esimerkiksi hajonnan avulla. NC-ohjatut KMK:t suorittavat kalibroinnin automaattisesti hieman eri tavoin valmistajasta riippuen, mutta perusidea on kaikilla sama. Mittauskärjellä ajetaan kalibrointipallon pintaa pitkin, jonka perusteella KMK muodostaa laskennallisesti mittakärjen keskipisteiden sijaintitietojen avulla uuden pallon. Tämän virtuaalisen pallon vertailusta todelliseen referenssipalloon ohjelma kalibroi mittakärjen. (Tikka 2007, 221).

3.5 Koordinaattimittakoneet

Kuvassa 1 on esitelty standardien ANSIASME B89 ja ISO/DIS 10360 mukaiset koordinaattimittakoneiden perusrakenteet. Perusideana kaikissa on tukeva rakenne ja suorakulmassa toisiinsa nähden olevat liikesuunnat. Liikkeet vaihtelevat joko suoraan akseleiden liikkeestä mittausalustan liikkuttamiseen. Kuvassa 1 olevat rakenteet ovat portaali-, silta-, puomi- ja pylvästyyppejä. (Tikka 2007, 62).



KUVA 1 Koordinaattimittakoneiden rakenteita (Tikka 2007, 62)

Koordinaattimittakoneiden rakenteita on hyvin paljon erilaisia, myös sellaisia, joita edellä mainitut standardit eivät määrittele. On hyvin tavallista, että Abbén periaatetta rikotaan jatkuvasti. Se tarkoittaa sitä, että usein liikkeiden asteikot ja laakeroinnit ovat kaukana mittauspisteestä (Tikka 2007, 61). Tämä on erikoinen ominaisuus laitteelle, jonka on kyettävä mittaamaan jopa metrin miljoonasosan tarkkuudella. Mitä enemmän kahden akselin välinen kulma poikkeaa suorakulmasta, sitä enemmän se lisää mittauserävarmuutta.

Suurimmissa koordinaattimittakoneissa etäisyys asteikon ja mittauspisteen välillä voi olla jopa metrejä. Tämä aiheuttaa ongelmia mittaustarkkuuden lisäksi myös konstruktiivisesti ja ohjelmateknisesti suunnittelulle. Suuret, liikkuvat massat aiheuttavat sekä kinemaattisia taivutusvoimia, että lämpötilamuutoksista aiheutuvia taipumia (Tikka 2007, 61). Tämä kaikki summaantuu lopulliseen mittauserävarmuuteen, jos niitä ei voida kalibroida ohjelmallisesti.

3.6 Zeiss Gagemax

Tämän opinnäytetyön koordinaattimittakone on Zeissin valmistama Gagemax.

Tekniset tiedot käyttäen Zeiss XTR-gold mittapäätä (MSI Vikings Gage 2017, 2-4):

- akseleiden ulottuvuus: $X = 750$, $Y = 500$, $Z = 500$.
- MPE = 20 °C: $2.2 + L / 300 \mu\text{m}$ ja 40 °C: $3.2 + L / 200 \mu\text{m}$
- toistotarkkuus $1,4 \mu\text{m}$
- yksittäisen mittakärjen muotovirhe $1,8 \mu\text{m}$
- monisuuntaisen mittakärjen muotovirhe $4,3 \mu\text{m}$
- monisuuntaisen mittakärjen suuntavirhe $1,1 \mu\text{m}$
- monisuuntaisen mittakärjen paikkavirhe $2,6 \mu\text{m}$
- mitattavan kappaleen suurimmat sallitut mitat ja massa:
 - $X = 750 \text{ mm}$
 - $Y = 500 \text{ mm}$
 - $Z = 938 \text{ mm}$
 - $m = 250 \text{ kg}$
- lämpötilan kompensointi 15-40 °C lämpötilassa.

Zeiss XTR-gold mittapään tekniset tiedot (MSI Vikings Gage 2017, 2-4):

- mittakärjen työntövoima kosketuksessa $< 50 \text{ mN}$
- suurin sallittu massa mittakärjelle 500 g
- suurin sallittu pituus mittakärjelle 500 mm
 - pyörivälle mittakärjelle max 350 mm .

Zeiss Gagemaxin fyysiset mitat (MSI Vikings Gage 2017, 2-4):

- leveys = 1500 mm
- pituus = 1860 mm
- korkeus = 3020 mm .



KUVA 2. Zeiss Gagemax (Direct Industry 2017)

Kuvasta 2 voidaan havaita, että Gagemaxia voidaan operoida kolmesta eri suunnasta. Tämän opinnäytetyön robottisolussa ei tosin operoida kuin edestäpäin, mutta mahdollisuus esimerkiksi manuaaliseen ohjaamiseen sivuilta käsin on olemassa. Myös tulevaisuudessa tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää muun muassa palettijärjestelmällä, joka voi kulkea sivuttaisuunnassa suoraan Gagemaxin mitta-alueen läpi, jos nykyistä toimintaratkaisua halutaan muuttaa jotenkin.

Gagemax on rakenteeltaan poikkeuksellinen verrattuna edellisessä luvussa esiteltyihin standardoituihin rakenteisiin. Sen kaikki akselit ovat mittausalueen yläpuolella, mikä mahdollistaa lineaarisen liikkeen suoraan mittausalueen läpi. Tämänkaltaista ominaisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi asettamalla kiinnitinjärjestelmällä varustettu kuljetin kulkemaan mittausalueen läpi.

Zeiss Gagemaxin rakenne soveltuu erinomaisesti konepajaympäristöön, koska sen johteet ja laakerit ovat hyvin suojattuja. Ne sijaitsevat mittausalueen yläpuolella ja ovat muista suunnista kotelon sisällä suojassa, paitsi mittapään puolelta, jossa ne ovat haitarisuojuksen takana piilossa.

