



# **Koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmä**

Suunnittelu ja toteutus

Ville-Valtteri Reponen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2011  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernien tuotantojärjestelmien suuntau-  
misvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernin tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

REPONEN, VILLE-VALTTERI: Koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmä

Opinnäytetyö 35 s., liitteet 7 s.  
Huhtikuu 2011

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmä ja valmistusprosessi. Toimeksiannon sain Työstöhankinta Reponen Oy:ltä, johon talvella 2010 hankittiin numeerisesti ohjattu koordinaattimittauskone. Kiinnitinjärjestelmä tarvittiin, koska yritys valmistaa paljon erilaisia kappaleita ja mittaamisen pitäisi olla nopeaa ja helppoa. Kiinnitinjärjestelmällä saadaan numeerisen ohjauksen tuoma hyöty käyttöön.

Aiemmin käytetyillä kiinnittimillä pystyttiin mittaus suorittamaan vain murto-osalle yrityksen valmistamista kappaleista ja niiden väliset vaihdot olivat hitaita. Suunnittelussa piti ottaa huomioon kappalekiinnittimien nopea ja helppo vaihtaminen erilaisille tuotantokappaleille, sekä kiinnitinjärjestelmän yksinkertainen valmistus.

Työn alkuvaiheessa rajasin tuotantokappaleet, joille kiinnittimet suunniteltiin. Kriteereinä olivat kappaleiden koko, muoto ja valmistusvolyymi. Opinnäytetyön tuloksena valmistettiin kiinnitinjärjestelmä, jonka perustana toimi kierrelevy. Kierrelevy mahdollistaa kappalekiinnittimien yksinkertaisen ja nopean vaihdon. Halkaisijoiltaan 80–190 millimetrin pyörähdyskappaleille valmistettiin kiinnitin. Muille tuotteille ei valmistettu kiinnittimiä opinnäytetyön tekoaikana. Kiinnittimille tehtiin työpiirustukset, jotta ne pystyttäisiin valmistamaan tulevaisuudessa.

Kiinnitinjärjestelmä mahdollistaa koordinaattimittauskoneen monipuolisemman käytön. Mittauskoneella pystytään mittaamaan suurin osa pyörähdyskappaleista ja mittaushenkilöstö on lisääntynyt helpottuneen käytön ansiosta. Mittalaitteen käyttöön ei tarvita erityiskoulutusta ja osaamista, jonka takia useampi työntekijä kykenee käyttämään konetta. Tulevaisuudessa valmistettavat muut kiinnittimet lisäävät koordinaattimittauskoneen käyttöä ja hyötyä.

---

Asiasanat: Koordinaattimittauskone, koordinaattimittaus, kiinnitinjärjestelmä, kiinnitin.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Machine and production engineering  
Option of Modern production systems

REPONEN, VILLE-VALTTERI: Coordinate measurement machine's fixturing system

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 7 pages  
April 2011

---

This thesis introduces the design of a coordinate measuring machine fixturing system and its production process. The work was commissioned by Työstöhankinta Reponen Oy after they acquired a coordinate measuring machine in 2010. As Työstöhankinta Reponen Oy manufactures various different size and shape component, they require a fast and accurate way of measurement; this is why the fixturing system was commissioned. The fixturing system enhances the benefits of the numeric control system of the machine.

The fixturing system previously used by the company proved to be useful for only certain types of components and the manufacturing process of these objects was slowed down by the time-consuming operational elements. In the design of the new fixturing system these factors were taken into account in order to speed up the measuring process of different components and to make the fixturing system as versatile as possible.

In the beginning of this project, the components that the fixturing system was designed for were narrowed down. The criteria used for this selection was the size, shape and manufacture volume of the components. As a result of this study, a fixturing system was created that uses a thread plate as its base. The thread plate enables quick changes of objects, therefore making the measuring process faster and easier. Fixture was created for the 80-190 millimetre diameter rotational components. These fixtures were not created for any other products. Drawings were created for these fixtures, to enable future manufacturing.

The new fixturing system enables wider usage of the coordinate measuring machine. The machine can be used for most components due to the new system, and the number of employees working with the coordinate measuring system has increased due to the eased operation of the machine. Manufacturing of new fixtures will increase the operational functions of the coordinate measurement machine and ease its use even further.

---

Key words: Coordinate measuring machine, coordinate measurement, fixturing system, fixture

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 TYÖSTÖHANKINTA REPONEN OY .....	6
3 KOORDINAATTIMITTAUS.....	7
3.1 Koordinaattimittauskoneet .....	7
3.2 Portaalityyppinen koordinaattimittauskone .....	9
3.3 Kappaleen kiinnitys.....	11
3.4 Hyvän kiinnittimen ominaisuudet .....	12
4 KIINNITINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	13
4.1 Kartoitus.....	13
4.2 Tiedonkeruu .....	15
4.3 Esisuunnitelma .....	15
4.4 Suunnitelman kehitys .....	22
4.5 Viimeiset muutokset .....	24
5 TOTEUTUS .....	28
5.1 Valmistettavat osat ja materiaalit .....	28
5.2 Osien valmistus .....	28
5.3 Kolmiopalojen ja aluslevyn valmistus .....	29
5.3 Paikoitustappien valmistus.....	31
5.5 Kiinnitinjärjestelmän kokoonpano .....	32
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	34
LÄHTEET.....	35
LIITTEET .....	36

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja piirtää työpiirustukset koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmästä. Tarkoituksena oli myös suunnitella valmistusprosessi kiinnitinjärjestelmälle, jotta sen toteutus helpottuisi. Opinnäytetyö tehtiin Työstöhankinta Reponen Oy:lle, joka tuottaa koneistuspalveluita sopimusvalmistajana Hämeenlinnassa. Kiinnittimiä suunniteltaessa otettiin huomioon alihankintakonepajoissa valmistettävien erilaisten kappaleiden suuret määrät.

Talvella 2010 tehtaaseen hankittiin CNC-koordinaattimittauskone. Koneen tarkoituksena oli vanhan koordinaattimittauskoneen korvaaminen ja mittaustarkkuuden parantaminen. CNC-ohjauksella pyrittiin nopeuttamaan ja helpottamaan erilaisten kappaleiden mittausta. Ongelmana oli vanhan kiinnittimen joustamattomuus erilaisten komponenttien mittauksessa. Kiinnitin soveltui vain pienelle osalle yrityksen valmistamista tuotteista ja siten ei ollut tarkoituksenmukainen. Kappaleiden kiinnittäminen oli hidasta ja hankalaa, joka johti koneen vähäiseen käyttöön.

Tehtävänäni oli suunnitella kiinnitinjärjestelmä ja piirtää työpiirustukset sen osista. Työtäni laajennettiin myös valmistusprosessin suunnitteluun. Kiinnitinjärjestelmän kappalekiinnittimien tuli olla nopeita ja yksinkertaisia vaihtaa. Kiinnittimien tuli olla myös mahdollisimman universaaleja, jotta niitä voidaan käyttää mahdollisimman monelle eri kappaleelle. Kiinnitinjärjestelmällä pyrittiin ratkaisemaan kaikki ongelmat, jotka olivat ilmenneet uuden mittauskoneen hankinnan jälkeen.

## 2 TYÖSTÖHANKINTA REPONEN OY

Työstöhankinta Reponen Oy (THR) on perustettu vuonna 1985. Yrityksen liikeideana on tuottaa koneistuspalveluita (alihankintaa). Yrityksen syntyyn vaikutti Sisu kuorma-autojen akselistotehtaan muuttaminen Hämeenlinnaan. Liikeidean kehittäjänä toimi pitkän kokemuksen konepaja-alalta omaava Risto Reponen. Sukupolvenvaihdos tapahtui vuonna 2008. Tällöin Esa Reposesta tuli Työstöhankinta Reponen Oy:n toimitusjohtaja. THR:n asiakkaita ovat Hämeenlinnan seudun suuret konepajat kuten Konecranes Oy, Sisu Axles Inc. ja Patria Vehicles Oy sekä ulkopaikkakunnilta Robit Rocktools Ltd. ja Agco Sisu Power.

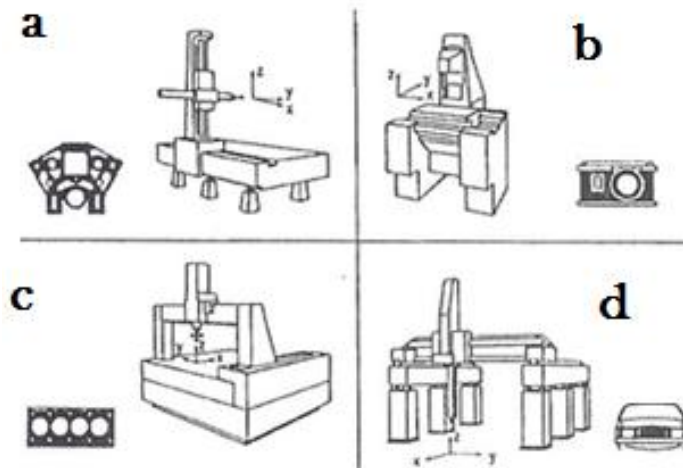
90-luvun puolenvälin jälkeen THR:ssä alkoi voimakas automatisoinnin aika. Automatisoinnissa keskityttiin nykyaikaisten työstökoneiden kappaleenkäsittelyn automatisointiin ja robottien avulla tapahtuvaan miehittämättömään tuotantoon. Nykyään Työstöhankinta Reponen Oy:ssä valmistetaan vaativia sarjatuotantokappaleita kahdellakymmenellä nykyaikaisella työstökoneella. Koneistettavien tuotteiden materiaaleina käytetään pääsääntöisesti hiilletys- ja nuorrutusterästankoja sekä tae- ja valuaihioita. Työntekijöitä on 14 ja tehdas toimii kahdessa vuorossa, lisäksi yöllä yhdeksän robottia palvelee koneita miehittämättömänä.

