

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatio

Opinnäytetyö

Jari-Pekka Heiskanen

EPÄKESKOAKSELIN VALMISTUKSEN TYÖTURVALLISUUS

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

DI Heikki Aalto
Metso Minerals Oy,
Valvojana DI Antti Sinervo

Tampere 2009

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Heiskanen Jari-Pekka Epäkeskoakselin valmistuksen työturvallisuus

Opinnäytetyö 38 sivua + 10 liitesivua

Työn valvoja DI Heikki Aalto

Työn teettäjä Metso Minerals Oy,
Valvojana DI Antti Sinervo

Kesäkuu 2009

Hakusanat epäkeskoakseli, vastapaino, työturvallisuus

TIIVISTELMÄ

Epäkeskoakseli on yksi tärkeimmistä osista leukamurskaimessa, sillä murskaimen toiminta perustuu epäkeskeiseen liikkeeseen, jonka juuri epäkeskoakseli saa aikaan. Leukamurskaimia käytetään kiviaineksen murskaamiseen louhoksilla ja kaivoksissa. Murskettava materiaali voi olla kiveä, malmipitoista louhetta tai kierretettävää materiaalia, esimerkiksi rakennustyömaan jätebetonia. Leukamurskaimet voivat olla kiinteitä tai liikuteltavia murskaussyksiköjä.

Tässä työssä tutkittiin C160 epäkeskoakselin sorvausvaiheessa käytettävien vastapainojen työturvallisuutta. Vastapainojen mallintamiseen käytettiin apuna suunnittelussa käytettävää mallinnusohjelmaa NX-Ideas:ta. Vuonna 1997 tapahtuneen keskiökärjen murtumisen vuoksi laskettiin akselista syntyvät jännitykset kärjille.

Työn tuloksena mallinnettiin uudet vastapainot ja niille tehtiin tasapainomittaus.

TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

Product development

Heiskanen Jari-Pekka Occupational safety in eccentric shaft production

Engineering Thesis 38 pages + 10 appendices

Thesis Supervisor Heikki Aalto (MSc)

Commissioning Company Metso Minerals Oy,
Supervisor Antti Sinervo (MSc)

June 2009

Keywords eccentric shaft, counterweight, occupational safety

ABSTRACT

The eccentric shaft is one of the most important parts in a jaw crusher. The operation of the crusher is based on eccentric movement, which is caused by the eccentric shaft. Jaw crushers are used for crushing rock at quarries and in mines.

Crushing material can be rock, ore or recycling material e.g. concrete from construction sites. Jaw crushers can be stationary or movable crushing units.

This thesis studies occupational safety of the counterweights used in the lathing stage of manufacturing C160 eccentric shaft. The modeling program NX-Ideas was used in stenciling of the counterweights.

The strain on the tips caused by the shaft was calculated due to the breaking off a tip in 1997.

As the result of the study new counterweights were modeled and their balance was measured.

ALKUSANAT

Työn tarpeellisuus, käytännönläheisyys ja monipuolisuus tekivät siitä mielenkiintoisen sekä haastavan. Työn aiheena oli tutkia epäkeskoaksin valmistuksessa käytettäviä vastapainoja ja niiden käyttöön liittyvää turvallisuutta. Työn alkuvaiheessa aihe tuntui laajalta, mutta työn rajauksen jälkeen alkoi hahmottumaan selkeä kokonaisuus.

Kiitän Metso Minerals Oy:tä haastavasta ja mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitän kaikkia niitä, jotka ovat auttaneet ja tukeneet työni edistymistä.

Tampereella kesäkuussa 2009

Jari-Pekka Heiskanen

Jari-Pekka Heiskanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tarkoitus	7
1.2 Tietoa yrityksestä	8
1.3 Leuka- ja karamurskain	10
1.4 Leukamurskaimen toimintaperiaate	11
1.5 Leukamurskaimen epäkeskoakseli	13
2 EPÄKESKOAKSELIN VALMISTUSMENENNELMÄT	13
2.1 Yleistä	13
2.2 Esirouhintaa	13
2.3 Avarrus	14
2.4 Käytettävät aputyövälineet	15
2.5 Sorvaus	16
2.6 Työturvallisuus	18
3 KESKIÖKÄRKI	19
3.1 Kiinnitysmenetelmä	19
3.2 Kiinnityksessä vaikuttavat voimat	20
3.3 Epäkeskoakselin taipuma	20
3.4 Kärkeen kohdistuva leikkausjännitys	21
3.5 Kärkeen kohdistuva taivutusjännitys	24
3.6 Keskiökuopan muoto	26
4 VASTAPAINO	27
4.1 Epäkeskoakselin keskipakoisvoima	27
4.2 Vastapainon tarkoitus	27
4.3 Vastapainon suunnittelu	28
4.4 Vastapainon toteutus	29

Jari-Pekka Heiskanen

5 MITTAUSTULOKSET	29
5.1 Mittausmenetelmä	29
5.2 Vanhoilla vastapainoilla	31
5.3 Uusilla vastapainoilla	32
6 TYÖTURVALLISUUS	35
6.1 Murtunut kärki	35
6.2 Vastapainon tarkoitus	35
7 YHTEENVETO	36
LÄHDELUETTELO	38
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin C160 epäkeskoakselin sorvauksessa käytettäviä vastapainoja. Tutkimus rajoitettiin käsittelemään C160 epäkeskoakselia, jonka koneistamisessa on todettu suurimpia ongelmia. Tutkimuksesta saadut mittaustulokset päivitetään koskemaan koko epäkeskoakselien tuoteperhettä. Vastapainojen suunnittelussa käytettiin NX-ideas-mallinnusohjelmaa. Tuotannossa olevia epäkeskoakseleita tehdään kaikkia malleja Tampereen tuotantoyksikössä lukuun ottamatta C200- epäkeskoakselia. Kyseinen akseli valmistetaan alihankkijalla, koska suurin sallittu työkappaleen paino ylittyisi. Epäkeskoakselien koneistus tehdään sorvaustyöstökeskus Nilesillä valmiiksi asti. Työstökoneen ominaisuudet mahdollistavat sorvauksen, porauksen ja jyrsinän. Vastapainoilla parannetaan sorvausvaiheen työturvallisuutta ja valmistettavan epäkeskoakselin toleranssien toteutumista.

1.1 Työn tarkoitus

Tutkimuksen tarkoitus oli optimoida ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa käytettävien vastapainojen massa sekä muoto. Vanhalla menetelmällä koko vastapaino oli pakan puoleisessa päässä. Epäkeskoakselin epäkeskeisyyden ollessa symmetrinen voitiin vastapainot jakaa kahteen yhtäsuureen vastapainoon. Vastapainon suunnittelussa oli huomioitava tilan ahtaus pinolinkärjen puoleisessa päässä. Toisen vaiheen vastapainoja oli kaksi, joista mallinnettiin yksi kokonainen vastapaino. Uusille mallinnetuille vastapainoille suoritettiin tasapainomittaus.

Jari-Pekka Heiskanen

1.2 Tietoa yrityksestä

Vuonna 1915 Werner Ryselin perusti Lokomo Oy:n veturitehtaaksi Hatanpään alueelle, Tampeelle. Vuonna 1916 sai veturitehdas rinnalleen oman teräsvalimon. Lokomo Oy:n murskainvalmistus sai alkunsa vuonna 1921. Lokomo laajensi tuotantoaan myös muille aloille: veturien ja murskaimien lisäksi Lokomo Oy on valmistanut mm. tiehöyliä, maantiejiä, tykin putkia, autonostureita, keskuslämmityskattiloita, metsäkoneita sekä venttiilejä. /2/

Viimeisen veturinsa Lokomo teki vuonna 1971. Vuonna 1987 Rauma Oy osti Bergeaud S.A.:n ja Nordberg UK:n ja muodosti niistä Lokomon kanssa murskainlaiteryhmän. Rauman hankittua hallintaansa vuonna 1989 myös Nordberg Inc:n tuli uuden kokonaisuuden nimeksi Nordberg-ryhmä. Rauma-yhtiö sulautui Metso-konserniin ja huhtikuussa 2001 Nordberg-Lokomo nimi muuttui Metso Minerals Oy:ksi. /2/

Tällä hetkellä Metso Minerals Oy työllistää noin 800 työntekijää hatanpään tuotantolaitoksilla Tampereella (kuva 1). Yritys on keskittynyt kivenmurskauksessa tarvittavien työkoneiden valmistukseen ja markkinointiin sekä murskausmenetelmien kehittämiseen. Yrityksen päätuotteita ovat leuka- ja karamurskaimet, tela- ja pyöräalustaiset murskaussyksiköt, kiinteät ja siirrettävät murskauslaitokset sekä syöttimet, seulat ja kuljettimet. /2/

Metso Minerals Oy on maailman johtava kiven- ja mineraalinkäsittely-järjestelmien sekä metallin kierrätysjärjestelmien toimittaja. Tuotteiden päämarkkina-alueita ovat Pohjoismaat, Eurooppa, Kaakkois-Aasia, Pohjois-Amerikka ja Venäjä. /2/

Jari-Pekka Heiskanen



Kuva 1 Hatunpään tuotantoyksikkö etualalla /3/

Metso Minerals Oy:n osuus maailman murskaus-, jauhatus- ja seulontalaitemarkkinoista on noin 20 %. Metso Mineralsin tuotantolaitoksia sijaitsee Suomen lisäksi Ranskassa, Yhdysvalloissa, Brasiliassa, Etelä-Afrikassa, Kiinassa ja Pohjois-Irlannissa. /2/

Metso Minerals -ryhmä kuuluu osana Metso-konserniin, jonka muita ryhmiä ovat Metso Paper (kuitu- ja paperiteknologia) ja Metso Automation (automaatio- ja säätöteknologia). Metso-konserniin kuuluu myös Metso Ventures, joka sisältää mm. konepaja- ja vaiheistuotantoa sekä Uudenkaupungin autotehtaan. Metso-konsernin liikevaihto oli 6.25 miljardia euroa (2007), josta Metso Mineralsin osuus oli 41%. Henkilöstöä koko Metsossa on noin 30 000. /2/

Jari-Pekka Heiskanen

1.3 Leuka- ja karamurskain

Metso Mineralsin on maailman johtava kiven- ja mineraalinkäsittelyjärjestelmien sekä metallin kierrätysjärjestelmien toimittaja. Tuoteperheen yleisimmät kivenmurskaimet ovat kara- ja leukamurskaimet (kuva 2 ja 3). Leukamurskaimet käyvät paremmin karkeaan murskaukseen esimerkiksi louhoksille. Leukamurskain on saanut nimensä murskauksen toimintaperiaatteen mukaan, eli murskaus tapahtuu leukoja vasten, ns. kiinteää ja liikkuvaa leukaa vasten. Karamurskaimia käytetään yleensä tuotteen loppupäässä missä murskeen koko on pienempää. Myös karamurskaimen nimi tulee toimintaperiaatteen mukaan, eli murskaus tapahtuu karakartion epäkeskeisen liikkeen ja kiinteän runkovaipan välissä.



Kuva 2 Karamurskain GP 300 ja 300S /3/



Kuva 3 Leukamurskain C3054 /3/

1.4 Leukamurskaimen toimintaperiaate

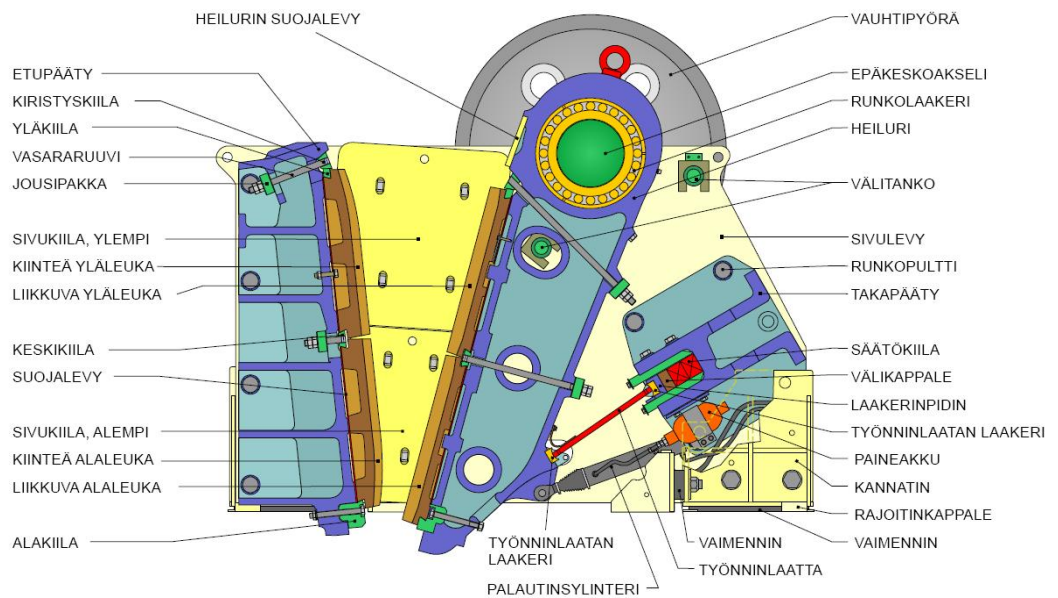
Leukamurskaimen peruskomponentit ovat runko ja heiluri (kuva 4). Runko muodostuu etu- ja takapäädystä sekä sivulevyistä. Heilurin reikään on kiinnitetty epäkeskoakseli, holkit, laakerit ja laakeripesät. Heiluri on kiinnitetty rungon sivulevyihin laakeripesästä pulteilla. Leukamurskaimen etupäättyyn kiinnitetty ns. kiinteä leuka, joka ottaa vastaan murskausvoimat. Heiluriin on kiinnitetty ns. liikkuva leuka, jonka epäkeskeinen liike syntyy epäkeskoakselia pyörittämällä. Kivimateriaali murskautuu leukojen välissä ja kulkeutuu murskauksen jälkeen kuljetinta pitkin jatkokäsittelyyn. Takapäättyyn on kiinnitetty säätölaite, jolla säädetään leukojen kulmaa sekä niiden etäisyyttä toisistaan eli asetusta. Heilurin työnninlaatan tehtävänä on tukea alapäätä, ja sen tärkeä tehtävä on toimia ylikuormitustilanteessa varokkeena.

Leukamateriaali on mangaaniterästä, joka kestää kovaa kulutusta hyvin, ja leukojen ulkomuodolla pystytään vaikuttamaan murskattavan kiven kokoon ja kapasiteettiin. Käytettävänä syötteenä voi olla kivilohkareita, soraa tai rakennustyömaan purkujätettä eli teräsbetonia. Suurimpiin leukamurskaimiin voidaan syöttää jopa

Jari-Pekka Heiskanen

1.5 - 2 kuutiometrin lohkareita. Murskauksen tuloksena saatava aines on läpimitaltaan 10 - 450 millimetriä riippuen murskaimen mallista sekä käytettävästä asetuksesta.

C160 leukamurskaimen yleisin käyttökohde on kaivosteollisuus, avolouhokset, sekä uusiomurskaus. Leukamurskain asennetaan joko pyörä- tai tela-alustaiseen murskauslaitokseen esimurskaimeksi tai kiinteäksi esim. louhokselle.