Yleensä koordinaattimittauskone vaatii erillisen huoneen mittauksen laadun varmistamiseksi. Aluksi ajattelin hieman epäillen perehdyttyäni koordinaattimittauksen teoriaan, että voiko mittauksia toteuttaa ilman erillistä mittaushuonetta, jossa ilmavirrat ovat minimoituja, lämpötila pidetään ilmastoinnilla vakaana ja jonka seinät ehkäisisivät melun aiheuttamia mittavirheitä. Opinnäytetyön aikana tehdyt manuaaliset mittaukset Gagemaxilla kuitenkin ovat osoittautuneet luotettaviksi. Mittaustuloksen epävarmuus tosin kasvaa, kun ilmavirtoja ja lämpötilanvaihteluita ei ole teknisesti estetty. Robottisolu sijaitsee hallissa, jossa on suuri liukuovi suoraan kylmävarastoon, mikä saattaisi aiheuttaa ongelmia mittauksen varmuuden kanssa edellä mainittujen seikkojen vuoksi. Gagemax on kuitenkin suunniteltu tuotannon yhteyteen. Se antaa luotettavaa mittausdataa 15 - 40 °C:n lämpötilassa sekä huomioi myös mitattavan kappaleen lämpötilan aiheuttamat muutokset kappaleen mitoissa.

Tämän opinnäytetyön robottisolu on konepajaympäristöksi hyvin puhdas. Ilmassa olevat hionnassa irtoavat partikkelit ja höyrystyneet hiontanesteet ovat minimoituja teknisin ratkaisuin, ja itse työstökoneet ja sorvit ovat eristettyinä toiseen halliin. Tämä helpottaa KMK:n mittauskyvyn ylläpitämistä, koska irtolika ei päädy mittausalueelle ja mittavälineisiin.

4 VALMISTUSAUTOMAATIO

4.1 Automaation määritelmä

Sana automaatio tulee kreikan kielen sanasta automatos, itsestään liikkuva. Tiettävästi ensimmäistä kertaa puhuttiin automaatiosta Fordin auto-
tehtaalla 1948 mekaanisen ja elektronisen laitteen yhdistelmästä, josta
myös sana mekatronikka tulee. (Pitkälä 2008, 3)

Automaation kaikilla ilmenemismuodoilla voidaan todeta samat yhteiset
peruspiirteet (Pitkälä 2008, 3):

- kyky aritmeettis-loogisten toimintojen suorittamiseen
- säätösilmukka eli takaisinkytkentäominaisuus
- ohjelmoitavuus
- anturit
- toimilaitteet.

Valmistusautomaation keskeisimmät osa-alueet ovat prosessi-, kone- ja
kappaleenkäsittelyautomaatio.



KUVIO 2. Automaation jakaminen (Pitkälä 2008, 4)

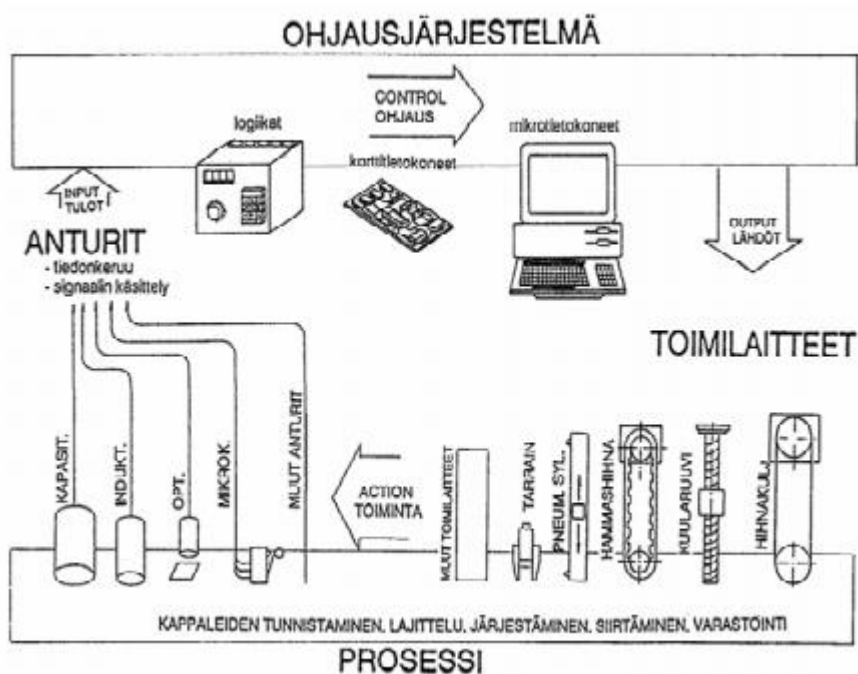
Automaatiojärjestelmien käyttö on nykypäivänä erittäin yleistä. Käyttöjär-
jestelmä voi olla pneumaattisesti, hydraulisesti ja sähköisesti releteknii-
kalla tai logiikalla ohjattu (Pitkälä 2008, 11). Ohjelmoitavuutensa vuoksi lo-
giikkaohjaus on kuitenkin ylivertainen verrattuna muihin järjestelmiin, joi-
den äly perustuu niiden fyysiseen rakenteeseen. Uudelleenohjelmointi esi-
merkiksi täysin pneumaattisesti rakennetussa järjestelmässä on erittäin

työstä pienissäkin järjestelmissä, koska se edellyttää suunnittelutyön lisäksi myös mekaanisen uudelleenrakentamisen.