### 3 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimittauksella tarkoitetaan pisteiden lukemista avaruudesta. On useita tapoja, jolla kyseinen tapahtuma voidaan tehdä. Näitä ovat muun muassa GPS, laser-skannaus, monikamerakuvaus, röntgenmittaus ja koordinaattimittauskone. Mittaustavat ja laitteet voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Kaikki näistä eivät ole fyysisiä koneita vaan ennemminkin mittausjärjestelmiä, jotka koostuvat laitteista ja ohjelmista. Koordinaattimittauskoneen määritelmä on hieman häilyvä. Yksi määritelmä voisi olla, että sen muodostavat tarkat mekaaniset johteet, joiden päällä kone liikkuu suoraviivaisesti ja kohtisuorasti toisiinsa nähden. Koneen on myös tiedettävä paikkansa johteilla. Sen määrittävät esimerkiksi mittasauvat (koordinaatisto). Lopullinen mittaus tapahtuu mittapäällä, joka ilmaisee kyseisen kohdan koordinaattitiedot kolmessa ulottuvuudessa. Jotta koordinaattitiedoista olisi hyötyä, muuttaa tietokoneohjelma ne geometrisiksi muodoiksi. Tärkein tehtävä koordinaattimittauksessa on geometrinen mittapoikkeamien määrittäminen (Andersson 1997, 226; Tikka 2007, 16.).

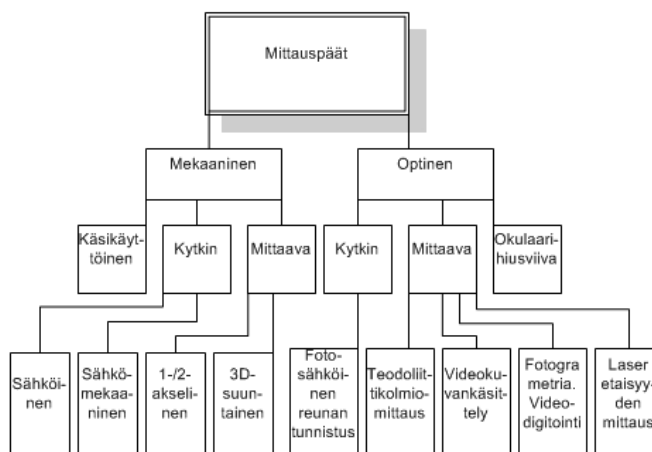
#### 3.1 Koordinaattimittauskoneet

Koordinaattimittauskoneen (KMK) voisi luokitella erikoiskoneeksi, mutta sen universalisuus tekee siitä enemmänkin yleismittakoneen. Sillä pystytään mittaamaan hyvin erilaisia geometrisiä muotoja. Lisäksi joustavuutta mittaamiseen tuovat muunneltavat mittakärjet ja kappaleen kiinnitysmekanismit. KMK:t voidaan luokitella monella tavalla. Luokitteluja ovat mittausmenetelmä, rakenne ja koko, automaatioaste, ympäristönsieto, ohjelmisto sekä hinta. Esimerkkinä voidaan ottaa rakenneluokitus, johon luokittelevat puomi-, pylväs-, portaali- ja siltatyypin koordinaattimittakoneet (kuvio 1). Tähän luokittelevat vielä nivelvarsikoordinaattimittauskoneet, jotka ovat teollisuusrobotin tapaisia, mutta toimivat ilman niveliä liikuttavia servomootoreita. Nivelvarsikoordinaattimittauskoneet ovat siis manuaaliohjattuja (Andersson 1997, 227; Tikka 2007, 16.).



KUVIO 1. Koordinaattimittauskonetyypit: a.pylväs, b.puomi, c.portaali, d.silta (Tikka 2007, 47, muokattu)

Koordinaattimittauskoneissa koordinaattitieto mitattavasta kappaleesta saadaan mittauspään avulla. Antureita on erilaisia ja ne voidaan jakaa kahteen pääryhmään, mekaanisiin ja optisiin mittauspäihin (kuvio 2). Suurin osa on mekaanisesti kytkeviä mittauspäitä. Ne toimivat kuin sähkökatkaisijat ja ovat yksinkertaisuudessaan halvimpia. Kun mittauskärkeä (mittauspään jatke) poikkeutetaan sen nollakohdasta tarpeeksi, se kytkeytyy päälle ja lähettää senhetkiset koordinaattitiedot tietokoneelle (Andersson 1997, 234; Tikka 2007, 104.).



KUVIO 2. Mittauspäiden jaottelu (Tikka 2007,101.)



Mittauskärki on pallon, kiekon, piikin tai kartion muotoinen osa, joka on ohuen varren päässä. Pallot on yleensä valmistettu spinelistä eli synteettisestä rubiinista. Materiaaliksi on valittu spinelli, koska siitä saadaan helposti muotoiltua tarkka pallo ja se kestää hyvin kulutusta. Muut elementit ovat tavallisesti terästä tai keraamia. Varsi on tavallisesti alumiinia, titaania tai keraamia ja se liitetään mittauspähän kierteellä. Mittauskärjet ovat käytössä vain koskettavassa mittauksessa, mutta ne voivat olla liitettynä myös optisiin mittauspäihin, jolloin ne tuovat lisää mittausominaisuuksia koneeseen (Andersson 1997, 236.).

Ilman tietokoneohjelmistoa itse koordinaattimittauskone antaisi vain pisteitä avaruudesta. Ohjelmistoa tarvitaan laskemaan ja muuttamaan pisteet geometrisiksi muodoiksi, joista pystytään lukemaan mittapoikkeamat. Ohjelmistoilla on lukuisia erilaisia ominaisuuksia, joista esimerkkinä CAD-kuvien luku ja niiden käyttäminen ohjelmoinnissa.

### 3.2 Portaalityyppinen koordinaattimittauskone

Käsittelen tässä työssä tarkemmin portaalityypin koordinaattimittauskoneita, koska suunnittelin kiinnitinjärjestelmän tämän tyyppiselle koneelle. Lisäksi tämän tyyppiset koneet ovat yleisimpiä mittauskoneita Suomessa.

Portaalityypin koordinaattimittauskone (kuvio 3) koostuu johteista, jotka on pinottu toistensa päälle ja asetettu tarkasti kohtisuoraan toisiinsa nähden. Koneen runko on tavallisesti tasoksi hiottu diapaasi-kivi, jota käytetään myös pöytänä. Siihen on upotettu kierrereikiä, jotka ovat helpottamassa kappaleiden kiinnitystä. Johteet sekä muu runko voivat olla kiveä, mutta nykyaikaisemmat koneet on usein varustettu kevyillä keraami-, alumiini- tai komposiittijohteilla. Portaalikoneet ovat tämän takia yksinkertaisia sekä hyvin jäykkärakenteisia (Tikka 2007, 47.).



KUVIO 3. Mitutoyon portaali-KMK ([www.mitutoyo.com](http://www.mitutoyo.com))

Koneen akseleiden liikuttaminen tapahtuu servomootoreilla ja jokaisen akselin liikkeet ovat ilmalaakeroituja. Paineilman paine, määrä ja puhtaus on tärkeä huomioida. Koneet on asetettu värähtelynvaimentimille, joita voivat olla: yksinkertaiset kumityynyt tai kehittyneemmät, aktiiviset, paineilmalla toimivat vaimentimet (Andersson 1997, 231; Tikka 2007, 47–48.).

Suurin osa Suomeen hankituista portaalimittauskoneista on keskikokoisia, manuaalisesti liikutettavia ja varustettu kytkevällä mittapäällä. CNC-ohjatuissa koneissa käytetään lisäksi mittaavia päitä, kameroita sekä laserskannereita. Nämä koneet voivat olla varustettuina erillisellä mittauspään- tai mittauskärjenvaihtoasemalla. Näin saadaan koneeseen enemmän mittauskykyä. Koneet on harvoin sijoitettu tuotannon yhteyteen. Yleensä niille on rakennettu puhdas, ilmastoitu huone tai koppi tuotannon läheisyydestä. Tällaisessa huoneessa lämpötilan vaihtelu ei ole suurta ja ilman epäpuhtaudet eivät haittaa. Näin taataan koneen mittauskyky ja tuloksien tarkkuus. Konevalmistajat kuitenkin kehittävät mittauskoneiden ympäristön sietokykyä, jotta ne soveltuisivat huonoihin ympäristöoloihin. Näin säästetään vaivaa ja rahaa, kun erillistä mittaushuonetta ei tarvitse rakentaa (Tikka 2007, 48.).

### 3.3 Kappaleen kiinnitys

Mitattavat kappaleet on aina kiinnitettävä. Mittauskärjen voima ei ole suuri, mutta se saattaa liikuttaa keveitä kappaleita. Isommat kappaleet saattavat liikkua mittauspöydällä, kun koneen liikenopeudet kasvavat. Tällöin hidastukset ja kiihdytykset voivat muuttaa kappaleen asentoa. Myös aktiiviset värähtelyvaimentimet saattavat heilautella mittauspöytää ja siten myös kappaletta. Kappaleen sijainnin muutokset saadaan helposti selville tarkastamalla kappaleen suuntaus ja nollapistet mittauksen jälkeen ja vertaamalla näitä ennen tarkastusta tehtyihin mittauksiloksiin. Kiinnityksen tärkein ominaisuus on pitää kappale ja siihen muodostettu koordinaatisto koneeseen nähden paikallaan koko mittauksen ajan (Tikka 2007, 202–203.).

Kiinnityksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon, halutaanko mitata itse kappaletta, valmistusprosessin laaduntuottokykyä vai kappaleen sopivuutta kokoonpanotilanteessa. Kiinnitykset eroavat siten, että itse kappaletta mitattaessa sillä on oma kiinteä kiinnitin, jossa sen elementit voidaan mitata. Valmistusprosessin laaduntuottokykyä mitattaessa, mitataan kappale sen omassa koneistuskiinnittimessä, jolloin saadaan koneistusaseman laaduntuottokykyä vastaavaa informaatiota. Tällöin voidaan arvioida esimerkiksi koneen huollon tarpeellisuutta. Kokoonpanon näkökulmasta hennot ja muotoa muuttavat kappaleet olisi syytä mitata kokoonpanon jälkeen tai kokoonpanoa mukailevassa kiinnittimessä (Tikka 2007, 203.).

Kiinnitykseen tarvitaan ulkoinen voima, jotta kappale ei muuttaisi asentoaan. Se ei saa kuitenkaan olla liian suuri, jotta se ei muuttaisi kappaleen muotoa. Ulkoinen voima voi olla esimerkiksi maan vetovoima. Tällöin kappaleen tulee olla matala ja painava. Pneumaattista tai hydraulista kiinnitystä voidaan käyttää esimerkiksi, kun automaatioaste lisääntyy. Näitä kiinnitystapoja on helppo ohjelmoida logiikoiden avulla, joten työteki-jän ei tarvitse kiinnittää kappaletta. Jos käytössä on tällainen kiinnitys, on mahdollista käyttää teollisuusrobotia kappaleen asettamiseen kiinnittimelle. Magneettista kiinnitystä käytettäessä on huomioitava mittakoneen käyttäytyminen magneettikentässä. Mittakärjen ollessa metallia, voi syntyä ongelmia itse mittauksilanteessa (Tikka 2007, 204.).

Sarjatuotannossa pitää ottaa huomioon kappaleen kiinnityksen helppous ja nopeus. Lisäksi pitää miettiä mahdollisuutta automatisoida mittaussprosessi. Automatisointi tuo oman haastavuuden kiinnittimien suunnitteluun. Jos yrityksellä on paljon erimuotoisia mitattavia kappaleita, pitää huomioida latauksen ja purun tuomia vaikutuksia. Kappaleen tulee asettua helposti ja riittävän tarkasti paikoilleen. Lisäksi kiinnitin ei saa estää erisuunnista tapahtuvaa mittausta. Kun mitattavia kappaleita on paljon, voidaan kiinnittimiin investoida paljon rahaa. Yksittäisen kappaleen mittauskustannukset jäävät tällöin pieniksi (Tikka 2007, 203–204.).

Yksittäisten kappaleiden mittaamisessa pitää huomioida kiinnittimien kustannukset. Kiinnitys kustannukset saadaan minimiin myytävänä olevilla erilaisilla kiinnitinsarjoilla. Kiinnitinsarjat ovat monipuolisia ja niistä voidaan rakentaa yhä uudestaan erilaisia kiinnittimiä. Niistä pystytään rakentamaan tukeva kiinnitin monimutkaisille kappaleille, tekemättä kompromisseja tukevuuden tai kiinnitysvoiman kustannuksella. Niiden haittapuolena on kiinnittimien kokoamiseen ja purkamiseen kuluva aika. Jos mahdollisuutena on saman kappaleen mittaus tulevaisuudessa, on mittauksen dokumentointi tärkeää. Näin vältytään kiinnittimen uudelleen suunnittelulta. Kiinnitinsarjat ovat erinomainen valinta protopajoille tai tuotekehityksen tarpeisiin. Konepajoille se tuo hyvän lisän kiinnittämisen monipuolistamiseksi (Tikka 2007, 204.).

### 3.4 Hyvän kiinnittimen ominaisuudet

Hyvän kiinnittimen suunnittelussa on otettava huomioon, että:

- kappale pysyy muotoa muuttamatta paikoillaan koko mittauksen ajan
- kiinnitin ei jousta tai muuta muotoaan mittauksen aikana
- tuki- ja kiinnitysvoimapinnat ovat vastakkaisuuntaiset
- kappaleet on helppo asettaa ja ottaa pois kiinnittimestä
- kiinnitin on helppo vaihtaa toiseen
- suursarjoissa on huomioitu automaatio
- yksittäiskappaleissa on huomioitu kiinnittimen hinta
- kiinnitin ei saa haitata mittausta

## 4 KIINNITINJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Työn alussa aikataulutin projektin luomalla alustavat työvaiheet, joita tarkensin työn kuluessa. Aloitin projektin tekemällä kartoituksen, joka piti sisällään muun muassa yrityksen tietojen hankkimisen, ajatuksia kiinnitinjärjestelmän toteutuksesta ja informaatiota mittauskoneesta. Jatkoin kartoitusta tietojen keräämisellä, jossa laajensin näkemystä koordinaattimittauskoneiden kiinnitinjärjestelmistä ja kappaleen kiinnitystavoista. Informaatiota kerättyäni, aloitin esisuunnitelmavaiheen. Vaiheen tarkoituksena oli mallintaa CAD-ohjelmistolla erilaisia mahdollisuuksia kappaleiden kiinnittämiseen ja ratkaista ongelma kiinnittimien paikoituksesta mittauskoneen pöydälle. Esittelin esisuunnitelman Esa Reposelle, jonka kanssa päädyimme joihinkin parannuksiin. Parannukset tehtyäni esittelin suunnitelmani työntekijöille. Tämän vaiheen tarkoituksena oli saada tietoa järjestelmän käytettävyydestä ja mahdollisista ongelmakohtista. Lopulliseen suunnitelmaani kokosin viimeisimmät muutokset sekä valmistettavien kiinnittimien työpiirustukset.

### 4.1 Kartoitus

Aloitin kartoituksen tekemällä kysymyslomakkeen, jonka täytimme Esa Reposen kanssa. Lomakkeen kysymykset olivat lyhyitä, eikä niillä pyritty saamaan spesifiä tietoa. Kysymysten avulla sain koottua kokonaisuuden, jolla pystyin kartoittamaan yrityksen tarpeen kiinnitinjärjestelmälle ja toiveita sen toteuttamisesta. Lisäksi sain opinnäytetyön kirjalliseen osuuteen hyödyllistä tietoa yrityksestä sekä yrityksen koordinaattimittauskoneesta.

Kartoitusvaiheessa selvisi muun muassa, mitä uudella mittauskoneella on tarkoitus tehdä ja miksi uusi kone ostettiin. Pääasiallinen tehtävä mittauskoneella on mitata tuotannossa valmistetut kappaleet. Toisena tehtävänä koneella on toimia tuotantomittalaitteiden kalibrointijärjestelmän mittanormaalin mittaajana. Nämä mittaukset on suoritettu aiemmin vanhalla manuaalisella mittauskoneella, jonka uusi mittauskone tulee osittain korvaamaan. Uudella mittauskoneella pystytään lisäämään automaatioastetta. Tämän takia mittaus ei vaadi työntekijän läsnäoloa muutoin kuin asetuksissa ja kappaleiden

irrottamisissa. Mittauskone mahdollistaa myös suurempien ja ontelorakenteisten kappaleiden mittauksen.

Kiinnitinjärjestelmän tarve johtui mittauskoneen CNC-ohjauksesta. Vanhassa koneessa pärjättiin yleiskiinnittimillä, koska kappaleiden paikalla suhteessa koneen koordinaatioon ei ollut väliä. Jotta CNC-ohjauksesta saadaan kaikki sen tuomat hyödyt käyttöön, tarvitaan kappaleille kiinnittimet, jotka paikoittavat kappaleet tietyn alueen sisään. Ilman kiinnittimiä kappaleet paikoitettaisiin aina ennen mittausta manuaalisesti. Näin ollen osa ohjauksen hyödyistä häviää.

Kartoitus tarkensi myös kiinnitinjärjestelmän vaatimuksia. Sen piti pystyä edellä mainittuihin asioihin sekä sen käyttö piti olla käyttäjäystävällistä. Tärkeitä vaatimuksia oli kiinnittimien ja niihin asetettavien kappaleiden paikoittuminen. Kiinnittimiä oli pystyttävä vaihtamaan nopeasti ja helposti mittauskoneen pöydälle sekä kappaleen kiinnityksen oli oltava yksinkertainen. Näitä asioita pohjusti se, että mittauskoneessa mitataan kymmeniä erilaisia kappaleita päivittäin ja kaikkien työntekijöiden on kyettävä tekemään mittaukset. Suunnitteluvaiheessa oli myös otettava huomioon mahdollisuus mitata monia kappaleita samassa kiinnittimessä. Esimerkiksi erikokoiset pyörähdyskappaleet piti pystyä mittaamaan yhdessä kiinnittimessä. Eli suunnittelussa oli otettava huomioon kiinnittimien universaalisuus.

Päätimme jo alkuvaiheessa, että kiinnittimet valmistetaan Työstöhankinta Reposen tiloissa, jossa on vaadittavat koneet ja riittävä osaaminen. Kartoitusvaiheessa ajattelimme materiaaliksi lentokonealumiinia ja joidenkin osien valmistukseen terästä. Kiinnittimiä vaihdettaisiin useasti, minkä vuoksi kevyen alumiinin käyttö olisi perusteltua. Alumiini materiaalina hylättiin, koska epäilimme sen olevan liian pehmeää ja näin ollen kolhiintumisriski olisi liian suuri. Kiinnitinjärjestelmän kustannusten oli pysyttävä tarkoituksen mukaisena.