Kuva 4 Leukamurskaimen leikkauskuva /3/

Jari-Pekka Heiskanen

1.5 Leukamurskaimen epäkeskoakseli

Epäkeskoakselin tehtävä leukamurskaimessa on saada aikaan edestakainen liike. Liikkeen pituus muodostuu akselin epäkeskeisyydestä, joka on 16 millimetriä C160:ssä säteen suunnassa. Eli yhteensä liikettä tulee 32 millimetriä. Murskauksessa kyseinen akseli joutuu kovalle kuormitukselle, ja siksi käytettävä akseli on kestävää seosterästä.

Lujuuslaskelmat epäkeskoakselille on tehty FEM-lujuusohjelmalla. Akseli on muotoiltu kestäämään kovaa räsitusta. Leukamurskaimen suunnittelussa on pyritty minimoimaan murskaimen massa, heikentämättä lujuusominaisuuksia.

2. EPÄKESKOAKSELIN VALMISTUSMENETELMÄT

2.1 Yleistä

Epäkeskoakselit valmistetaan Tampereen murskainyksikössä Heid- ja Niles CNC-sorveilla. Epäkeskoakselien valmistuksessa jokaisella akselimallilla on omat vastapainot molempien sorvausvaiheisiin. Valmistusmenetelmän vaiheet ovat samat akselien koosta riippumatta. Valmistuksen erona alihankinta konepajoihin on akselin päiden koneistus. Murskaintehtaalla tämä työvaihe tehdään avarruskoneella yhdellä kiinnityksellä indeksipöytää pyörittämällä. Alihankkijat tekevät koko akselin sorvauksen sorvaustyöstökeskuksella.

2.2 Esirouhinta

Epäkeskoakselit toimitetaan murskaintehtaalle esirouhittuina Saksasta. Työvaiheeseen on oma piirustuskuva, josta selviää työvara ja epäkeskeisyyden merkintä akselin päähän. Työvara halkaisijamitoissa noin 4 millimetriä pinnassa ja toleranssina ± 1 millimetri. Epäkeskeisyys merkitään akselin päähän, mistä se saadaan kohdistettua seuraavassa vaiheessa kohtisuoraan epäkeskeisyyttä vastaan.

Jari-Pekka Heiskanen

2.3 Avarrus

Epäkeskoakselin ensimmäinen koneistustyövaihe on akselin päiden ajo avarruskoneella. Tämän vaiheen voi tehdä myös sorvilla, mutta se on ajallisesti nopeampi tehdä avarruskoneella. Epäkeskoakseleiden päiden ajo saadaan suoritettua pyöröpöydässä yhdellä kiinnityksellä. Tämä toimenpide takaa tarvittavan keskeisyyden akselin päiden keskiökuopille. Työvaiheet avarruskoneella on akselin pituuden jysintä valmiiksi sekä poterot keskiökuopalle ja 3 kpl M56-kierrettä.

Sorvauksen ensimmäisen vaiheen keskiökuoppa tehdään poteron pohjalle (kuva 5). Keskiökuoppa on epäkeskeisyyden verran sivussa poteron keskiöstä ja poteron reunaan tuleva viiste toimii leikatun kärjen ohjauksena. Tällä asetuksella sorvataan toisen vaiheen epäkeskoakselin päiden halkaisijat.

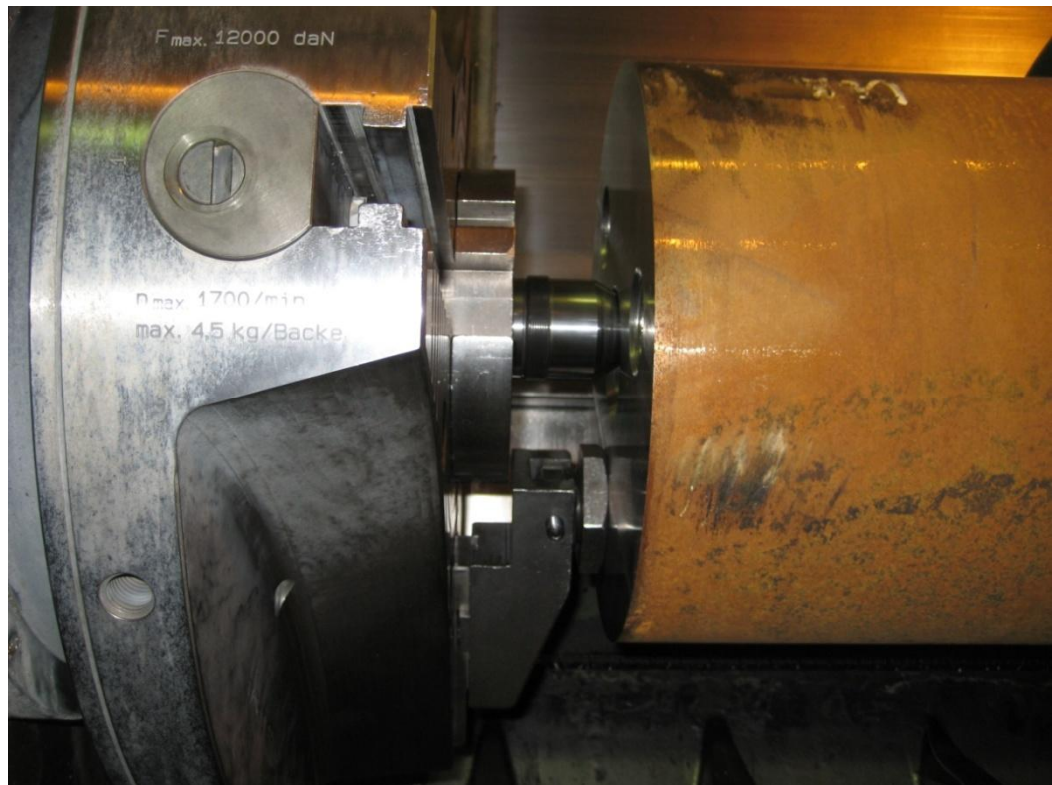


Kuva 5 Epäkeskoakselin pään koneistus valmiina

Jari-Pekka Heiskanen

2.4 Käytettävät aputyövälineet

Sorvauksen aputyövälineillä on suuri merkitys sorvauksen molemmissa työvaiheissa. Epäkeskoakselin kiinnitys tapahtuu terävien- ja leikattujen kärkien välissä keskiökuopista. Akselin pyöritys tapahtuu pakan sorvausleuasta pultilla akselin päässä olevaan M56-kierreireikään (kuva 6).



Kuva 6 Epäkeskoakselin kiinnitys sorvauspakkaan leuasta

Tämän jälkeen asetetaan vastapainot epäkeskoakselin molempiin päihin. Kohdistus tapahtuu silmämääräisesti. Epäkeskomassan asettuessa akselin alapuolelle vastapainot kiinnitetään epäkeskoakselin yläpuolelle (kuva 7).



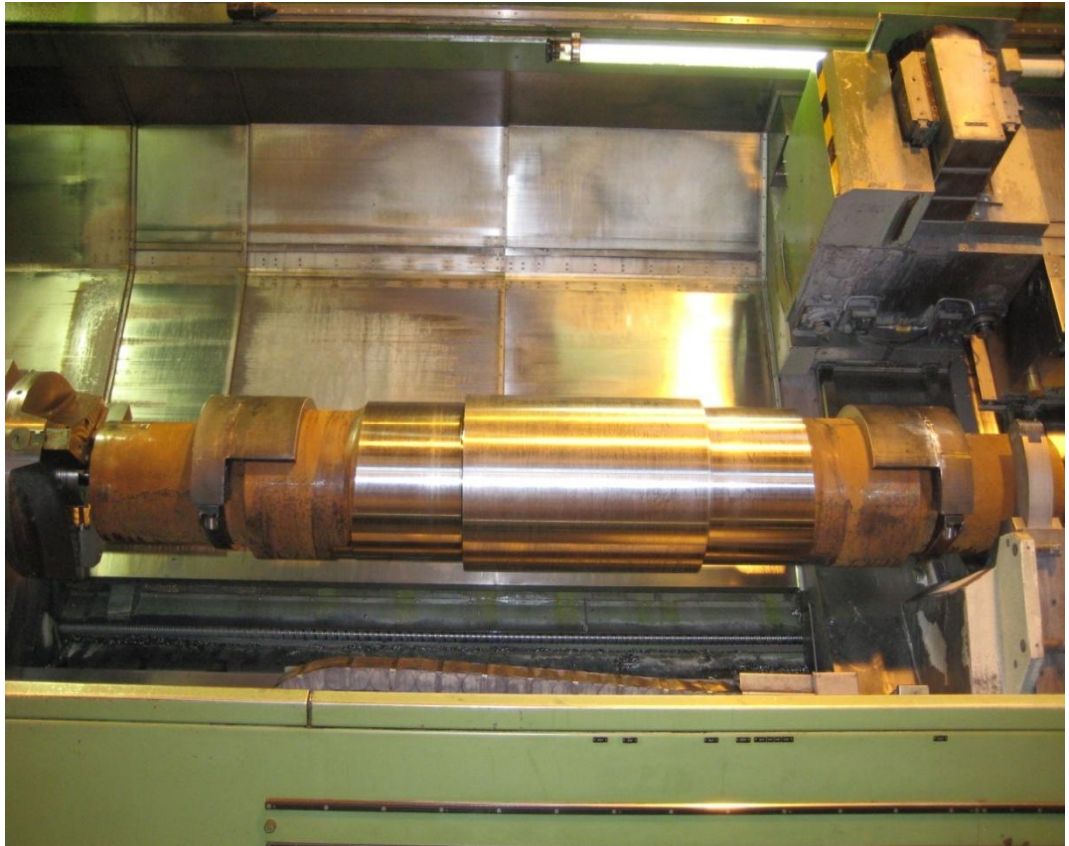
Kuva 7 Epäkeskoakseli kiinnitettynä kärkien välissä

Toisen vaiheen kiinnitys on samanlainen, käytössä ovat leikatut kärjet pakassa ja siirtopylkässä. Vastapainot sijoitetaan silmämääräisesti. Työvaihetta vaikeuttaa kahden vastapainon sijoittaminen mahdollisimman hyvin keskelle.

2.5 Sorvaus

Epäkeskoakseli sorvataan kahdella eri kiinnityksellä epäkeskeisyyden takia. Ensimmäisenä suoritetaan rouhintasorvaus valmistettaville halkaisijamuodoille, tämän jälkeen suoritetaan viimeistelysorvaus. Tarkoille halkaisijamitoille on tehty mittalastu ennen viimeistelylastun ajoa, millä varmistetaan oikean mitan toteutuminen vaaditulle toleranssille (kuva 8).

Jari-Pekka Heiskanen



Kuva 8 Epäkeskoakselin ensimmäinen vaihe koneistettuna

Toisen vaiheen kiinnityksessä pyritään olemaan kolhimatta valmiita pintoja. Vastapainojen sisäpuolelle on liimattu kuminen nauha, jolla suojataan kiinnityskohdan valmiiksi sorvattua pinta. Tässä toisessa vaiheessa sorvataan valmiiksi akselin päiden halkaisijat ja jrsitään akselin päihin kiilaurat (kuva 9).



Kuva 9 Epäkeskoakselin toinen vaihe koneistettuna

2.6 Työturvallisuus

Työturvallisuus ja sen parantamismahdollisuudet ovat tämän työn tärkeimpiä lähtökohtia. Ensimmäiseksi haluttiin saada tutkittua tietoa käytössä olevien vastapainojen oikeasta mitoituksesta ja niiden turvallisesta käytöstä. Tämän tutkimiseen on antanut aihetta vuonna 1997 Nordberg-Lokomolla murtunut terävä keskiökärki. Kyseiselle terävälle keskiökärjelle tehtiin laaja tutkimus Lokomon laboratoriossa eivätkä tulokset antaneet mitään poikkeavaa tietoa kärjen aineen koostumuksesta. Vastapainot ovat silloisella tekniikalla mitoitettu ensimmäisen vaiheen kiinnitykseen ja toisen vaiheen vastapainot ovat peräisin silloin käytössä olleelta hiomakoneelta, jolla on hiottu epäkeskoakselin tarkat halkaisijat. Lisäksi on muistettava myös se, että hiomakoneessa käytettävät leikkuunopeudet ovat olleet paljon pienemmät kuin sorvilla.

Jari-Pekka Heiskanen

Työstökoneetta hankittaessa on laskettu lujuuksia kärjelle käytettävän maksimipainon mukaan ja käytössä olevan akselin painon vaikutusta kärkeen sekä tarvittavaa työntövoimaa. Näiden laskujen tulokset tukevat oikeita arvoja, ja sen puolesta ei ole työturvallisuusriskiä kärjen kestämissä suhteissa.

Kärjen murtumisen yhteydessä oli myös vaikeuksia saada hyvää pinnanlaatua, mihin suuri parannus saatiin kärjen pinolin laakeroinnin muutoksella. Tämä on varmasti ollut osasyllinen kyseisen terävänkärjen murtumiseen vuonna 1997.

3. KESKIÖKÄRKI

3.1 Kiinnitysmenetelmät

Akseli kiinnitetään terävien ja leikattujen kärkien väliin (kuva 10). Kiinnitys kärkien välissä mahdollistaa sen, että pystytään koneistamaan molemmat akselinpäät sekä epäkeskeisyys. Kiinnitys kärkien välissä varmistaa myös heitottoman akselin valmistamisen vaadituille toleransseille.

Kiinnityksessä on laskettava pinolille työntövoima, joka määräytyy sorvattavan epäkeskoakselin massan mukaisesti. Tämän lasketun työntövoiman tulee olla suurempi kuin akselista kärkeen vaikuttavan voiman. Näin suurilla halkaisijoilla ei ole työntövoimasta johtuvaa nurjahdusvaaraa. Pinolin työntövoiman asettamisen jälkeen kärki painetaan kappaleen keskiökuoppaan ja saavutetaan pinolin lopullinen siirtymä. Pinoli lukitaan saavutettuun kohtaan.



Kuva 10 Terävä- ja leikattukärki

3.2 Vaikuttavat voimat kiinnityksissä

Epäkeskoakselin suurin vaikuttava voima on akselin massasta tuleva voima, ja epäkeskoakselin pyöriessä tulee sen epäkeskeisyydestä epäkeskomassanvoima. Leikkausjännitys vaikuttaa akselinpään ja terävänkärjen liitoskohdassa.

Taivutusjännitys vaikuttaa keskiökärjen ja pinolin liitoskohdassa. Akselin ollessa kiinnitettynä kärkien välissä on vaikuttava jännitys kärkeen puolet koko massan voimasta.

3.3 Epäkeskoakselin taipuma

Epäkeskoakselin suora taipuma merkataan y-kirjaimella. Tällöin epäkeskoakseli taipuu tasokäyräksi, jota sanotaan akselin kimmoviivaksi tai taipumaviivaksi. Tämän maksimitaipumalla tarkoitetaan maksimietäisyyttä teoreettisesta keskiviivasta. Tässä tapauksessa se on kappaleen keskellä johtuen symmetrisestä kappaleesta, jolloin myös voidaan laskea voima tasaiseksi kuormaksi. Tässä ei ole huomioitu

Jari-Pekka Heiskanen

vastapainojen osuutta, joka ei ole merkittävä osuus koko massasta.