4.2 Kone- ja kappaleenkäsittelyautomaatio

Kappaleenkäsittelyautomaatiolla tarkoitetaan teollisuudessa valmistus-, laadunvarmistus-, kuljetus- ja varastointitehtäviä, joita suoritetaan automaattisesti, usein robotin tekemänä. Kappaleenkäsittelyautomaatio voi käsitellä jopa kokonaisen tehtaan automatisointia. Koneautomaatio käsittelee tuotantolinja-automaation, automaattiset työstökoneet, konepajan automaattiset laitteet tai miehittämättömät tehtaot.

Tuotantolinja-automaatio käsittelee kappalevaratuotannon automaation, joka vaatii kappaleiden siirtelyä, kääntelyä, kokoonpanotöitä ja tarkastusta. Se ei kuitenkaan sisällä valmistukseen liittyviä töitä kuten työstötehtäviä. (Pitkälä 2008, 6)



KUVIO 3. Automaatiojärjestelmän toimitaperiaate (Pitkälä 2008, 7)

Kuviossa 3 on esitelty automaatiojärjestelmän toimintaperiaate. Automaatiojärjestelmän toiminta alkaa ohjausjärjestelmästä. Ensin annetaan järjestelmälle lähtötiedot, joiden perusteella toimilaitteet toimivat. Anturit toimivat järjestelmän takaisinkytkentätiedon tuottajina, jotka logiikka tulkitsee ja ohjelmansa perusteella antaa uudet lähtötiedot toimilaitteille.

4.3 Robottiikka

Robotti on kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan mekaaninen laite, joka on uudelleen ohjelmoitavissa erilaisiin töihin. Robottien käyttöalue on hyvin laaja. Niitä käytetään muun muassa hoitoalalla, sotilasteknologiassa, liikenteessä ja teollisuudessa. Suurin osa maailmalla valmistetuista roboteista kuitenkin päätyy teollisuuden palvelukseen. (Pitkälä 2017, 2.)

Teollisuuden alalla robottien tehtävä on tehdä ihmiselle yksitoikkoista, raskasta, vaarallista tai tarkkuutta vaativaa työtä. Yritykselle on usein pitkällä aikavälillä edullisempaa investoida robottiin. Sillä saadaan parannettua laatua, pienennettyä valmistuskustannuksia, vähennettyä työtapaturmia sekä tarvetta ammattitaitoisille työmiehille. Sillä saadaan myös täysin miehittämättömiä työvuoroja aikaiseksi. Monet konepajat ajavatkin yövuorot automaattijolla. Nykyaikaiset robotit ovat tarkkoja liikkeissään ja tekevät sen mitä ne ovat ohjelmoituja tekemään. Kaikkien edellä mainittujen tekijöiden summana robotti edistää yrityksen kilpailukykyä. (Pitkälä 2017, 79.)

Tyypillisiä robotin tehtäviä nykyaikaisessa tuotantolaitoksessa ovat:

- Panostus

Tehtävä on työstökoneiden ja sorvien automaattinen panostus. Panostus on mahdollinen lisäoptio työstökoneissa, jolloin erillistä robottia ei tarvita. Kuitenkin yksittäinen robotti voi kustannustehokkaasti panostaa kahta tai useampaa konetta samaan aikaan. (Pitkälä 2017, 68.)

- **Lavaus**
Lavausrobotit ovat paljon käytettyjä sovellutuksia. Tavallinen logiikkaohjattu lavausmanipulaattori ajaa saman asian, mutta lavattavien kappaleiden vaihtelu tekee robotista paremman vaihtoehdon. (Pitkälä 2017, 69.)
- **Kappaleiden siirrot**
Kappaleiden siirto on olennainen osa kaikkia robotisoituja automaatioosoluja. Kappaleiden järjestys ja orientaation säilyminen ovat tärkeitä syöttövirheiden ehkäisemiseksi, mikä robotin avulla hoituu helposti. (Pitkälä 2017, 70.)
- **Kokoonpanon aputoiminnot**
Robotisoidussa kokoonpanosolussa robottia käytetään osien liittämiseen ja sovittamiseen sekä erilaisiin kappaleen käsittelytehtäviin. (Pitkälä 2017, 71.)
- **Hitsaus**
Hitsausrobotit ovat kotimaisessa metalliteollisuudessa yleisin sovellutus. Hitsauksessa syntyy terveydelle haitallisia höyryjä sekä ihmisen tarkkuus ja nopeus eivät kykene kilpailemaan robotin kanssa. Hitsausrobotit ovat edellytys kilpailukyvyn ylläpidolle nykyaikaisessa metalliteollisuudessa. (Pitkälä 2017, 71.)
- **Pintakäsittely**
Maalausrobotit ovat käytetyin sovellus pintakäsittelyroboteista. Hitsauksen tapaan maalauksesta höyrystyy terveydelle haitallisia kemikaaleja, joilta toki voi suojautua asianmukaisella varustuksella, mutta se on hidasta ja vaivalloista. Robotti käyttää maalia ihmistä kustannustehokkaammin, jolloin myös materiaalikustannukset pienenevät. Kaikkein hankalimmat maalauskohteet eivät välttämättä ole mahdollisia robotille, joten alustava käsin maalaus vaaditaan.

Konepajateollisuudessa yleisiä sovellutuksia robotille ovat myös hi-
onta, kiillotus ja jäysteenpoisto. (Pitkälä 2017, 72.)

