

Tuuliturbiinivaihteen väliakselin valmistusmenetelmien kehittäminen

Veli-Pekka Sepponen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) SEPPONEN, Veli-Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä PP.KK.VVVV
	Sivumäärä 39+6	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Tuuliturbiinivaihteen väliakselin valmistusmenetelmien kehittäminen		
Koulutusohjelma Kone ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) SÄLLINEN, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Moventas Wind Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Jyväskylässä toimiva Moventas Wind Oy. Opinnäytetyössä tutkittiin ja tehtiin kehitys ehdotuksia tuuliturbiinivaihteessa käytettävän planeettavaihteen väliakselin ja hammaspyörän valmistukseen Moventas Wind Oy:lle. Valmistuksessa mukana on; karkaisu, sorvaus, pyöröhionta, kutistusliittäminen ja muotohionta. Väliakseli malleja on useita ja kaikki käytettävät koneet eivät pystyneet tekemään jokaista akselimallia alusta loppuun valmiiksi, vaan akselin valmistamiseen tarvittiin useita koneita. Yksi tärkeimmistä tavoitteista oli, että kaikki kolme Moventaksella käytettävää sorvia pystyy tekemään kaikki väliakselin koneistustyöt alusta loppuun valmiiksi. Ongelmia työn valmistumisessa ja testien tekemisessä teki 2008 laskusuhdanne maailman markkinoilla, jonka takia testejä ei pystytty kunnolla tekemään ja hyötyjen toteaminen sarjatuotannossa jäi kokeilu asteelle. Myös karkaisun menetelmien muuttaminen on vaikeaa, koska prosessin muuttaminen vaatisi aina protosarjan vaihteesta, että voidaan olla varmoja mihin kaikkeen prosessimuutos vaikuttaa. Lisähaastetta tuo myös Moventaksen Service toiminta, jolloin tuote voi tulla huoltoon ja akseli on oltava mahdollista korjata. Uuden tuotteen valmistamisen tehostaminen vaikeuttaa huoltoon tulevien vaihteiden korjauskoneistusta. Akselin ja hammaspyörän valmistusta käsiteltiin työturvallisuuden, kustannusten ja joustavuuden näkökannalta. Työssä keskitytään vain väliakselin, hammaspyörän ja näiden yhteen liittämiseen tarvittavien työmenetelmien tutkimiseen ja kehittämiseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Planeettavaihde, tuuliturbiini, väliakseli		
Muut tiedot		



Author(s) SEPPONEN, Veli-Pekka	Type of publication Bachelor´s Thesis	Date 01032012
	Pages 39+6	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title Developing the manufacturing process of a wind turbine hollow shaft		
Degree Programme Mechanical and production engineerin		
Tutor(s) SÄLLINEN, Pekka		
Assigned by Moventas Wind Oy		
Abstract <p>The commissioner of the bachelor´s thesis was a Jyväskylä-located company, Moventas Oy. The thesis examined and made developing proposals for manufacturing the planetary gear of the intermediate shaft and intermediate gear wheel used in a wind turbine. Manufacturing lines consist of tempering, turning, circular grinding, shrinking and form grinding. There are many different models of the intermediate shafts, and all these intermediate shaft models cannot be made ready, from start to finish, if another lathe does not help. One of the main objectives was that all the three Moventas lathes will be able to do all the intermediate axis machining tasks from start to finish.</p> <p>There were problems to complete the project and to do the tests on how development proposals were working in real life, because in 2008 started a downturn in the world markets, and that is why testing was not possible to do properly and finding the benefits in the series production remained in a pilot stage. Also the hardening methods are difficult to change, because a change in the process would require a new zero series of prototypes so that the designers can be sure where all the changes of the process will affect.</p> <p>The challenge is further provided by Moventas service operation, the product may come back for the maintenance one day and it must be possible to repair the shaft to be as good as a new one. If the manufacturing of a new product is made a lot easier, then it can be difficult to do the future gear repair machining. Intermediate shaft and gear wheel manufacturing was developed having in mind the safety, costs and flexibility. The focus was only on the research and development of an intermediate shaft, gear, and the work methods needed in their interconnections.</p>		
Keywords Planetary gear, wind turbine, intermediate shaft		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	4
Opinnäytetyön tavoitteet	4
1.1 Moventas Wind Oy	4
2 TUULESTA SÄHKÖKSI	5
2.1 Tuulivoima	5
2.2 Tuuliturbiini	6
2.3 Vaihteisto.....	7
2.4 Planeettavaihte	8
3 VÄLIAKSELIN VALMISTUS JA SEN ONGELMAT	9
3.1 Prosessi.....	9
3.2 Karkaisu	12
3.3 Väliakselin sorvaus	14
3.4 Väliakselin kaulojen pyöröhionta	17
3.5 Väliakselin hampaanhionta	18
3.6 Välipyörän sorvaus.....	20
3.7 Kutistusliittäminen	22
4 KEHITYSEHDOTUKSET	23
4.1 Työmenetelmät.....	23
4.2 Akselin sorvaus	24
4.3 Hammaspyörän sorvaus.....	27
4.4 Muotohionta.....	31
4.5 Kutistaminen.....	32
5 JATKOKEHITTÄMINEN.....	34
5.1 Uudet ideat	34