## 4.2 Tiedonkeruu

Tiedonkeruun tarkoituksena oli ottaa selvää koordinaattimittauskoneiden kiinnitinjärjestelmistä ja siitä kuinka koneisiin mitattavat kappaleet kiinnitetään. Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta oli hyvin rajallisesti. Pääasiassa kirjasta Koordinaattimittaus (Heikki Tikka) löysin ainoat kirjallisuuteen pohjautuvat tiedot. Kirjasta ilmeni hyvin, minkälainen on hyvä kiinnitin mittauskoneen tarpeisiin. Kirjan tietoja käytin apuna suunnitellessani kiinnittimiä.

Internetin kautta löysin paljon kiinnitinsarjojen valmistajia. Pääosin kiinnitinsarjat on suunniteltu yksittäisten kappaleiden mittaukseen. Sarjat ovat elementtisarjoja, joista rakennetaan kiinnittimet yleensä kierrelevyille. Näin ollen eri tuotteelle vaihdattavat kiinnittimet ovat hitaita purkaa ja koota. Tällainen ratkaisu sopisi hyvin mittaukseen myyväälle yritykselle tai tuotekehityksen tarpeisiin.

## 4.3 Esisuunnitelma

Esisuunnitelman tarkoituksena oli selvittää peruserä kiinnitinjärjestelmästä ja työkalujen erilaisista kiinnitysmahdollisuuksista. Järjestelmän vaatimuksena oli, että kiinnittimiä tulisi kyetä vaihtamaan nopeasti ja niiden pitäisi paikoittua mahdollisimman tarkasti jokaisella asetuskerralla. Tämä loi perustan, jonka pohjalta lähdettiin kehittämään itse kiinnittimiä.

Ensimmäinen idea kiinnitinjärjestelmän perustalle oli nollapistekiinnittimet. Ne on pääasiassa tarkoitettu työstökoneiden kappaleiden kiinnitykseen. Kiinnitin koostuu nollapistekiinnitinlevyistä ja nollapistetapeista. Tapit kiinnitetään esimerkiksi koneistuskiinnittimeen ja tämä kokonaisuus paikoittuu tappien avulla tuhannesosamillien tarkkuudella nollapistekiinnitinlevyyn (kuvio 4). Kiinnitys tapahtuu jousivoimalla, joka vapautetaan pneumaattisesti tai hydraulisesti.

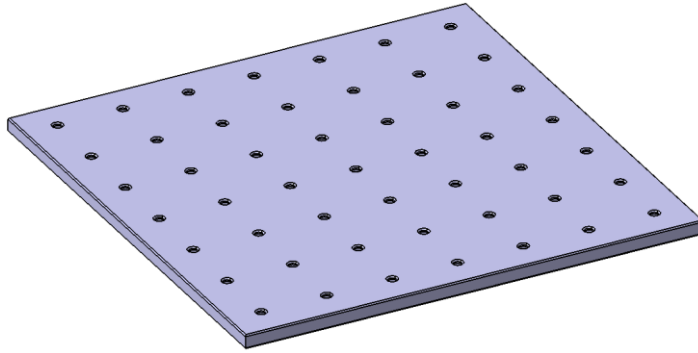


KUVIO 4. Koneistuskiinnitin paikoittuu nollapistetapeilla nollapistekiinnitinlevyyn

Tässä mielessä nollapistekiinnitin olisi ollut hyvä vaihtoehto kiinnitinjärjestelmän perustalle. Siihen olisi pystynyt vaihtamaan nopeasti erilaisia kiinnittimiä ja ne olisivat paikoittuneet hyvin aina uudestaan. Ongelmaksi nollapistekiinnittimissä tulisivat niiden koko ja etenkin korkeus. Matalimmat nollapistekiinnittimet ovat 60 millimetriä korkeita. Korkeutta toisi lisää levy, johon nollapistetaudit kiinnittyisivät sekä vielä itse kappaleiden kiinnittimet. Näin ollen mittauskoneen pysty akselin liikepituus rajoittaisi kookkaimpien kappaleiden mittausta. Lisäperusteina idean hylkäämiselle oli nollapistekiinnittimien korkeahkot hinnat sekä sen paineilman tarve irrotustilanteessa.

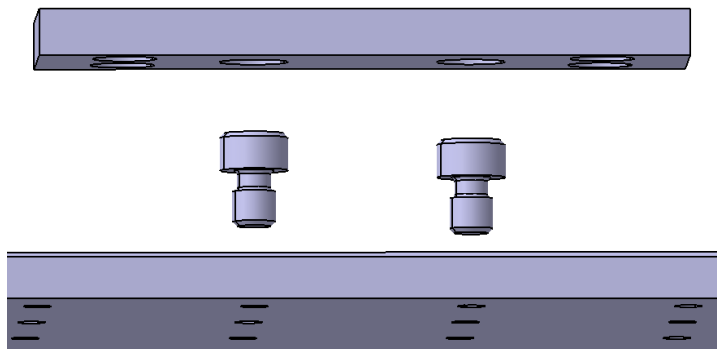
Yhteistä kaikilla koordinaattimittauskoneiden kiinnitinjärjestelmien valmistajilla on, että kiinnittimet kootaan kierrelevylle. Tämän pohjalta lähdin miettimään oman kiinnitinjärjestelmäni perustaa. Kehittely lähti pelkästä kierrelevystä (kuvio 5), joka kiinnitettäisiin mittauskoneen pöydälle ruuvein. Kappalekiinnittimet kiinnitettäisiin kierrelevyyn ruuveilla. Kiinnittimen paikoituksen ajattelin tapahtuvan kyseisillä ruuveilla. Ruuvien paikoitustarkkuus ei olisi ollut riittävä, joten pelkillä ruuveilla paikoittaminen ei olisi onnistunut.





KUVIO 5. Kierrelevy

Paikoitustarkkuuden parantamiseksi etsin Internetistä mahdollisia paikoituskappaleita, joilla kappaleenkiinnittimet saataisiin paikoittumaan tarkasti reikälevylle. Tällaisia paikoituskappaleita, jotka olisivat palvelleet käyttötarkoitustani, en löytänyt. Kappaleiden valmistus Työstöhankinta Reponen Oy:ssä ei olisi ongelma, joten päätin suunnitella paikoituselementit itse. Paikoituskappaleen muoto, koko ja tarkkuus muuttuivat suunnitteluprosessin aikana. Lähtökohtana oli lieriön mallinen sovite, joka kiinnitettäisiin kierreellä kierrelevyyn. Sen naaraspuoli oli tarkka reikä kappaleenkiinnittimen aluslevyssä (kuvio 6). Tarkka sovite olisi mahdollistanut kappaleenkiinnittimen asettamisen paikoilleen ilman erinäistä kiinnitystä kierrelevyyn. Ajattelin sijoittaa sovitteet kierrelevylle siten, että niitä ei olisi tarvinnut irrottaa, kun uusi kiinnitin asetetaan levyllä. Näin ollen kiinnittimien vaihto olisi ollut nopeaa. Tulevaisuudessa kiinnittimiä tulee olemaan paljon, joten tällainen vaihtoehto ei olisi enää toiminut.

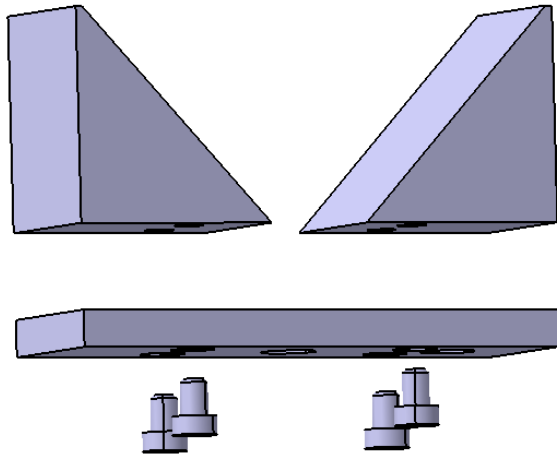


KUVIO 6. Aluslevy, kierretapit ja kierrelevy

Kappalekiinnittimien hahmottelun aloitin pyörähdyskappaleille suunnatusta kiinnittimestä. Tätä vaihetta tein samalla kuin ideoin kiinnitinjärjestelmän perustaa. Vanha kiinnitin oli V-prisman kaltainen elementti, johon kappale kiristettiin metallisella reikänauhalla. Menetelmä toimii, mutta siinä voidaan mitata vain halkaisijaltaan 140–190 millimetrin kappaleita. Kappaleen halkaisijan vaihtuessa kiristys reikänauhalla on hidasta. Kappaleen asettaminen kiinnittimeen ei ole yksiselitteinen, joten väärin kiinnitys on mahdollista, josta voi seurata vaurioita koordinaattimittauskoneen mittapäälle.

Aloitin suunnittelun tarkastelemalla pyörähdyskappaleiden halkaisijoiden vaihteluvälin. Ennalta määrättyjen kappaleiden halkaisijat olivat 80–190 millimetriä. Lähdin ideoimaan V-prisma kiinnitintä, koska tähän kappaleet asettuvat aina tarpeeksi tarkasti samalle paikalle. Hahmottelin paperille luonnoksen prismasta. Tämän jälkeen piirsin siitä 3D-kuvan CAD-ohjelmalla. Ensimmäistä vedosta piirtäessäni en vielä miettinyt valmistusmenetelmällisiä rajoitteita.

Jatkoin suunnittelua miettimällä valmistusteknistä puolta. Ratkaisuna oli jakaa kiinnitin kolmeen erilliseen osaan, jotka olivat aluslevy ja kaksi erillistä kolmiopala (kuvio 7). Tällöin joudutaan koneistamaan kolme erillistä osaa, mutta niiden koneistusmenetelmät ovat yksinkertaisemmat ja koneistettava määrä vähenee. Kokoonpanossa aluslevy kiinnitetään kolmiopaloihin ruuveilla. Samalla ilmeni hyötypuolena se, että kuluneen osan tilalle voidaan vaihtaa uusi, eikä kokonaan uutta kiinnitintä tarvitse valmistaa. Aluslevyn reikien paikkoja jouduttiin jatkossa vielä muuttamaan, jotta kiinnitin asettui kierrelevylle symmetrisesti keskelle.