- Robotit osana FMS-järjestelmää
FMS eli Flexible Manufacturing System, joustava valmistusmene-
telmä, on edellytys miehittämättömille työvuoroille. Robotit tekevät
erilaisia töitä kappaleiden siirrosta pintakäsittelyihin, siirtävät tuot-
teita varastoon ja paljon muuta. FMS-järjestelmän joustavuus mää-
rittää kuinka pieniä tuotantosarjoja kyetään tuottamaan. (Pitkälä
2017, 72.)

4.4 Robottityypit

Erilaisia robottien rakenteita ovat:

- suorakulmainen robotti
- scara-robotti
- rinnakkasrakenteinen robotti
- yhteistoiminta robotti
- kiertyvänivelinen-/nivelvarsirobotti.

Olennainen osa tätä opinnäytetyötä on automaatioisolun robotti, joka on rakenteeltaan kiertyvänivelinen, eli niin sanottu nivelvarsirobotti. Nivelvarsirobotin rakenne koostuu nimensä mukaisesti nivelistä. Niillä on tyypillisesti neljä tai kuusi vapausastetta ja ne muistuttavat toiminnaltaan paljon ihmisen kättä. Ne ovat nykypäivän teollisuudessa yleisiä apuvälineitä tuotannon automatisoinnissa, ja soveltuvatkin monipuolisesti erilaisiin tehtäviin, kuten kappaleenkäsittely, hitsaus, kokoonpano ja maalaus. Tämän opinnäytetyön robottisolussa sen tehtävänä on kappaleenkäsittely.

4.5 Motoman MH50 II

Yaskawan Motoman MH50 II on kuusiakselinen kiertyvänivelinen robotti. Se kykeenee kantamaan 50 kg kuorman ja sen suurin ulottuvuus on 2061 mm korkeudella 437 mm. Sen oma massa on 550 kg ja se on asennettavissa lattiaan, seinään tai kattoon. MH50 soveltuu kokoonpano-, leikkuu-, annostelu-, konepalvelu-, kappaleenkäsittely-, pakkaus-, särmäys- ja työstötehtäviin. Kyseinen robotti on esitelty kuvassa 3.

Tekniset tiedot (Yaskawa Finland Oy. 2017):

- akseleiden lukumäärä 6
- hyötykuorma 50 kg
- suurin ulottuma 2061 mm
- toistotarkkuus $\pm 0,07$ mm
- paino 550 kg
- liityntäteho 4.0 kVA



KUVA 3. Yaskawa Motoman MH50 II. (Motoman 2017)

5 AUTOMAATIOSOLUN TOIMINTA

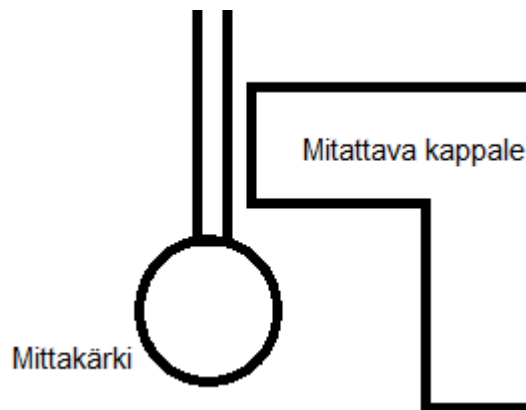
5.1 Solun toiminta

Solun toiminnan niin sanottu ”Master” on Yaskawa Motoman 50 II -robotti. Solun operaattori kertoo sille, mitä kappaleita työstetään, ja sitten robotti vastaavasti kertoo muille solun koneille mitä niiden tulee tehdä. Sen tehtävä tässä automaattiosolussa on kappaleiden tarkat siirrot. Se on asetettu lineaarikiskon päälle, jossa se voi kulkea koko solun läpi ja ylettyä kaikille toimipisteille. Kiskon toisessa päässä on hiomakone, jonne robotti vie hiottavan kappaleen. Kun kappale on hiottu, robotti hakee kappaleen pesukoneelle. Pesun ja kuivauksen jälkeen on vuorossa mittaus. Tässä vaiheessa kappaleen tulee olla täysin puhdas, eikä pinnalla saa olla jäämiä pesunesteestä, muuten mittauksen tulos ei ole luotettava. Mittauksen jälkeen robotti kuljettaa kappaleen automatisoidun varastorobotin lavalle.

Solun koneiden layoutiin vaikuttaa laitteiston suuren koon lisäksi myös robotin ulottuvuus. Valmistajan piirustuksesta käy ilmi, että suurin ulottuma vaakatasossa on 2061 mm.

5.2 Kiinnitykset

Koordinaattimittakoneelle tulee kolme kiinnityspaikkaa kappaleille: kaksi servopakkaa, joihin kappaleet saadaan pystyyn joko ulkoisella tai sisäisellä kiinnityksellä sekä yksi magnetisoitu prisma, johon kappaleet saadaan kiinni vaakatasoon. Paras asento mittaukseen olisi pystyasento, jolloin kaikki ulko- ja sisähalkaisijat saataisiin mitattua yhdellä yhtenäisellä liikkeellä. Kaikkiin kappaleisiin tätä ei valitettavasti pystytä soveltamaan isojen olakkeiden vuoksi, jolloin KMK:n mittakärki ei ylettyisi olakkeen alapuolella oleviin mittauskohteisiin. Tällöin kappale on asetettava V-prismaan, joka keskittää mitattavan kappaleen aina samaan kohtaan Y- ja Z-akseleilla. X-akselin paikoitus tehdään robotin avulla. Kuviosta 4 voidaan havaita, että mittakärki ei ylety mittamaan ulokkeen alapuolelta mitään varvikosketuksen vuoksi.



KUVIO 4. Esimerkki jolloin pystykiinnitys ei onnistu pyörähdysymmetrisellä kappaleella.