Koneenrakennuksessa akseleiden suhteellisen taipuman yleisenä nyrkkisääntönä on pidetty 1:3000. /8/

Epäkeskoakselin taipuma yhtälön (1) mukaisesti.

$$y_{max} = \frac{5 \times F \times L^3}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 38465 \times 3028^3}{384 \times 210 \times 10^3 \times 4.32 \times 10^9} = 0.016 \text{ mm} \quad (1)$$

F = voima (N)

L = Pituus (mm)

I = Neliömomentti (mm⁴)

E = Kimmokerroin (GPa)

Tästä saatu tulos maksimitaipumaksi on noin puolitoista sadasosaa, joka jää suhteellisen taipuman alapuolelle reilusti. Tällä taipumalla ei ole suurta merkitystä epäkeskoakselin koneistukseen, koska suurin taipuma on akselin keskellä ja kyseisen halkaisijan koneistusvaatimukset ovat yleistoleranssissa, ja ei edellytä tämän taipuman huomioimista. Taipumaa pienentää puristus kärkien välissä, joka tukevoittaa epäkeskoakselia. Mitä suurempi I:n tulo, sitä jäykempi kappale on. /8/

3.4 Kärkeen kohdistuva leikkausjännitys

Kärkiin kohdistuvat leikkausvoimat laskettiin terävälle ja leikatulle kärjelle. Suurin voima kärkeen muodostuu leikkausvoimasta, jonka aiheuttaa epäkeskoakselin massa, ja toinen voima tulee akselin pyöriessä epäkeskeisyyden massasta. Tämä leikkausvoima saadaan kertomalla kappaleen massa maanvetovoima sekä epäkeskomassasta aiheutuva voima, joka on epäkeskoakselin massa kertaa kiihtyvyys. Nämä saadut tulokset jaetaan terävänkärjen suurimmalla kosketus

Jari-Pekka Heiskanen

pinta-alalla. Akselin ollessa muodoiltaan symmetrinen voima kohdistuu tasapuolisesti molempiin päihin ja tällöin molemmat leikkausjännitykset pitää jakaa kahdella. Terävään kärkeen kohdistuva epäkeskoakselin massan leikkausjännitys laskettiin yhtälön mukaisesti. /1/6/

$$\tau_1 = \frac{F}{A} = \frac{38465 \text{ N}}{881.4 \text{ mm}^2} = 43.62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

Saatu leikkausjännitys on laskettu koko epäkeskoakselin massasta. Kiinnityksen ollessa kärkien välissä pitää saatu leikkausjännitys jakaa kahdella, jotta saadaan kärkeen kohdistuva leikkausjännitys.

$$\tau_1 = 43.62 / 2 = 21.81 \text{ N/mm}^2$$

Terävään kärkeen kohdistuva epäkeskomassan leikkausjännitys laskettiin yhtälön (2) mukaisesti. Epäkeskomassan ratkaisemiseksi täytyi laskea yhtälöiden (3) ja (4) avulla ensin nopeus ja sen jälkeen kiihtyvyys. Pyörimisnopeus laskettiin ensimmäisen koneistusvaiheen käytettävistä leikkuunopeuksista. Nopeuden arvoksi valittiin suurin pyörimisnopeus. Nopeus laskettiin yhtälöstä. /1/6/

$$v = 2 \times \pi \frac{r_e}{\frac{60}{n}} = 2 \times \pi \frac{0.00687 \text{ m}}{\frac{60}{106} \text{ 1/s}} = 0.0763 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$

Keskeiskiihtyvyys terävän kärjen kiinnityksessä lasketaan yhtälöstä. /1/6/

$$a = \frac{v^2}{r_e} = \frac{0.0763 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.00687 \text{ m}} = 0.85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (4)$$

Jari-Pekka Heiskanen

Tästä yhtälöstä (4) saatu kiihtyvyyks kerrotaan akselin massalla ja tämä saatu leikkausjännitys on epäkeskomassasta aiheuttama leikkausjännitys. /1/6/

$$\tau_2 = \frac{F}{A} = \frac{3333 \text{ N}}{881.4 \text{ mm}^2} = 3.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

Kiinnityksen ollessa kärkien välissä on leikkausjännitys jaettava kahdella

$$\tau_2 = 3.78 / 2 = 1.89 \text{ N/mm}^2$$

Leikattuun kärkeen kohdistuva epäkeskomassan leikkausjännitys laskettiin yhtälön (2) mukaisesti. Epäkeskomassan ratkaisemiseksi täytyi laskea yhtälöiden (3) ja (4) avulla ensin nopeus ja sen jälkeen kiihtyvyyks. Pyörimisnopeus laskettiin toisen koneistusvaiheen käytettävistä leikkuunopeuksista. Nopeuden arvoksi valittiin suurin pyörimisnopeus. Nopeus laskettiin yhtälöstä. /1/6/

$$v = 2 \times \pi \frac{r_e}{60} = 2 \times \pi \times \frac{0.00859 \text{ m}}{133 \text{ 1/s}} 0.1196 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (3)$$

Keskeiskiihtyvyyks leikatun kärjen kiinnityksessä lasketaan yhtälöstä

$$a = \frac{v^2}{r_e} = \frac{0.1196 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{0.00859 \text{ m}} = 1.67 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (4)$$

Leikattuun kärkeen kohdistuva massan leikkausjännitys laskettiin yhtälöstä

$$\tau_1 = \frac{F}{A} = \frac{37637 \text{ N}}{4525 \text{ mm}^2} = 8.32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

Kiinnityksen ollessa kärkien välissä leikkausjännitys on jaettava kahdella

$$\tau_1 = 8.32 / 2 = 4.16 \text{ N/mm}^2$$

Jari-Pekka Heiskanen

Leikattuun kärkeen kohdistuva epäkeskomassan leikkausjännitys lasketaan yhtälöstä

$$\tau_2 = \frac{F}{A} = \frac{6407 \text{ N}}{4525 \text{ mm}^2} = 1.12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

Kiinnityksen ollessa kärkien välissä leikkausjännitys on jaettava kahdella

$$\tau_2 = 1.12 / 2 = 0.56 \text{ N/mm}^2$$

Näiden yhtälöiden tuloksien perusteella voidaan todeta epäkeskomassan aiheuttaman voiman jäävän pieneksi, joten lujuusominaisuuksiin sillä on pieni vaikutus. Suurempaa vaikutusta sillä on vaadittavien pinnanlaadun ja pyöreiden toteutumiseen, koska pienikin epätasapaino vaikeuttaa suuresti vaadittavien toleranssien toteutumista. Työstökeskuksen ominaisuudet vaikuttavat myös ratkaisevasti vaadittavien toleranssien onnistumiseen. Lisäksi koneistettavan epäkeskoakselin massa rajoittaa suurien leikkuunopeuksien käyttöä.

3.5 Kärkeen kohdistuva taivutusjännitys

Kärjen ja pinolin liitoskohdan juuressa vaikuttaa taivutusjännitys, joka lasketaan massan voiman ja etäisyyden tulona kärjen päästä yhtälöstä. /1/6/

$$\sigma_1 = \frac{F \times L}{I} \times \frac{D}{2} = \frac{20806 \text{ N} \times 90 \text{ mm}}{773271.7 \text{ mm}^4} \times \frac{63 \text{ mm}}{2} = 76.28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (5)$$

Taipumaa ilmoitetaan f-kirjaimella ja lasketaan seuraavasta yhtälöstä. /5/8/

$$f = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} = \frac{20806 \text{ N} \times 90 \text{ mm}^3}{3 \times 210 \times 10^3 \times 773271.7 \text{ mm}^4} = 0.0311 \text{ mm} \quad (6)$$

Jari-Pekka Heiskanen

Taipuman kulma lasketaan yhtälöllä, josta tulos saadaan radiaaneina. /1/6/

$$\alpha = \frac{F \times L^2}{2 \times E \times I} = \frac{20806 \text{ N} \times 90 \text{ mm}^2}{2 \times 210 \times 10^3 \times 773271.7 \text{ mm}^4} = 0.000519 \text{ rad} \quad (7)$$

Radiaanit laskettiin asteiksi yhtälöllä. /1/6/

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \times 0.000519 \text{ rad} = 0.0297^\circ \quad (8)$$

Yhdistetyt jännitykset terävälle kärjelle lasketaan yhtälöstä. /1/6/

$$\sigma_{red1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau^2} = \sqrt{76.28^2 + 3 \times 21.81^2} = 85.12 \text{ MPa} \quad (9)$$

Leikatulle kärjen σ_2 on laskettu yhtälön (5) mukaan, käyttäen leikatun kärjen voimaa ja etäisyyttä. Yhdistetyt jännitykset leikatulle kärjelle lasketaan yhtälöstä

$$\sigma_{red2} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \times \tau^2} = \sqrt{78.28^2 + 3 \times 1.89^2} = 78.35 \text{ MPa}$$

Yhdistettyjen jännitysten perusteella voidaan laskea varmuus kärjille käyttäen valmistetun kärjen myötörajaa. Kärjen materiaali on työkaluterästä, merkintänä 105WCr6 ja myötöraja 850 - 1000 N/mm². Varmuusluku lasketaan veto-puristusvaihtolujuuden (σ_{vpw}) mukaan, joka saadaan laskettua taivutusvaihtolujuudesta (σ_{tw}), joka on verrannollinen vetomurtorajaan (R_m). /4/

Taivutusvaihtolujuus laskettiin yhtälöstä /4/.

$$\sigma_{tw} = 0.495 \times R_m = 0.495 \times 1000 \text{ N/mm}^2 = 495 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

Jari-Pekka Heiskanen

Vetopuristusvaihtolujuus laskettiin yhtälöstä. /4/

$$\sigma_{vpW} = 0.7 \times \sigma_{tw} = 0.7 \times 495 \text{ N/mm}^2 = 346.5 \text{ N/mm}^2 \quad (11)$$

Varmuusluku terävälle kärjelle laskettiin yhtälöstä. /4/

$$n = \frac{\sigma_{vpW}}{\sigma_{red1}} = \frac{346.5 \text{ N/mm}^2}{85.12} = 4.07 \quad (12)$$

Varmuusluku leikatulle kärjelle laskettiin yhtälöstä. /4/

$$n = \frac{\sigma_{vpW}}{\sigma_{red2}} = \frac{346.5 \text{ N/mm}^2}{78.35} = 4.42$$

3.6 Keskiökuopan muoto

Epäkeskoakselin keskiökuopan muoto määräytyy taulukosta akselin halkaisijan ja radiaali suunnassa vaikuttavan voiman mukaan. Näillä tiedoilla keskiökärjen muodoksi valittiin tekniikan taulukkokirjasta muoto B. Taulukot ovat tietenkin suosituksia ja tässäkin tapauksessa voi käyttää A tai B muotoa suunnittelijan oman valinnan mukaan. Kokemuksen perusteella kiinnityksen ollessa kärkien välissä, koneen ominaisuudet vaikuttavat suuresti siihen, kumpaa keskiökuopan muotoa kannattaa käyttää. Epäkeskoakselin ollessa lähellä työstökeskuksen maksimi painoa, C160 epäkeskoakselin keskiökuoppa muutettiin muodon B mukaiseksi. Tekniikan taulukkokirja suosittaa käytettäväksi B- muotoa akselin halkaisijan ylittäessä 280 mm tai staattinen kuormitus kärkeen ylittää 800 kg. Tässä epäkeskoakselissa toteutuvat molemmat kohdat, jotka suosittelevat B-muodon käyttöä. Koneistukseen muutoksena tuli poteron syvyyden lyhentäminen ja lisäviiste keskiökuopan alkuun, tämän muodon valmistamiseksi tarvitaan lisää yksi poraustyökalu. /7/

Jari-Pekka Heiskanen

4.VASTAPAINO

4.1 Epäkeskoakselin keskipakoisvoima

Epäkeskoakselin epäkeskeisen massan aiheuttama voima on hyvä laskea, että saadaan tuntuma minkälaisista voimista on kyse. Tämä saadaan ratkaistuksi yhtälöstä (11), jossa laskettiin ensiksi koko epäkeskeisen osan paino (M) käyttäen teräksen tiheyttä (7850 kg/m^3). Etäisyys (e) on epäkeskeisyyden etäisyys pyörintäkeskiöstä ja nopeus (ω) toiseen potenssiin $/1/6/$.

$$F = M \times e \times \omega^2 = 2220.77 \text{ kg} \times 0.016 \text{ m} \times 11.1 \text{ 1/s}^2 = 4378 \text{ N} \quad (11)$$

Kiinnityksen ollessa kärkien välissä voima on jaettava kahdella, jolloin saadaan kärkeen kohdistuvavoima

$$F = 4378 \text{ N} / 2 = 2189 \text{ N}$$

4.2 Vastapainon tarkoitus

Vastapainon tarkoituksena on tasapainottaa epäkeskeisyydestä muodostuvaa epätasapainoa. Vastapaino antaa turvallisuutta sorvausvaiheeseen ja kuormittaa työstökonetta vähemmän. Vastapainon laskemiseen tarvitaan massakeskipiste, joka on epäkeskeisyydestä tuleva keskipiste ja sen etäisyys pyörimiskeskisteeseen. Etäisyyden pituus ja epäkeskoakselin massa kerrotaan yhteen ja näiden tulo täytyy olla sama kuin suunniteltavan vastapainon tulo. Ensimmäisen vaiheen kiinnityksessä oli huomioitavana myös se, että vastapainoja on kaksi kappaletta. Tällöin tulo on kahden vastapainon summa.

Jari-Pekka Heiskanen

4.3 Vastapainon suunnittelu

Vastapainon suunnittelu tehtiin NX-Ideasmallinnusohjelmalla. Mallintamisessa huomioitiin massanlaskentaan ensimmäisen vaiheen sorvaus valmiiksi koneistettuna, koska viimeistelysorvauksessa vastapainon oikealla koolla on suurin merkitys valmistettavan pinnanlaadun ja toleranssien toteutumiseen. Ensiksi mallinnettiin epäkeskoakseli ensimmäisen sorvausvaiheen mukaiseksi. Suurin haaste ensimmäisen vaiheen vastapainon suunnittelussa oli vastapainon muotoa ja kokoa rajoitti kärjen päässä oleva tukilaakeri. Tukilaakeria ei voida ottaa pois ja siksi sen ainoa paikka on olla siirtopylkän puoleisessa päässä. Tämä vaikutti vastapainon suunnittelussa muodon mitoitukseen siten, että vastapainon mallintamista rajoitti ulkohalkaisija ja leveys tällöin tarvittavaa massaa jouduttiin lisäämään vain painon toiselle sivulle. Vastapainojen tullessa akselin molempiin päihin täytyi näiden olla myös saman muotoisia ja sivupaino peilikuvana.

Toisen vaiheen epäkeskoakseli massan laskeminen suoritettiin valmiin sorvausmuodon massan mukaisesti. Vastapainon määrittäminen lasketaan myös tulona eli etäisyys kertaa massa. Ensinnäkin mallinnettiin epäkeskoakseli. Tälle lasketettiin Ideaksella massakeskipisteen etäisyys pyörimispisteen keskiöstä ja tämä kerrottiin epäkeskoakselin massalla. Saatu tulo pyrittiin saada yhtä suureksi suunniteltavalle vastapainolle.