KUVIO 7. Valmistusmenetelmällisesti suunniteltu V-prisma

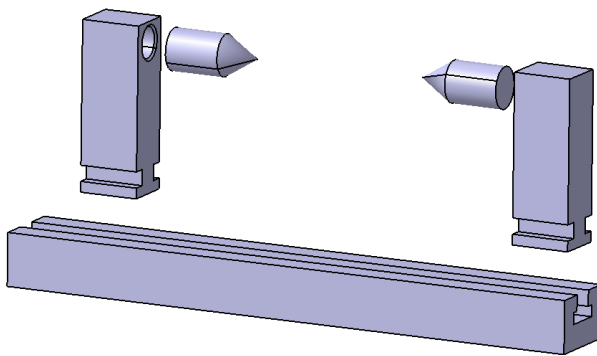
Tässä mallissa mitattava kappale ei kiinnity mitenkään, vaan se asettuu V-prisman keskelle. Itse kiinnityksen suunnittelu ja hyvän menetelmän keksiminen oli vaikeaa. Kiinnitysmenetelmän piti olla mukautuva kaikille halkaisijoille, mutta silti nopeasti käytettävä. Esille tulivat muun muassa erilaiset kumilangat, joilla kappale kiristettäisiin V-prismaa vasten sekä samalla periaatteella toimivat, jouseen liitetyt erilaiset materiaalit ja koukut. Tällaisten kiinnitystapojen heikkoutena pidin niiden kiristysvoiman puutetta sekä niiden sopivuutta usealle eri halkaisijalle.

Vartenotettava kiinnitystapa oli magneettikiinnitys, jossa kolmiopaloihin upotettaisiin magneetit. Valmistusmenetelmällisesti tämä olisi ollut mahdollista toteuttaa ja kappaleiden kiinnitys olisi ollut nopeaa. Nykyaikaisilla kestmagneeteilla olisi saavutettu riittävä kiinnitysvoima, mutta haittapuolena ilmeni metallisen mittakärjen magnetoituminen. Kiinnitysratkaisuksi valitsin kuormaliinan ja sen kiristykseen käytettävän kiristimen. Juuri tähän tarkoitukseen sopivan kiristimen löysin Biltemasta (kuvio 8). Kiristimeen jouduttiin tekemään muutoksia, jotta se saatiin toimimaan järjestelmässä. Liinan vapaaseen päähän oli lisättävä koukku, jolla liina oli helppo lukita koukun vastakappaleeseensa. Lisäksi kiristinosaan jouduttiin tekemään lisäosa, jotta se saatiin kiinnitettyä reikälevyyn.



KUVIO 8. Halkaisijoiden kiinnitysmenetelmä

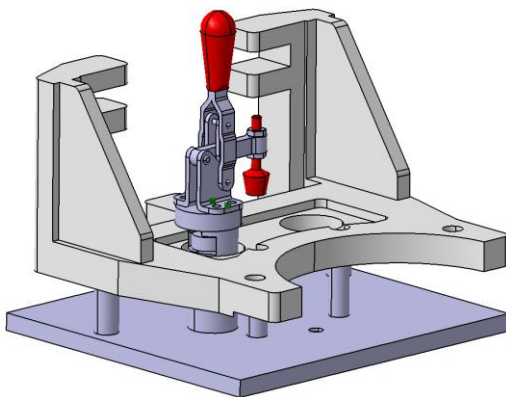
Akselien kiinnityksille ideana oli tehdä keskiökärjet, jotka kiinnittäisivät kappaleet. Tähän ratkaisuun päädyttiin osittain, mutta yrityksessä on kappaleita, joita täytyy päästä mittaamaan akselinsuuntaisesti. Näin ollen mitattavat kappaleet jaettiin kahteen ryhmään. Akseleille jotka pitää mitata akselin suuntaisesti, ei suunniteltu uutta kiinnitintä, vaan ne kiinnitettäisiin pyörähdyskappaleiden kiinnittimeen ja tarvittaessa tuettaisiin toisesta päästä. Esisuunnitelmaan hahmottelin idean keskiöporattujen kappaleiden kiinnittämiseen (kuvio 9), josta pystyin esittelemään ideani Esa Reposelle. Ideana oli jyrsiä T-uralliset pylkät, joihin keskiökärjet liitettäisiin. Toinen puoli suunniteltiin kiinteäksi ja vastapuoli liikkuvaksi, jotta eripituiset kappaleet pystyttäisiin kiinnittämään.



KUVIO 9. Esisuunnitelma keskiöporatuille akseleille

Prismaattisille kappaleille en lähtenyt suunnittelemaan universaalia kiinnitintä, koska niiden muodot, mitat ja mitattavien pintojen vaihtelu on liian suuri. Näin ollen päädyin ratkaisuun, jossa jokaiselle kappaleelle suunnitellaan oma kiinnitin. Kiinnityspeeriaate olisi kuitenkin jokaiselle sama. Kappaleenkiinnitin perustuu aluslevyyn, johon rakennetaan tarpeen mukainen tuenta, suuntaus ja kiinnitys eri elementeistä. Kappaleenkiinnitys voi tapahtua monella eri tavalla, joista esimerkkinä magneettinen- tai puristinkiinnitin.

Esimerkkinä suunnittelin kiinnittimen jarrunkiinnitysrungolle, josta mallinsin suuntaa antavan kiinnittimen (kuvio 10). Kappale paikoittuu sen kahdesta reiästä kiinnittimessä oleviin olaketappeihin. Olakkeiden ja kahden takana olevan tapin ansiosta kappale asetuu vaakatasoon. Kiinnitys tapahtuu kappaleen keskeltä Destacon puristimella. Puristin on irrotettava, jotta kappale voidaan asettaa paikoilleen helposti. Irrotus on toteutettu siten, että paksuun tappiin on jyrsitty T-ura ja sen vastakappaleeseen kiinnittyy Destacon puristin.



KUVIO 10. Kiinnitin jarrunkiinnitysrungolle

Kokosin kiinnittimistä ja niiden ratkaisuperusteista esitelmän, jonka kävin Esa Reponen kanssa läpi. Esitelmässä kerroin, miten kukin osa toimisi järjestelmässä ja kuinka olin nähin ratkaisuihin päätenyt. Esitelmän tarkoituksena oli näyttää missä vaiheessa projektia olin menossa ja kehittää esisuunniteltua kokonaisuutta. Esa Reponen hyväksyi suunnitelmani muutamaa muutosehdotusta lukuunottamatta.

Suurin muutos koski reikälevyä ja siihen paikoittuvia aluslevyjä. Esiteltyssä mallissa kiinnittimet paikoittuvat tapeilla, jotka kiinnitetään kierteellä reikälevyyn. Muutosehdotuksessa paikoitustapit kiinnitettäisiin aluslevyyn ja reikälevyyn tehtäisiin

vastaavasti upotukset paikoitustapeille. Muutoksen avulla ei tarvitsisi tappeja irroitella kierrelevystä, koska ne kulkisivat aluslevyn mukana. Toinen muutos koski akselien keskiökärkikiinnitintä. Työstöhankinnassa oli käyttämätön keskiökärkipari, joita muokkaamalla saataisiin sopivat kiinnittimet akseleille. Näin ollen ei tarvitse valmistaa akseleille kiinnitintä. Muutokset keskiökärkipariin koskivat lähinnä kiskoja, johon kärjet kiinnitetään.

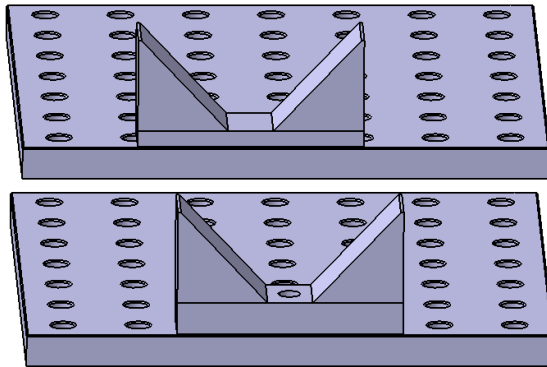
#### 4.4 Suunnitelman kehitys

Lähdin tekemään muutoksia kierrelevyyn. Esisuunnittelemani oli M10 kierteet ja levyn paksuus oli 15 millimetriä. Lisättyäni 6 millimetrin upotukset levyyn, ei kierteille jäänyt enää tilaa kuin 9 millimetriä. Tässä vaiheessa päätin lisätä levyn paksuuden 20 millimetriin saadakseni kierteele lisää pituutta. Samalla heräsi ajatus lisätä upotuksen syvyyttä 8 millimetriä, koska tämä lisäisi paikoitus pinta-alaa. Muutettuani upotuksen syvyyttä piti tappien pituuttakin lisätä. Muutoksia tehdessäni tuli työni ohjaajalta, Joni Niemiseltä, idea erimallisesta paikoituselementistä. Se oli malliltaan holkkimainen. Tämä muoto helpottaisi valmistusta ja tarvittaessa sen lävitse voitaisiin kappalekiinnitin kiinnittää kierrelevyyn.

Myöhemmin mahdollisesti hankittava elementeistä koostuva kiinnitinsarja tulisi huomattavasti halvemmaksi, jos uutta kierrelevyä ei tarvitsisi ostaa tai valmistaa. Kartoitin kiinnitinsarjojen valmistajien käyttämät kierrekoot aluslevyissään, jotta voisin valita saman koon omaan kierrelevyyn. Valmistajat käyttävät M6, M8 ja M10 kierteitä kierrelevyissään. M6 kierre oli suurimmalla osalla valmistajista käytössä, mutta M8:aa käyttävien yritysten tuotteita oli eniten maahantuojilla myynnissä. Päädyin M8 kierteeseen, jonka muutin malliin sopivaksi.