Pystykiinnitykseen valittiin servopakka tarkoitukseen soveltuvuutensa vuoksi. Vaihtoehtoja pakan operointiin olisi hydraulikka, pneumatiikka, sähkö- ja servomootori tai manuaalinen operointi. Solun automaattisen toiminnan mahdollistamiseksi, manuaalinen pakka ei sellaisenaan ole käyttökelpoinen. Hydrauliset ja pneumaattiset pakat ovat yleisiä, mutta niiden kiinnitysvoimaa ei voida luotettavasti säätää. Riskinä on, että ne puristaisivat mitattavaa kappaletta liian kovaa, minkä aiheuttama muodonmuutos vaikuttaa mittaustulokseen. Vaikka kappaleen muoto palautuukin puristuksen jälkeen ja olisi todellisuudessa täysin validi, siitä ei kuitenkaan olisi saatu luotettavaa mittaustulosta. Tästä syystä servo on tarkoituksenmukaisin operointitapa pakalle. Servon ohjauksella voidaan asettaa jokaiselle mitattavalle kappaleelle oma kiristysmomenttinsa, eikä se ole riippuvainen painetasapainosta kuten pneumatiikka ja hydraulikka (Sinisalo 2017).

TAULUKKO 1. Kiinnitysmenetelmän analysointi

Arviointi 1-5	Servo	Paine-ilma	Hydrauliikka	Rele-ohjaus
Ohjelmoitavuus	5	5	5	5
Stabiilius	5	3	3	5
Säädettävä puristusvoima	5	1	1	1
Saatavuus	1	5	5	3

Taulukosta 1 voidaan selkeästi havaita, että servo-ohjattu kiinnitys on ylivertainen muihin nähden. Tavallinen rele-ohjaus olisi varteenotettava vaihtoehto, jos sen puristusvoimaa voisi säätää. Useimmat rele-ohjatut kiinnittimet joita tutkin, olivat yksitoimisia. Joko avaus tai kiinnitys tapahtui sähköllä ja vastaliike jousipalautteisena.

Servopakkojen saatavuus on erittäin rajallista. Etsin verkosta erilaisia vaihtoehtoja, mutta ainuttakaan tarkoituksenmukaista valmista servopakkaa ei löytynyt. Kiinnitykseksi siis valittiin manuaalinen pakka, joka automatisoidaan servolla ulkopuolisen suunnittelutoimiston avulla.

Itse kiinnittimet kiinnitetään KMK:n mittausalueelle kierrelevyyn. Kierrelevyssä on satoja kierteytettyjä reikiä, joten kiinnittimien layout on muunneltavissa tarpeen mukaan. Kiinnittimien layoutsuunnittelussa huomioin luvussa 3.4 esittelemäni mittaukseen vaikuttavat tekijät.

Suunnitelmani mukaisella layoutilla on tarkoitus pystyä mittaamaan kaikki tarvittavat nimikkeet siten, ettei yksikään mittakärki osu kiinnittimiin mittauksen aikana sekä halutut mitat saadaan mitattua.

Suunnittelemani kiinnitin-layout oli käytännön kokeilussa manuaalisissa mittauksissa opinnäytetyön aikana. Käytännön testit osoittivat layoutin toimivaksi. Tarkemmat havainnot kiinnittimien layoutista salataan.

Tiukan aikataulun vuoksi tämän opinnäytetyön aikana kiinnittimiä ei ehditä päivittää servotoimiseksi, mutta kun solun automatisointiprojekti etenee siihen vaiheeseen, tulee huomioida kiinnittimen suunnittelussa seuraavat seikat:

- Kaikki piirustuksiin merkityt toleranssit saadaan mitattua.
- Mittakärki pääsee kappaleen alle pystykiinnittimessä, jotta saadaan kappaleen pituus ja tasojen yhdensuuntaisuus mitattua.
- Mittakärkitelineessä olevat kärjet eivät häiritse mittausta.
- Kiinnittimet eivät häiritse mittausta, eivät myöskään ne, jotka eivät ole käytössä.
- Kaikilla mittakärjillä saadaan mitattua niiden käyttötarkoitusta vastaavat mitat.

Loin myös kappalekohtaisen kiinnitysmenetelmän. Jokainen KMK:lle tuleva kappale on listattu dokumenttiin, jossa olen määrittänyt mille kiinnittimelle kappale asetetaan ja missä asennossa. Dokumentti sisältää salaiseksi luokiteltua materiaalia, joten se jää tämän opinnäytetyön kirjallisen osuuden ulkopuolelle.

5.3 Robotin ja KMK:n välinen toiminta

Osa tätä opinnäytetyötä on määrittää robotin ja KMK:n välinen kommunikatio toimintakaavion muodossa. Aloitin työn perehtymällä Zeiss Gagemaxin rajapintakuvaukseen. Sieltä selvisi mitä tietoja Gagemax pystyy vastaanottamaan ja jakamaan siihen liitettyjen laitteiden kanssa. Niiden tietojen perusteella kirjoitin toimintakaavion, joka esitellään seuraavassa kappaleessa.

5.3.1 Toimintakuvaus

Aloitin toimintakuvauksen laatimisen hahmottelemalla ensin Exceliin, mitä tietoja robotti ja KMK keskenään vaihtavat. Hahmottelun jälkeen tein selkeän ja visuaalisen kaavion Microsoft Powerpointilla, jota on yksinkertaista tulkita.