Vastapainojen mallintamisessa oli tietyt rajoitukset molemmissa vaiheissa, ensimmäisessä vaiheessa vastapainojen muodon ja koon määritteli suuresti akselin päähän jätettävä tukilaakeri, koska tätä ei voi siirtää siirtopylkän toiselle puolelle. Toisen vaiheen suunnittelussa pidin painon vahvuuden samoissa mitoissa kuin vanhassakin. Tämä vastapaino suunniteltiin yhdeksi kokonaisuudeksi, joka helpottaa vastapainon keskittämistä epäkeskoakselille.

Jari-Pekka Heiskanen

4.4 Vastapainon toteutus

Vastapainojen mallinnuksen jälkeen luotiin jokaisesta osasta nimike ja tehtiin NX-Ideaksella piirustuskuva ja kokoonpanokuva jokaisesta vastapainosta. Nämä kaikki piirustuskuvat tallennettiin Atoniin. Näiden piirustuskuvien perusteella tilattiin alihankinnasta vastapainot (liite 1, 2 ja 3).

Vastapainojen kohdistamiseen epäkeskoakselille painojen ulkopuolelle tehtiin M16-kierrereikä nostosilmukkaa varten, joka on keskellä painopistettä. Tätä ei voitu toteuttaa ensimmäisen vaiheen painoilla sivusuunnassa, koska painopiste oli keskellä hitsaussaamaa. Vastapainon asettaminen tukilaakerin kohdalle on hankalaa tilan ahtauden takia. Tähän ei ole muita vaihtoehtoja, ellei tehdä erillistä asetuspuukia epäkeskoakseleille.

5. MITTAUSTULOKSET

5.1 Mittausmenetelmä

Epäkeskoakselin mittaukset suoritettiin Vaahto Group Oy:ssä Tampereella. Siellä on tarvittava tasapainomittauskone ja välineet kyseisen akselin mittaukseen (kuva 11 ja 12). Mittauksien tarkoituksena oli todeta uusien mallinnettujen vastapainojen oikeellisuus. Tämä antoi myös mahdollisuuden verrata painojen siirtämisen pois keskilinjasta, jolloin nähtiin siirron vaikutus epätasapainoon. Tarkoituksena oli myös verrata mittauksia vanhoihin painoihin ja mahdollisesti myös ilman vastapainoja.

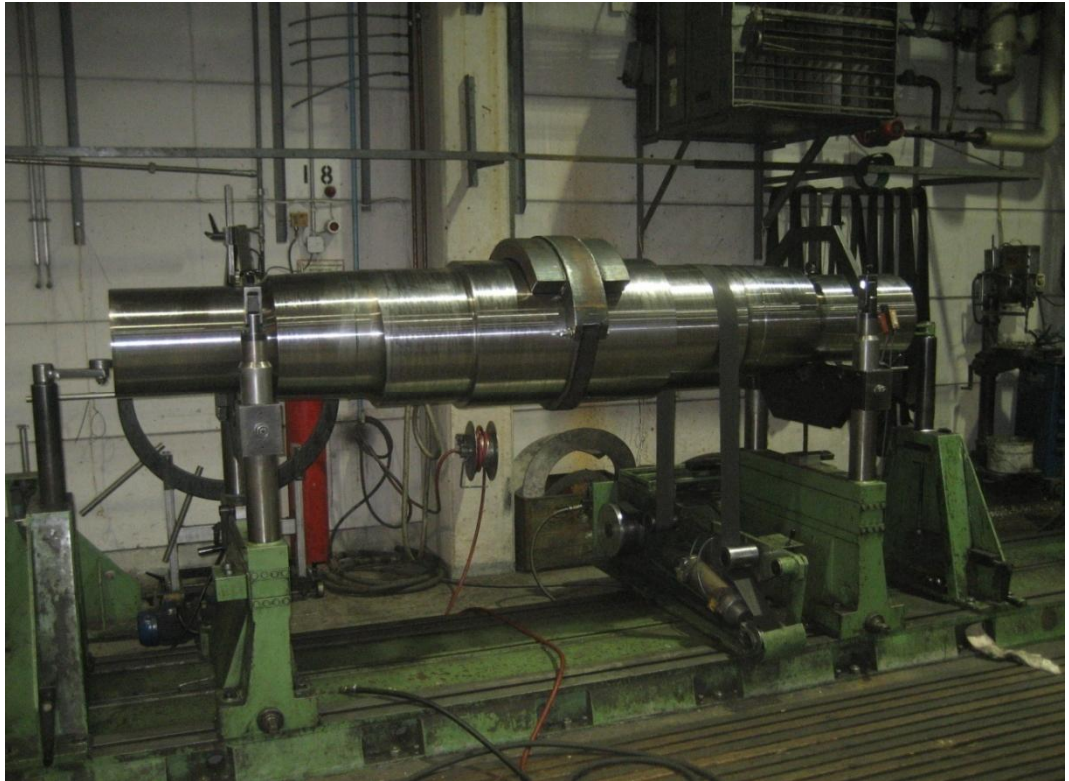
Jari-Pekka Heiskanen



Kuva 11 Tasapainomittauskoneen ohjauspaneeli

Mittausmenetelmä suoritettiin sorvatus halkaisijan ollessa laakereiden päällä ja veto tapahtui keskeltä kumiremmillä. Akseli oli tuettu myös sivusuunnassa tukilaakereilla. Mittauksen onnistumiseksi täytyi tasapainoituskoneen pyörintänopeus nousta vähintään 120 r/min.

Jari-Pekka Heiskanen

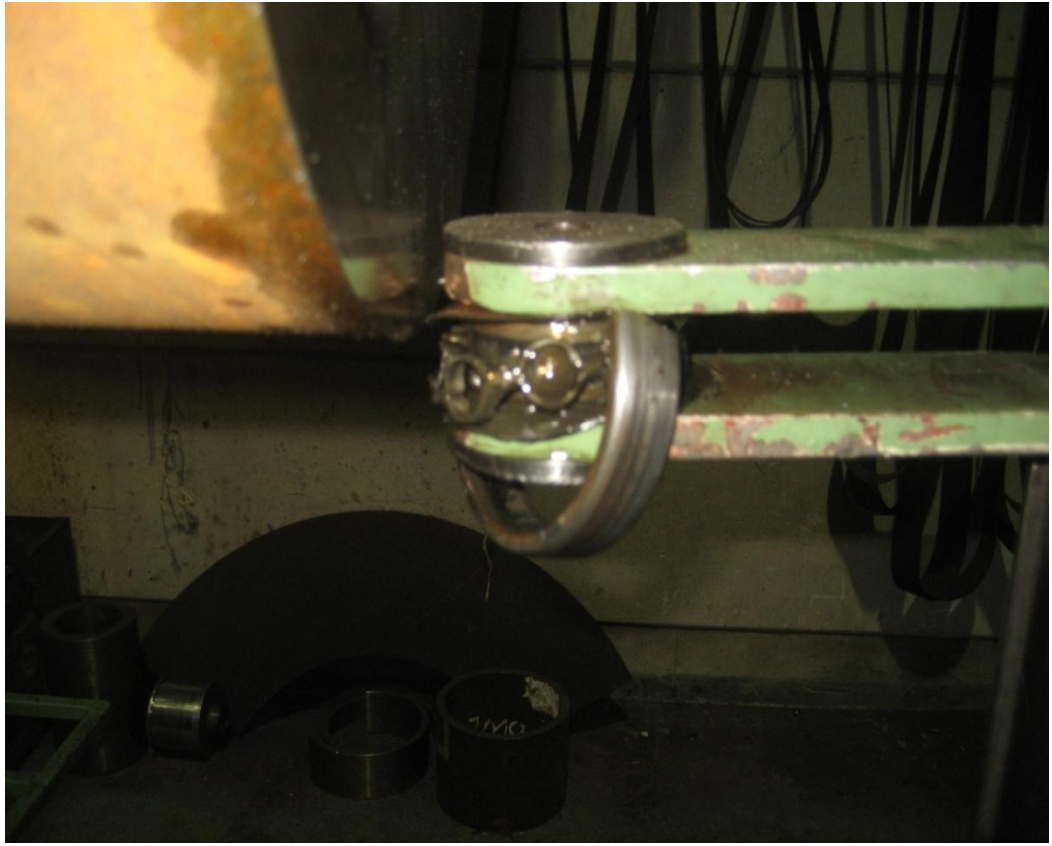


Kuva 12 Tasapainomittauskone

5.2 Vanhoilla vastapainoilla

Mittaus oli tarkoitus tehdä myös vanhalla painolla tässä ensimmäisen vaiheen kiinnityksessä. Mittauksen alkaessa oli heti huomattavissa akselin huojuntaa sivutukena olevaa laakeria vasten. Kierroksia nostettiin hiljalleen ylöspäin, kunnes saavutettiin haluttu kierrosalue. Akseli ponnahti pari kertaa laakereiden päällä ja hätä-pysäytys sammutti koeajon. Heilahdus hajotti samalla sivutukena olevan laakerin (kuva 13). Tämä tapaturma lopetti testauksen vanhalla painolla, ja samalla luovuttiin myös testauksesta ilman painoja. Mittauksen onnistumiseksi tarvittiin nopeudeksi vähintään 120 r/min, joka oli liian suuri riski testattavaksi epätasopainoista vastapainoa.

Jari-Pekka Heiskanen

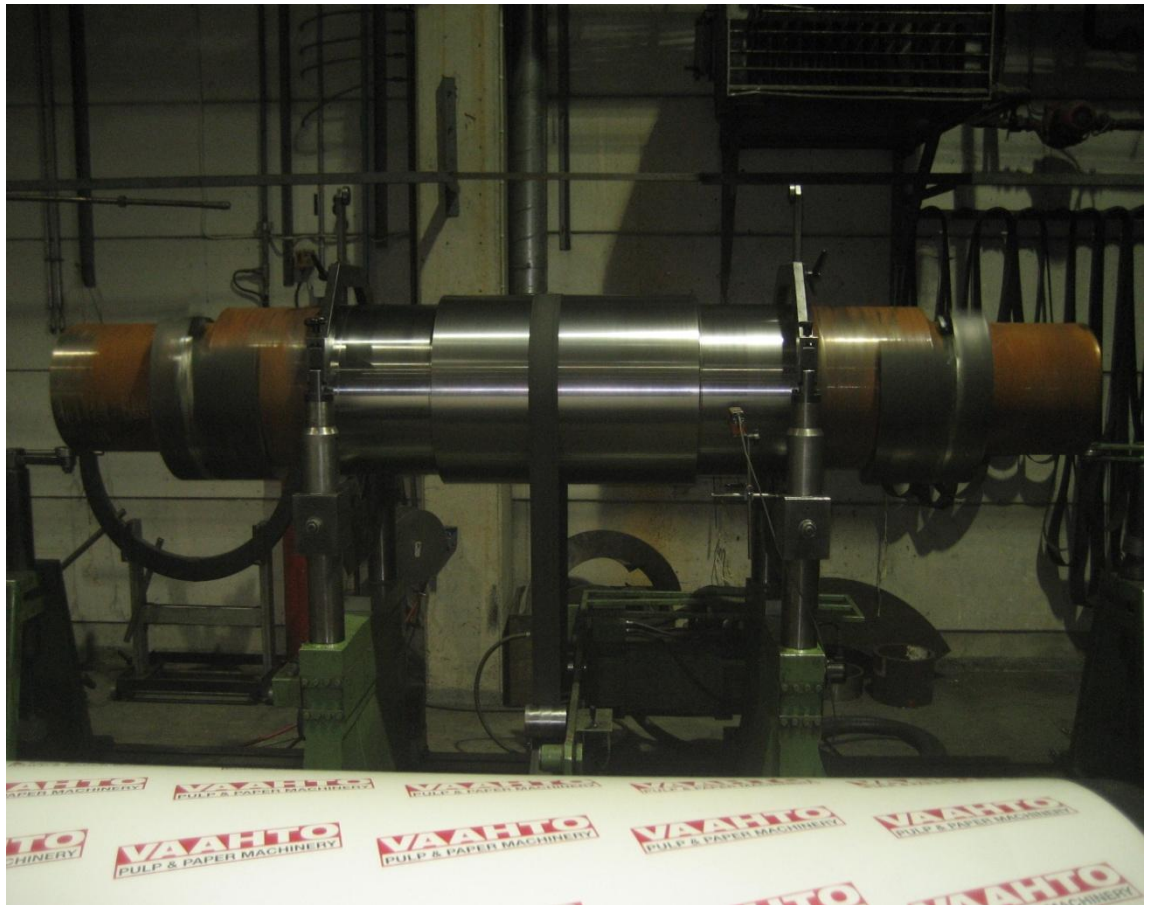


Kuva 13 Viottunut tukilaakeri mitattaessa vanhoilla painoilla

5.3 Uusilla vastapainoilla

Mittaukset uusilla vastapainoilla saatiin suoritettua hyvin (kuva 14). Silmämääräisestikin akseli pyöri tasaisesti. Käytetty kierrosnopeus oli 152 r/min. Ensimmäisen vaiheen uusien painojen mittaus antoi tulokseksi noin 15.5 kiloa lisämassaa 220 mm:n säteellä (liite 4). Mittaukset tehtiin vastapainon siirto keskilinjasta eteen ja taakse silmämääräisesti noin kaksi senttiä (liite 5 ja 6). Vastapainojen tarkistus punnitus antoi toiselle painolle saman kuin mallinnettu paino, ja toinen oli kilon pienempi. Massan eron syy todennäköisesti johtuu sivupainon hitsausvirheestä. Sivupaino oli vääntynyt keskiöön päin, jonka vuoksi se jouduttiin koneistamaan oikeaan halkaisijaan.

