

Eetu Vanhamäki

Palloventtiin hiomakoneen suunnittelu

Työkappaleen kiinnitysjärjestelmä sekä lujuus- ja
värähtelytarkastelut

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Eetu Vanhamäki

Työn nimi: Palloventtiilin hiomakoneen suunnittelu

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2014 Sivumäärä: 51 Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyön tilaajana toimi Seinäjoella sijaitseva työstökoneita ja järjestemiä valmistava yritys. Tarve suunnittelun tukimateriaalille on lisääntynyt, koska yrityksessä aiotaan tuottaa venttiilipallon hiontaan työstökone. Suunnittelutukea tarvitaan erityisesti työkappaleen kiinnitysjärjestelmän sekä erilaisten venttiilipallojen kiinnityksen suunnittelussa. Työn yhteydessä esisuunnitellulle kappaleen kiinnitykselle tehtiin lujuus- ja värähtelytarkastelut, joilla varmistettiin rakenteen kestävyys normaalissa työstötilanteessa.

Palloventtiilin hionnassa kappaleen kiinnityksen suunnittelu on erittäin tärkeää, jotta työstössä syntyvät joustot ja värinät saadaan minimoitua. Näin saavutetaan mahdollisimman hyvä pinnanlaatu ja työstötarkkuus. Työstettävän kappaleen kiinnitys toteutetaan kahden samalla lineaarijohteella olevan karapylkän väliin. Koneella voidaan valmistaa sekä varrellisia että kelluvia venttiilipalloja. Mallista riippumatta aihoiden toinen pää kiinnitetään koneelle pyörityspylkälle valitun HSK:n kartiokiristysjärjestelmän ja sen työkalupidikkeeseen asennetun hydraulisen kartioholkin avulla. Kiinnityssuunnitelmassa hiottavan venttiilipallon vapaana oleva pää tulee siirtopylkän vapaasti pyörivää keskiökärkeä vasten. Varrellisen pallon aihio tehdään yhdestä valusta ja sen varsiosa kiinnittyy pyörityskaralle. Kelluva venttiilipallo kiristetään ruuvilla virtausaukon läpi kahden laipan väliin. Karan puoleisen laipan ollessa kiinteä pyöritysmomentti välittyy kappaleelle kitkan avulla.

Kiinnitysjärjestelmälle tehtiin FEM-analyysi lujuus- ja värähtelykäyttäytymisestä työstötilanteessa. Simuloinneissa mallinnettiin järjestelmään pahimmin vaikuttavat tilanteet. Lujuustarkastelussa siirtopylkkää kuormitettiin suurimmalla mahdollisella voimalla paikalleen lukittuna olevaa karapylkkää päin. Värähtelytarkastelussa käytettiin varrellista palloa, jonka halkaisija on suurin koneella valmistettava. Näin työkappaleelle muodostuu isoin momentti, joka on herkin värähtelylle. Analyysien tulosten perusteella voitiin osoittaa, ettei normaali työstötilanne aiheuta kappaleen kiinnitykselle liian suuria siirtymiä tai värähtelyjä.

Avainsanat: työkappale, kiinnitysjärjestelmä, koneensuunnittelu, lujuustarkastelu, FEM

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Eetu Vanhamäki

Title of thesis: Planning of ball the grinding machine

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2014 Number of pages: 51 Number of appendices: 0

The thesis was ordered by corporation in Seinäjoki. The need of supporting material for this type of planning has grown because the company seeks to productize a machine tool for grinding ball valves. The supporting material is needed especially in the planning of the fastening system of the work piece and in designing fastening for different kinds of ball valves. The endurance of the predesigned fastenings under the normal machine-tooling situations was tested by the strength and vibration inspections which were made in the course of theses writing.

The fastening design of the grinding ball valves is very important so that the elasticity and vibrations created by the machine-tooling can be minimized. This results in the optimal good texture and machine-tooling accuracy. The work piece is fastened by two spindle heads that are connected by the same linear guide. The machine can produce both bracketed and floating ball valves. One end of the billet is fastened with the rotating spindle of the HSK taper fastening system and a hydraulic taper sleeve that is installed in its tool holder. In the fastening plan the free end of the grinded ball valve is placed against the freely rotating centre point of the back puppet. The billet of the bracketed ball valve is made of one casting, and its bracket fastens on the rotating spindle. The floating ball valve is tightened with a screw that is placed through the port between two flange plates. The rotation moment is transmitted to the piece by friction when the flange of the spindle side is still solid.

A FEM analysis was made for the strength and vibration of the fastening system during machine tooling. The simulations modelled instances that affect the system in worst ways. In strength inspection the back puppet was loaded with a maximum power against a locked spindle head. A bracketed ball with the biggest possible diameter was used in the vibration inspection. In this way the work piece is loaded with the biggest moment that is the most sensitive to vibration. The analyses showed that the normal machining circumstances do not cause too big transitions or vibrations for the work piece.

Keywords: work piece, fastening system, machine planning, strength inspection, FEM

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
2 YRITYKSEN ESITTELY	10
3 HIOTTAVAN KAPPALEEN KIINNITYSJÄRJESTELMÄ	11
3.1 Hiontaprosessista yleisesti.....	11
3.2 Pallohionnan kiinnitysperiaatteista	12
3.3 Hiomakoneen rakenne	13
3.4 Erilaisista työkappaleen kiinnitystavoista	16
3.4.1 Kolmileukaistukka	16
3.4.2 Kiinnitys tuurnien avulla	18
3.4.3 Kiinnitys vääntölaikan tai vetävän kärjen avulla	19
3.4.4 Kartioholkit	20
3.5 HSK kartiokiristysjärjestelmä.....	21
3.6 Big-Plus-kartiokiristysjärjestelmä.....	24
3.7 Kiinnitystavan valinta hiomakoneelle.....	26
3.8 Kiinnityksen sovellutus tarkasteltavalle hiomakoneelle	30
4 LUJUUS- JA VÄRÄHTELYTARKASTELU	32
4.1 Lujuusoppi.....	32
4.2 Elementtimenetelmät	35
4.3 Pyörityskarapylkän lujuustarkastelu	36
4.3.1 Laskenta	36
4.3.2 Jännitystilat	37
4.3.3 Siirtymät	38
4.3.4 Tulosten arvointi.....	39
4.4 Värähtelymekaniikka	40
4.5 Hiomakoneen värähtelytarkastelu	41
4.5.1 Hiomakoneen ominaistuuksien laskenta	42
4.5.2 Tulosten arvointi	45

5 YHTEENVETO.....	47
LÄHTEET.....	49
LIITTEET.....	51

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Yrityksen strategian kulmakivet	10
Kuvio 2. Koneen rakenne.....	13
Kuvio 3. Hiottava kappale ja hiomatyökalu	14
Kuvio 4. Varrellinen venttiilipallo	15
Kuvio 5. Kelluvan venttiilipallon kiinnitys	15
Kuvio 6. Kiinnityksen läpileikkaus	16
Kuvio 7. Kolmileukaistukka	17
Kuvio 8. Paisuntatuurna.....	18
Kuvio 9. Vetäväkärki	19
Kuvio 10. ER-holkki.....	20
Kuvio 11. Jyrsin-istukka ER-holkille	21
Kuvio 12. Kiinnitin auki-asennossa	22
Kuvio 13. Kiristysvaihe alkaa	23
Kuvio 14. Työkalupidike kiristettynä	23
Kuvio 15. Big-Plus:n otsapintatuenta	24
Kuvio 16. Komponenttien ristiinkäyttö	25
Kuvio 17. Työkalupidikkeen kiristys karalle.....	25
Kuvio 18. Hiomakone ylhäältä kuvattuna	26
Kuvio 19. Kelluvan venttiilipallon adapterisointi.....	28
Kuvio 20. Olakkeiden kontakti.....	28
Kuvio 21. Tuurna-akseli	29
Kuvio 22. Teräksen venymäpiirros.....	34
Kuvio 23. Karapylkän jännitykset	37
Kuvio 24. Suurin jännitys	38
Kuvio 25. Karapylkän siirtymät.....	38
Kuvio 26. Karapylkän siirtymät sivulta kuvattuna	39
Kuvio 27. Jousi-massasysteemi.....	40
Kuvio 28. Laskennan alkutilanne	42
Kuvio 29. Tuennat.....	42
Kuvio 30. Ominaistaajuudet	43
Kuvio 31. Taajuuden F1 aiheuttamat siirtymät.....	44

Kuvio 32. Taajuuden F2 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 33. Taajuuden F3 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 34. Taajuuden F4 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 35. Taajuuden F5 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 36. Taajuuden F6 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 37. Taajuuden F7 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 38. Taajuuden F8 aiheuttamat siirtymät.....	44
Kuvio 39. Ominaistaajuuden kuvaaja.....	46

Käytetyt termit ja lyhenteet

Pylkkä	Työstökoneen osa, johon työstettävä kappale kiinnitetään.
HSK	Saksalainen yritys, joka on valmistanut oman kartiokiristysjärjestelmän.
Big-Plus	Japanilaisen Big-Daishowa-nimisen yrityksen kehittämä kartiokiristysjärjestelmä
FEM	Elementtimenetelmä, tulee englannin termistä Finite Element Method
Autodesk Inventor	Autodeskin kehittämä 3D-mallinnusohjelmisto
Static Analysis	Autodesk Inventorin staattisten mallien simulointityökalu
Modal Analysis	Autodesk Inventorin työkalu, jota käytetään esimerkiksi mallien värähtelyjen simuloinnissa.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoella sijaitsevan metallintyöstökoneiden ja tuotantojärjestelmien valmistukseen erikoistuneen yrityksen tilauksesta. Yritys on alkanut lisääntyvässä määrin tuotteistaa valmistamiaan venttiilipallojen hiomakoneita. Näin ollen myös tarve suunnittelua tukevalle materiaalille on lisääntynyt. Koneiden esisuunnittelu on yleensä aloitettu asiakkaan tilauksen pohjalta, mutta nyt koneista on tarkoituksena kehittää valmiiksi niin sanottuja perusmalleja, joille asiakas voi tilauksen yhteydessä määrittää haluamansa optiot.

Yrityksellä on venttiilipallonhiomakoneista useita eri malleja, jotka vaihtelevat hiottavan kappaleen koon mukaan. Kyseisessä opinnäytetyössä keskitytään BGM -tyyppisen hiomakoneen tarkasteluun. Työn alue ja teorian viitekehys on rajattu koskemaan lähinnä koneistettavan työkappaleen kiinnitysjärjestelmän suunnittelua ja rakenteen lujuus- ja värähtelykäyttäytymistä.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta eri pääkohdasta. Ensimmäinen osio keskittyy hiottavan kappaleen kiinnitysjärjestelmän tarkasteluun. Tässä kerrotaan yleistä hiomaprosessin teoriaa, perehdytään hieman kyseisen hiomakoneen rakenteeseen sekä käydään läpi mahdollisia siihen soveltuvia työstettävän kappaleen kiinnitysmenetelmiä. Työssä valitaan ja perustellaan parhaalta vaikuttavat vaihtoehdot, sekä lopuksi hahmotetaan niiden pohjalta sovellutus kyseiselle koneelle.

Toinen pääkohta ovat työkappaleen kiinnitysjärjestelmälle FEM-analyysien avulla tehtävät lujuus- ja värähtelytarkastelut. Osio alkaa yleisellä lujuusopin, värähtelymekaniikan ja elementtimenetelmien teorialla. Tätä seuraa laskentaosio, jossa simulaatioiden perusteella selvitetään hiomakoneen työkappaleen kiinnitysjärjestelmän käyttäytymistä työstötilanteessa. Tavoitteena on tätä kautta osoittaa, että rakenteille aiheutuvat kuormitukset tai värähtelyt eivät muodostu liian suuriksi. Silloin koneella ei enää päästäisi palloventtiilijien hionnan onnistumisen kannalta erittäin tärkeisiin tarkkoihin valmistustoleransseihin.

2 YRITYKSEN ESITTELY

Yritys on kansainvälisesti toimiva suomalainen metallialan yritys, jonka ydinosaamisena ovat lastuava työstö ja tuotantojärjestelmät. Yrityksellä on pitkä kokemus sekä runsaasti osaamista työstökoneiden, järjestelmien sekä putkien ja tankojen katkaisuun tarkoitetuista nopeista kovametalliterillä varustetuista pyörösahoista. (Etusivu 2014.)

Kokonaispalveluun kuuluvat asiakkaan toimintaympäristön suunnittelu, ylläpito ja kehittäminen. Strategian kolme kulmakiveä ovat asiakasläheisyys, tekninen osaaminen ja kansainvälisyys. Asiakassegmentit ovat kone- ja metalliteollisuus sekä metallien jalostus. Sellaisia asiakastarpeita, joiden tyydyttämiseen yritys eniten panostaa, ovat muun muassa työntekijöiden turvallisuus, tuotannon tehokkuus ja tuottavuus. Lisäksi yritys on ISO 9001 -sertifioitu organisaatio. (Teollisuus 2014.)



Kuvio 1. Yrityksen strategian kulmakivet
(Etusivu 2014).

3 HIOTTAVAN KAPPALEEN KIINNITYSJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa perehdytään hieman yleisessä käytössä oleviin työkappaleen kiinnitysmenetelmiin. Tarkasteltavia menetelmiä käytetään normaalisti sorvauksessa. Kyseisen venttiilipallon hiomakoneen rakenteesta johtuen työkappaleen kiinnitys on toteutettu samoin kuin sorvauksessa. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat HSK:n sekä BIG:n valmistamat automaattisen työkalun kiristykseen mahdollistavat karajärjestelmät, joista valitaan hiomakoneelle parhaiten sopiva vaihtoehto.

3.1 Hiontaprosessista yleisesti

Hiominen on yksi lastuavan työstön menetelmä, jossa ainetta poistetaan joltakin työstettävän kappaleen pinnalta. Hionta suoritetaan yleisimmin käyttämällä pyörivää hiomalaikkaa, joka koostuu sideaineesta ja hiomajyvistä. Hiomajyvät ovat kiinnitettynä sideaineen avulla ja hiottaessa työkappaletta jyvät irrottavat kappaleen pinnasta lastuja. (Maaranen 2004, 67.)