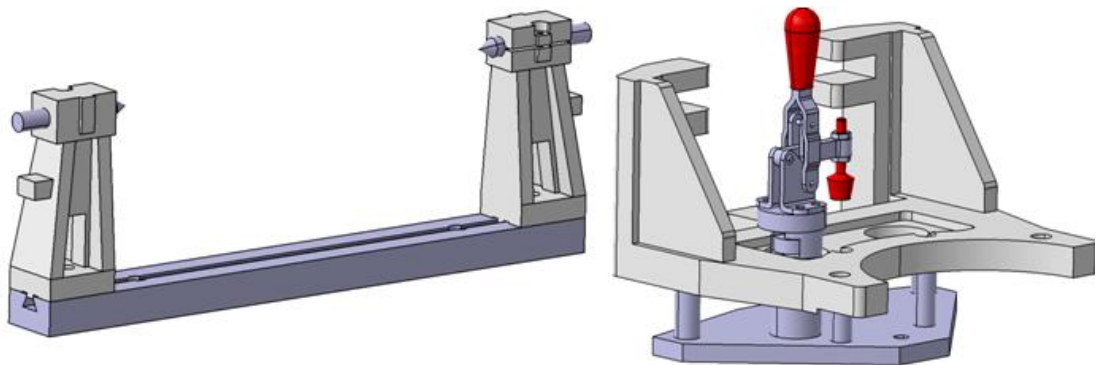
Pyörähdyskappaleiden kiinnittimen aluslevyihin tein muutoksia reikien paikoille ja niiden koolle. Kiinnitin ei sijoittunut keskelle reikälevyä, joten reikien sijoittelulla asia korjattiin. Erilaisten tukien kiinnittäminen on helpompaa kiinnittimen sijoituessa keskelle reikälinjaa. Lisäsin myös upotuksen, johon uudenmallinen paikoitusholkki asettuisi. Aluslevy oli suunniteltu 10 millimetriä paksuksi, joten 8 millimetrin upotuksen jälkeen kierteele ei jäänyt enää tilaa. Tämän takia aluslevyn paksuuteen lisäsin 10 milli-

metriä (kuvio 11). Muutoksista johtuen jouduin tekemään reikien sijoittelun uudestaan myös kolmiopalojen kierrereijille.



Kuvio 11. Vanha ja uusi pyörähdysskappaleiden kiinnitin

Mallinsin Työstöhankinnasta löytyneen keskiökärkiparin ja suunnittelin niille kiskot (kuvio 12). Kiskojen uran muotoon tein hieman muutoksia, jotta se olisi helpompi valmistaa. Vanhaa kiskoa ei voitu käyttää, koska se oli liian korkea ja leveä. Lisäksi mallinsin uudet kärjet, jotka sopisivat mahdollisimman monelle erityyppin keskiöporaukselle. Kiinnitysrungon aluslevystä suunnittelin kevyemmän muuttamalla sen muotoa (kuvio 12).



KUVIO 12. Akseleiden ja kiinnitysrungon kiinnitin

Päivitin aiemmin Esa Reposelle pitämäni esitelmän, johon oli tehty toivotut muutokset. Pidin esitelmän Työstöhankinta Reponen Oy:ssä Esa Reposelle, ostosta ja laadusta vastaavalle henkilölle sekä muutamalle tuotannon työntekijälle. Esitelmän tarkoituksena oli esitellä millainen kiinnitinjärjestelmä oli suunnitteilla ja sen pohjalta saada viimeisiä

parannusehdotuksia käytettävyyteen sekä huomioita mahdollisiin ongelma-kohtiin. Pala-  
veri osoittautui antoisaksi. Sain lukuisia ideoita ja parannusehdotuksia, joiden pohjalta  
toteutin lopullisen suunnitelman.

#### 4.5 Viimeiset muutokset

Palaverissa tulleiden ideoiden ja muutosehdotuksien pohjalta tein luettelon, jonka mu-  
kaisesti lähdin selvittämään ongelmia ja tekemään muutoksia. Luettelo oli seuraavanlai-  
nen.

- Väljemmät sovitteet
- Reikälevyn ja aluslevyjen reikien merkinnät
- Aluslevyjen kiinnitys ruuveilla
- Koordinaattimittauskoneen mittausalueen tarkistaminen
- Kahden reikälevyn valmistaminen ja mustapassivointi
- Kolmen kiinnitinparin valmistaminen pyörähdyskappaleille
- Loppuosien valmistaminen myöhemmässä vaiheessa
- Työpiirustusten tekeminen kaikista osista

Olin suunnitellut sovitteiden tarkkuudeksi H7 toleranssi alueen, koska välyksen ollessa  
pieni, ei olisi tarvittu erillistä kiinnitystä kierrelevyyn. Ilmeni kuitenkin, että vaikka so-  
vite olisi tarkka, saattaisi kiinnitin liikahtaa mittauksen aikana. Lisäksi käytön kannalta  
liiallinen tarkkuus saattaisi aiheuttaa sen, että sovitteet kiilautuisivat yhteen ja kiinnitti-  
mien vaihto olisi työlästä sekä hidasta. Päädyimme ratkaisuun, jossa välystä suurennet-  
taisiin ja kappalekiinnittimet kiinnitettäisiin yhdellä tai kahdella ruuvilla kierrelevyyn.  
Palaverin aikana päätettiin myös kierrelevyn mustapassivoinnista, jotta saataisiin kor-  
roosion kestävyyttä ja hieno ulkonäkö.

Muutoksia ei tarvinnut tehdä mallinnettuihin kappaleisiin, koska toleranssit näkyivät  
vain työpiirustuksissa. Työpiirustusten teosta minulla ei ollut paljon kokemusta, joten  
oman osaamiseni ohella käytin tukena Heikki Hasarin ja Pekka Salosen tekemään Tek-  
nillinen piirtäminen kirjaa. Kirja on tarkoitettu oppimateriaaliksi korkeakouluihin, joten  
siitä löytyi hyviä esimerkkejä. Työpiirustuksia tehdessäni yritin keskittyä niiden helppo-



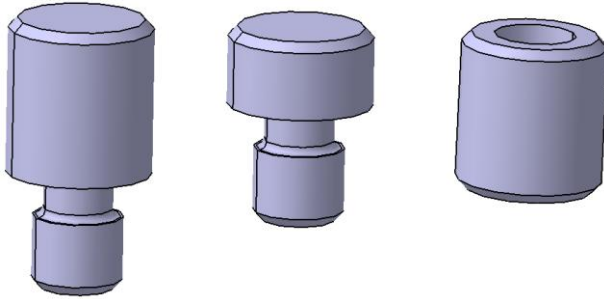
lukuisuuteen sekä toleroinnin tarkkuuteen käytön kannalta. Mietin kuinka tarkkoja tolerointeja osat vaativat toimiakseen valmistuksen jälkeen.

Kierrelevyn ja aluslevyjen merkinnät toteutetaan stanssaamalla. Kierrelevyyn suunnitellin koordinaatiston, jossa vaakasuunnassa ovat kirjaimet A–G ja pystysuunnassa numerot 1–7. Aluslevyjen paikoitusreikien- ja tappien viereen stanssataan vastaavasti kirjainnumero yhdistelmä, jonka avulla kiinnitin osataan asettaa aina oikealle paikalle.

Tarkistettuani koodinaattimittauskoneen mittausalueen ilmeni, että isojen halkaisijoiden ja jarrunkiinnitysrunгон kiinnitintä oli korotettava. Matalin kohta, josta mittauskone kykenee mittaamaan vaakatasossa, on (mittakärki käännettynä 90 asteeseen) nykyisellä mittapäällä 30 millimetriä. Tällöin ei pystytä mittaamaan kappaleiden ulkohalkaisijaa sekä kiinnitysrunгон alapinnan tasoa. Ongelma ratkesi korottamalla isojen halkaisijoiden aluslevyä 40 millimetriin ja kiinnitysrunгон kiinnittimen tappeja 30 millimetriin.

Palaverin yhteydessä päätimme myös valmistettavien osien lukumäärän. Reikälevyjä valmistetaan kerralla kaksi, koska ensimmäisen jälkeen kustannukset pienenevät. Isoille halkaisijoille tehdään kolme paria eri levyisiä malleja. Leveydet ovat 45 millimetriä, 35 millimetriä ja 25 millimetriä. Eri levyiset mallit mahdollistavat sen, että mitattavien kappaleiden määrä kasvaa.

Paikoitustappeja valmistetaan kolmea eri mallia (kuvio 13). Kaksi ensimmäistä on tarkoitettu enemmän paikoitukseen erimallisille aluslevyille ja kolmas, holkkimainen, suuntaukseen, ja se mahdollistaa kiinnittimen kiinnityksen aluslevyyn ruuvilla. Kutakin mallia valmistetaan kymmenen kappaletta. Kiinnitysrunгон ja akseleiden kiinnitin päätettiin valmistaa tämän työn ulkopuolella ajansäästön takia. Työpiirustukset piti kuitenkin tehdä jokaisesta osasta, jotta ne pystyttäisiin valmistamaan tulevaisuudessa.



Kuvio 13. Paikoitustapit

#### 4.6 Koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmän suunnitelma

Suunnittelemani, koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmä, pohjautuu kierreleevyyn (liite 1), joka kiinnitetään mittauskoneen pöytään ruuveilla. Reikälevyssä on upotukset, jotka toimivat kappalekiinnittimien naaras sovitteina. M8 kierteet upotuksen pohjalla mahdollistavat kiinnittimien kiinnittämisen reikälevyyn. Lisäksi se mahdollistaa koordinaattimittauskoneisiin tarkoitetun kiinnitinsarjan hankkimisen ilman heidän tarjoamaansa reikälevyä, jonka arvo on yleensä noin puolet sarjan hinnasta.