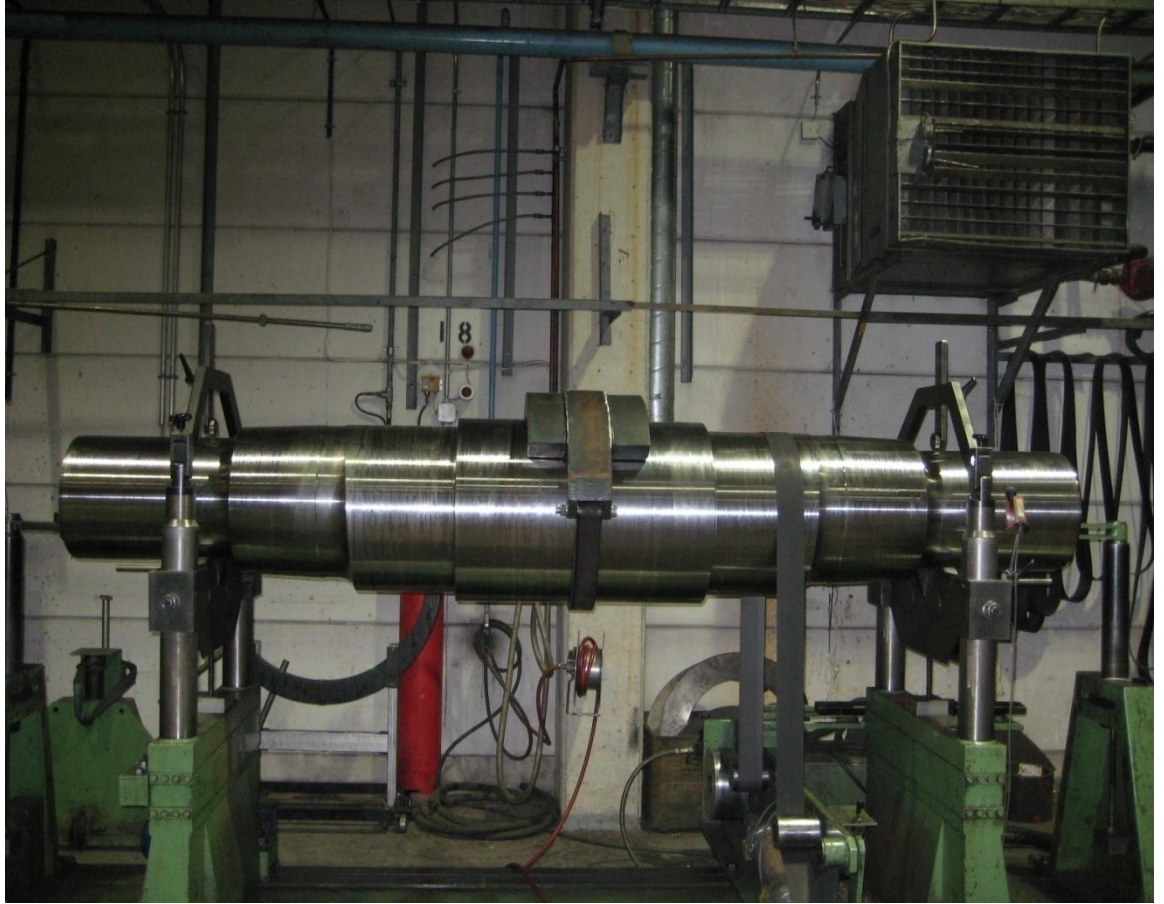
Jari-Pekka Heiskanen



Kuva 14 Tasapainon mittaus ensimmäisen vaiheen uusilla vastapainoilla

Toisen vaiheen mittaukset saatiin suoritettua hyvin, ja mittauksen toteutus tehtiin ensiksi keskellä akselia sekä siirtämällä keskilinjasta molemmille puolille noin kaksi senttiä (liite 8 ja 9). Toisen vaiheen uuden vastapainon mittauksen tulokset vaativat myös lisämassaa, vaikka vastapaino oli painavampi kuin mallinnettu. Tarvittava lisämassa on noin 12 kg 300 mm säteellä. Vastapainon mallinnettu massa oli 162 kg, ja valmistettu vastapaino painoi kolme kiloa enemmän. Aihoiden polttoleikkaus antaa helposti näin suurilla muodoilla muutaman lisäkilon (kuva 15).

Jari-Pekka Heiskanen



Kuva 15 Tasapainomittaus toisen vaiheen uudella vastapainolla

Toisen vaiheen mittaukset pystyttiin tekemään myös vanhoilla painoilla (liite 10). Näiden mittaustulokset antoivat ylipainoa noin 8 kiloa. Uusien vastapainojen mittaustulokset antoivat lisäpainoa noin 12 kiloa (liite 7). Lisäpaino on mahdollista lisätä vastapainon sivupainoon erillisillä lisäpainolla. Tämä korjaus pystytään tekemään pienellä työllä, ja tarkkuus on varmasti lähellä todellista oikeaa vastapainoa. Tarvittava lisäpaino voidaan mallintaa mittaustulosten arvojen mukaiseksi. Mahdollinen tasapainovirhe on mahdollisimman pieni kyseisellä lisäpainolla.

Jari-Pekka Heiskanen

6. TYÖTURVALLISUUS

6.1 Murtunut kärki

Kärjen murtuminen tapahtui vuonna 1997 epäkeskoakselin ensimmäisen vaiheen sorvauksen yhteydessä. Kärjen murtuminen huomattiin vasta epäkeskoakselia nostettaessa koneelta, jolloin murtunut kärki putosi lastukaukaloon. Koska murtuneen kärjen muoto oli kupera se pysyi puristuspaineen ansiosta paikallaan, eikä lähtenyt irti akselin pyöriessä. Mahdollinen tapaturma oli lähellä, ja tämän jälkeen kärkien vaihtoväliä on lyhennetty tuntuvasti tummumisen sekä jälkien muodostumisen takia. Murtuneelle kärjelle tehtiin perusteellinen materiaalianalysointi Lokomon laboratoriossa. Saatuja tuloksia verrattiin kärjen valmistajan antamaan materiaalin seostaulukkoon. Materiaaliseoksien suhde todettiin oikeiksi ja ominaisuuksiltaan kärki oli valmistettu ilmoitetun materiaalin standardin mukaisesti.

6.2 Vastapainon tarkoitus

Vastapainon tärkein tarkoitus on kompensoida epäkeskeisyydestä tulevaa kuormitusta kärjelle epäkeskoakselin pyöriessä. Tämä vaikuttaa myös tavoiteltavaan pinnanlaatuun ja vaadittavien toleranssien toteutumiseen. Oikean suuruinen vastapaino lisää työturvallisuutta ja helpottaa epäkeskoakselien valmistamista vaadituilla toleransseilla. Vastapainoa käytettäessä voidaan koneistuksessa käyttää normaaleja leikkuunopeuksia ja saavutetaan vaaditut pinnanlaadut helpommin. Pyöreiden saavuttamiseen on myös suuri vaikutus, kun pienikin epäkeskeinen heitto aiheuttaa värinää. Se näkyy heti koneistuksessa ongelmana pinnanlaadussa ja pyöreudessa. Tämän johdosta on täytynyt pienentää leikkuunopeutta koneistettaessa isompia epäkeskoakseleilla. Epäkeskomassan vaikutus työstökoneen laakerointiin on pyritty minimoimaan vastapainoilla. Tällöin saavutetaan myös turvallinen kiinnitys ja helpotetaan koneistusvaiheen onnistumista. Nopeuden lisääntyessä epäkeskeisyydestä voi tulla suuri ongelma koneistuksessa. Leikkuunopeuden

Jari-Pekka Heiskanen

pienentäminen auttaa nopeasti värinäjäljien muodostumista, mutta huonon pinnanlaadun saaminen pois on vielä vaikeampaa.

7. YHTEENVETO

Työn tärkein asia oli tutkia nykyisin käytössä olevien vastapainojen oikea muoto ja paino. Työn aloituksessa päätettiin käyttää apuna suunnittelussa käytettävää mallinnusohjelmaa, NX-Ideasta. Tämä mahdollisti uusien vastapainojen mallintamisen ensimmäisessä vaiheessa. Vastapainot muutettiin molempiin päihin ja toisen vaiheen vastapainon muuttamista kahdesta yhteen vastapainoon. Mallinnusohjelman opettelu vei muutaman kuukauden, että sillä osasi tehdä yksinkertaisia 3D-malleja. Tähän kuului myös piirustuskuvien luominen osa- ja kokoonpanoineen sekä niiden tallentaminen Atoniin.

Vastapainolla on suuri merkitys vaadittujen koneistustoleranssien saavuttamiselle. Saatujen vastapainojen mittaustuloksien avulla saadaan lisättyä lisäpainoja uusille vastapainoille. Tarvittavat lisäpainot eivät ole mahdolloman suuria, jos sitä verrataan valmistettavan epäkeskoakselin massaan. Epäkeskoakselin valmis massa NX-ideaksella antoi 3720 kg ja punnittu valmis akseli painoi noin kilon vähemmän. Tällä mittauksella voidaan todeta käytettävän mallinnusohjelman antavan luotettavan tuloksen vastapainojen mitoitukselle. Vastapainoja mallintaessa jätiin mallintamatta kiilaurat ja tästä tuleva virhe on pieni. Tätä ei voida sanoa syyksi uusien vastapainojen vaadittaville lisäpainolle. Mittaukset tehtiin suurimmalle epäkeskoakselille ja siksi nämä mittaustulokset ovat hyvä pohja pienempien epäkeskoakselien vastapainojen tarkastukselle.

Muutoksia tehtiin keskiökuopan muotoon tekniikan taulukkokirjan mukaisesti, tämä koski myös C200 epäkeskoakselin keskiökuopan muotoa. Nämä samat kriteerit suosittivat muotoa B ja samalla myös kasvatettiin keskiökuopan kokoa taulukon mukaiseksi myös C200 epäkeskoakseliin jouduttiin suurentamaan myös keskiökuopan poteron halkaisijaa kahdeksastakymmenestä sataan millimetriin.

Jari-Pekka Heiskanen

Tämä muutos johtuu keskiökuopan syvyyden pitenemisestä, joka vaikutti kärjen siirtymiseen syvemmälle ja kantamaan poteron reunan halkaisijasta.

Epäkeskoakselin massasta lasketut jännitykset terävälle ja leikatulle kärjelle eivät antaneet mitään korjaamisen aihetta. Varmuudet jännityksissä olivat neljän paikkeilla. Varmuutta tasaiselle kuormalle on varmasti riittävästi, mutta epätasapainosta johtuva vetopuristusvoima onkin vaikeampi todeta. Tämän johdosta onkin vastapainojen oltava mahdollisimman lähellä oikeaa kokoa. Tutkimiselle lisäaihetta antoi kärjen tekemä keskiökuopan mustuminen, ja sen korjaamiseksi on ensimmäiseksi tarkastettava käytettävät työvälineet.

Uusien vastapainojen käyttöönotto mahdollistaa suuremman leikkuunopeuden sorvausvaiheissa. Tämä edellyttää vastapainojen korjaus painojen asentamista, jolloin saadaan paras hyöty uusista vastapainoista.

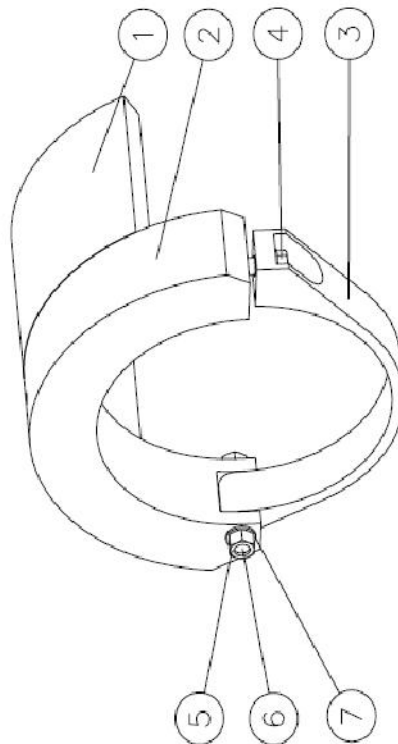
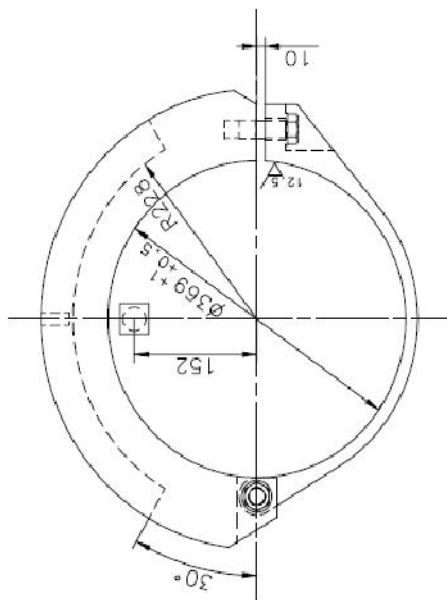
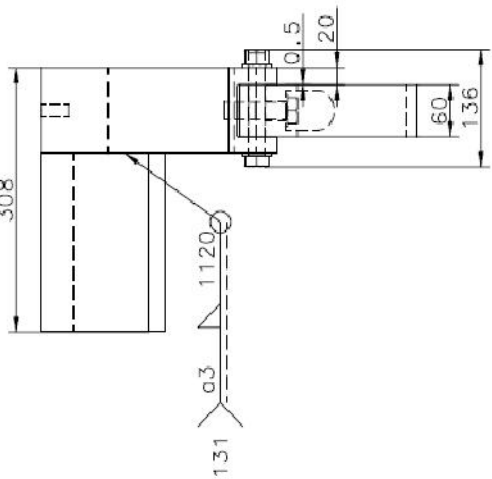
Jari-Pekka Heiskanen

LÄHDELUETTELO

- 1 Hietikko, Esa ja Lehtonen, Uljas Lujuuslaskennan perusteet. Otava. Helsinki 1994.
- 2 Metso Minerals Oy. [www-sivu]. [viitattu 20.5.2009].
Saatavissa: <http://www.metsominerals.com>
- 3 Metso Minerals Oy [www-sivu]. [viitattu 24.5.2009].
Saatavissa: <http://medias.metso.com/intra/Standard/SelectCatalog2.jsp>
- 4 Saarineva, Jarmo Lujuusoppi. Tampereen pikakopio Oy. Tampere 1993.
- 5 Salmi, Tapio Teknillisen mekaniikan perusteet. Pressus Oy. Tampere 2000.
- 6 Salmi, Tapio ja Oittinen, Hannu Lujuusopin perusteet. Pressus Oy. Tampere 2004.
- 7 Valtanen, Esko Tekniikan taulukkokirja, Genesis-kirjat Oy. Jyväskylä 2007.
- 8 Wuolijoki, Jaakko Koneenelinoppi 2. Otava. 1972.