6	YHTEENVETO	36
6.1	Arvio	36
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40
	LIITE 1. SUOJAMAALATUT VÄLIAKSELIT ASETELTUNA KARKAISUTELINEESEEN	40
	LIITE 2. RAUTA HIILI TASAPAINOKAAVIO	41
	LIITE 3. YKKÖSKIINNITYS SOP-TYÖOHJE SORVILLE OKUMA S-836	42
	LIITE 5. UUSI PÖYTÄ HAMMASHIOMAKONEELLE HA-838	44
	LIITE 6. KOROTUSPALA HAMMASHIOMAKONEELLE HA-838	45
	LIITE 7. HAVAINNOLLISTAMISKUVA VETOLAITTEISTA JOILLA AKSELI VEDETÄÄN PÖYTÄÄN KIINNI MUOTOHIONNAN AJAKSI	46

KUVIOT

KUVIO 1.	Kolmilapanen vaaka-akseloitu tuuliturbiini (Windpowerinija, 2010)	6
KUVIO 2.	3000-KW tuuliturbiinivaihe kasattuna ja valmiina koekäyttöön. Koekäytön jälkeen vaihteisto maalataan ja loppu varustellaan	7
KUVIO 3.	Layout kuva planeettavaihteiston Planeetta portaasta ja Lieriö portaasta ...	8
KUVIO 4.	Väliakselin ja välipyörän valmistuksen vaiheet	11
KUVIO 5.	Kaikki väliakselin jalostavat työvaiheet läpikäynyt väliakseli PLH-1700	12
KUVIO 6.	Hiiletyskarkaisun kulku Moventas Wind Oy:ssä	13
KUVIO 7.	Plh-1900 väliakseli jota ei Okumalla pysty ajamaan kahdella kiinnityksellä nuolen osoittaman kaulan takia.	15
KUVIO 8.	PLH-1400 väliakselin hampaalta kellotus Okumalla	16
KUVIO 9.	Plh-1400 sorvatun kaulan keskitys kellotus kakkoskiinnityksessä.....	17
KUVIO 10.	Plh-1400 väliakseli paikallaan kärkien välissä hiomakoneessa.....	18
KUVIO 11.	PLH-1400 väliakseli kellotuksessa hampaanhionnassa vanhalla jalustalla sekä potero ja reikäpiiri ylöspäin	19