Hiontaa käytetään laajalti eri teollisuudenaloilla. Etuina voidaan pitää hyvää tarkkuutta. Menetelmällä voidaan valmistaa suurta tarkkuutta vaativia kappaleita ja päästään hyvin pieniin toleransseihin. Toinen etu on korkea aineen poistonopeus, joka on tärkeää tehtäessä suuria sarjoja. Lisäksi joissain tapauksissa hionta on ainoa käytännöllinen vaihtoehto viimeisteltäessä erityisen kovia materiaaleja. (Marinescu ym. 2007, 4.)

Hiontaan liittyy kuusi peruselementtiä, jotka ovat hiomakone, hiomakivi, työstettävä kappale, hiontaneeste, läpötila/ilmankestaus ja lastut. Hiomakivet ovat yleensä itseteroittuvia, mutta siitä huolimatta on väistämätöntä, että työstettävä kappale aina hiljalleen kuluttaa niitä. Kiven teroittamista kutsutaan timantoinniksi, siinä timanttiterällä poistetaan päällä oleva kulunut kerros hiomakiven pinnasta, jolloin alempi terävä pinta tulee esiin. Hionnassa lastut muodostuvat työstettävän kappaleen materiaalista, hionnassa käytettävästä nesteestä ja hiomakivestä irronneista hiomajyvistä. (Marinescu ym. 2007, 4–5.)

Hionnassa käytettävän nesteen tarkoituksena on vähentää kitkaa ja jäähdyttää prosessia. Näin hiomakivi kuluu vähemmän, eivätkä koneen tai työstettävän kappaleen lämpötilat nouse liikaa. Lämpötilojen nousu aiheuttaa materiaalejen laajenemista, jolloin valmistetun kappaleen mittatarkkus kärsii. Neste myös kuljettaa lastut pois työalueelta. (Marinescu ym. 2007, 5.)

Useimpia metalleja hiottaessa ilman lämpötilalla ja kosteudella on myös tärkeä merkitys kitkan vähentämisessä. Korkeissa lämpötiloissa hiljattain muodostetut metallipinnat ovat erittäin herkkiä vapauttamaan oksideja, jotka auttavat voitelemaan hiontaprosessia. Voisi helposti ajatella, että vain fyysiset tekijät ovat vaikuttavia, kuitenkin todellisuudessa sekä kemialliset että lämpötilasta riippuvat piirteet on myös hyvin tärkeää huomioida. (Marinescu ym. 2007, 5.)

Työstökone luo staattisia ja dynamisia rajoitteita työkalun ja työstettävän kappaleen välillä. Työstökoneen riittävä ”jäykkyys” on oikeastaan elinehto sille, että työstössä saavutetaan toleranssit geometrian, koon, kovuuden ja ”aaltoilevuuden” suhteen. Koneen värinä myös kuluttaa ja hajottaa hionnassa käytettävän kiven hiomajyviä. (Marinescu ym. 2007, 5.)

3.2 Pallohionnan kiinnityisperiaatteista

Kuten kaikessa työstössä, myös pallonhionnassa työkappale on kiinnitettävä siten, ettei se pääse liikkumaan tai irtoamaan kiinnittimestä työstön aikana. Vaikka koneen suojat olisivat asianmukaisesti käytössä, liikkuva tai irtoava työkappale on vaarallinen kaikille koneen lähellä oleville. Irtoava työkappale voi myös aiheuttaa koneelle mittavaa vahinkoa. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 149.)

Jokaiselle työkappaleelle on haettava juuri sille parhaiten soveltuva kiinnitysmenetelmä, koska kappaleeseen ei saa kiinnityksen puolesta aiheutua muotovirheitä tai jälkiä valmiisiin pintoihin. Hyvän kiinnityksen tunnusmerkit täytyvät, kun kiinnittäminen ja irrottaminen on mahdollisimman helppoa ja vaivatonta. Lisäksi kiinnityksen tulee olla ennen kaikkea turvallinen. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 149.)

Jotta edellä mainitut kiinnityspäätteet toteutuvat mahdollisimman hyvin, on syytä tarkastella myös itse hiontaprosessia. Hiontaprosessissa on lisäksi paljon muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat myös työstettävän kappaleen kiinnitykseen. Esimerkiksi työstettävään kappaleeseen ja sen kiinnittimeen kohdistuvat suuret voimat tai työstössä irtoavat leikkuunesteen mukana kulkevat lastut täytyy huomioida kiinnitystapaa mietittäessä.

3.3 Hiomakoneen rakenne

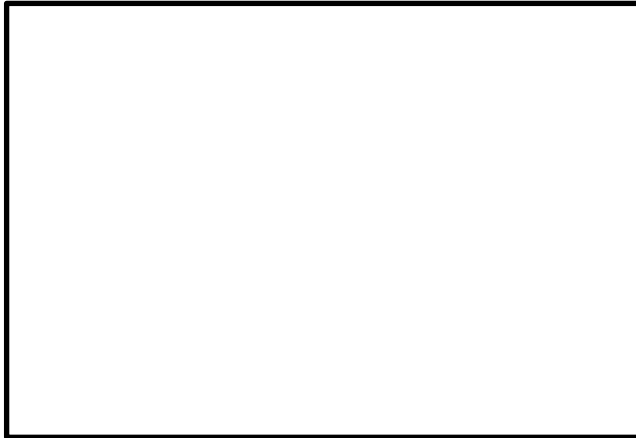
BGM-pallohiomakoneet on suunniteltu tarkkuutta vaativien venttiilipallojen valmistamiseen. Jopa 2100 mm halkaisijaltaan olevat pallot saadaan hiottua tehokkaasti. Koneistus tapahtuu segmentoiduilla hiomalaikoilla. Väriinättömän karan tehoalue on 22–90 kW. (Hiomakoneet 2014)

Tässä työssä tarkasteltavana olevaa yrityksen valmistamaa pallohiomakonetta käytetään siis venttiilipallojen valmistuksessa. Koneen avulla venttiilipalloihin pystytään viimeistelemään niiden tarvitsema tarkka pyöreys, mikä on koko palloventtiilin toiminnan kannalta välttämätöntä. BGM nimitys tulee englanninkielisestä sanasta: ”Ball Grinding Machine”, joka suomennettuna tarkoittaa pallonhiomakonetta. Mahdollisesti perässä oleva luku 400 tarkoittaa koneella hiottavan venttiilipallon suurinta mahdollista halkaisijaa. Alla yleiskuva koneen rakenteesta ilman suoja.



Kuvio 2. Koneen rakenne
(Esisuunnittelukuva).

Koneella suoritettava hionta tapahtuu pyörivällä hiomatyökalulla, jonka hiomaineena toimivat segmenttipalat. Hiomatyökaluista on olemassa hiottavasta pallosta riippuen muutamia eri malleja, mutta ainakin näillä näkymin kaikkien niiden kiinnitys ja vaihto pyörityskaralle tulisi tapahtumaan HSK:n kartiokiristysjärjestelmällä. Työkalun kiinnitysjärjestelmä ei siis ainakaan tässä vaiheessa vaadi erillisiä moduuleja.



Kuvio 3. Hiottava kappale ja hiomatyökalu
(Esisuunnittelukuva).

Kyseisessä yrityksessä työstettävän kappaleen kiinnitys on vielä hieman suunnitteluvaiheessa ja se tulee hieman vaihtelemaan sen mukaan, minkä tyyppinen venttiilipallo on kyseessä. Hiomakoneella on periaatteessa mahdollista hioa sekä varrellisia että kelluvia venttiilipalloja. Toteutus tulee vaihtelemaan riippuen siitä, minkä mallista venttiilipalloa ollaan valmistamassa. Varrellisissa palloissa varsi ja keskiökärkeä vasten tuleva uloke ovat valmiiksi koneistettuina yhdestä valukappaleesta. Näin ollen kiinnittämisen toteutus hiomakoneelle on varsin helppoa. Varsi voidaan kiinnittää sopivalla adapterilla suoraan pyörityskaralle joko pakan tai sopivan kartiokiristysjärjestelmän kautta. Kappaleen toisessa päässä olevaan ulokkeeseen porataan syvennys vapaasti pyörivää keskiökärkeä varten.

Niin sanottuun kelluvaan venttiilipalloon sen sijaan täytyy kiinnitystä varten yhdistää erillisiä komponentteja. Pylkille tehtävä kiinnitys täytyy toteuttaa kappaleen läpimenevän virtausaukon kautta. Tällöin tarvitaan jonkinlaisia adapteriosia, joilla kiinnitys saadaan pitäväksi sekä pyöritysvoima välitettyä karalta työkappaleelle.

Tarvitaan siis periaatteessa kaksi erillistä kiinnitysmenetelmää, jotta sekä varrellisten että kelluvien pallojen valmistus on mahdollista. Molemmissa vaihtoehtoissa voidaan käyttää samoja karapytkkiä, joten ainoa ero tulee siinä, miten hiottava aihio saadaan kiinnitettyä pyykkien välille. Kuten aiemmin mainittiin, varrellisten pallojen kiinnityksestä ei synny ongelmia. Tarvitsee ainoastaan päättää, mikä on paras tapa varren kiinnittämiseen pyörityskaralle. Tämä karalle kiinnitys tulee toteuttaa niin, että se soveltuu suoraan myös kelluvien pallojen kiinnittämiseen. Alla kuvassa 4. näkyy varrellinen venttiilipallo.



Kuvio 4. Varrellinen venttiilipallo
(Esisuunnittelukuva).

Yksi vaihtoehto kelluvan venttiilipallon kiinnityksestä olisi kiristää pallo läpimenoaukon kautta laippojen väliin. Toisen puolen laippaan tehdään kiinnitys kartiokiinnitintä tai pakkaa varten. Vastakkaiselle puolelle alla olevan kuvan 5 mukaisesti porattaisiin kolo MK5 keskiökärkeä vasten. Kiinnitysmenetelmän voidaan ajatella olevan hyvin samalainen kuin mitä sorvauksessa voisi käyttää, vaikka kyse onkin hionnasta. Seuraavan sivun kuviossa 6. on samasta kiinnityksestä läpileikkaus.



Kuvio 5. Kelluvan venttiilipallon kiinnitys
(Esisuunnittelukuva).



Kuvio 6. Kiinnityksen läpileikkaus
(Esisuunnittelukuva).

3.4 Erilaisista työkappaleen kiinnitystavoista

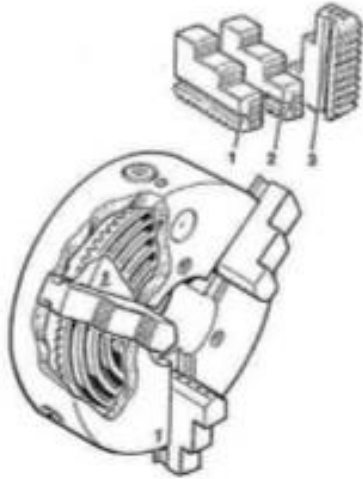
Seuraavana käsiteltäviä kiinnitysmenetelmiä voidaan ajatella käytettäksi yleisimmin sorvauksessa, kuitenkin edellä mainitusti työstettävän kappaleen kiinnitys hiomakoneelle toteutetaan kyseisellä periaatteella. Koneella valmistettavat venttiilipallot ja niihin kiinnitettävät adapteriosat ovat symmetrisiä, joten tällaisen kiinnitysmenetelmän käyttö on mahdollista. Kaikissa menetelmissä työkappale kiinnitetään karapylkän ja vapaasti pyörivällä keskittävällä kärjellä varustetun siirtopylkän väliin.

3.4.1 Kolmileukaistukka

Kolmileukaistukka on kohtuullisen monikäyttöinen kiinnitin. Lyhyet ja pyöreät työkappaleet voidaan helposti ja nopeasti kiinnittää suoraan kolmileukaistukan leukoihin. Kun kyseessä on pidempi työkappale, se voidaan esimerkiksi tukea istukkaa vasten keskiökärjen avulla. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 149.)

Aina kolmileukaistukkaa käytettäessä aihio täytyy saada kiinnitysvaiheessa asemoitua kiinnittimeen nähden siten, että kappaleen keskiö ja karan keskiö ovat samalla keskiviivalla. Edellä mainittu keskitys on helppo ja nopea tehdä itsekeskittävän kolmileukaistukan avulla. Leukojen kiristyessä kappaletta vasten kappale myös keskittyy. Keskitystarkkuus kolmileukaistukassa on yleensä muutamasta sadasosamillistä muutamiin kymmenesosamillimetreihin. Tämä riippuu kolmileukaistukan koosta ja yleisestä kuluneisuudesta. (Maaranen 2004,

117.) Hionnassa käytetään usein niin sanottuja pehmeitä leukoja, jotka esimerkiksi hiotaan mahdollisimman samankeskeisiksi karan pyörityskeskien kanssa. Samalla leuat myös muotoillaan mukailemaan kappaleen kosketuspinnan geometriaa. (Kitinoja 2014).



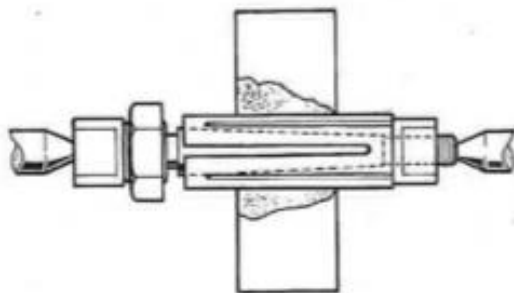
Kuvio 7. Kolmileukaistukka
(Maaranen 2004, 118).

Kolmileukaistukka sopii myös erinomaisesti NC-sorveihin, koska se on varsin helppo automatisoida toimimaan esimerkiksi hydraulisesti. Hydraulitoimisen istukan eduksi voidaan katsoa myös sen helppo lukittavuus pyörimättömäksi. (Maaranen 2004, 117.)

Silloin kun kiinnitettävä kappale on tarpeeksi pitkä, normaalin istukkakiinnityksen tueksi siirtopylkkään voidaan kiinnittää keskiökärki, jolla tuetaan työstettävän kappaleen toista päätä. On olemassa useita eri keskiökärkimalleja, mutta mallista riippumatta työstettävän kappaleen päähän tehdään keskiöreikä, jotta kärki saadaan sitä vasten mahdollisimman tukevasti. (Maaranen 2004, 118.)