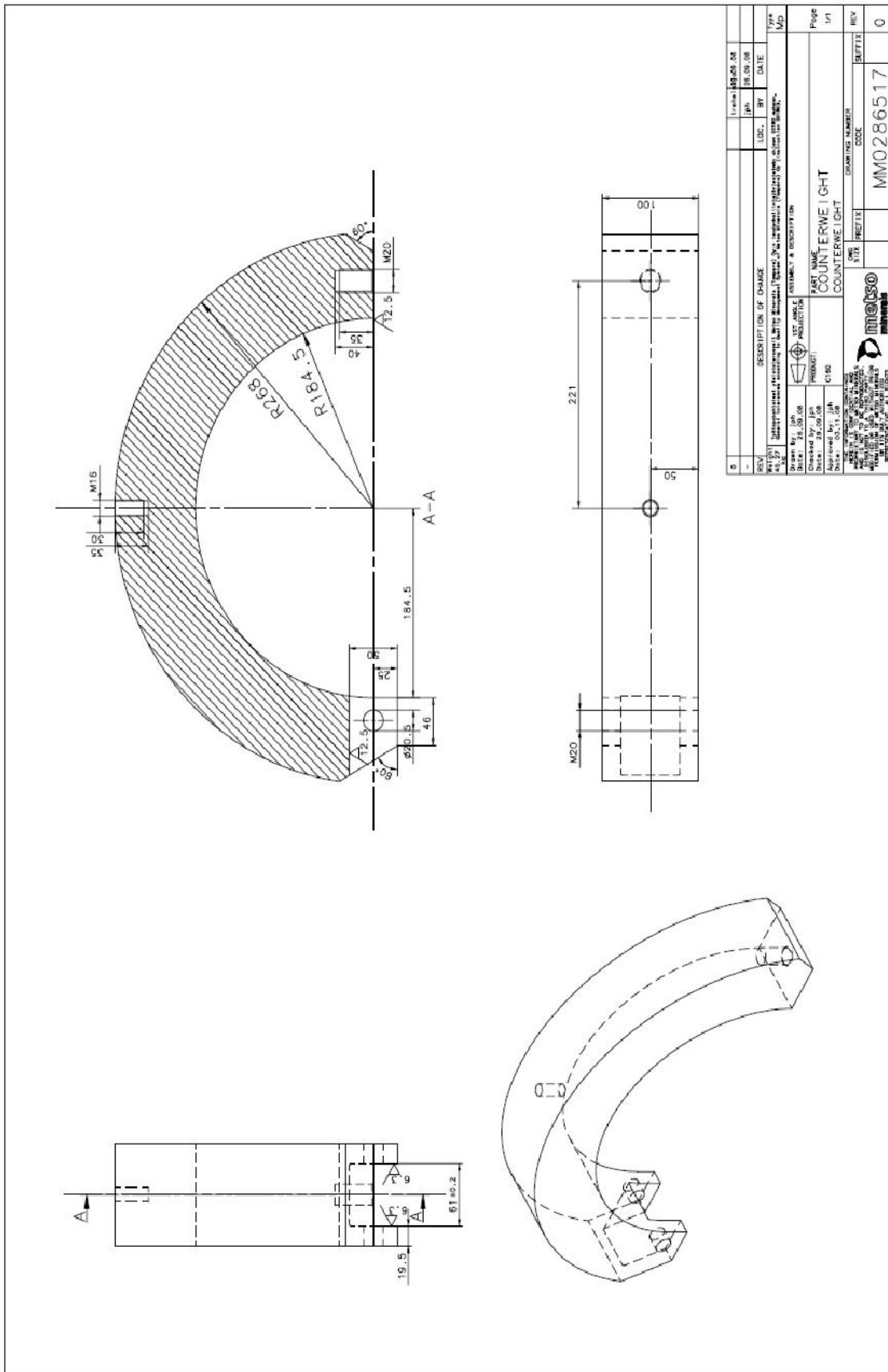
LIITTEET

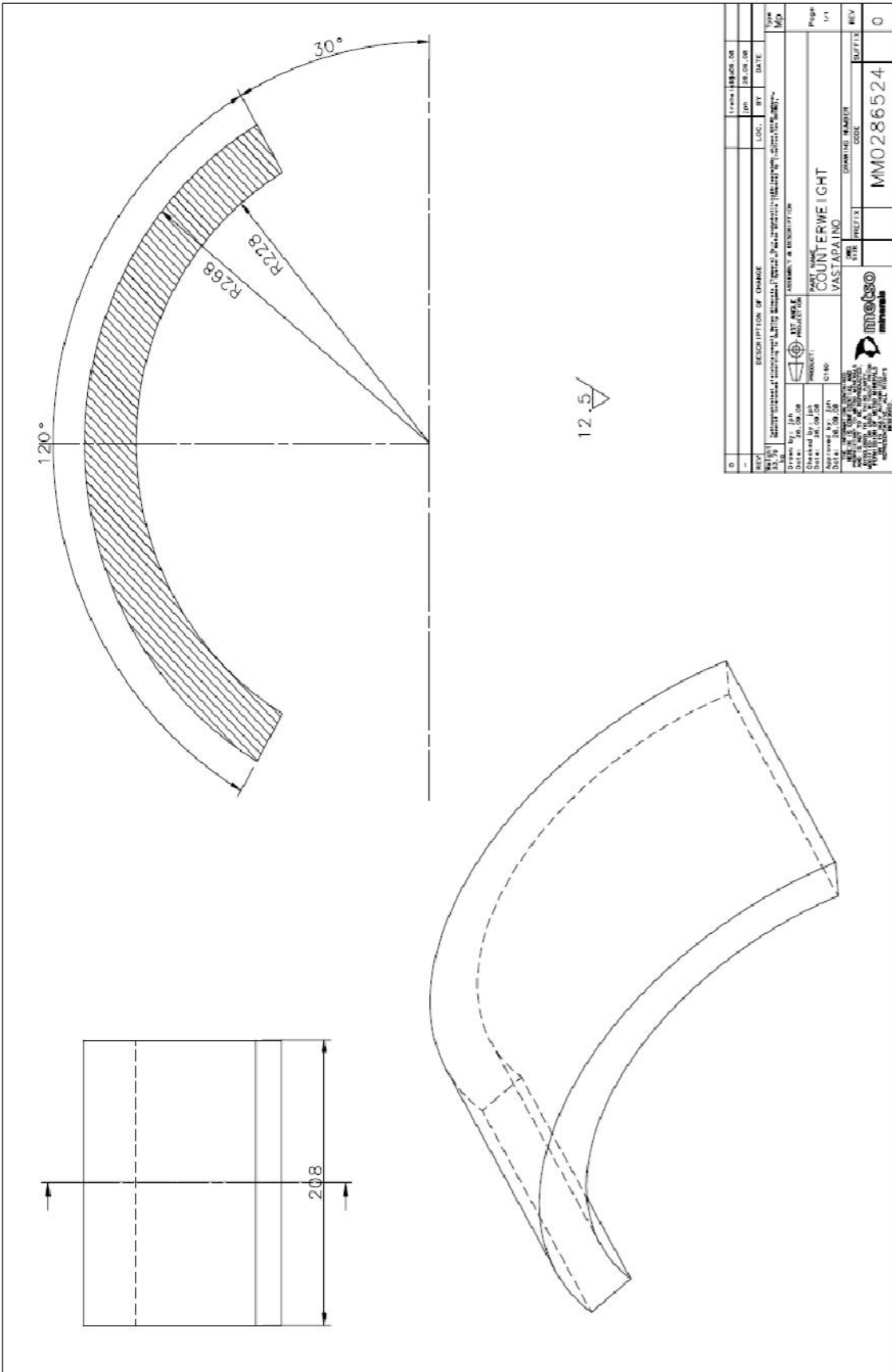
- Liite 1 Kokoonpanokuva ensimmäisen vaiheen vasen vastapainosta
- Liite 2 Kokoonpanokuva ensimmäisen vaiheen oikea vastapainosta
- Liite 3 Kokoonpanokuva toisen vaiheen vastapainosta
- Liite 4 Ensimmäisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset
- Liite 5 Ensimmäisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset siirto eteen
- Liite 6 Ensimmäisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset siirto taakse
- Liite 7 Toisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset
- Liite 8 Toisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset siirto eteen
- Liite 9 Toisen vaiheen uuden vastapainon mittaustulokset siirto taakse
- Liite 10 Toisen vaiheen vanhan vastapainon mittaustulokset

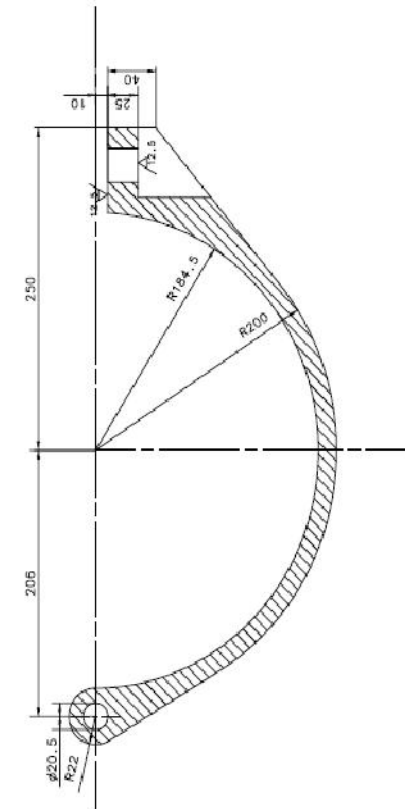


12.5

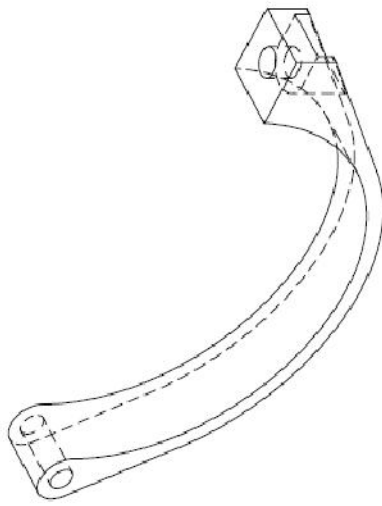
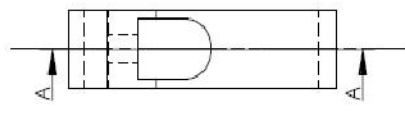
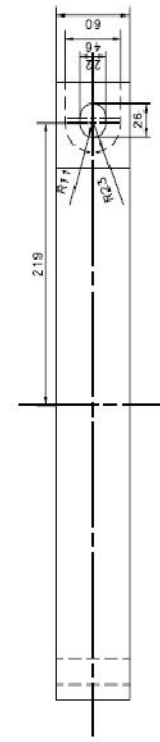
NO.	DESCRIPTION OF CHANGE	JPH	NO.	DATE
1				
2				
DRAWN BY: JPH DATE: 10.10.08 APPROVED BY: JPH DATE: 10.10.08 PRODUCT: C160 PART NAME: COUNTERWEIGHT ASSEMBLY VASTAPAINON KOKONAINEN DRAWING NUMBER: MM0287684 PRELIMINARY: NO REVISION: 0				







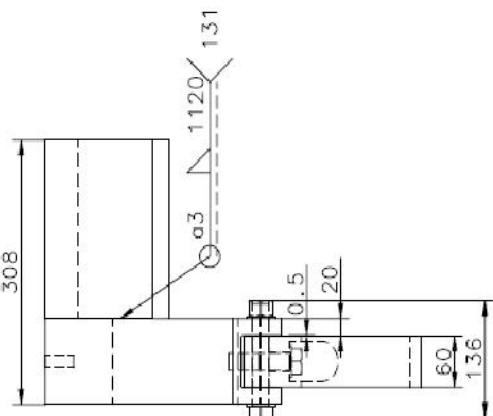
A-A



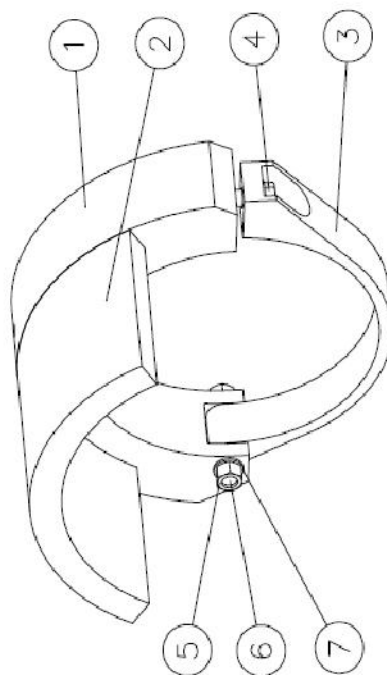
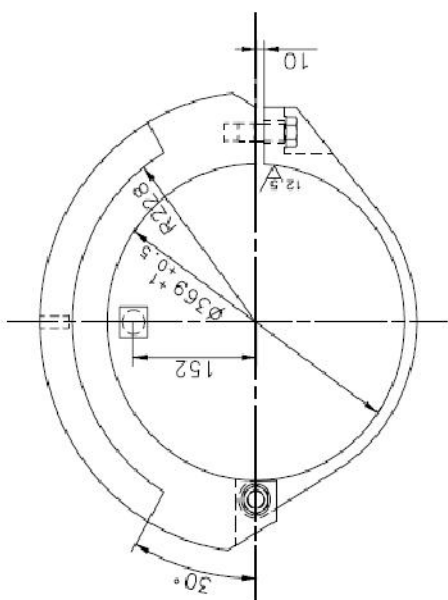
REV	DESCRIPTION OF CHANGE	DATE	BY	DATE	TYPE
0					0

DESIGNED BY: P. J. VASTAPAINO	DATE: 28.06.08	PROJECT: MMS0286534
DRAWN BY: P. J. VASTAPAINO	DATE: 28.06.08	PROJECT: MMS0286534
CHECKED BY: P. J. VASTAPAINO	DATE: 28.06.08	PROJECT: MMS0286534
APPROVED BY: P. J. VASTAPAINO	DATE: 28.06.08	PROJECT: MMS0286534

PART NAME: COUNTERWEIGHT	PAGE: 1/1
DRAWING NUMBER: MMS0286534	REV: 0

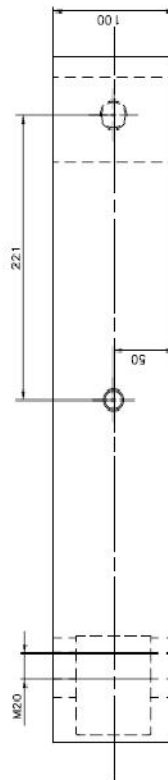
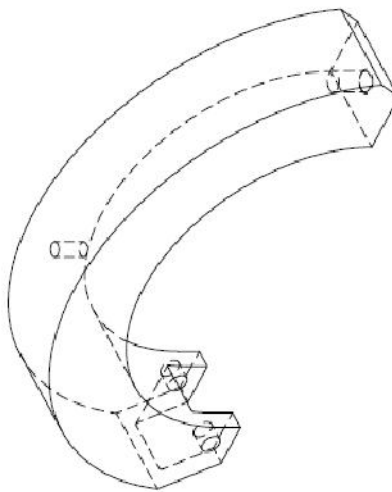
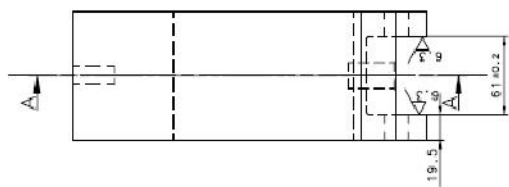
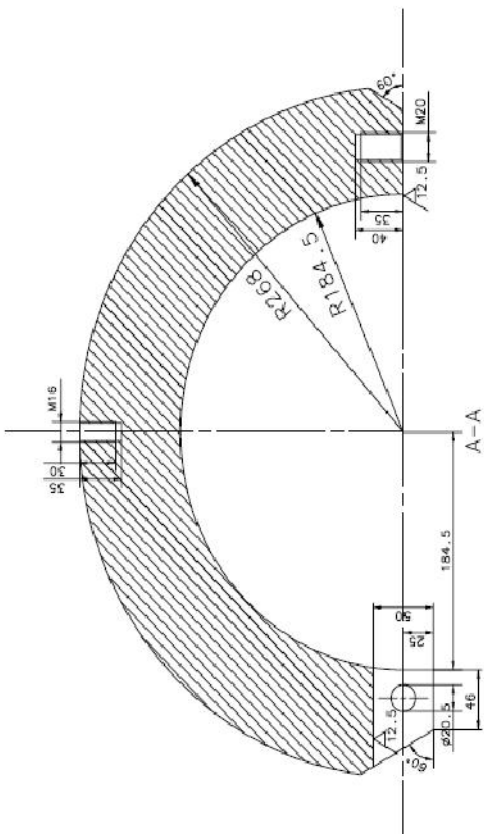