TAULUKKO 2. Toimintakuvaus

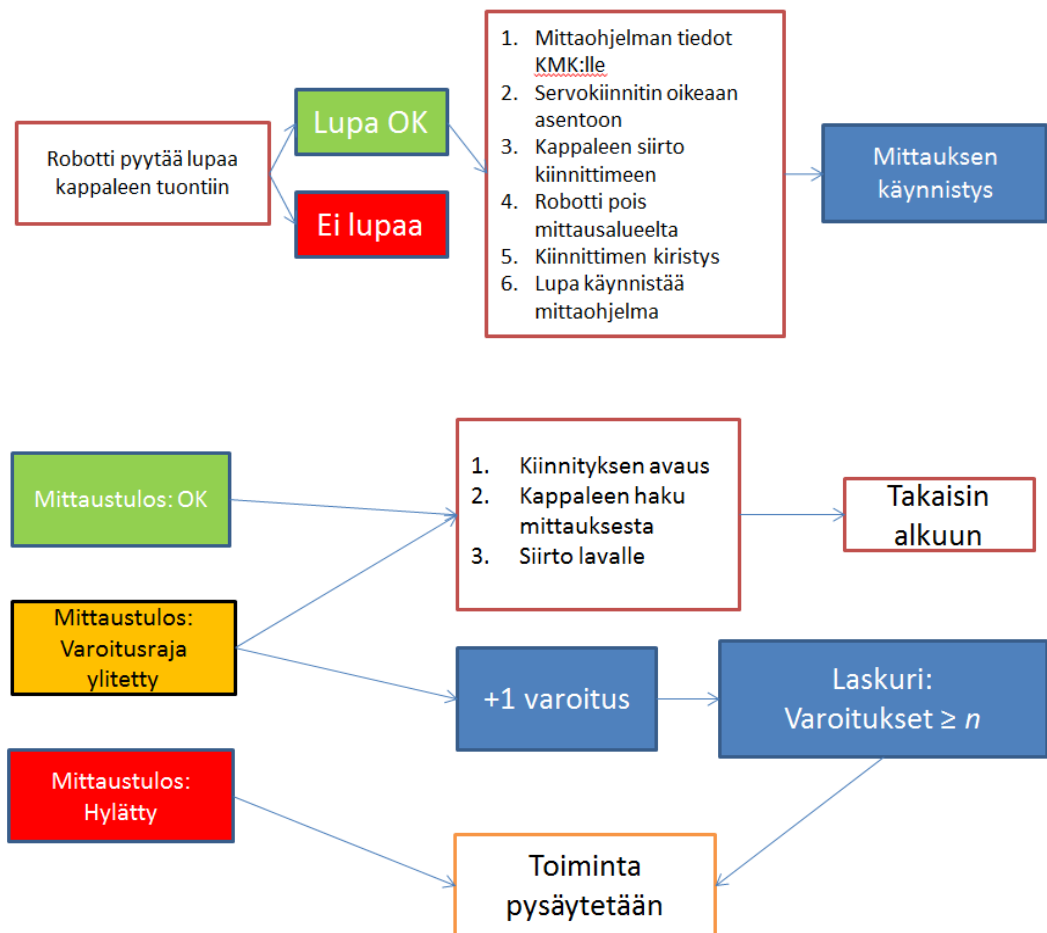
<u>VAIHE</u>	<u>ROBOTTI</u>		<u>GAGEMAX</u>
1	Pyytää lupaa kappaleen tuontiin	->	
	Ei toimenpiteitä	<-	Ei
2		<-	Kyllä
	Kertoo Gagemaxille mittaohjelman	->	
	Asettaa servokiinnittimen oikeaan asentoon		
	Tuo kappaleen kiinnittimelle		
	Poistuu mittausalueelta		
	Kiristää servokiinnittimen oikeaan momenttiin		
	Antaa luvan mittauksen käynnistämiseen	->	
3			Käynnistää mittauksen
	Ei toimenpiteitä	<-	Kertoo robotille, että mittaus on käynnissä, ei lupaa tuoda uutta kappaletta
			Mittaus valmis
	Siirry vaiheeseen 4a	<-	Mittaus hyväksytty
	Siirry vaiheeseen 4b	<-	Varoitusraja ylitetty
	Siirry vaiheeseen 4c	<-	Mittaus hylätty

4a	Avaa servokiinnityksen	<-	Kertoo robotille, että kappaleen voi hakea
	Hakee kappaleen ja vie varastorobotin lavalle		
	Siirry vaiheeseen 1		
4b	Lisätään +1 varoitukseen		
	Jos varoitukset $\geq n$, toiminta keskeytyy		
	Jos varoitukset $< n$, siirry vaiheeseen 4a.		
4c	Hakee kappaleen ja vie lavalle eri asentoon kuin valmiit		
	Keskeyttää automaattiajon		

Taulukon 2 mukainen toimintakuvaus koostuu neljästä vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa robotti kysyy KMK:n tilaa. Jos mittakone on vapaana mittaamaan eikä häiriöitä ole päällä, robotti vie kappaleen mittaukseen ja käynnistää vaiheen 2. Tähän liittyvät toimeenpiteet ovat servokiinnittimen halkaisijan asettaminen sopivaksi mitattavalle kappaleelle, kappaleen vieminen kiinnittimeen, kappaleen kiinnitys oikeaan momenttiin muodonmuutoksen estämiseksi, robotin poistuminen mittausalueelta ja mittausluvan myöntäminen KMK:lle.