3.4.2 Kiinnitys tuurnien avulla

Kiinnitys tehdään tuurnilla silloin, kun reikä ja ulkopinta on saatava samankeskeiseksi, tai kun ulkopintaa ei ole mahdollista saada valmiiksi yhdellä kiinnityksellä. Tuurnien nimitys vaihtelee niiden kiinnitystavan mukaan. Istukkaan tai karan kartioon kiinnitettäessä puhutaan varsituurnista. Kun tuurnat kiinnitetään kärkien väliin, kyseessä on kärkituurna. Alla kuvattuna mutterilla kiristettävän paisuntatuurnan rakenne. (Maaranen 2004, 119.)



Kuvio 8. Paisuntatuurna
(Maaranen 2004, 120).

Tavallisin tapa varsituurnien kiinnityksessä on kiinnittää ne joko suoraan pääkaran kartioon tai sitten istukkaan. Tuurna voidaan etukäteen valmistaa juuri kyseistä työstettävää kappaletta varten. Tuurnassa on olake, jota vasten työkappale kiinnitetään vaikkapa aluslevyn ja mutterin avulla. Kappaleen kiinnittäminen varsituurnan avulla perustuu kitkaan, joten olake ja aluslevy eivät saa olla liian pieniä verrattaessa varsinaiseen tuurna. (Maaranen 2004, 120.)

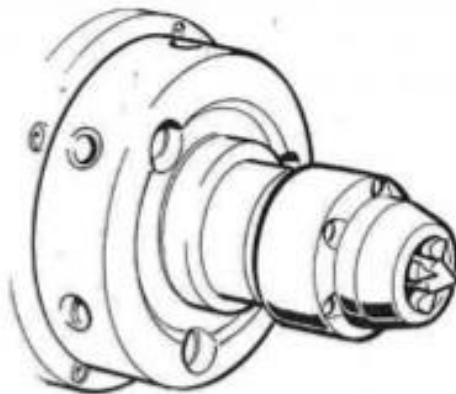
Kärkituurnat kiinnitetään kahden kärjen väliin. Kun kärkituurnia käytettäessä halutaan mahdollisimman suuri tarkkuus, täytyy molempien kärkien olla kiinteitä. Kärkituurnan huono puoli on, että lastuamisvoima ei saa olla kovin suuri. Tästä syystä sitä käytetäänkin useimmiten kappaleiden viimeistelyssä, jolloin riittää varsin vähäinen aineen poisto. (Maaranen 2004, 120.)

Koska kärkituurna on aina lievästi kartion muotoinen, työkappaleen kiinnittäminen tuurnalle on mahdollista siten, että tuurna joko puristetaan tai lyödään öljytyyn reikään. Kartiokkuutensa ansiosta tuurna kiristyy reikään. Kun kyseessä on

paisuntatuurna, kiinnitys tapahtuu myös kärkien väliin. Tuurnan hiukan kartiomaisessa osassa on joustavaksi uritettu holkki, jonka siirto tapahtuu mutterin avulla. Työkappale kiinnittyy, kun holkin ulkohalkaisija laajenee mutteria kiristettäessä. Paisuntatuurna on mahdollista toteuttaa myös hydraulitoimisesti puristamalla öljyä tuurnan ja holkin väliin. Näin holkki saadaan paisumaan ja työkappale kiinnittyy. (Maaranen 2004, 120.)

3.4.3 Kiinnitys vääntölaikan tai vetävän kärjen avulla

Joissain tilanteissa työkappaletta ei ole mahdollista kiinnittää istukkaan tai tuurnalle. Tällaisessa tilanteessa voidaan harkita kappaleen kiinnittämistä suoraan kahden kärjen väliin. Tämä vaatii kuitenkin sitä, että karapylkän puoleisen kärjen täytyy olla joko kiinteä kärki tai vetävä kärki. Karapylkän pyörimisliike on saatava välitettyä myös työkappaleelle, joten tarvitaan apulaitteita. Yleisimmin näissä tilanteissa käytetään joko vääntölaikkoja tai vetäviä kärkiä. Seuraavana kuva tartuntatapeilla toteutetusta vetävästä kärjestä. (Maaranen 2004, 121.)



Kuvio 9. Vetävä kärki
(Maaranen 2004, 121).

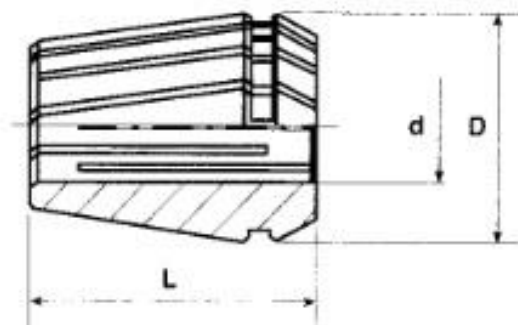
Vääntölaikkakiinnitys koostuu aina kahdesta osasta, jotka ovat itse vääntölaikka sekä erillinen vääntö. Vääntölaikka kiinnitetään istukkojen tapaan suoraan pyörityskaralle. Tämän kiinnityksen onnistuminen vaatii, sen että laikassa on joko tappi tai kolo, johon työstettävän kappaleen ympärille kiinnitettävä vääntö sitten

sopii. Näin vääntölaikan pyöriessä liike välittyy vääntiön kautta myös itse työkappaleelle. (Maaranen 2004, 121.)

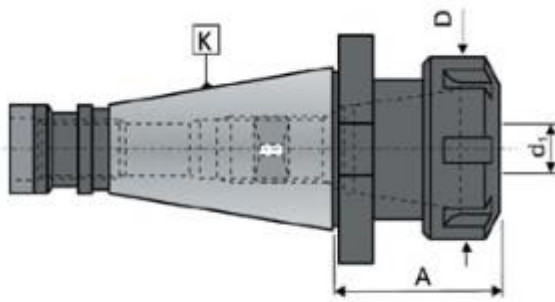
Kappaleille, joiden lieriöpinnan täytyy työstettäessä jäädä kokonaan vapaaksi, on mahdollista käyttää karan puoleiseen päähän asennettavaa vääntökärkeä. Sitä kutsutaan myös vetäväksi kärjeksi. Kyseessä on sisään painuva keskiökärki, jonka ympärillä on tartuntatappeja tai -uria. Työstettävän kappaleen otsapinta tulee tartuntatappeja vasten, jolloin kappale kiinnittyy ja se pyörii karan mukana. Tällaisessa kiinnityksessä tartuntatapit on saatava kunnolla painumaan työkappaleeseen, jotta kiinnitys on riittävän pitävä. (Maaranen 2004, 121.)

3.4.4 Kartioholkit

Työkalun kiinnittämiseen on olemassa myös useita erilaisia kiinnityskartioita. Yleisimpiä tällaisia kartioita ovat morsejärjestelmään kuuluvat työkalukartiot. Näitä ovat esimerkiksi porissa käytettävät kartiot. Kiinnitettäessä kartiopintojen tulee olla erityisen puhtaat ja sileät, koska kiinnitys tapahtuu näiden pintojen väliin muodostuvan kitkan avulla. Samalla myös pyöritysliike saadaan välitettyä karalta työkalulle. Seuraavassa kuvat ER-holkista sekä sen kanssa yhteensopivasta kartiovarrellisesta jyrsinistukasta. (Maaranen 2004, 51.)



Kuvio 10. ER-holkki
(Luettelo sivu 102 2014).



Kuvio 11. Jyrsinistukka ER-holkille
(Luettelo sivu 94 2014).

Edellisellä sivulla kuvassa 10 oleva ER-holkki kiristetään jyrsinistukan päässä olevan ruuvin kautta. Muotonsa vuoksi ER-holkki painuu kasaan, jolloin sen sisäpinnan ja sisällä olevan työkalun välille syntyy suuri kitkavoima. Itse kiristys tapahtuu erillisellä avaimella, joka on yhteensopiva kuvan 11 jyrsinistukan oikeanpuoleisen pään lovien kanssa. On olemassa istukoita, joihin on tehty kiinnitettävän akselin halkaisijan mukainen öljytila. Halkaisija saadaan kiinnitystä varten halutun kokoiseksi istukkaan asennettavan lieriömäisen vähennysholkin avulla. Niiden toimintaperiaate on hieman erillainen ja kartion supistaminen tapahtuu öljyn avulla. Holkki-istukan kiinnittymispinnan ja öljytilan välillä on ohut seinämä, joka antaa periksi ja paisuu kiinnitettävää työkalua päin, kun öljyn painetta nostetaan. Tämä tapahtuu kiristämällä istukan sivulla olevaa ruuvia, jolloin öljyn paine nousee. (Kitinoja 2014).

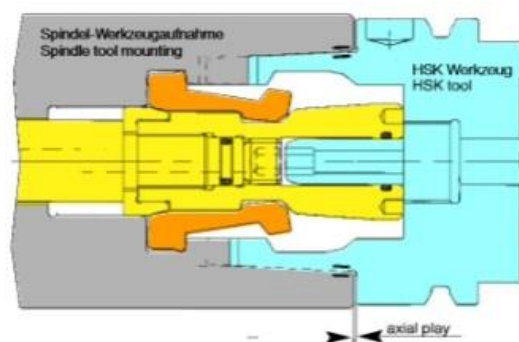
3.5 HSK kartiokiristysjärjestelmä

Lyhenne HSK tulee saksankielisestä sanasta: *Hohlshaftkegel*, jolla tarkoitetaan tarkoitetaan onttohartista kartiota. Kyseistä kiinnitinjärjestelmää käytetään pyöriville työkaluille. HSK-kiinnitinjärjestelmä soveltuu hyvin sekä manuaaliseen että automaattiseen työkalun vaihtoon. Etuna voidaan pitää muun muassa kiinnittimien tasaista suorituskykyä, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa erittäin hyvää toistotarkkuutta sekä radiaali että aksiaalisuunnassa. (Products 2014.)

Jotta HSK-työkalupidikkeen kiinnitys pyörityskaralle olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa on kehitetty automaattinen kartiokiristysjärjestelmä. Tämän avulla saadaan yhdistettyä työkalupidike suoraan pyörityskaralle. Järjestelmällä pystytään täyttämään nykyteollisuudessa vaadittavat tehokkuus, kulujen karsiminen ja tarkkuus, jolla varmistetaan työn laadun pysyminen mahdollisimman tasaisena. (RÖHM 2006, 6240–6241).

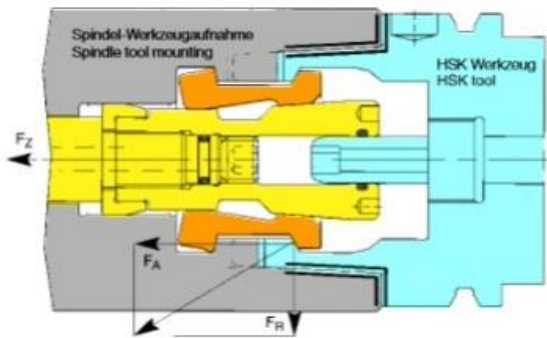
HSK:n valmistamista kartiokiristysjärjestelmistä on RÖHM:n kuvastoissa useita eri malleja, joille on omat kirjainkoodinsa. Mallit C ja D on tarkoitettu manuaalisesti kiristettäville työkaluille, A ja B automaattisesti kiristettäville ja E ja F suurilla nopeuksilla pyörítettäville työkaluille, joiden kiristys tapahtuu myös automaattisesti. Tässä tapauksessa automaattisella kiristyksellä tarkoitetaan HSK-työkalukiinnittimiä. Automaattisesti kiristettäville työkaluille tarkoitettu lukitusjärjestelmä kehitettiin alun perin täydentämään olemassa olevaa manuaalista järjestelmää. (RÖHM 2006, 6243-6248).

Periaatteessa kaikki edellä mainitut eri lukitusjärjestelmien mallit ovat varsin toimivia suurilla pyöritysnopeuksilla. Rakenne on toteutettu siten, että lukituksen aikaansaavat segmenttipalat on asennettu vastaamaan molempien istukkojen sisäpintoja. Tästä on erittäin paljon hyötyä, koska työkalun pyöriessä suurilla nopeuksilla keskipakoisvoima painaa segmenttipaloja nopeuden kasvaessa lujemmin pintoja vasten. Siis, mitä nopeammin työkalua pyöritetään, sitä lujemmin se pysyy kiinni. Tässä tapauksessa puhuttaessa erikseen suurille nopeuksille suunnitelluista malleista, on kyse lähinnä siitä, että kyseisien mallien symmetriaan ja tarkkaan tasapainotukseen on kiinnitetty erityisesti huomiota, jolloin pyöritys on tasaisempaa.



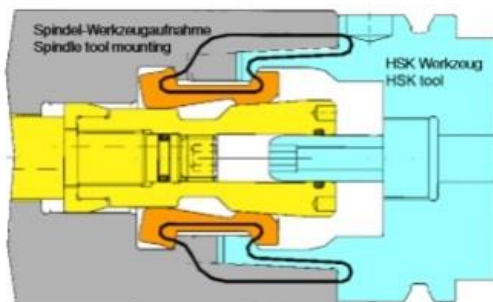
Kuvio 12. Kiinnitin auki-asennossa (RÖHM 2006, 6248).

Kiristysprosessi alkaa, kun jousipakka vetää vetotangon välityksellä kuvassa 13 olevaan suuntaan F_z . Tällöin holkkilaitte työntää holkin kiristyssegmenttejä ulospäin. Rakenteen vuoksi kiristyssegmenttien ahtautuessa holkkilaitteen ja työkalukiinnittimen pintojen väliin syntyy kontakti-alueet, jotka näkyvät kuvassa 14. Niin kauan kuin jousipakalla vedetään vetotankoa myös työkalu pysyy



Kuvio 13. Kiristysvaihe alkaa (RÖHM 2006, 6248).
kiinnittyneenä.

Tuotetut aksiaalivoimat F_A ja säteisvoima F_R vaikuttavat valmiiksi jännitettynä koko positiivisen kartion kaventumisalueella sekä aksiaalivoiman kontakti-alueella. Aksiaalisen kontaktivoiman osuus koko kiristysvoimasta on yli 80 prosenttia. Tämä selittää, miten merkittäviä aksiaalisen kontakti-alueen koko sekä kartion ja ontton varsinivelen riittävä jäykkyys ovat kriittistä kuormaa käsiteltäessä. (RÖHM 2006, 6248).