12.5/



REV	DESCRIPTION OF CHANGE	LOC.	BY	DATE	TYPE
0					MO

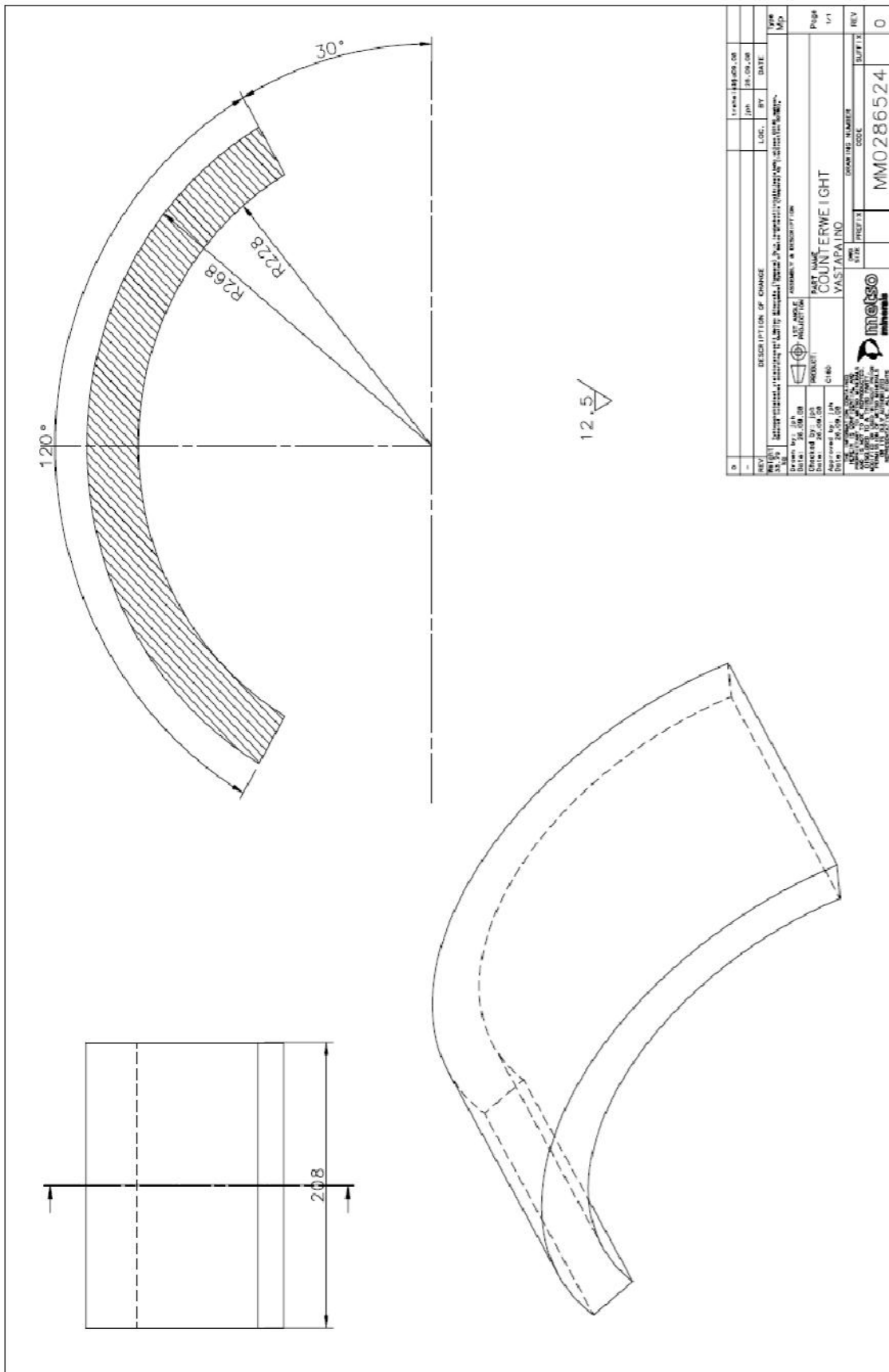
	DRAWING NUMBER MM0286893
PART NAME COUNTERWEIGHT ASSEMBLY VASTAPALINDI KOKKOPANO	DRAWING NUMBER MM0286893
SHEET 1/1	REV 0



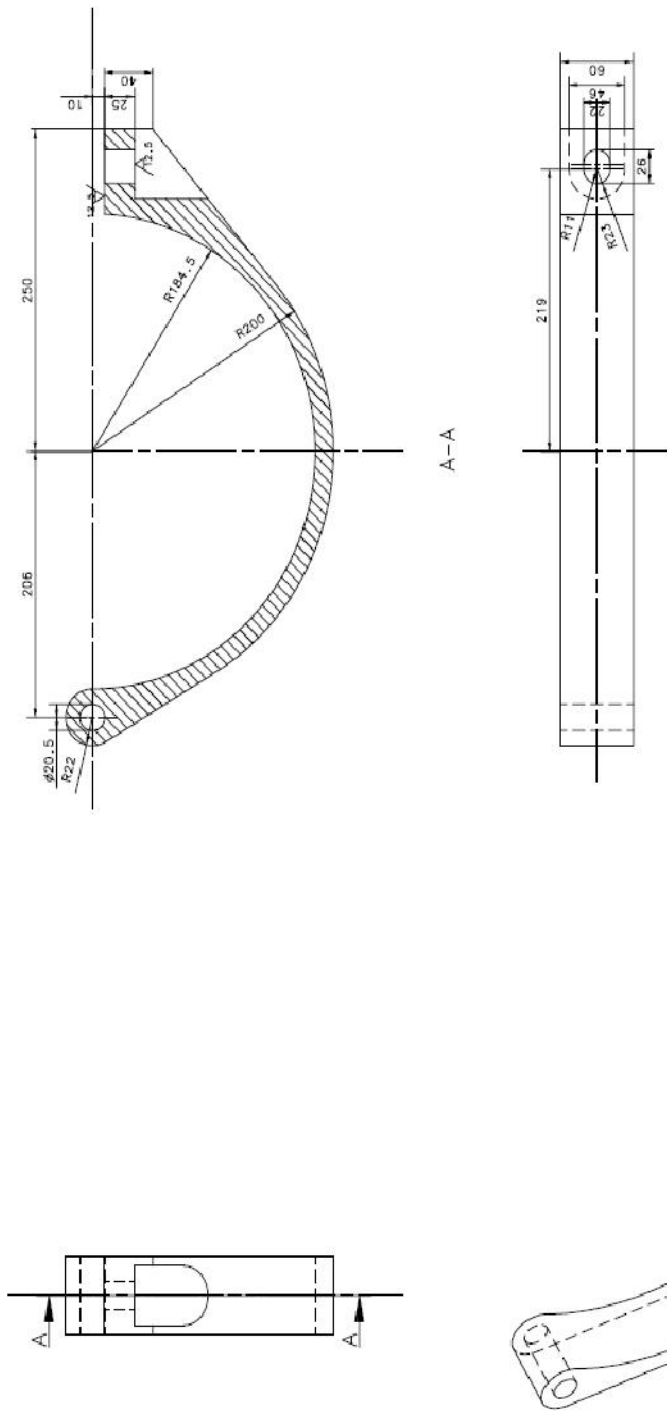
REV	DESCRIPTION OF CHANGE	LOC.	BY	DATE	TYPE MOD.
0					

DRAWING NO. MM0286517 PROJECT C180 DRAWING TITLE COUNTERWEIGHT PART NAME COUNTERWEIGHT DRAWING NUMBER MM0286517 CODE MM0286517	DRAWING NO. MM0286517 PROJECT C180 DRAWING TITLE COUNTERWEIGHT PART NAME COUNTERWEIGHT DRAWING NUMBER MM0286517 CODE MM0286517
---	---

DRAWING NO. MM0286517 PROJECT C180 DRAWING TITLE COUNTERWEIGHT PART NAME COUNTERWEIGHT DRAWING NUMBER MM0286517 CODE MM0286517	DRAWING NO. MM0286517 PROJECT C180 DRAWING TITLE COUNTERWEIGHT PART NAME COUNTERWEIGHT DRAWING NUMBER MM0286517 CODE MM0286517
---	---

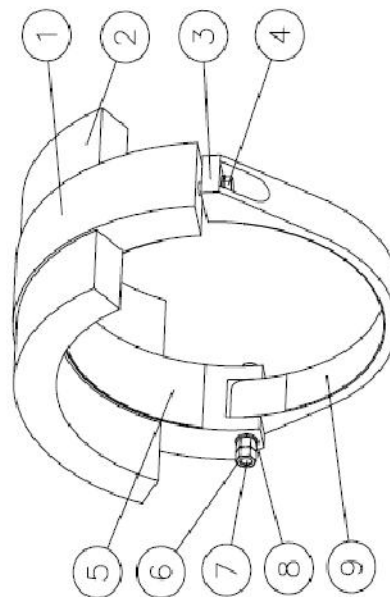
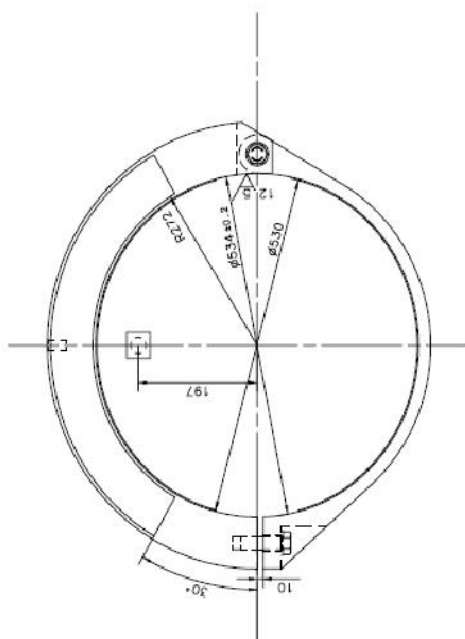
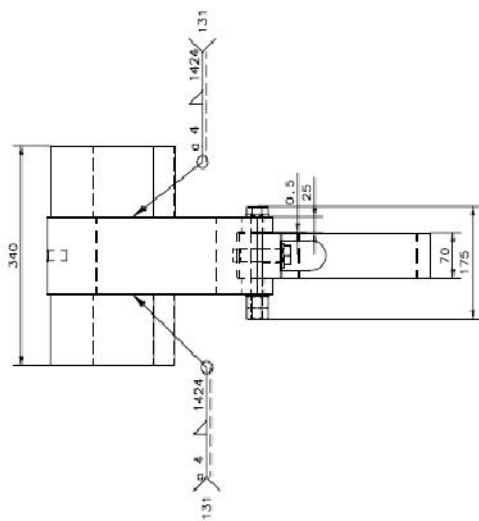


www.kopco.fi		LUC.		BY	DATE
DESCRIPTION OF CHANGE					
REVISIONS					
DRAWING INFORMATION					
PART NAME					
COUNTERWEIGHT					
VASTAALNO					
DRAWING NUMBER					
MMO286524					
PAGE					
1/1					
REV					
0					



A-A

0	REV	DESCRIPTION OF CHANGE	LOG.	BY	DATE	TYPE
						MD
<p>Approved for production by: SAITAMA (Approved for production by: SAITAMA) Drawn by: SAITAMA (Drawn by: SAITAMA) Checked by: SAITAMA (Checked by: SAITAMA) Date: 20.09.08 (Date: 20.09.08)</p>						
<p>Part Name: COUNTERWEIGHT Drawing Number: VASTAPAINO</p>			<p>Page: 1/1 REV: 0</p>			
<p>molsso MOLTENI OILS & LUBRICANTS MOLTENI OILS & LUBRICANTS MOLTENI OILS & LUBRICANTS</p>			<p>DRAWING NUMBER: MM0286534</p>			



12.5

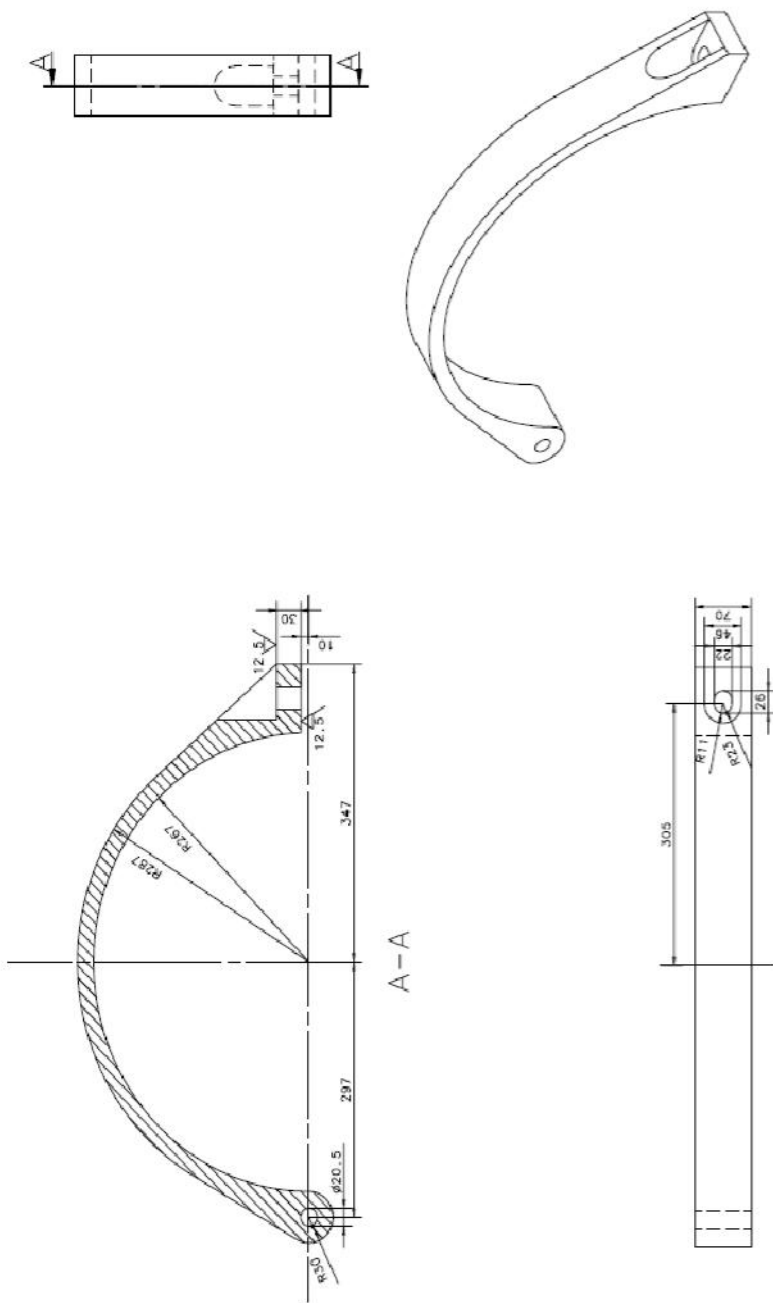
REV	DESCRIPTION OF CHANGE	LOC.	BY	DATE	TYPE
0				08.10.08	Mo

REV	REFL X	REFL Y	REFL Z	REFL X	REFL Y	REFL Z	REFL X	REFL Y	REFL Z

DESIGN	PRODUCTION	ASSEMBLY	DESCRIPTION
Drawn by: JPH	Checked by: JPH	Part Name: COUNTERWEIGHT ASSEMBLY	Page: 1/1
Date: 08.10.08	Date: 08.10.08	Project: Vastapainon kokoonpano	Page: 1/1
Author: JPH	Author: JPH	Code: MM0287267	Page: 1/1

REV	REFL X	REFL Y	REFL Z	REFL X	REFL Y	REFL Z	REFL X	REFL Y	REFL Z



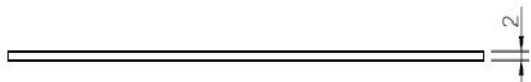


REV	DESCRIPTION OF CHANGE	APP.	DATE
0			

DESIGNED BY: JAA	DATE: 07.10.08	PROJECT: C180	PART NAME: PLATE
CHECKED BY: JAA	DATE: 07.10.08	PROJECT: C180	PART NAME: PLATE
APPROVED BY: JAA	DATE: 07.10.08	PROJECT: C180	PART NAME: PLATE
APPROVED BY: JAA	DATE: 07.10.08	PROJECT: C180	PART NAME: PLATE

DRAWING NUMBER: MM0287216	CODE: 0
---------------------------	---------

REV	DATE	BY
0	07.10.08	JAA



SUORAPITUUS

NO	DESCRIPTION OF CHANGE	APP.	DATE	TYPE
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



MM0287360

AK-TEHDAS OY
VAAHTO PULP & PAPER MACHINERY

TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työnumero:

Telan numero:

Mittaus 1.