Vaiheessa 3 mittaohjelma ajetaan läpi. Mittauksen jälkeen kaavio jakautuu kolmeen haaraan. Mittauksen ollessa hyväksytty, robotti hakee kappaleen ja kuljettaa sen automatisoidun varastorobotin lavalle ja sykli alkaa alusta siirtyen vaiheeseen 1. Jos tulos ylittää ennalta asetetun varoitusrajan, mutta on edelleen toleranssien sisällä, ohjelma summaa yhden varoituksen järjestelmään. Jos varoitusten määrä on suurempi tai yhtä suuri kuin ennalta määrätty arvo n , automaattiajo pysäytetään ja annetaan häiriö, joka on manuaalisesti kuitattava. Jos varoituksia on vähemmän kuin n , sykli alkaa alusta siirtyen vaiheeseen 1. Jos mittausulos on

toleranssialueen ulkopuolella, pysäytetään automaattiajo ja annetaan häiriö, joka on manuaalisesti kuitattava.



KUVIO 5. Toimintakaavio

Laatimani toimintakaavion pohjalta laitetoimittaja ohjelmoi robotin ja luo liittymän robotin ja KMK:n välille.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena ei ole solun täydellinen automatisointi. Tämänhetkinen suunnitelma on, että hionnasta tuleva toleranssialueen ylittävä tuote pysäyttää automaattisen toiminnan. Jatkokehittelynä automaatioaste voisi ulottua myös automaattiseen korjaukseen.

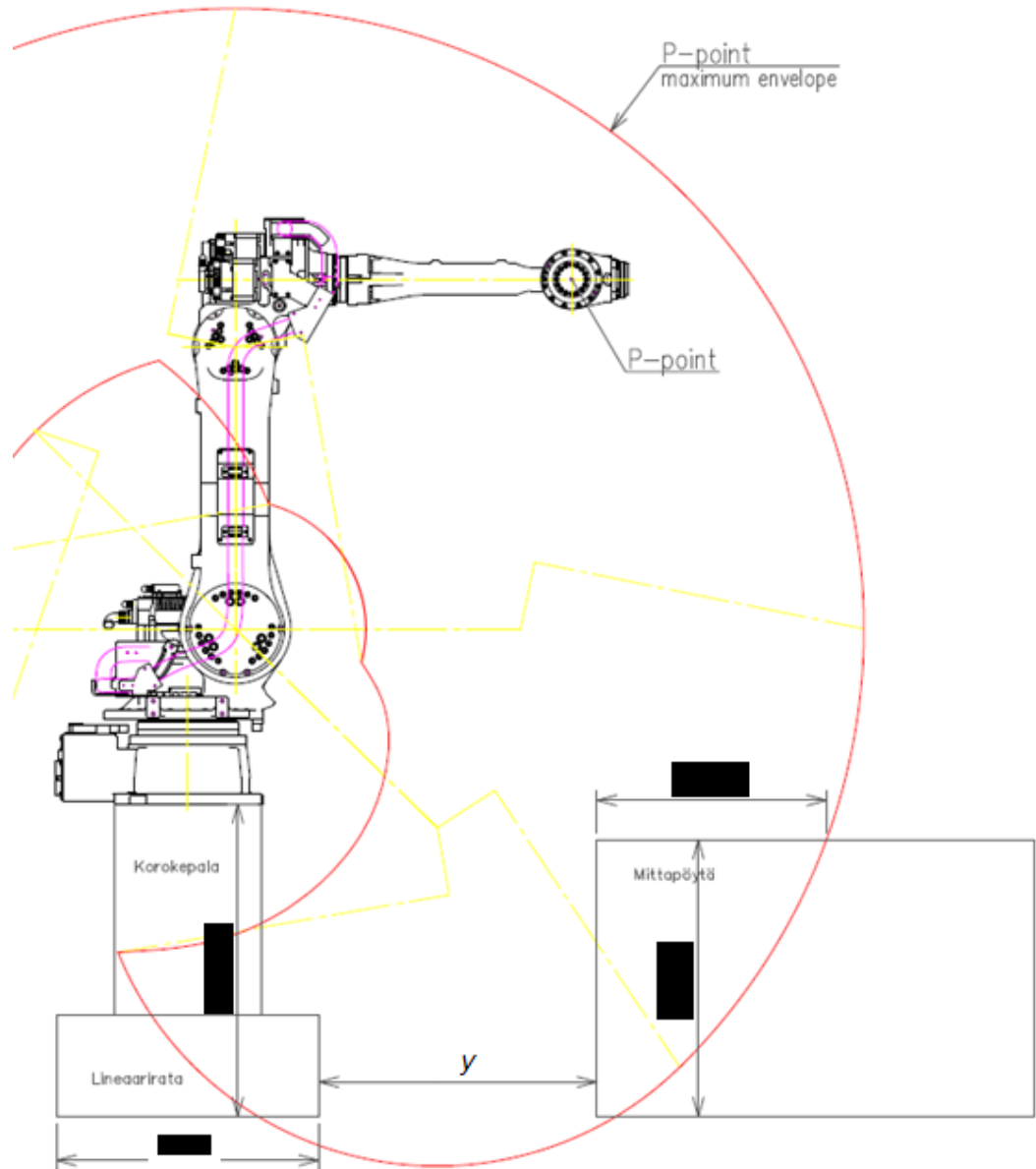
Yksi keino automaattisen korjauksen toteutukseen olisi esimerkiksi luoda rajapinta koordinaattimittakoneen ja hiomakoneen välille, jossa mittatietojen perusteella hiomakone tekisi automaattisesti tarvittavat korjaukset seuraavalle kappaleelle. Jo hionnassa käynyttä kappaletta on erittäin hankala automatisoidusti siirtää takaisin hiomakoneelle korjattavaksi, koska kiinnitystä on lähes mahdotonta saada samanlaiseksi kuin se oli ennen mittausta. Seuraavalle hiontaan tulevalle kappaleelle muutokset kuitenkin olisivat realistisesti toteutettavissa.