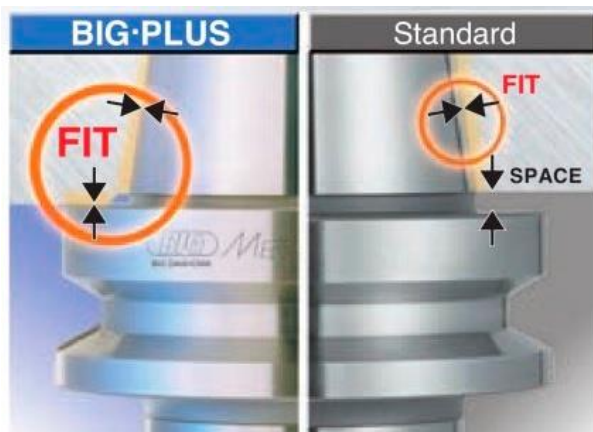


Kuvio 14. Työkalupidike kiristettynä (RÖHM 2006, 6248).

3.6 Big-Plus-kartiokiristysjärjestelmä

Nykyisin on maailmanlaajuisesti käytössä ISO-kartiokiinnitysjärjestelmiä ja niiden sovellutuksia. Ensimmäinen ISO-kartio kehitettiin vuonna 1927. Automaattinen työkalunvaihto mahdollistui 1960-luvulla tarttujaurien ja vetopilttien myötä. Käyttöön tuli kolme erillistä versiota, joita ovat: Aasiassa kehitetty MAS-BT, Euroopassa ISO/DIN ja Amerikassa CAT-V. Nykyisin kyseisiä järjestelmiä käytetään erityisesti idässä valmistettavissa työstökoneissa. Jyrkän kartion puuttellisuudet, kuten heikko kiinnitysvoima, johti lopulta uusien mallien kehittämiseen. (Tooling-systems 2014).

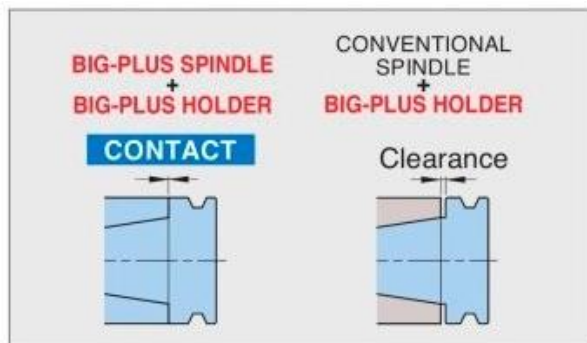
Japanilainen yritys nimeltä Big Daishowa on kehittänyt näiden BIG-järjestelmien pohjalta oman version, jota kutsutaan nimellä Big-Plus. Molemmissa peruseriaate on sama, mutta toisin kuin yleisissä, Big-Plus tukee työkalua myös sen otsapinnasta, jolloin kiinnitys saadaan selvästi tukevammaksi. Kuvassa 15 näkyy, miten Big-Plus-mallissa hyödynnetään yleismallissa työkalun ja karan välille vapaaksi jäävä otsapinta.



Kuvio 15. Big-Plus:n otsapintatuenta
(General-catalogs 2014).

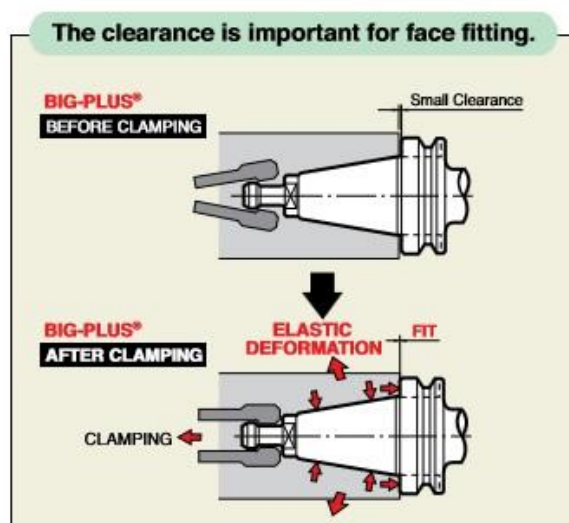
Yleismallin ja Big-Plus-mallin karoja sekä työkalupidikkeitä voidaan tarvittaessa käyttää myös toistensa kanssa ristiin. Rakenteen puolesta tämä on mahdollista, koska Big-Plus:n karoissa ja työkalupidikkeissä vastinpintaa on tuotu hiukan lähemmäksi toisiaan. Mikäli näin olisi tehty nostamalla vain toisen otsapintaa eivät perusmalli ja Big-Plus-malli enää mahtuisi kiinnittymään toisiinsa. Kuitenkin, mikäli tätä ristiin käyttämistä eri mallien välillä tehdään Big-Plus:n jää otsapinnan

tuennasta tuleva hyöty käyttämättä, kuten kuvio 16 osoittaa. (General-catalogs 2014).



Kuvio 16. Komponenttien ristiinkäyttö (Big-Plus tooling 2014).

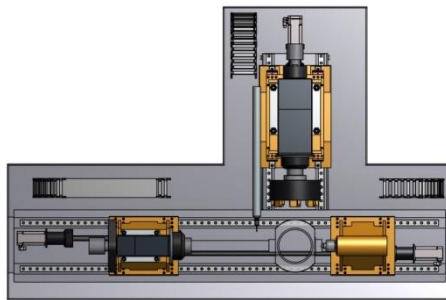
Kiinnitys saadaan pitämään tiukasti hyödyntämällä pyörityskaralle aiheutuvia elastisia muodonmuutoksia, joita aiheutuu vedettäessä työkalupidikettä karan suuntaisesti. Näin sekä työkalupidikkeen kavennus että otsapinta saadaan saman aikaisesti ja tasaisesti vastaamaan karan pintoja. Ennen kiristystä otsapinnat eivät mene aivan toisiinsa kiinni, koska työkalupidikkeen kartio on hiukan karan vastaavaa osaa suurempi. Kun kiristysmekanismilla vedetään, karassa oleva kartiopinta laajenee hiukan, jolloin se sopii yhteen työkalupidikkeen kartiopinnan kanssa. Kuviossa 17 on esitettyä tämä kiristysprosessi. (Big-Plus tooling 2014).



Kuvio 17. Työkalupidikkeen kiristys karalle (Big-Plus tooling 2014).

3.7 Kiinnitystavan valinta hiomakoneelle

Työkappaleen kiinnitysmenetelmän valintaan vaikuttavia kriteerejä ovat kiinnityksen pitävyys sekä kappaleen kiinnityksen ja irrotuksen helppous. Menetelmän täytyy olla mahdollisimman hyvin soveltuva koneen rakenteelle. Venttiilipallon hionnassa myös hyvä pinnanlaatu on erittäin tärkeä tekijä, joten kiinnitys ei saa millään tavoin vääristää kappaletta tai aiheuttaa sen valmiille pinnalle jälkiä. Valinnan mahdollisuuksia karsii myös koneen rakenne, jossa työkappale tulee kahden samalla lineaarijohteella liikkuvan pylkän väliin ja hiomatyökalun täytyy työkappaletta pyörittäessä tavoittaa koko venttiilipallon pyöreä pinta-ala täyden kierroksen aikana. Ainoat vaihtoehdot ovat siis joko kiinnittää työstettävä kelluva pallo karoille sen virtauaukon sisäpinnalta tai varrellinen pallo suoraan pylkkien väliin varresta ja vastakkaisella puolella olevasta ulokkeesta tuettuna.



Kuvio 18. Hiomakone ylhäältä kuvattuna
(Esisuunnittelukuva).

Tuennasta halutaan aina mahdollisimman tukeva, joten mitä lähemmäksi pylkkiä työkappale kiinnitetään sitä parempi. Näin ollen on molemmissa tapauksissa varmasti järkevintä kiinnittää hiottavan kappaleen toinen sivu kuvassa 18 olevaa oikean puolimmaista siirtopylkkää vasten keskittävällä vapaasti pyörivällä kärjellä. Kuten edellä mainittiin, hiomatyökalun täytyy tavoittaa koko sitä päin oleva työkappaleen pyöreä pinta, joten käytettävän laikan täytyy olla hieman työstettävää kappaletta suurempi. Hiomatyökalu ei missään olosuhteissa saa osua pyörityskaralla oleviin kiinnittimiin, mikä voisi tapahtua etenkin hiottaessa pienempiä venttiilipalloja, jos kiinnitysmatka karalta työkappaleeseen on liian lyhyt.

Kiinnityksen apuna voitaisiin kelluvia palloja hiottaessa käyttää erillisiä lisäholkkeja, joiden avulla saadaan sopivasti lisämatkaa aihion ja pyörityskarän välille. Työkappaleiden vaihto halutaan pitää mahdollisimman automaattisena, mikäli pakkaa halutaan tässä tapauksessa käyttää, siihen täytyy kytkeä kiristuksen toteuttava hydraulikka. Tosin suurten pyöritysnopeuksien takia hiomatyökalun kiinnitystä varten koneessa on jo entuudestaan käytössä HSK:n valmistama kartiokiristysjärjestelmä, joten vastaavien komponenttejen käyttö myös työkappaleella olisi järkevä vaihtoehto. Kappaleen vaihto halutaan pitää mahdollisimman automaattisena, joten manuaalisesti karalle kiinnitettävät komponentit eivät tule kysymykseen.

Pitämällä kappaleen vaihto mahdollisimman automaattisena ja nopeana parannetaan suuria sarjoja valmistettaessa huomattavasti koneen käyttöastetta. Silloin seuraava työkappale voidaan valmistella jo ennakkoon ja vaihtaa suoraan koneelle ilman erillistä manuaalista kiristystä. Samalla pienenee myös riski kappaleen liikkumiselle tai irtoamiselle, koska koneeseen kiinnitys tapahtuu automaattisen kartiokiristysjärjestelmän kautta.

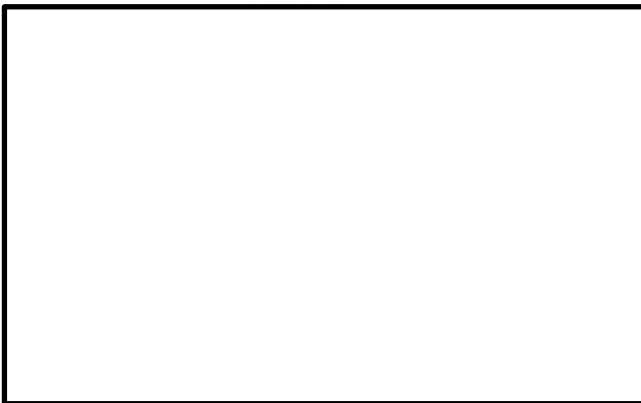
Kartiokiristysjärjestelmän kautta molempien mallien kiinnitys pyörityskaralle voidaan toteuttaa työkalupidikkeeseen kiinnitetyn hydraulisen holkki-istukan avulla. Istukan tulee mieluiten olla hydraulinen, jotta kiristys saadaan tarpeeksi lujaksi ja samalla saavutetaan riittävä tarkkuus. Työkappaleessa valmiina oleva kiinteä varsi, tai kelluvan pallon tapauksessa siihen liitetty adapteriosa, kiristetään suoraan tähän istukkaan. Näin työkappaleen kiinnityksestä tulee tukeva ja sen vaihto on nopeaa.

Hiottavan venttiilipallon mallista riippumatta sen siirtopylkän puoleinen pää on helpointa tukea vapaasti pyörivää keskiökärkeä vasten. Tämä voidaan toteuttaa samoin molemmille eri malleille. Kappaleen tai laipan keskelle porataan kolo, jonne kärki sopii. Reiän avulla kappaleen tämä pää saadaan hyvin keskitettyä ja sen kiristäminen on helppo toteuttaa. Kartiokiristysjärjestelmään kiristetty pyörityspylkän puoleinen pää on niin tukeva, että se jaksaa kannatella kappaletta, vaikkei toinen pää ole vielä tuettuna. Näin lopullinen kiristys kärkeä vastaan saadaan tehtyä ajamalla karapylkkiä toisiaan päin siten, että kärki osuu koloonsa ja työkappale paikoittuu hionnan kannalta halutulle kohdalle.

Edellä mainitusti kelluvien pallojen kiinnitys on toteutettava adapterilla virtausaukon kautta. Tällainen adapteri voisi koostua esimerkiksi kahdesta keskittävästä laipasta. Pyöritysmomentti saadaan laippoja käytettäessä välittymään, kun toisen pään laippa on kiinteä ja toinen vedetään siihen ruuvilla kiinni. Aihio jää tiivistä puristuksiin niiden väliin. Kuviossa 19 kelluva venttiilipallo, joka on kiinnitetty virtausaukon kautta laippojen väliin. Alemmassa kuvassa 20 on suurennettuna tällaisen tuennan toteuttamisen kannalta vaadittava tuenta. (Sepponen 2014).



Kuvio 19. Kelluvan venttiilipallon adapterisointi
(Esisuunnittelukuva).



Kuvio 20. Olakkeiden kontakti
(Esisuunnittelukuva).

Toinen vaihtoehto olisi toteuttaa kiinnitys paisuvalla pallon läpi menevällä tuurnakselilla, jossa on erillinen virtausaukkoa varten muotoiltu kiristysosa. Siirtopylkin puoleiseen päähän tehdään kärkeä varten keskiöreikä. Tuurnan pyörityskaranteen puoleisen pään tulee olla hieman soikean muotoinen, jolloin pyöritys saadaan välitettyä, kun työkalupidikkeessä on sitä varten muotoiltu vastinosa. Kappaleen kiristys tapahtuu ajamalla pylkkiä toisiaan päin, jolloin tuurnan kartiopinta paisuttaa

kiristysosaa. Ongelmaksi voi muodostua se, onko tämä kiinnitys riittävän pitävä, ettei työkappale pääse liikkumaan. Laippojen käyttö on varmasti järkevämpää. Sekä laippoja että tuurna-akselia käytettäessä virtausaukon täytyy olla valmiiksi koneistettu. Alla kuvassa 21 yksi vaihtoehto tällaisesta tuurna-akselista.



Kuvio 21. Tuurna-akseli
(Esisuunnittelukuva).