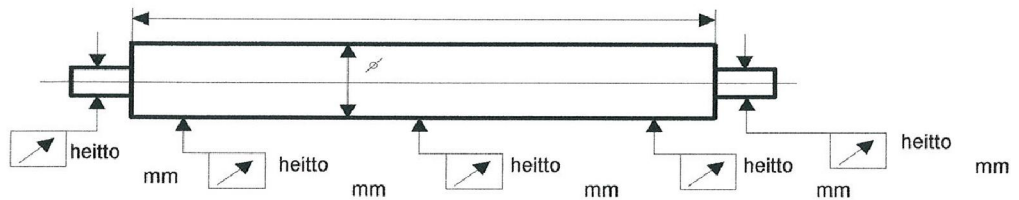
Tilaaaja: Metso Minerals

Tilausnumero:

Tasapainotusohje: 150r/min

Piirustusnumero: 171160

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:
Vasen paino:	7923	g	g
Säde:	220	mm	mm
Kulma:	284	o	o
Oikea paino:	7257	g	g
Säde:	220	mm	mm
Kulma:	303	o	o
Tasapainotusnopeus:	152	r/min	r/min
Keskitaipuma:		mm	mm
Kulma:		o	o
Staattinen epätasapaino:	14960	g	g
Kulma:	294	o	o



Korjattu: Vasen pää: Lisäämällä

Oikea pää: Lisäämällä

Huom:

Tasapainottaja: J.SALONEN

Päiväys: 12.2.2009

Vahto Group

AK-TEHDAS OY
 Käyntiosoite:
 Address:
 Kuoppamäentie 5-7
 33800 TAMPERE
 FINLAND

Puhelin:
 Telephone:
 (03) 270 0700
 International:
 +358 3 270 0700

Telekopio:
 Telefax:
 (03) 270 0701
 International:
 +358 3 270 0701

Ly:
 0153778-2
 ALV rek.
 FI 01537782
 VAT reg.

Pankit:
 Banks:
 Merita 204618-60337
 POSTIPANKKI 800012-550482
 OKO 500001-2164818

AK-TEHDAS OY
VAAHTO PULP & PAPER MACHINERY

TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero:

Telan numero:

Mittaus 2.

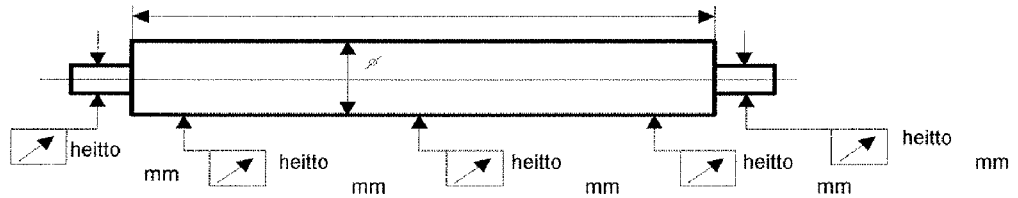
Tilaaja: Metso Minerals

Tilausnumero:

Tasapainotusohje: 150r/min

Piirustusnumero: 171160

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:	
Vasen paino:	13943	g		g
Säde:	220	mm		mm
Kulma:	255	o		o
Oikea paino:	9757	g		g
Säde:	220	mm		mm
Kulma:	270	o		o
Tasapainotusnopeus:	152	r/min		r/min
Keskitaipuma:		mm		mm
Kulma:		o		o
Staattinen epätasapaino:	23491	g		g
Kulma:	261	o		o



Korjattu: Vasen pä ä :
 Lisä ä m ä llä

Oikea pä ä :
 Lisä ä m ä llä

Huom:

Tasapainottaja: J.SALONEN

Päivä ys: 12.2.2009

Vaahto Group

AK-TEHDAS OY
 Käyntiosoite:
 Address:
 Kuoppamäentie 5-7
 33800 TAMPERE
 FINLAND

Puhelin:
 Telephone:
 (03) 270 0700
 International:
 +358 3 270 0700

Telekopio:
 Telefax:
 (03) 270 0701
 International:
 +358 3 270 0701

Ly:
 0153778-2
 ALV rek.
 FI 01537782
 VAT reg.

Pankit:
 Banks:
 Merita 204618-60337
 POSTIPANKKI 800012-550482
 OKO 500001-2164818

AK-TEHDAS OY
VAAHTO PULP & PAPER MACHINERY

TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero:

Telan numero:

Mittaus 3.

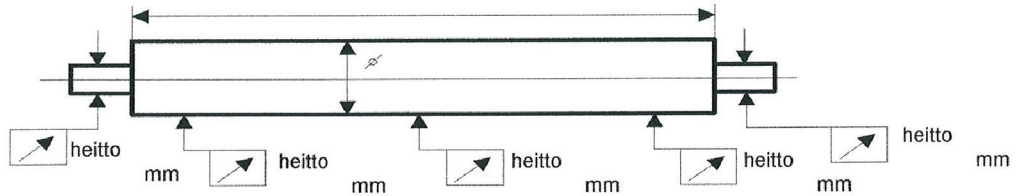
Tilaja: Metso Minerals

Tilausnumero:

Tasapainotusohje: 150r/min

Piirustusnumero: 171160

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:
Vasen paino:	7383	g	g
Säde:	220	mm	mm
Kulma:	320	o	o
Oikea paino:	8582	g	g
Säde:	220	mm	mm
Kulma:	338	o	o
Tasapainotusnopeus:	152	r/min	r/min
Keskitaipuma:		mm	mm
Kulma:		o	o
Staattinen epätasapaino:	15768	g	g
Kulma:	330	o	o



Korjattu: Vasen pä ä :
 Lisä ä mä llä

Oikea pä ä :
 Lisä ä mä llä

Huom:

Tasapainottaja: J.SALONEN

Pä ivä ys: 12.2.2009

Vaahto Group

AK-TEHDAS OY
 Käyntiosoite:
 Address:
 Kuoppamäentie 5-7
 33800 TAMPERE
 FINLAND

Puhelin:
 Telephone:
 (03) 270 0700
 International:
 +358 3 270 0700

Telekopio:
 Telefax:
 (03) 270 0701
 International:
 +358 3 270 0701

Ly:
 0153778-2
 ALV rek.
 FI 01537782
 VAT reg.

Pankit:
 Banks:
 Merita 204618-60337
 POSTIPANKKI 800012-550482
 OKO 500001-2164818



TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero: 4003854

Telan numero: AKSELI

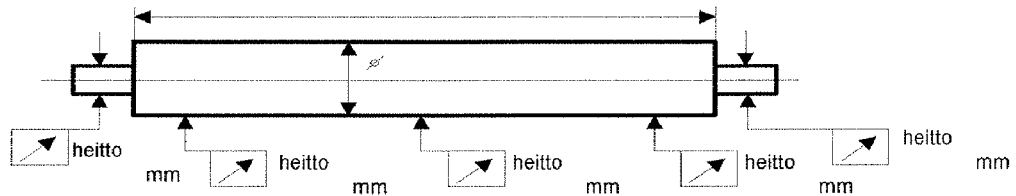
Tilaaaja: Metso Minerals Oy

Tilausnumero: 30002627

Tasapainotusohje:

Pöyrustusnumero:

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:	
Vasen paino:	8976	g	6582	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	11	o	11	o
Oikea paino:	8334	g	6112	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	11	o	11	o
Tasapainotusnopeus:	161	r/min	154	r/min
Keskitaipuma:		mm		mm
Kulma:		o		o
Staattinen epätasapaino:	17310	g	12694	g
Kulma:	11	o	11	o



Korjattu: Vasen pä ä :
Poistamalla

Oikea pä ä :
Poistamalla

Huom: Uuden painon mittaus 1mittaus

Tasapainottaja: A. KUUSINEN

Päivä ys: 27.2.2009

Vaahto Group

AK-TEHDAS OY
Kä yhtiösoite:
Address:
Kuoppamä entie 5-7
33800 TAMPERE
FINLAND

Puhelin:
Telephone:
(03) 270 0700
International:
+358 3 270 0700

Telekopio:
Telefax:
(03) 270 0701
International:
+358 3 270 0701

Ly:
0153778-2
ALV rek.
FI 01537782
VAT reg.

Pankit:
Banks:
Merita 204618-60337
POSTIPANKKI 800012-550482
OKO 500001-2164818

AK-TEHDAS OY
VAAHTO PULP & PAPER MACHINERY

TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero: 4003854

Telan numero: AKSELI

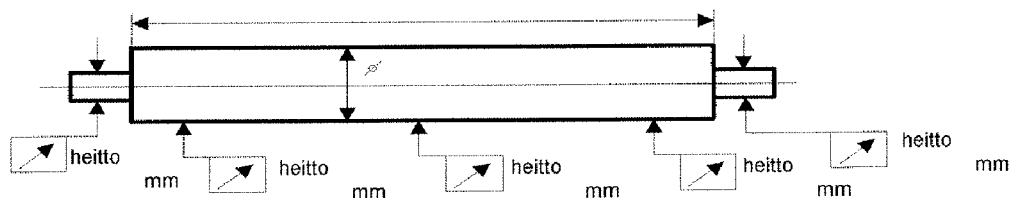
Tilaja: Metso Minerals Oy

Tilausnumero: 30002627

Tasapainotusohje:

Piirustusnumero:

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:	
Vasen paino:	12400	g	9076	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	48	o	48	o
Oikea paino:	11775	g	8639	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	53	o	52	o
Tasapainotusnopeus:	161	r/min	160	r/min
Keskitaipuma:		mm		mm
Kulma:		o		o
Staattinen epätasapaino:	24152	g	17689	g
Kulma:	50	o	50	o



Korjattu: Vasen pä ä :
 Poistamalla

Oikea pä ä :
 Poistamalla

Huom: Uuden painon mittaus 4mittaus siirto eteen

Tasapainottaja: A. KUUSINEN

Päivä ys: 27.2.2009

Vahto Group

AK-TEHDAS OY
 Käyntiosoite:
 Address:
 Kuoppamäentie 5-7
 33800 TAMPERE
 FINLAND

Puhelin:
 Telephone:
 (03) 270 0700
 International:
 +358 3 270 0700

Telekopio:
 Telefax:
 (03) 270 0701
 International:
 +358 3 270 0701

Ly:
 0153778-2
 ALV rek.
 FI 01537782
 VAT reg.

Pankit:
 Banks:
 Merita 204618-60337
 POSTIPANKKI 800012-550482
 OKO 500001-2164818



TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero: 4003854

Telan numero: AKSELI

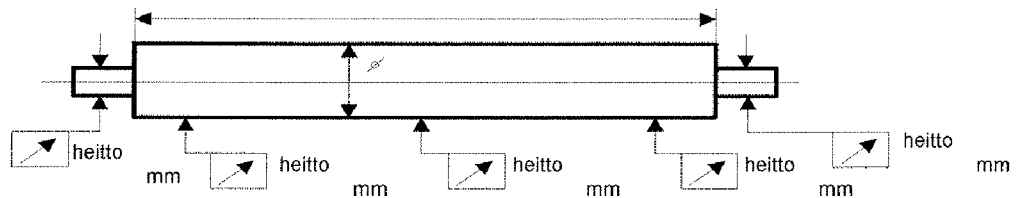
Tilaaaja: Metso Minerals Oy

Tilausnumero: 30002627

Tasapainotusohje:

Piirustusnumero:

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:	
Vasen paino:	12217	g	8959	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	335	o	335	o
Oikea paino:	10207	g	7485	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	325	o	325	o
Tasapainotusnopeus:	161	r/min	154	r/min
Keskitaipuma:		mm		mm
Kulma:		o		o
Staattinen epätasapaino:	22335	g	16444	g
Kulma:	331	o	330	o



Korjattu: Vasen pä ä : Poistamalla Oikea pä ä : Poistamalla

Huom: Uuden painon mittaus 2mittaus siirto taakse

Tasapainottaja: A. KUUSINEN

Päiväys: 27.2.2009

Vaahto Group

AK-TEHDAS OY
 Käyntiosoite:
 Address:
 Kuoppamäentie 5-7
 33800 TAMPERE
 FINLAND

Puhelin:
 Telephone:
 (03) 270 0700
 International:
 +358 3 270 0700

Telekopio:
 Telefax:
 (03) 270 0701
 International:
 +358 3 270 0701

Ly:
 0153778-2
 ALV rek.
 FI 01537782
 VAT reg.

Pankit:
 Banks:
 Merita 204618-60337
 POSTIPANKKI 800012-550482
 OKO 500001-2164818

AKTEHDAS OY
VAAHTO PULP & PAPER MACHINERY

TASAPAINOTUSPÖYTÄKIRJA

Tarkastuspöytäkirjan nro 4

Työ numero: 4003854

Telan numero: AKSELI

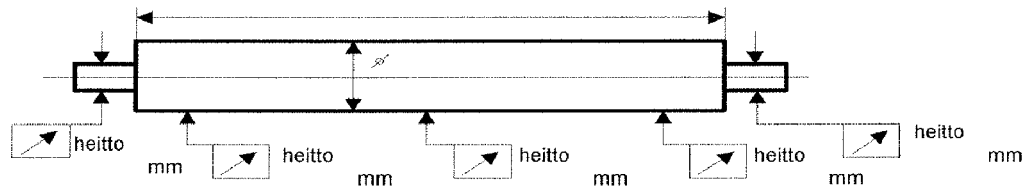
Tilaja: Metso Minerals Oy

Tilausnumero: 30002627

Tasapainotusohje:

Piirustusnumero:

Tasapainotustulokset:	Ennen:		Jälkeen:	
Vasen paino:	4992	g	4372	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	241	o	241	o
Oikea paino:	4182	g	3751	g
Säde:	220	mm	300	mm
Kulma:	228	o	228	o
Tasapainotusnopeus:	161	r/min	154	r/min
Keskitaipuma:		mm		mm
Kulma:		o		o
Staattinen epätasapaino:	9112	g	8072	g
Kulma:	235	o	235	o



Korjattu: Vasen päällä :
Poistamalla

Oikea päällä :
Poistamalla

Huom: Vanhoilla hiontapainoilla

Tasapainottaja: A. KUUSINEN

Päiväys: 27.2.2009

Vahto Group**AK-TEHDAS OY**

Käyntiosoite:
Address:
Kuoppamäentie 5-7
33800 TAMPERE
FINLAND

Puhelin:
Telephone:
(03) 270 0700
International:
+358 3 270 0700

Telekopio:
Telefax:
(03) 270 0701
International:
+358 3 270 0701

Ly:
0153778-2
ALV rek.
FI 01537782
VAT reg.

Pankit:
Banks:
Merita 204618-60337
POSTIPANKKI 800012-550482
OKO 500001-2164818