5.3.2 Layout

Solun toiminnan kannalta on välttämätöntä, että robotti ylettyy asettamaan mitattavan kappaleen koordinaattimittakoneen kiinnittimille. Robotin suurin ulottuma on 2061 mm.

Osana tätä opinnäytetyötä oli määrittää sopiva etäisyys, johon koordinaattimittakoneen voi asettaa robotin lineaarikiskoon nähden. Aloitin määrittämällä teoreettisen maksimietäisyyden robotin ja KMK:n välille. Kävin mittaamassa ensin ne mitat joista ei ole dokumentaatiota saatavilla. Mitat ovat salattavaa tietoa, joten ne jätetään opinnäytetyön ulkopuolelle.

Mittausten jälkeen latsin Motomanin verkkosivuilta AutoCad piirustuksen ja lisäsin siihen karkeat piirrokset kuvaamaan mittapöytää, kiskoa ja koro-kepalaa. Näiden avulla sain suurimman etäisyyden johon koordinaattimittakoneen voi asettaa robotin radasta.



KUVIO 6. Robotin ja KMK:n välinen etäisyys. (Muokattu lähteestä Yaskawa Finland Oy 2017.)

Kuvion 6 asetelmasta voidaan havaita, että P-pisteen maksimiulottuma on mittapöydän kiinnittimien kohdalla, kun etäisyys pöydän reunan ja robotin radan välillä on x mm. Kuviossa ei ole huomioitu kiinnittimien korkeutta tai tarttujan tuomaa lisäulottuvuutta, mutta niiden aiheuttamat muutokset kuvioon vain lisäävät robotin maksimiulottuvuutta. Pöydän reuna siirtyisi oike-

alle, kun mittaa x kasvatetaan kiinnittimien korkeuden verran. Lisäksi voidaan myös kuvitella tarttujan korkeus pöydän korkeudeksi, koska mitattavat kappaleet tuodaan ylhäältä päin ja siis viimeinen nivel on silloin Z-akselin suuntainen. Tällöin pöydän reuna liikkuisi entisestään oikealle. Näiden havaintojen perusteella totean, että hyvä etäisyys pöydän ja robotin radan välille olisi y mm.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteiksi oli asetettu Sandvikille hankitun koordinaattimitakoneen kiinnitysjärjestelmän layout suunnittelu ja valinta kaikille soluun tuleville nimikkeille sopivaksi sekä solun robotin ja KMK:n välinen toimintakuvaus sekä layoutsuunnittelu.

Tein jokaiselle soluun tulevalle kappaleelle oman kiinnityssuunnitelman yhdessä kokeneen työntekijän kanssa. Kiinnittimien layout koordinaattimitakoneella testattiin käytännössä manuaalimittauksia tehden. Testaus jatkuu siihen asti, kun solu lopulta automatisoidaan. Suunnittelin myös sopivan asetelman solurobotin ja koordinaattimitakoneen välille sekä laadin niiden keskinäisen toimintakuvauksen.

Tämän opinnäytetyön tuloksena Sandvik saa pohjan automatisoidun mitaussolun toteuttamiseen. Luomaani materiaalia hyödyntäen laitteiston asentamisen ja käyttöönottotarkastuksen suorittava laitetoimittaja voi helposti ohjelmoida solurobotin halutulla tavalla sekä saada se kommunikoi-
maan koordinaattimitakoneen kanssa.

LÄHTEET

Direct Industry 2017. Zeiss Gagemax [Viitattu 27.2.2017]. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/carl-zeiss-industrielle-messtechnik-gmbh/product-5693-554712.html>

Motoman 2017. Motoman MH50 II [Viitattu 28.2.2017]. Saatavissa: <https://www.motoman.com/media/pr/201408-mh50ii-series>

MSI Vikings Gage 2017. Zeiss Gagemax [Viitattu 27.2.2017]. Saatavissa: http://www.msi-viking.com/assets/images/downloads/productspecs-heets/ZEISS%20Spec%20Sheets/Zeiss_60_022_0344V_GageMax.pdf

Pitkälä, M. 2008 Automaatiotekniikan luennot. Lahden ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. [Viitattu 28.2.2017]. Saatavissa: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Automaatiotekniikka_osa1_osa2.pdf

Pitkälä, M. 2017 Robotiikka. Lahden ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala [viitattu 27.1.2017]. Saatavissa: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf

Sandvik AB 2017a. Interim Report [viitattu 24.2.2017]. Saatavissa: <http://www.home.sandvik/globalassets/4.-investors/reports/interim-reports/2016/interim-report-2016-q4.pdf>

Sandvik AB 2017b. History [viitattu 12.1.2017]. Saatavissa: <http://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/history/>

Sandvik Mining and Construction Oy. 2017. Sandvikin historia [viitattu 12.1.2017]. Saatavissa: <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/fi>

Sinisalo, V. 2017. Kehityspäällikkö. Sandvik Mining and Construction. Haastattelu 9.2.2017

SMC Intranet 2017. Sandvik Intranet [viitattu 24.2.2017]. Saatavissa Sandvikin Intranetissä: <http://fidlns2.sandvik.com/sandvik/0120/intranet/s007442.nsf/html/Startpage?OpenDocument>

Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. Tampereen Yliopistopaino Oy - Juvenes Print.

Yaskawa Finland Oy 2017. MH50 II [viitattu 3.2.2017]. Saatavissa : http://www.motoman.fi/fi/tuotteet/robotit/product-view/?tx_catalogrobot_pi1%5Buid%5D=2898&cHash=6ad35cfbc9da73e86d20fba2fcbe2df6