Kappalekiinnittimien uros sovitteet on suunniteltu eri tarkoituksiin. Sovitetappi kierteellä (liite 2) on suunniteltu paikoittavaksi tapiksi ja holkkimainen sovitte (liite 3) on tarkoitettu suuntaavaksi. Holkkimaisen sovitteen läpi voidaan kappalekiinnitin kiinnittää reikälevyyn. Sovitteiden tarkoituksena on paikoittaa kappalekiinnittimet riittävän tarkasti aina samalle paikalle koneeseen nähden. Tämä systeemi mahdollistaa yksinkertaisten ja nopeiden kappalekiinnittimien vaihdon. Jotta työntekijä osaisi laittaa kiinnittimen oikeaan kohtaan, on kierreleevyssä kirjain-numero-koordinaatisto ja vastaavat koordinaatit on stansattu jokaiseen kiinnittimeen.

Isoille (80–190 millimetrin) halkaisijoille suunniteltu kiinnitin koostuu kolmesta osasta, aluslevystä (liite 4) ja kahdesta kolmiopalasta (liite 5). Kolmiopalat kiinnitetään aluslevyyn ruuveilla. Kiinnitin paikoittuu yhdellä kierteellisellä ja yhdellä reiällisellä sovitteilla. Mitattava kappale kiinnitetään Biltemasta hankitulla kuormaliinalla ja sen kiristimellä (modifioitu) kolmiopalojen väliin.

Akseleille, joissa on keskiöporaukset ja joita ei tarvitse mitata akselin suuntaisesti, suunnittelin kärkipylkkäkiinnityksen. Kiinnittimen kärkipylkät löydettiin Työstöhan- kinta Reponen Oy:n tiloista käyttämättöminä, joten niitä ei tarvinnut suunnitella eikä val- mistaa. Suunnittelin kärkipylkille kiskon (liite 6), johon ne kiinnittyvät. Kokonaisuus paikoittuu kierrelevylle samalla tavalla kuin halkaisijoiden kiinnitin. Loput akselit pys- tytään kiinnittämään halkaisijoille suunniteltuun kiinnittimeen ja tarvittaessa ne tuetaan toisesta päästä.

Prismaattisille kappaleille joudutaan suunnittelemaan omat kiinnittimet. Ne pohjautuvat kuitenkin kaikki aluslevyn päälle koottuihin kokonaisuuksiin. Suunnittelin jarrunkiinni- tysrungolle kiinnittimen, joka koostuu aluslevyistä (liite 7) ja siihen kierteellä liitettävis- tä tapeista. Kaksi olaketappia keskittää kappaleen ja se asettuu olakkeiden ja kahden muun tapin ansiosta vaakatasossa. Kiinnitys tapahtuu tappien vastaisesta suunnasta Des- tacon puristimella.

## 5 TOTEUTUS

Kiinnitinjärjestelmän valmistusprosessiin osallistuin suunnittelemalla valmistusmenetelmät. Valitsin työkoneet, joilla kukin osa valmistetaan ja minkälaisia työkaluja niiden tekemiseen tarvitaan. Tein myös CNC-ohjelmat kaikille osille käyttämällä Edgecam ohjelmaa.

### 5.1 Valmistettavat osat ja materiaalit

Päätimme valmistaa tämän projektin aikana kaksi kierrelevyä, yhden kiinnitin kokonaisuuden isoille halkaisijoille ja tarvittavan määrän paikoitustappeja. Loput suunnitelmat päätettiin toteuttaa myöhemmin.

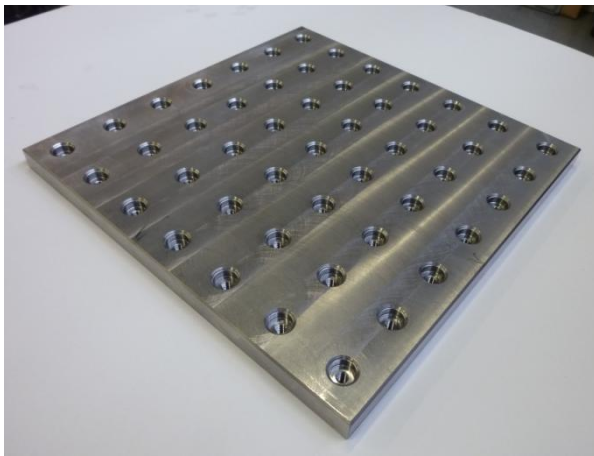
Kierrelevyn materiaaliksi valitsimme kulutusteräksen ja se tilattiin määrämittäiseksi laserleikattuna (350×350×25 millimetriä). Työstövaroja tarvittiin levyn vahvuuteen, koska kierrelevyn pinnat haluttiin jyrsiä yhdensuuntaisiksi. Kolmiopaloille oli tarkoituksena tilata myös laserleikatut aihiot, mutta päädyimme ratkaisuun, jossa käytettiin hukkapätkiksi jääneiden terästankojen päätyjä. Aluslevylle löytyi niin ikään hukkamateriaaliksi jäänyt 60×60 millimetrin neliötangon pätkä, jota pystyttiin käyttämään valmistukseen. Paikoitustapit valmistettiin myös jäännösmateriaalista, joka oli halkaisijaltaan 25 millimetrin pyörötankoa. Materiaali kaikille kolmelle muulle oli rakennusteräs S355.

### 5.2 Osien valmistus

Kierrelevyn valmistuksen suunnittelun aloitin valitsemalla työstökoneen, jolla osa valmistetaan. Koneeksi valitsin pystykaraisen Chevalier työstökeskuksen, koska siinä oli kaikki tarpeelliset ominaisuudet kierrelevyn valmistamiseen. Koneen valittuani, jatkoin CNC-ohjelman teolla. Käytin työstöohjelman tekoon Edgecam ohjelmaa, jonka käytön olin opetellut jo ennen opinnäytetyöni tekoa. Ohjelmaa tehdessäni valitsin kaikille työstöoperaatioille työkalut. Upotuksien tekoon oli muutama erilainen vaihtoehto. Päädyin ratkaisuun, jossa upotus avataan U-poralla ja sen pohja tasataan 12 millimetrin kovame-

tallitapilla. Upotus viimeistellään kalvaimella oikean kokoiseksi. Upotuksen pohjalle tein keskiöinnin NC-poralla, jota seurasivat halkaisijaltaan 6.8 millimetrin kovametallipora ja M8-kierretappi. Viisteet upotuksien reunaan ja kierrelevyn ulkoreunaan tehtiin viistejyrsimellä.

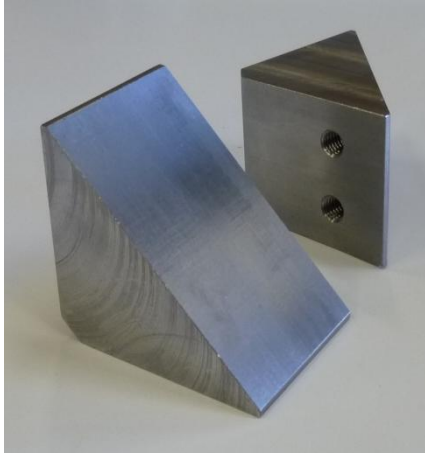
Aihiot kiinnitettiin kahteen vierekkäin asetettuun hydrauliruuvipuristimeen. Näin estettiin tasopinnan jyrsinnän mahdollisen värinän syntyminen. Koneistuksesta vastasi Työstöhankinta Reponen Oy:n koneistaja. Kuvassa 14 on valmiiksi koneistettu kierrelevy, josta tuli suunnitellun mukainen tuote.



KUVIO 14. Valmis kierrelevy

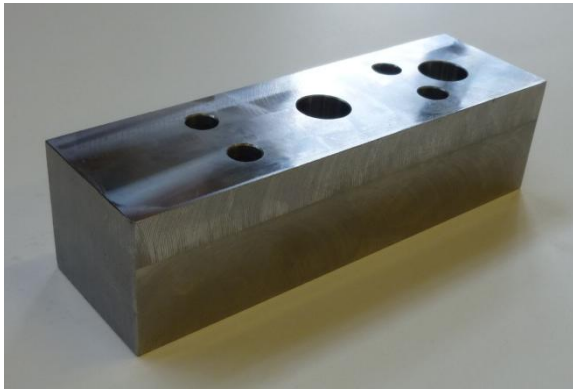
### 5.3 Kolmiopalojen ja aluslevyn valmistus

Kolmiopalat ja aluslevyn päätin valmistaa myös Chevalier koneistuskeskuksella. Vaihtoehtona oli manuaalijyrsinkoneella tehtävä koneistus. Aihioksi olisi tullut puoliympyrän muotoinen metalliekko, jota eri kulmiin kiinnittämällä olisi jyrsitty kolmio. Toinen ja valittu vaihtoehto oli jyrsiä koneistuskeskuksella pyörötangosta kolmio ja sen jälkeen kääntää aihio ja jyrsiä toiselta puolelta kiinnityskohdan ylimääräinen aines pois. Ensimmäisessä vaiheessa aihio oli kiinnitetty kolmileukaistukkaan ja toisessa vaiheessa hydrauliruuvipuristimeen. Tässä vaihtoehdossa lastuttava määrä kasvoi, mutta valmistusmenetelmä oli yksinkertaisempi. Tein CNC-ohjelman valitun valmistusmenetelmän mukaan ja valitsin tarvittavat työkalut. Kuviossa 15 on valmiit kolmiopalat koneistettuina.