Käytössä laajalti oleva niin sanotut yleiset ISO-kartiojärjestelmät voidaan sulkea heti pois laskuista jo sen perusteella, että Big-Plus on niistä suoraan paranneltu ja pidemmälle kehitetty versio. Molempien sekä Big:n että Big-Plus:n karojen ja työkalupidikkeiden ollessa yhteensopivia sekään, että asiakkaalla olisi jo valmiiksi käytössä yleisen mallin Big:n komponentteja, ei tue Big:n valintaa tähän kyseiseen koneeseen. Muutenkin olisi varsin suositeltavaa käyttää ainoastaan Big-Plus:n komponentteja, jotta kiinnityksen pitävyyden kannalta tärkeä otsapintatuenta toteutuu.

Aiemmin tarkastelluista vaihtoehdoista siis sopivimpia ovat HSK:n ja Big-Plus:n kartiokiristysjärjestelmät. Molemmissa työkalupidikkeen kiristys ja irrotus pyörityskaralta on toteutettu samantyyllisellä periaatteella. Työkalupidikkeet pysyvät kiinnitettyinä niin kauan, kun järjestelmässä on veto päällä. Kummassakin vaihtoehdossa hyödynnetään kohtuullisen laajoja kontaktipintoja, eli työkappaleen kiinnipysymisen kanssa ei varmasti tule ongelmia. HSK on Big-Plus:aa parempi suurilla nopeuksilla työstettäessä, koska toisin kuin Big-Plus:ssassa HSK:n kiinnitys on toteutettu tarttumalla työkalupidikkeen sisäpinnalle. Tämän ansiosta suurilla pyöritysnopeuksilla keskipakovoima vääntää kierrosten noustessa segmenttipaloja aina vain tiukemmin pintaa vasten.

Big-Plus:n erityisen hyvänä puolena on sen tukeva rakenne. Työkalupidike on lähestulkoon umpinaista materiaalia, joten se on erittäin kestävä. Sivujen 20–21 kuvista näkee, että HSK:ssa on kohtuullisen ohuet seinämät, joten se ei ole läheskään yhtä kestävä. Kun tätä verrataan sivun 23 Big-Plus:n vastaavaan rakenteeseen, ero on todella merkittävä.

Merkitsevin ero näiden kahden järjestelmän välille kuitenkin tulee, kun tiedetään että kyseisen koneen hiomatyökalun kiinnitys toteutetaan juuri HSK:n valmistaman kartiokiinnitysjärjestelmän kautta. Hiomatyökalujen kiinnityksessä käytetään HSK 100 -kartioita, jotka ovat suoraan kokonsa puolesta varsin soveltuvia myös hyödynnettäväksi hiottavan kappaleen kiinnityksessä. Näin ollen kyseiseen järjestelmään kuuluvia komponentteja on jo valmiina varastossa, joten varaosien saanti on helpompaa.

Mikäli siis asiakkaalla ei ole erikseen jotain tiettyjä vaatimuksia kartiokiristysjärjestelmään liittyen, hiomakoneeseen on parasta valita HSK:n valmistamat karat ja työkalupidikkeet. Suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tarvittaessa täytyy olla mahdollisuus käyttää myös esimerkiksi Big-Plus:n järjestelmää. Etenkin karoissa olevien erojen takia pyörityspylkkä on hyvä suunnitella siten, että siihen voidaan tarpeen tullen asentaa jonkin muun valmistajan kara, ilman että pylkän rakenteeseen täytyy tehdä kovin isoja muutoksia.

3.8 Kiinnityksen sovellutus tarkasteltavalle hiomakoneelle

Hiomakoneella täytyy siis pystyä hiomaan sekä varrellisia että niin sanottuja kelluvia venttiilipalloja. Kuten aiemmin jo todettiin, näiden karapylkkien väliin toteutettava kiinnitys ei tule toisessa olevasta kiinteästä varresta huolimatta eroamaan periaatteessa mitenkään toisistaan. Molemmat kiinnitetään pyörityskaralle HSK:n valmistaman kartiokiinnitysjärjestelmän välityksellä työkalupidikkeeseen kiinnitettävän hydraulisen holkki-istukan kautta. Sekä varrellisen venttiilipallon varsi että kelluvan pallon kiinteä laippa kiristetään suoraan tähän istukkaan. Kummassakin tapauksessa aihion toinen pää tulee

kappaleeseen poratun kolon välityksellä siirtopylkällä olevaa keskittävää vapaasti pyörivää kärkeä vasten.

Työkappaleen lopullisessa hiontaa varten tulevassa kiristyksessä kiinnitetään ensin pyörityskarän puoleinen pää HSK:n kiinnittemelle. HSK:n kautta toteutettava kiinnitys on sen verran tukeva, että kappale pysyy paikoillaan tarpeeksi hyvin, jotta karapyykkien ajo voidaan tehdä ilman erillistä kappaleen toisen pään kannattelua. Pylkkien ajon lopussa täytyy varmistaa, että keskiökärki varmasti osuu kunnolla sitä varten tehtyyn keskiökoloon.

Kelluvia venttiilipalloja valmistettaessa hiottava aihio kiristetään ruuvien avulla kahden laipan väliin, joista pyörityskarän puoleinen on kiinteä ja hieman kartiomainen, kuten sivun 26 kuvasta 19 käy ilmi. Kartiomaisen muodon ja ruuvattavassa lisälaipassa olevan olakkeen ansiosta tämän systeemin riittävä kiristäminen on mahdollista. Kuvan 20 mukaisesti tämä olake tulee pallon läpivirtausaukon reunaa vasten, jolloin se ei pääse liikkumaan ruuvia kiristettäessä. Näin ollen kiristys aiheuttaa kiinteän laipan kartion puristumisen läpivirtausaukon toista reunaa vasten. Näin syntyy suuri kitkavoima, jonka ansiosta pyörityksen momentti saadaan välitettyä myös työkappaleelle.

4 LUJUUS- JA VÄRÄHTELYTARKASTELU

Tässä osiossa tarkastellaan yrityksen pallonhiomakoneen työkappaletta pyörittävän karapylkän staattista ja värähtelykäyttäytymistä hiottaessa. Tarkastelussa esitetään karapylkälle aiheutuvat muodonmuutokset sekä siihen vaikuttavat voimat. Värähtely-osiossa määritetään hiottavalle kappaleelle ja sen kiinnityksille ominaistajuudet. Tämän jälkeen tutkitaan, minkälaisilla taajuuksilla työkappaletta pyörittävää moottoria olisi hyvä käyttää, siten että karan pyörimisen aiheuttamat herätetaajuudet olisivat riittävän kaukana rakenteen ominaistajuuksista.

Sekä lujuus- että värähtelytarkastelu on suoritettu FEM-laskentana. Lujuustarkastelut tehtiin Autodesk Inventor ohjelmiston Stress analysis työkalulla, josta laskentamalliksi valittiin Static Analysis. Värähtelytarkasteluissa käytettiin samaa työkalua, mutta analyysimallina oli Modal Analysis. Analyyseissä on toisiinsa nähden eroja, joista kerrotaan lisää myöhemmin.

4.1 Lujuusoppi

Lujuusopin tarkoituksena on tutkia erilaisten kappaleiden mekaanista käyttäytymistä, kun ne ovat jonkin ulkoisen kuormituksen alaisina. Sen avulla pystytään selvittämään kiinteiden kappaleiden sisäisiä voimajakaukia eli jännityksiä, kun kappale on levossa tai liikkeessä. Jännitykset aiheuttavat kappaleelle kuormituksia ja sitä kautta myös muodonmuutoksia, jotka kappaleen täytyy kestää ilman pysyviä tai liian suuria muutoksia. (Salmi & Pajunen 2010, 13.)

Lujuusoppi on yksi teknillisen mekaniikan haara, jossa keskitytään kiinteän aineen eli solidin mekaniikkaan, joka voidaan vielä jakaa ajasta riippuvan ja ajasta riippumattoman materiaalin lujuusoppiin. Näillä solideilla on aina olemassa jonkin asteinen lujuus ja jäykkyys, mikä johtaa siihen, että ne kestävät ilman suuria muodonmuutoksia tai murtumista tiettyyn rajaan saakka ulkoisen kuorman vaikutusta. Lujuusopin teoria perustuu yleisen mekaniikan ja erityisesti statiikan periaatteisiin. (Salmi & Pajunen 2010, 13–15.)

Lujuusopin peruskäsitteiden venymän ja puristuksen avulla voidaan kokeellisesti todeta, että venytetyssä tai puristetussa kappaleessa tapahtuu myös poikittaissuunnassa laajenemista tai kutistumista sauvan pituussuuntaisen venymän lisäksi. Tätä pitkittäis- ja poikittaissuuntaisten venymien suhdetta merkitään yleisesti käyttäen sen vastalukua, jota kutsutaan POISSON:in luvuksi ja sen symboli on ν . (Salmi & Pajunen 2010, 29.)

Tilanteessa, jossa kappaletta kuormitetaan riittävästi siihen syntyy muodonmuutoksia ja samalla sen sisälle muodostuu rasiituksia, jotka pitävät sen myös koossa. Tarpeeksi kovassa rasiitustilanteessa kappaleen pituus L muuttuu ulkoisen voiman johdosta sen suuntaisesti matkan ΔL verran, jolloin venymä voidaan määrittää yhtälöstä: (Salmi & Pajunen 2010, 33.)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

Mikäli kappale leikataan kahteen osaan, sen leikkauspinnossa vaikuttaa rasiituksena normaalivoima, jonka symboli on N . Kun tunnetaan poikkileikkauksen ala A voidaan poikkileikkaukselle määrittää jännityskenttä: (Salmi & Pajunen 2010, 33.)

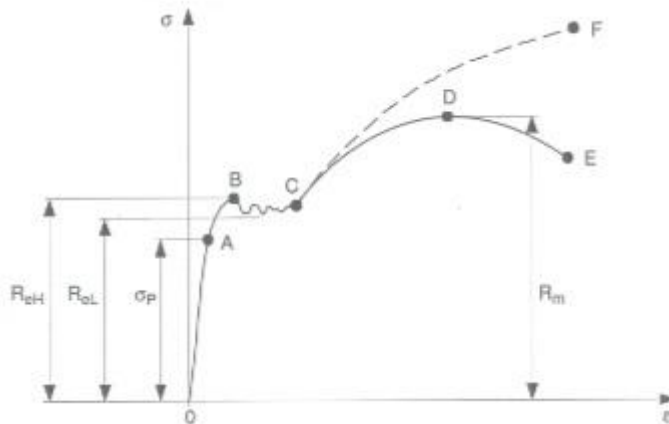
$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2)$$

Tässä vaiheessa on selvää, että venymällä ja jännityksellä on olemassa yhteys. Tätä yhteyttä kutsutaan jännitys-venymäyhteydeksi ja siitä voidaan kirjoittaa niin sanottu materiaaliyhtälö muodossa: (Salmi & Pajunen 2010, 33.)

$$\sigma = \sigma(\varepsilon) \quad (3)$$

Useiden rakennemateriaalien materiaaliyhtälö on juuri edellä mainittua muotoa, jossa tavallisissa käyttöolosuhteissa jännitys on riippuvainen ainoastaan materiaalin venymästä. Joidenkin materiaalien kohdalla yhtälöä on kuitenkin täydennettävä siten, että otetaan huomioon esimerkiksi lämpötilan tai venymänopeuden vaikutukset. Kokeiden perusteella on myös muodostettu eri materiaaleille kuvaajia, joista käy ilmi venymän materiaalille aiheuttamat

muutokset, kun jännitystä kasvatetaan. Nämä käyrät eroavat toisistaan merkittävästi riippuen siitä, onko materiaali esimerkiksi sitkeää, kuten useat teräkset, vai onko kyseessä hauras materiaali kuten esimerkiksi betoni. Seuraavassa kuvassa 22 tyypillinen sitkeän teräksen venymäpiirros. (Salmi & Pajunen 2010, 33–35.)



Kuvio 22. Teräksen venymäpiirros
(Karhunen ym. 2006, 19).

Yleisesti lujuuslaskentatehtävän tavoitteena on ratkaista kuormituksista aiheutuvat rakenteen siirtymätilakenttä, muodonmuutostilakenttä ja jännitystilakenttä, kun on tiedossa, miten rakenne on tuettuna. Lujuusopin perusteorioilla on periaatteessa mahdollista ratkaista mikä tahansa edellä mainituista kentistä. Tosin käytännössä tavanomaisten matemaattisten funktioiden avulla ei kuitenkaan ole mahdollista saada laskettua tarkkoja arvoja monimutkaisille rakenteille, vaan joudutaan tyytymään jollakin menetelmällä muodostettuun likimääräiseen ratkaisuun. (Estlander 2014, 1.)

Kappaleen pisteen yleinen jännitystila voidaan aina jakaa kahteen osaan, pallomaiseen kappaleen tilavuutta laajentavaan osaan sekä deviaattoriosaan, joka vääristää kappaleen muotoa. Kuormitettaessa kimmoisaan materiaaliin syntyy muodonmuutoksia, jolloin kappaleeseen varastoituu kimmoenergiaa. Osa tästä energiasta liittyy kappaleen tilavuuden muuttamiseen ja loppu sen muodon vääristämiseen. Deviaattoriosuuden tekemä työ varastoituu kappaleeseen sen muodon vääristymisenergiانا. Tämän energian tilavuustiheyttä kutsutaan kappaleen pisteen vääristymisenergiatiheydeksi. (Salmi & Pajunen 2010, 335.)

Vääristymisenergiatiheyden avulla on muodostettu myötöehto, joka nykyisin tunnetaan yleisesti Von Misesin myötöehtona: ”Materiaali myötää sellaisessa pisteessä, jossa pisteen vääristymisenergiatiheys saavuttaa kyseiselle materiaalille myötämisen suhteen kriittisen arvon.” Myötöehdosta käytetään myös nimitystä vakiovääristymisenergiahypoteesi, jonka lyhenne on VVEH. Erinäisten yhtälön johtamisten jälkeen saadaan lauseke, josta voidaan ratkaista 3-akselisen jännitystilän vertailujännitys. (Salmi & Pajunen 2010, 335–337.)

$$\sigma_{\text{vert}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]} \quad (4)$$

4.2 Elementtimenetelmät

Lujuuslaskennassa usein ongelmallisiksi muodostuvien suurten tai monimutkaisten rakenteiden tarkastelua varten on kehitetty elementtimenetelmä. Elementtimenetelmä on erittäin käytännöllinen, kun ratkaistavana on monimutkainen tai iso rakenne. Rakenne jaetaan pienempiin osiin, joita kutsutaan elementeiksi. Elementtimenetelmän huonona puolena voidaan pitää sitä, että sen käyttö johtaa varsin usein suurien yhtälöryhmien ratkaisemiseen. Mikäli tämä ratkaiseminen halutaan tehdä kunnolla laskenta on lähestulkoon aina suoritettava tietokoneavusteisesti. (Tervonen 2011, 4.)