KUVIO 12. Plh-1400 Väliakselin päässä oleva potero ja kierrereikäpiiri josta otetaan veto akselin pyörittämiseen pyöröhionnassa.....	20
KUVIO 13 Okuma S-837 sorvaustyökalut, vasen viimeistelyyn käytettävä kolmiopala ja oikea rouhintaan käytettävä veitsiterä	21
KUVIO 14. Kutistus liitoksesta irrotettuja akseleita	23
KUVIO 15. PLH-1100 väliakseli kovan vaiheen sorvaus yhdellä kiinnityksellä valmiiksi apukeskiön avulla.....	26
KUVIO 16. Okuma S-837 valitut uudet teräpitimet. Vasemmalla rouhintaterä ja oikealla viimeistelyterä	29
KUVIO 17. Välipyörän valmistuksen kehitys. Karkaisusta maalaus jää pois kokonaan.	31
KUVIO 18. Plh-1400 Väliakseli hiomakoneessa uuden pöydän ja vahvemman tukikärjen kanssa, potero ja reikäpiiri alaspäin	32
KUVIO 19. Plh-1400 väliakseleita koottuna jäähtymässä ilmastoinnin raittiin ilman tulopuolen sekoittimen edessä.	33
KUVIO 20. Vetolaitteilla pöytään hiontaa varten kiinnitetty PLH-1100 akseli	36

OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoite oli tutkia ja kehittää tuuliturbiinivaihteessa käytettävän väliakselin ja hammaspyörän valmistusta Moventas Wind Oy:ssä. Valmistusketju on todella pitkä ja vaikeutta akselin valmistamiseen toi vielä se, että käytettävät koneet eivät pystyneet tekemään kaikkia akseleita alusta loppuun valmiiksi itse, vaan akseli kiertää "koneelta koneelle". Yksi tärkeimmistä tavoitteista oli, että kaikki kolme sorvia pystyy tekemään kaikki väliakselin koneistustyöt alusta loppuun valmiiksi. Akselin ja hammaspyörän valmistusta käsiteltiin työturvallisuuden, kustannusten ja joustavuuden näkökannalta. Työssä keskitytään vain väliakselin, hammaspyörän ja näiden yhteen liittämiseen tarvittavien työmenetelmien tutkimiseen ja kehittämiseen.

Ongelmat ovat syntyneet akseleiden piirustusten muututtua ja uusien vaihde-mallien myötä, jolloin aiemmat työkalut ja menetelmät eivät enää sellaisenaan sovellu. Ideoita on jo olemassa, miten ongelmat ratkaistiin Moventaksella, mutta ei ole selvitetty olisivatko ne mahdollisia toteuttaa.

Tärkeimpänä tietolähteenä valmistuksen ongelmista käytetään työntekijöiden haastatteluja ja omaa osaamista. Vastaan tulevat ongelmat ratkaistaan työstökoneen valmistajan/maahantuojan, suunnittelun ja työntekijöiden kesken. Tukimateriaalia valmistusmenetelmien suhteen haetaan kirjoista ja oppitunneilla käytetyistä opiskelumateriaaleista.

1.1 Moventas Wind Oy

Moventas Wind Oy on 2004 perustettu yritys joka juuret ovat syvällä Jyväskylässä. Moventas Wind Oy on peruja yrityskauppojen myötä vuonna 1950 perustetusta Valmet Oy:stä. Moventas Wind Oy on yksi suurimmista tuulitur-

biinivaihteiden valmistajista maailmassa. Yhtiö valmistaa lisäksi voimansiirron ratkaisuja teollisuuden käyttöön ja tarjoaa myös palveluja vaihteiden huoltoon ja kunnossapitoon. Moventaksella on n~1300 työntekijää kahdeksassa eri maassa ja päätoimipiste sijaitsee Jyväskylässä. Suomessa toimintaa on myös Karkkilassa (Moventas intra). Maailmalla vallitseva taloustilanne näkyi selvästi vuonna 2009, jolloin liikevaihto jäi 237,4 miljoonaan EUR, kun taas vuonna 2008 Moventaksen liikevaihto oli 382 miljoonaa EUR (Moventas Intra). Tuuliturbiinivaihteiden tuotantokapasiteetti vuonna 2008 oli 4800MW.