KUVIO 15. Valmiit kolmiopalat

Aluslevyn aihio oli neliötanko ja se helpotti sen kiinnittämistä sekä koneistusta. Kiinnittimenä käytettiin hydrauliruuvipuristintia ja koneistus tapahtui neljässä eri vaiheessa. Jokaiselle vaiheelle olin tehnyt CNC-ohjelmat valmiiksi ja näin ollen valmistus oli sujuvaa. Aluslevyn ohjelmanteossa ei ollut ongelmia ja käytetyt menetelmät olivat yksiselitteisiä. Kuviossa 16 on valmis aluslevy.



KUVIO 16. Valmis aluslevy

### 5.3 Paikoitustappien valmistus

Paikoitustappien valmistus erosi muista osista siten, että ne tehtiin CNC-sorvilla. Sorviksi valitsin Daewoo Puma 2500, jossa on lisävarusteena tangonsyöttömakasiini. Materiaalina oli puolitoista metriä pitkä ja halkaisijaltaan 25 millimetriä paksu terästanko. CNC-ohjelmien teossa ei ollut ongelmia ja käytetyt menetelmät olivat tavallisia. Kummankin mallisia paikoitus tappeja valmistettiin kymmenen kappaletta (kuvio 17 ja 18).



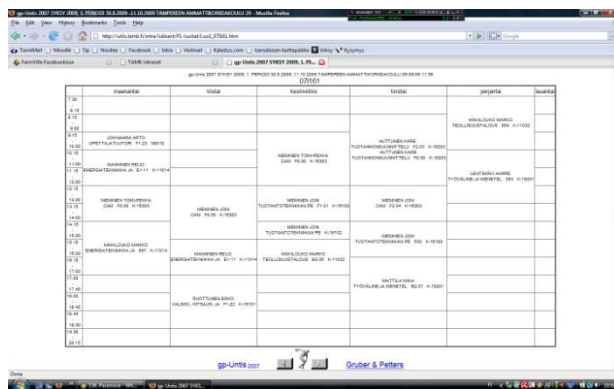
KUVIO 17. Valmis kierretappi



KUVIO 18. Valmis reikätappi

## 5.4 Kiristimen modifiointi

Isojen halkaisijoiden kappaleenkiinnitysmekanismi vaati modifiointia, koska sen oikea käyttötarkoitus oli taakkatelineeseen kiinnitettävä kiristyshihna. Kiristinosa piti saada kiinnitettyä kierrelevyyn. Vahvistin kiristimen pohjaa lattaraudan palasella, johon olin porannut reiän ja tehnyt M8 kierteen. Porasin reiän kiristimen pohjaan, jonka läpi se pystyttiin kiinnittämään kierrelevyyn. Hihnan vapaaseen päähän tein koukun ja sille vastakappaleen, jonka kiinnitin kierrelevyn kylkeen. Kuviosta 19 näkee kiristimen muokkaukset ja valmiin kiinnitysmekanismin.

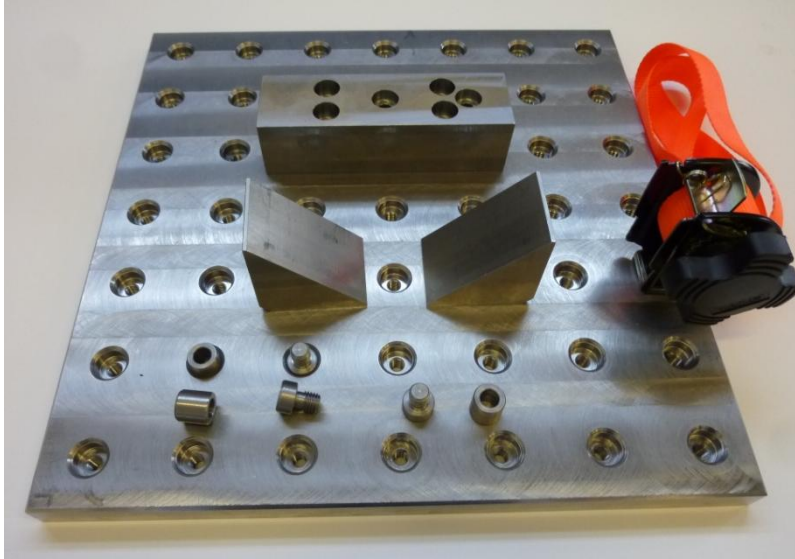


KUVIO 19. Valmis kiinnitysmekanismi

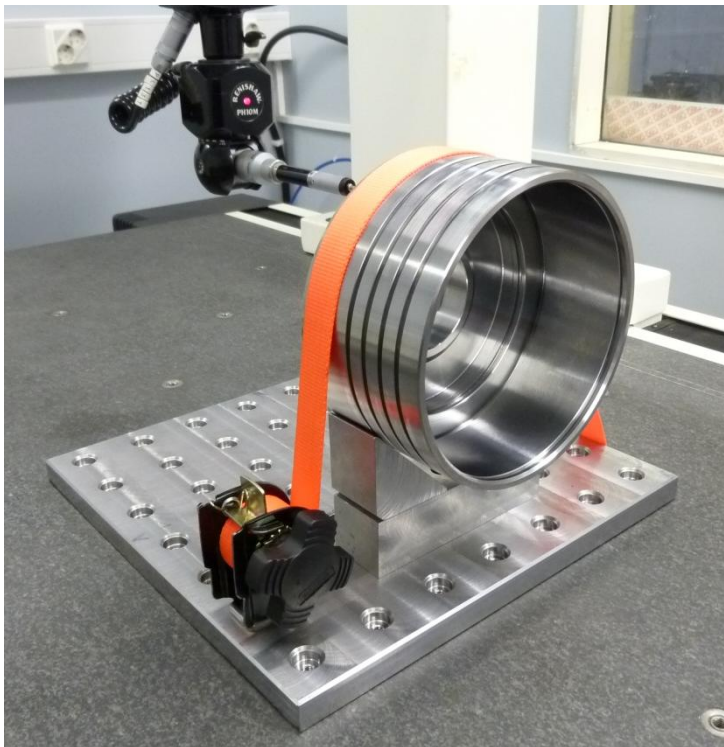
## 5.5 Kiinnitinjärjestelmän kokoonpano

Osien valmistuksen jälkeen tein kokoonpanon kiinnitinjärjestelmälle. Kokosin pyöräh-dyskappaleiden kiinnittimen, jossa aluslevyyn kiinnitettiin kolmiopalat neljällä ruuvilla. Aluslevyyn kiinnitin yhden kiinteän paikoitustapin ja varasin sille yhden reiällisen paikoitustapin. Kierrelevyn kiinnitin neljällä ruuvilla keskelle koordinaattimittauskoneen pöytää, jonka kylkeen olin jo aikaisemmin kiinnittänyt hahlon. Laitoin kiinnittimen paikoilleen ja asensin kiristysmekanismin oikeaan kohtaan. En stanssannut koordinaatteja tässä vaiheessa, koska kiinnittimen paikka hahmottuu käyttökokemusten mukaan. Kuviossa 20 ja 21 on valmiin koordinaattimittauskoneen kiinnitinjärjestelmä ja sen osat.





KUVIO 20. Valmiin kiinnitinjärjestelmän osat



KUVIO 21. Valmis kiinnitinjärjestelmä

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa kiinnitinjärjestelmä CNC-ohjatulle koordinaattimittauskoneelle. Tehtävänä oli valmistaa kiinnittimet pyörähdyskappaleille ja akseleille sekä suunnitella kiinnittimet prismaattisille kappaleille. Jokaisesta kiinnittimestä piti tehdä työpiirustukset. Tavoitteisiin pääsin hyvin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.

Työn tuotteena valmistui kiinnitinjärjestelmän perusta (kierrelevy) ja kiinnitin pyörähdyskappaleille. Tein työpiirustukset akseleidenkiinnittimelle ja prismaattisten kappaleiden kiinnittimelle. Kiinnitintä akseleille ja prismaattisille kappaleille ei valmistettu, koska kiinnitinjärjestelmän perustana toimiva kierrelevy oli valmistettava, eikä aikaa kaikkien valmistukseen ollut. Näin ollen kaikki työlle asetetut vaatimukset eivät toteutuneet. Muilta osin kiinnitinjärjestelmä vastasi sille asetettuja vaatimuksia. Työstöhan- kinta Reponen Oy:ssä johto ja työntekijät olivat tyytyväisiä lopputulokseen.

Haastavinta työssä oli kehittää kiinnitinjärjestelmän perusta, johon kiinnittimet oli helppo ja nopea vaihtaa. Tämä työvaihe oli aikaa vievin. Oman haasteensa asetti myös kiinnitinmekanismin suunnittelu pyörähdyskappaleille. Opinnäytetyön teoriaosuuden raportoinnissa vaikeudeksi muodostui kirjallisen tiedon vähyys. Koordinaattimittauskoneiden kiinnittimistä ei ollut saatavilla paljon kirjallista tietoa.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista sekä opettavaista. Sain tietoa koordinaattimittauskoneista ja opin tekemään projektiluonteista työtä. Projektin aikana opin pitämään järjestyksessä siihen liittyvät dokumentit ja tiedot, joiden suuri määrä yllätti minut. Opinnäytetyöstä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa projektiluonteisissa työtehtävissä.

Työstökoneiden ominaisuuksien jatkuva kehittyminen mahdollistaa yhä tarkempien ja monimutkaisempien työkappaleiden valmistamisen. Tämä tulee asettamaan tulevaisuudessa todennäköisesti suurempia vaatimuksia itse mittaamiseen ja kiinnittämiseen. THR:n tulee mielestäni ottaa tämä seikka huomioon omassa tuotannossaan, varmistaakseen riittävän laaduntuottokyvyn.

## LÄHTEET

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Konepajan tuotantotekniikka. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.

Hasari H. & Salonen P., 2006. Teknillinen piirtäminen. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

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