Nykyään elementtimenetelmää voidaan pitää selkeästi käytetyimpänä numeerisena laskentamenetelmänä lujuusopin ongelmien ratkaisussa. Lyhenne FEM tarkoittaa elementtimenetelmää ja se tulee englanninkielisestä termistä Finite Element Method. Käytössä on myös toinen lyhenne FEA, jolla tarkoitetaan samaa asiaa. Myös se on lyhenne termistä Finite Element Analysis, joka on suomennettuna ääreellisten alueiden menetelmä. (Tervonen 2011, 8.)

Yleensä, kun FEM:in avulla analysoidaan ristikkorakenteen statiikka, tulee eteen yhtälöryhmä, josta tunnetaan kuormituksia, mutta siirtymäsuureet ovat tuntemattomia. Elementtimenetelmän perusyhtälöryhmä esitetään yleensä matriisimuodossa, jolloin se on selkein ja näyttää seuraavalta: $\{P\} = [K]\{U\}$, missä $\{P\}$ kuvaa rakenteelle tulevia kuormia, $[K]$ kuvaa rakenteen jäykkyyttä ja $\{U\}$

siirtymävektori. Rakenteen siirtymätilan kautta pystytään ratkaisemaan rasiusten muodostamat jännitystilat. (Tervonen 2011, 8.)

Tämän jälkeen yksittäisille elementeille voidaan käyttää samaa tasapainoyhtälöä $\{F\} = [k]\{u\}$, joka toimii myös isoille koko rakenteille. Tosin se kirjoitetaan hieman eri tavalla. (Tervonen 2011, 10.)

4.3 Pyörityskarapylkän lujuustarkastelu

Hionnassa karapylkkä voidaan ajatella painettavan toisiaan vasten, jolloin työstettävä kappale pysyy kiinnittyneenä. Molemmat työkalun kiinnityksessä- ja pyörityksessä käytettävät pylkät on kiinnitetty samoille kahdelle lineaarikuulajohteelle. Pylkät siirtyvät siis vain toisiaan päin tai toisistaan poispäin.

Molemmilla karapylkillä on siirtymistä varten oma moottori ja siirtymä toteutetaan kierretangon avulla. Moottorit ovat saman kokoisia ja molemmista saadaan maksimissaan 4400 N voimaa lineaarijohteen suuntaisesti. Kuitenkin karapylkälle on mahdollista kohdistaa maksimissaan 4400 N:n voima, koska voiman ollessa suurempi moottori ei enää jaksaisi pitää vastaan. Suurin voima siis kohdistuu karapylkälle sen ollessa lukittuna paikoilleen ja siirtopylkkää ajetaan sitä päin maksimaalisella voimalla. Oletetaan, että johteet, johdekelkat tai pylkkien välissä oleva työkalukappale eivät jousta eikä moottoreille aiheudu tehon häviöitä.

Kaikki lujuus- ja värähtelytarkastelussa mukana olleet hiomakoneen komponentit ovat samaa materiaalia. Autodesk Inventor -ohjelmassa materiaalia kuvataan englanninkielisellä termillä: Steel, High Strength Low Alloy, joka suomennettuna tarkoittaa lujaa matalaseosteista terästä. Laskennassa tämän materiaalin tiheys on $7,84 \text{ g/cm}^3$ ja myötöraja 275,8 MPa.

4.3.1 Laskenta

Edellisten päätelmien perusteella siis voidaan tarkasteltavalle karapylkälle laittaa karan keskohtaa päin kohtisuorassa oleva voima, joka on suuruudeltaan 4400 N. Tarkastelussa käytettävä malli on karsittu eikä siinä ole karaa kiinni, joten voima

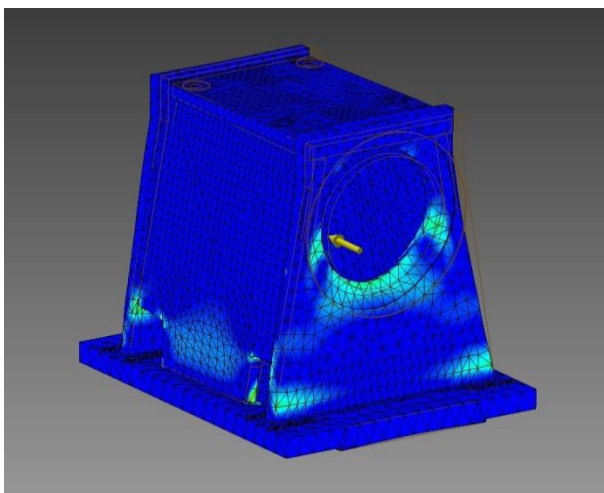
asetetaan kohtisuoraan karaa varten olevan reiän hieman syvennettynä olevaa otsapintaa vastaan. Oletetaan myös, ettei johteissa tai muualla tapahdu joustoja. Nyt karapylkkä voidaan laittaa pohjastaan jäykästi tuetuksi.

Simulointi tehdään Stress Analysis -työkalulla. Kun halutaan saada selville kappaleen lujuuskäyttäytymistä, valitaan ohjelmasta laskentamalliksi Static Analysis. Tällöin laskennalle voidaan antaa useita erillisiä kuormia ja voimia. Tämä kyseinen malli on myös kohtuullisen luotettava määritettäessä voimista kappaleelle aiheutuvia siirtymiä.

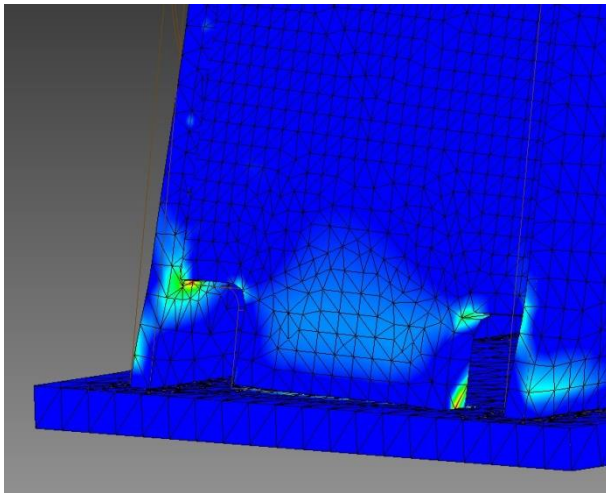
Asetetaan lujuustarkastelussa tarvittavan niin kutsutun mesh-verkon elementin keskimääräinen suhteellinen koko 0,05:een ja prosenttiluku, joka on suurin sallittu laskentatulosten hajonta arvoon 5 prosenttia. Koko karapylkkä on samaa materiaalia, joka on Autodesk Inventorissa kuvattu niukasti seostetuksi suurilujuusteräkseksi. Myötölujuus tällaisella teräksellä on 275,800 MPa.

4.3.2 Jännitystilat

Jännitystilojen ja siirtymien tulosten esityksessä on käytössä Autodesk Inventorin asetus: *adjusted*, jonka arvo on x1. Havainnollistamisen takia asetus näyttää voimien kappaleelle aiheuttamat siirtymät huomattavasti suurempina kuin ne oikeasti ovat. Laskennan perusteella karapylkälle suurin syntyvä jännitys on 2,9 MPa. Tämä punaisella merkittävä suurimmin jännittyvä kohta muodostuu pylkän otsapinnan ja sivun väliseen saumakohtaan, joka näkyy kuvassa 24. Kuten kuvasta voidaan todeta, oikeastaan kaikki suurimmat jännitykset syntyvät juuri saumakohtiin, tai hieman syvennetylle karan läpimenoireiän otsapinnalle, jota vastaan voima on kohtisuorassa ja materiaali ohuimmillaan.



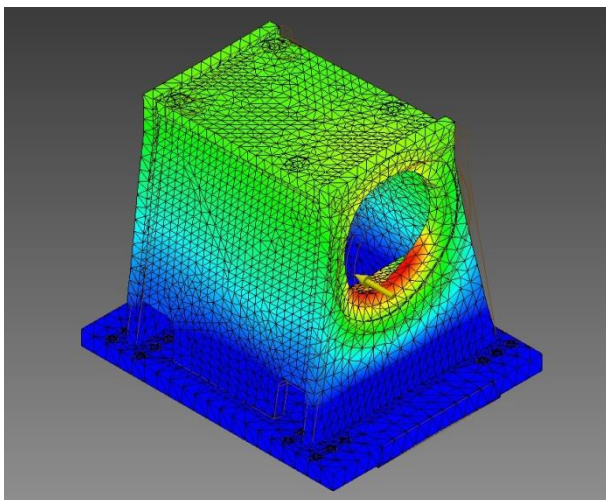
Kuvio 23. Karapylkän jännitykset.



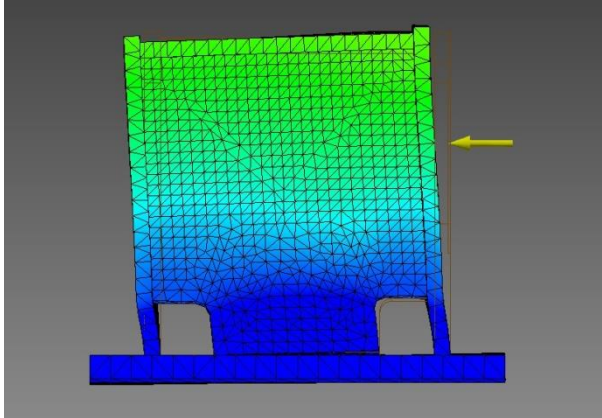
Kuvio 24. Suurin jännitys.

4.3.3 Siirtymät

Voimien karapylkälle aiheuttama suurin siirtymä on 0,004 mm, eli käytännössä voimat eivät kykene juurikaan taivuttamaan karaa. Suurin siirtymä aiheutuu kavennetulle karan läpimenoireijälle, jota vastaan voima on kohtisuorassa. Kuviossa 25 on punaisella esitettyä suurimmat siirtymät. Kuviossa 26 kuvataan karapylkkää sivulta päin. Siitä käy hyvin ilmi, miten z-akselin suuntaan vaikuttava voima taivuttaa pylkkää. Kuvassa voimaa merkitään keltaisella nuolella.



Kuvio 25. Karapylkän siirtymät



Kuvio 19

4.3.4 Tulosten arvointi

Tulosten mukaan suurimmat karapylkälle aiheutuvat jännitykset tulevat pylkän otsalevyn ja sivulevyjen alareunoille sekä otsalevyssä olevan syvennyksen alareunaan, kuten kuviossa 23 käy ilmi. Voima vaikuttaa suoraan z-akselin suuntaisesti, joten myös siirtymät ovat samansuuntaiset. Pohjalevy on tuettu liikkumattomaksi, joten siirtymät kasvavat pylkän yläreunaa kohti mentäessä.

Sivulla oleva levy ei mahdu suoraan siirtymään positiivisen z-akselin suuntaisesti, joten se alkaa hieman erkaantua pohjalevystä, kuten kuviossa 24 näkyy. Samalla tämän vaikutuksesta kuviossa 24 katsottuna sivulevyn oikean puoleinen alanurkka alkaa nousta ja siten puristua otsalevyä vasten. Molemmat levyt siis painuvat toisiaan vasten, jolloin syntyy puristusjännitys, joka on arvoltaan 2,9 MPa ja samalla suurin karapylkälle aiheutuva jännitys kyseisessä tapauksessa.

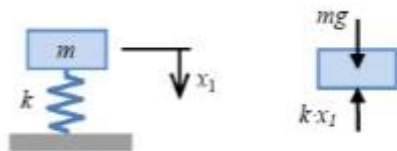
Voiman karapylkälle aiheuttamat siirtymät siis kasvoivat sitä mukaa, mitä kauemmas pohjalevystä mennään, kuten edellisessä kappaleessa on todettu. Tästä huolimatta suurin siirtymä, joka on arvoltaan 0,004 mm muodostuu pylkän otsalevyssä olevan syvennyksen alareunalle, kuten kuvassa 25 näkyy. Syvennyksessä materiaalin paksuus on 17 mm, kun muualla pylkässä se on 20 mm.

Materiaalin paksuudella on suora vaikutus siirtymän suuruuteen. Kun pylkkään vaikuttava 4400 N:n voima on vielä asetettu kohtisuoraan tätä karaa varten olevaa

syvennystä vastaan, on hyvin selvää, että suurin siirtymä muodostuu tälle pinnalle. Vaikka voima vaikuttaakin yhtä lailla koko edellä mainitulle pinnalle, kuvasta 25 katsottuna pinnan lähinnä pohjalevyä olevissa kohdissa tapahtuva siirtymä on suurempi kuin kauempana pohjalevystä. Sama ilmiö, joka vaikuttaa muissakin pylkän siirtymissä, pätee myös tässä. Ylempänä koko otsalevy pääsee vapaammin siirtymään voiman suuntaan, joten myös syvennetty kohta liikkuu mukana eikä siihen siis muodostu erikseen siirtymää. Syvennyksen alareunassa eli lähimpänä joustamatonta pohjalevyä, tätä koko otsalevyn siirtymää ei pääse tapahtumaan yhtä paljoa, jolloin voima aiheuttaa suurimmat siirtymät juuri syvennyksen tälle alueelle.

4.4 Värähtelymekaniikka

”Dynamiikan peruslain, eli Newtonin II:n lain, mukaan voiman \mathbf{F} ja absoluuttisen fysikaalisen kiihtyvyyden \mathbf{a} välillä vallitsee yhteys $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$. Peruslain mukaan voima \mathbf{F} antaa partikkelille \mathbf{P} kiihtyvyyden \mathbf{a} , joka on aina voimavektorin suuntainen.” Alla kuvassa jousi-massasysteemi ja massan vapaakappalekuva, kun x_1 lähtee tilasta, jolloin josta ei ole puristettu. (Nevaranta 2013, 4–8)



Kuvio 27. Jousi-massasysteemi
(Nevaranta 2013, 8).

Värähtelyn ollessa vapaata ja vaimentamatonta, kuvasta 27 voidaan Newtonin II lakia hyödyntäen määrittää dynaaminen tasapainoyhtälö eli liikeyhtälö, joka osoittaa ettei maan vetovoimalla ole vaikutusta lineaarisen jousi-massasysteemin dynaamiseen liikkeeseen. Tämä liikeyhtälö kirjoitetaan yleisesti muotoon:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (5)$$

Newtonin II:n peruslain avulla halutulle kappaleelle voidaan myös määrittää ominaistaajuus. Tämä on tila, jolloin massa värähtelee systeemille ominaisella taajuudella. Ominaistaajuuden yksikkö on Hertsi [Hz] ja yhden vapausasteen ominaistaajuuden laskentaan käytettävä kaava on: (Nevaranta 2013, 8–9.)

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

Värähtelyn värähdysaika, eli ominaisvärähdysaika [s] saadaan määritettyä alla olevan yhtälön avulla:

$$T_n = \frac{1}{f_n} \quad (7)$$

Kaavaa soveltamalla voidaan sanoa, että Hertsi on sama kuin 1 jaettuna ominaisvärähdysajalla, jonka yksikkö siis on sekunti. Eli hertsi voidaan ilmaista myös muodossa: $H_z = 1/s$.

4.5 Hiomakoneen värähtelytarkastelu

Ensin värähtelytarkastelussa määritettiin Autodesk Inventorin FEM-työkalun avulla systeemille ominaistaajuudet. Seuraavaksi verrattiin ominaistaajuuksia työkappaleen pyöryksessä syntyvään herätetaajuuteen moottorin pyöriessä täysillä kierroksilla, jolloin myös herätetaajuus on korkeimmillaan. Normaalisti määritetään alin ominaistaajuus, koska se on yleensä herkin herätteille. Tässä tapauksessa nähdään, ettei työkappaleen pyöritystaajuus tule todennäköisesti yltämään lähellekkään edes matalinta koneelle määritettävää vastetaajuutta. Tarvitaan vain korkein työkappaleen pyöryksestä aiheutuva ominaistaajuus.

Työkappaletta pyörittävän karapylkän voimansiirto karalle on toteutettu hihnavetoisesti. Hihnapyörien välityssuhde on 1:5 mitattaessa moottorilta karalle ja moottorin maksimi pyöritysnopeus on 1500 kierrosta minuutissa. Eli näin ollen moottorin pyöriessä täysillä karan ja sen mukana hiottavan kappaleen

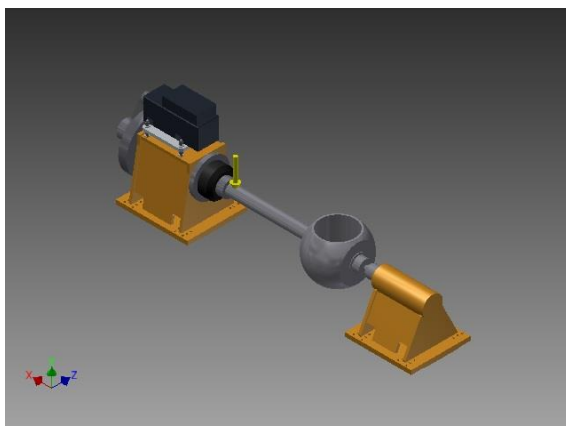
pyörimisnopeus voi olla enintään 300 kierrosta minuutissa. Työkappaleen pyöritysnopeudesta syntyy jaksollinen heräte, joten sitä voidaan suoraan verrata saatuihin vastetaajuuksiin. 300 kierrosta minuutissa on sama kuin 5 Hertsia.

Tarkastelussa oletetaan, että koneen runko sekä karapyykkien liikutteluun käytettävät lineaarijohteet ovat täysin jäykkiä, joten ne eivät ole mukana myöskään laskennassa. Laskennasta kuitenkin halutaan mahdollisimman realistisia tuloksia, joten työstettävä kappale sekä kaikki kappaleen pyörityspylkkiiin kuuluvat komponentit, kuten karat ja hihnapyörät, on otettu huomioon. Työkappaleena simulaatiossa toimii varrellisen venttiilipallon aihio. Pallon halkaisija on 400 mm, joka on suurin mahdollinen tällä koneella valmistettava koko. Pitkä varsi sekä pallon mahdollisimman iso massa aiheuttavat työkappaleelle suuren momentin, jolloin se on herkkä värähtelemään.

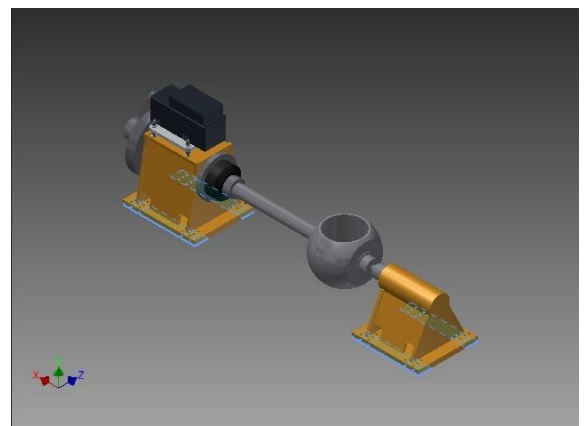
4.5.1 Hiomakoneen ominaistajuuksien laskenta

Laskennassa käytettävä Autodesk Inventorin Stress Analysis -työkalu on täysin sama kuin edeltävässä lujuustarkastelussa, mutta tässä tapauksessa käytettiin Modal Analysis -laskenta-analyysiä. Tämän avulla saatiin määritettyä systeemin ominaisvärähtelyt. Malli ei ole tarkka esimerkiksi siirtymien määrittämisessä, vaan se ilmaisee syntyneet siirtymät suhteellisina.

Simuloinnissa määritettiin kahdeksan eri ominaistajuutta, mikä on tässä tapauksessa riittävää. Alla olevassa kuviossa 28 näkyy värähtelylaskennan lähtötilanne. Keltainen nuoli kuvaa maan vetovoimaa ja se vaikuttaa koko systeemiin. Molemmat pyörityspylkät on tuettu pohjastaan jäykäksi. Nämä tuennat on merkitty sinisellä kuviossa 29.



Kuvio 28. Laskennan alkutilanne.



Kuvio 29. Tuennat.

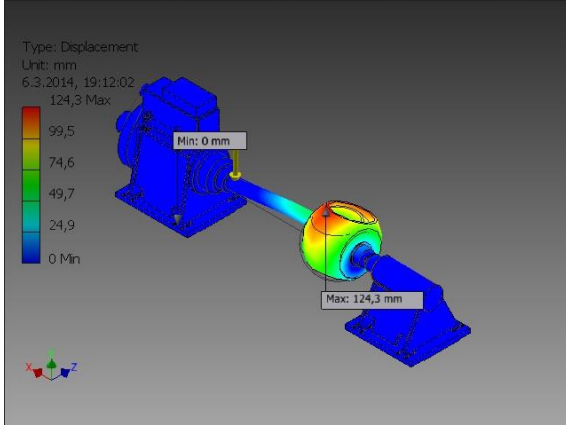
Vastetaajuuksien laskenta ei enää tämän jälkeen vaadi muuta kuin mesh-verkon tiheyden määrittämisen. Verkon keskimääräinen suhteellinen koko asetettiin 0,05:een, joka on aivan riittävän tarkka. Karapylkän lujuustarkastelu-kohdan tavoin asetus, jolla määritetään laskentatulosten hajontaa laitetaan 5 prosenttiin. Lujuuslaskenta-osion tapaan kaikki mukana olevat hiomakoneen materiaalit ovat lujaa matalaseosteista terästä, jonka tiheys on $7,84 \text{ g/cm}^3$ sekä myötöraja 275,8 MPa.

Kohteen simuloinnissa määritettiin kohteelle kahdeksan eri värähtelytaajuutta, joista alin F1 on 123,78 Hz ja ylin F8 on 385,39 Hz. Loput kuusi laskennalla saatua taajuutta sijoittuvat numerointinsa mukaisesti nousevassa määrin näiden väliin. Alla olevassa kuviossa 30 on taulukkomuodossa esitettynä kaikki nämä kyseiset kahdeksan ominaistaajuutta.

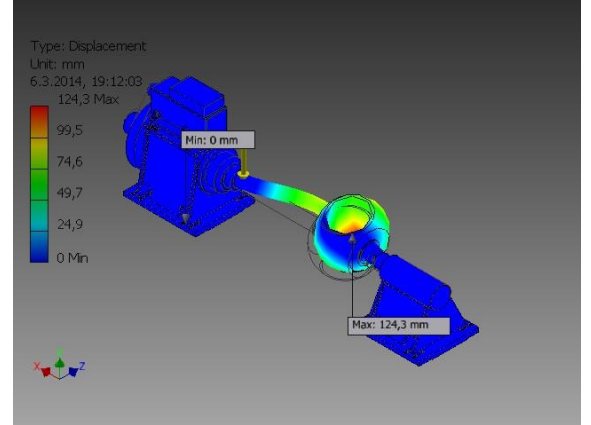
F1	123,78 Hz
F2	130,32 Hz
F3	131,59 Hz
F4	197,68 Hz
F5	201,25 Hz
F6	248,98 Hz
F7	266,02 Hz
F8	385,39 Hz

Kuvio 30. Ominaistaajuudet.

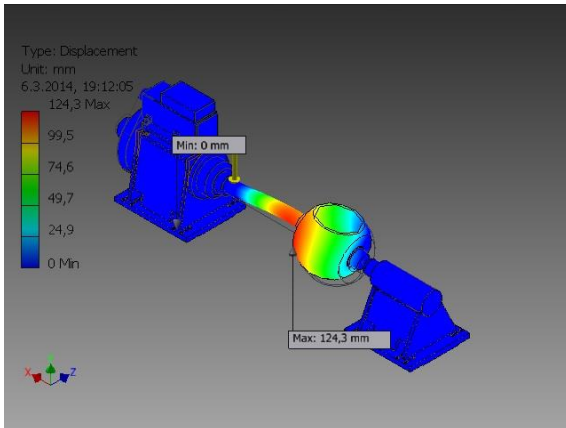
Kuvissa 31–38 on havainnollistettuna, miten hiomakoneen työkappale ja sen pyörityskäyttö käyttäytyvät tietyllä värähtelytaajuudella. Taajuudet ja niiden merkinnät ovat vastaavat kuin kuvion 30 taulukossa. Mitattavana suureena ovat eri komponenttien siirtymät, joita kuvataan punaisena. Mitä punaisempi osa on, sitä enemmän se värähtelyn vaikutuksesta siirtyy alkuperäiseltä paikaltaan, jota kuvataan mustilla viivoilla. Laskentaohjelman siirtymille antamat arvot ovat todellisuudessa huomattavasti pienempiä kuin seuraalla sivulla kuvatuissa suhteellisissa siirtymissä esitetään.



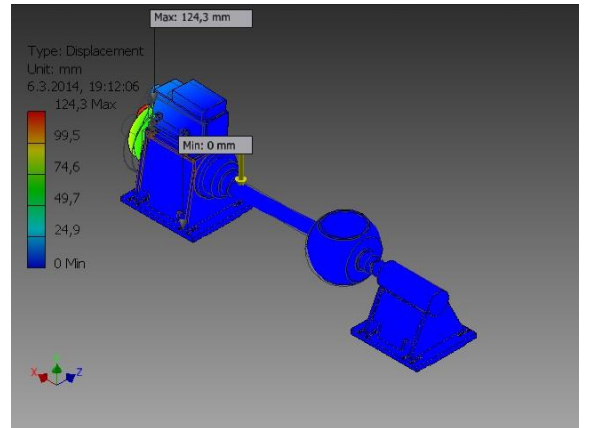
Kuvio 31. Taajuuden F1 aiheuttamat siirtymät.



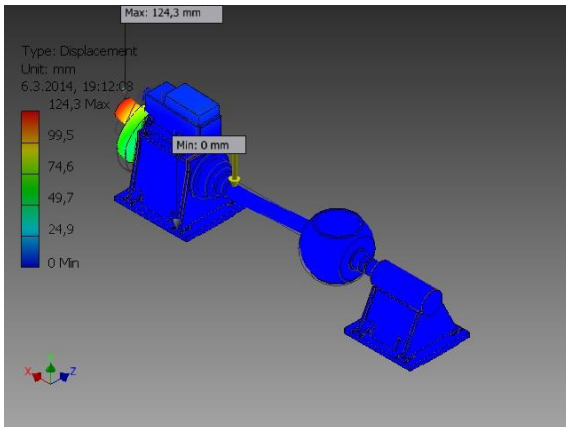
Kuvio 32. Taajuuden F2 aiheuttamat siirtymät.



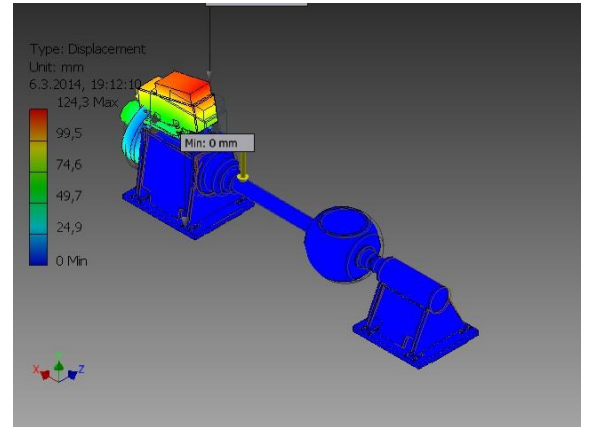
Kuvio 33. Taajuuden F3 aiheuttamat siirtymät.



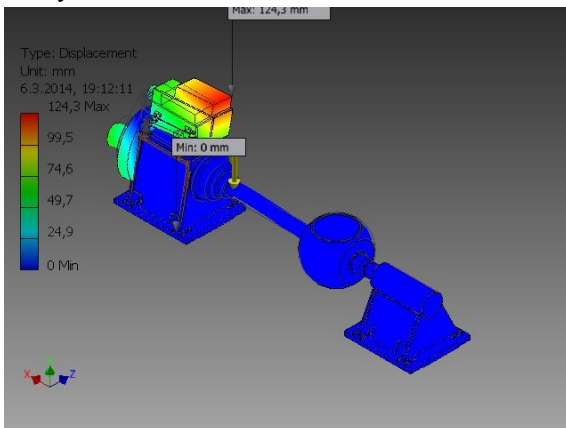
Kuvio 34. Taajuuden F4 aiheuttamat siirtymät.



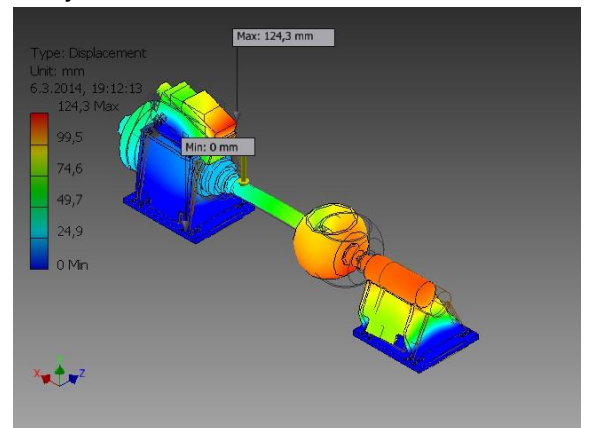
Kuvio 35. Taajuuden F5 aiheuttamat siirtymät.



Kuvio 36. Taajuuden F6 aiheuttamat siirtymät.



Kuvio 37. Taajuuden F7 aiheuttamat siirtymät.



Kuvio 38. Taajuuden F8 aiheuttamat siirtymät.

4.5.2 Tulosten arviointi

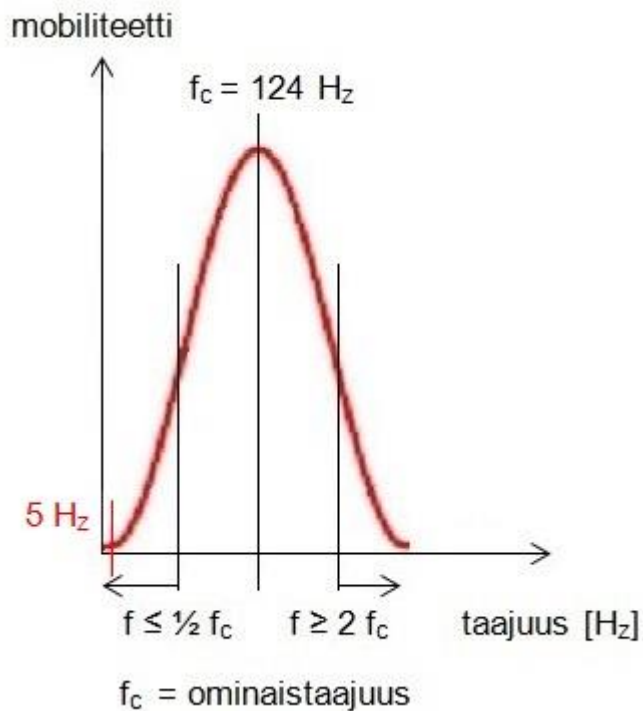
Simuloinnilla saatuja tuloksia voidaan pitää varsin luotettavina, kun muistaa, että kuvissa olevat siirtymät ovat suhteellisia. Suurimmat värähtelyn aiheuttamat muodonmuutokset mallissa tapahtuvat karaa pyörittävälle moottorille, hihnapyörille sekä varren avulla kiinnitetylle työkappaleelle. Eri komponenteille aiheutuneet värähtelyt ovat jakautuneet kolmelle, suurinta lukuunottamatta kohtuullisen pienelle eri taajuusalueelle.

Laskennassa mukana ollut työkappale on halkaisijaltaan 400 mm, joka on suurin tällä koneella valmistettava venttiilipallon koko. Näin ollen työkappaleen koon puolesta systeemi on mahdollisimman herkkä värähtelemään jo matalilla taajuuksilla. Matalimmilla mitatuilla taajuuksilla välillä 123,78 Hz–131,59 Hz värähtely aiheuttaa siirtymistä ainoastaan työkappaleelle. Keskimmäiset taajuudet välillä 197,68 Hz–201,25 Hz aiheuttavat värähtelyä lähinnä pyörityskaralla ja siihen liitettyssä hihnavedossa. Taajuuden yhä noustessa 248,98 Hz ja siitä korkeammalle myös moottori alkaa värähdellä. Suurimmalla mitatulla taajuudella 385,39 Hz koko systeemi värähtelee aina karapylkkiä myöten.

Esimerkiksi hihnavedon säätö on koneessa toteutettu asentamalla moottori levyn päälle, joka taas on kiinnitettynä karapylkän päälle neljällä ruuvilla, joiden muttereita pyörittämällä moottorin korkeutta suhteessa pylkkään voidaan muuttaa. Tämän kaltaista mekanismia ei voida pitää kovinkaan tukevana, joten värähtelyn voidaan hyvin olettaa vaikuttavan juuri kyseisellä alueella. Näin tapahtuukin, kun värähtelyn taajuus on riittävän korkea. Kuitenkin, koska matalimmat värähtelytaajuudet vaikuttavat työkappaleeseen, tästä ei koneen käytössä erikseen aiheudu harmia.

Ensimmäisenä ongelmia aiheuttava alin vastetaajuus on F1 ja se vaikuttaa nimenomaan työkappaleeseen. Itse konetta voidaan siis pitää aivan riittävän jäykkänä. Potentiaalisin heräte tälle värähtelyn alkamiselle tulee työkappaleen pyöryksestä, jonka maksiminopeus on 300 kierrosta minuutissa, joka on sama kuin 5 Hertsiä, kuten aiemmin jo todettiin. Yleinen konepajateollisuudessa käytettävä ”nyrkkisääntö” on, että herätetaajuuden ollessa ominaistajuutta matalampi se saisi olla tästä korkeintaan puolet.

Herätetaajuuden ollessa ominaistajuutta suurempi, sen tulisi olla vähintään kaksinkertainen. Matalin laskennan perusteella saatu ominaistajuus on 124 Hz, eli herätteen tulisi olla vähintään 62 Hz tai enintään 248 Hz. Tällöinkin herätetaajuus olisi vielä todella kaukana alimmasta ominaistajuudesta, mutta mahtuisi edellä mainitun säännön määrittämiin rajoihin. Suurin työkappaleen pyöryksestä mahdollisesti syntyvä heräte 5 Hertsiä on siis niin pieni, ettei se voi normaalissa työstötilanteessa toimia herätteenä järjestelmän ominaisvärähtelylle. Seuraavassa kuviossa 39 näkyy havainnollistettuna, ettei karan pyöryksestä syntyvä kuvassa punaisella merkattu 5 Hz:n herätetaajuus riitä lähellekkään edes alinta mitattua ominaistajuutta F_1 .



Kuvio 39. Ominaistajuuden kuvaaja.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli tarkastella erilaisia vaihtoehtoja yrityksen valmistaman hiomakoneen työkappaleen kiinnitykseen sekä miettiä, miten tämä kiinnitysjärjestelmä olisi parasta toteuttaa. Koneella on mahdollista valmistaa kahden eri tyypin venttiilipalloja. Ainoa valmistuksellinen ero on siinä, miten ne saadaan kiinnitettyä koneelle valittujen pyörityspytkällä olevan HSK:n työkalupidikkeen ja siirtopytkän keskittävän kärjen väliin. Tarkoituksena oli, että molemmat aihiot voidaan kiinnittää ja vaihtaa koneelle mahdollisimman automaattisesti. Lopuksi koneelle tehtiin kiinnitysjärjestelmän sovellutus, johon koottiin parhaalta vaikuttavat vaihtoehdot.

Lopullinen kartiokiristysjärjestelmän valinta käytiin HSK:n ja Big-Plus:n välillä. Koneessa hiomatyökalun kiinnitys on jo toteutettu HSK:n valmistaman järjestelmän kautta, joten paras ratkaisu on soveltaa sitä myös työkappaleen kiinnityksessä. Vaikka työkappaletta ei kyseisellä koneella työstön aikana pyöritetä erityisen suurilla nopeuksilla, voidaan HSK:n järjestelmän tarkka tasapainotus ja symmetria katsoa eduiksi. Hionnassa syntyvien suurten voimien vuoksi HSK:n huonona puolena on sen hauras rakenne Big-Plus:aan verrattuna.

Hiomakoneella valmistettavat venttiilipallot ovat tyypiltään varrellisia tai niin kutsuttuja kelluvia venttiilipalloja. Varrellisessa pallossa on nimensä mukaisesti varsi, jolloin kiinnitys työkalupidikkeelle toteutettiin kiristämällä se hydraulitoimiseen kartioholkkiin. Aihion pyörityspytkän puoleiseen päähän porattiin keskittävälle kärjelle sopiva kolo. Kelluva venttiilipallo jouduttiin kiinnittämään sen läpi menevän virtausaukon kautta. Tätä varten tarvittiin erillinen adapteri, joka koostui kiinteästä sekä irrallisesta, ruuvattavasta laipasta. Venttiilipallon aihio kiristetään lujalle näiden väliin laippojen väliin, jolloin karan pyöritysmomentti välittyy kitkan avulla.

Toinen työlle asetettu päätavoite oli FEM-analyysien avulla osoittaa, etteivät normaalissa työstötilanteessa työkappaleen kiinnitysjärjestelmälle muodostuvat rasitukset tai värähtelyt aiheuta rakenteille liian isoja muodonmuutoksia. Työssä tehtiin kaksi erillistä simulaatiota, joista ensimmäisessä määritettiin kappaleen pyörityspytkälle kiinnityksen yhteydessä tulevat maksimijännitykset ja -siirtymät.

Simuloinnissa saatiin suurimmat rasitukset aiheuttava tilanne, jossa pyörityspylkkä on lukittuna paikoilleen ja työkappaleen ollessa kiinnitettynä siirtopylkkää ajetaan täydellä 4400 N:n voimalla sitä päin.

Suurin syntyvä jännitys oli 2,9 MPa ja se muodostui puristusjännityksenä pyörityspylkän otsalevyn ja sivulevyn väliseen liitokseen, kuten sen teoriassa pitäisikin muodostua. Kohtisuorassa otsapintaa vastaan määritetyn voiman aiheuttama suurin siirtymä oli vain 0,004 mm ja eniten siirtyi hiukan muuta pintaa ohuempi karan läpimenoaukon syvennetty alue. Tulosten pohjalta voitiin todeta, etteivät suurin muodostunut jännitys ja siirtymä aiheuta käytännössä ongelmia.

Kappaleen kiinnitysjärjestelmälle tehdyssä värähtelytarkastelussa käytettiin maksimikokoista, varrellista venttiilipalloa, koska varren pituus ja pallon suuri massa synnyttävät työkappaletta taivuttavan momentin. Järjestelmän potentiaalisimmaksi herätteeksi oletettiin työkappaleen pyörittäminen. Saatiin siis työstötilanteessa todennäköisimmältä vaikuttava tapaus, joka on samalla mahdollisimman herkkä värähtelylle.

Laskennasta saadut tulokset vaikuttivat varsin luotettavilta, koska alin ominaistajuus värisytti juuri hiottavaa venttiilipalloa, joka oletettiin systeemin värähtelyherkimmäksi osaksi. Koneen rakenteet olivat kuitenkin niin jäykät, ettei karan pyöryksestä syntyvä 5 Hertsin heräte riittänyt edes lähelle järjestelmän alinta ominaistajuutta, jonka arvoksi simuloinnissa saatiin 124 Hz. Voitiin siis todeta, ettei normaalissa työstötilanteessa työkappaleen kiinnitysjärjestelmälle voi syntyä riittävää herätettä, joka aiheuttaisi sille liian suuren värähtelyn.

LÄHTEET

- Big-Plus tooling. 2014.[www-dokumentti].Big-Plus.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:<http://www.bigplustooling.com/BIG-PLUS%20Tcatalog%2012.09.pdf>.
- Estlander, I. 2014. FEM ristikko- ja kehärakenteet. Luentomoniste. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.
- Etusivu. 2014.[www-dokumentti].Plantool.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:<http://www.plantool.fi/index.php/etusivu.html>.
- General-catalogs. 2014.[www-dokumentti].Big-Daishowa.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:<http://pdf.directindustry.com/pdf/big-daishowa/general-catalogs/33258-435979.html>. 10. Luettu 7.4.2014
- Hiomakoneet. 2014.[www-dokumentti].Plantool.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:<http://www.plantool.fi/index.php/Hiomakoneet.html>.
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosaara, E. 2006. Lujuusoppi. 10. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2009. Konetekniikan perusteet. 7. uudistettu painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy
- Kitinoja, K. 2014. Opettaja. Seamk. Haastattelu. 4.4.2014.
- Luettelo sivu 102. 2014.[www-dokumentti].TKP-toolservice.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:http://www.tkp-toolservice.fi/datafiles/userfiles/File/U_2_luettelo/3.%20Peruspitimet,%20kartiopitimet%20ja%20lis%C3%A4varusteet.pdf.
- Luettelo sivu 94. 2014.[www-dokumentti].TKP-toolservice.[Viitattu 7.4.2014]. saatavana:http://www.tkp-toolservice.fi/datafiles/userfiles/File/U_2_luettelo/3.%20Peruspitimet,%20kartiopitimet%20ja%20lis%C3%A4varusteet.pdf.
- Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. 5. uudistettu painos. Porvoo: WS-Boowell.
- Marinescu, I., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W. & Inasaki, I. 2007. Handbook of Machining with Grinding Wheels. Florida: Taylor & Francis Group

- Nevaranta, J. 2013. Värähtelymekaniikka. Luentomoniste. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Julkaisematon
- Products. 2014.[www-dokumentti].Sandvik.[Viitattu 7.4.2014].
saatavana:<http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/products/hsk/Pages/default.aspx>.
- RÖHM. 2006. Tuotekuvasto
- Salmi, T. & Pajunen, S. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy
- Sepponen, T. 2014. Suunnittelija. Plantool. Haastattelu. 3.4.2014.
- Teollisuus. 2014.[www-dokumentti].Plantool.[Viitattu 7.4.2014].
saatavana:<http://www.plantool.fi/index.php/teollisuus.html>.
- Tervonen, M. 2011. Finite Element Method: Elementtimenetelmät. Luentomoniste. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.
- Tooling-systems. 2014.[www-dokumentti].Sandvik.[Viitattu 7.4.2014].
saatavana:<http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/tooling-systems/machine-and-tooling-systems-considerations/spindle-selection/pages/default.aspx>.

LIITTEET