2 TUULESTA SÄHKÖKSI

2.1 Tuulivoima

Tuulivoima on moderni tapa tehdä energiaa. Tuulivoima on saanut alkunsa Tanskasta, jossa tuulivoiman kehittyminen nykyaikaiseksi energiantuotantomuodoksi alkoi öljykriisin seurauksena vuonna 1973 (suomentuulienergia N.D.) Tanska on edelläkävijä tuulivoimateollisuudessa, maassaan 350:llä tuulivoiman parissa toimivan yrityksen kanssa ja työllistää siellä 25000 ihmistä. Maailmalla olevista tuuliturbiineista melkein puolet on Tanskalais- valmistaisia (energymap.N.D). Eniten tuulivoimaa hyödynnetään Saksassa, Tanskassa ja Espanjassa (webhotel2.N.D.) Suomessa tuulivoimalla tehtiin sähköä vuonna 2010 n~0.4% ydin voiman ollessa 28,4%. Tuulivoimaloita löytyy alkaen kokoluokista 26 W aina 3 MW:iin saakka. Suomen suurin tuulivoimala löytyy Porista St 1 voimala, joka on kooltaan 3MW ja napakorkeus on 100 metriä.

Energiantarpeen on ennustettu kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä, jos kehitys jatkuu samanlaisena. Suurin energian tarve tulee kehittyvistä taluksista kuten Kiinasta ja Intiasta (VTT, 2009). Fossiilisten polttoaineiden käyttö kiihdyttää ilmastonmuutosta, eikä niitä riitä loputtomiin. Energiantuotannon pitää paremmin hyödyntää uusiutuvia luonnonvaroja. Tuulivoima on ekologinen tapa tuottaa sähköä, koska tuuli on uusiutuva luonnonvara ja näin ollen hidastaa ilmastonmuutosta, kun tuulivoimalla korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä.



KUVIO 1. Kolmilapanen vaaka-akseloitu tuuliturbiini (Windpowerinaja, 2010).

2.2 Tuuliturbiini

Puhuttaessa tuuliturbiinista, puhutaan silloin roottorista, vaihteistosta, generaattorista, tornista, eli kaikesta mitä tuulivoimala pitää sisällään. Tuuliturbiineja on monta hyvin erilaista mallia käyttötarkoituksesta riippuen. On pystyakseloituja, vaaka-akseloituja ja 2, 3 tai useampilapasia malleja (Tuuliatlas, N.D). Tuuliturbiinista puhuttaessa, mielikuva useasti on kolmilapasesta vaaka-akseloidusta mallista (Ks. KUVIO 1). Tuuliturbiinin avulla muutetaan ilmapvirtauksen liike-energia mekaaniseksi liike-energiaksi ja generaattorin avulla sähköksi. (Tuulivoimala, N.D) Vuoden 2009 lopussa Suomessa oli 118 voimalaa, joiden yhteenlaskettu teho on 147 megawattia. Tuulivoimaloiden sijoittamisessa maastoon on omat rajoitteensa. Asumisalueella melutaso ei saa ylittää päivisin 55 dB ja öisin melutason raja on 50 dB (Finlex, 1992.)

Tuuliturbiinin pyörimisnopeuden on pysyttävä riittävän matalana, jotta lapojen kärkinopeus ei nousisi liian suureksi. Tuuliturbiini on mitoitettu siten, että roottori pyörii n~20 kierrosta minuutissa ja generaattori 1500–1800 kierrosta minuutissa. Tämän takia roottorin ja generaattorin väliin tarvitaan ylennysvaihte jotta välitys saataisiin nostettua generaattorin vaatimalle tasolle. Vaihteiston kokonaisvälitys on 1:80–90. Suurissa meriturbiineissa välitys-suhde on pienempi ja generaattori pyörii n~100- 150 kierrosta minuutissa. Generaattorin pyörimisnopeus ja välitys-suhde ovat vaihteisto- ja asiakaskohtaisia.

2.3 Vaihteisto

Tuulivoimaloiden vaihteistojen valmistajia on maailmalla useita. Moventas on ollut mukana tuulivoimaloiden vaihteiden valmistamisessa jo vuodesta 1980, kun ensimmäiset vaihteet toimitettiin Tanskaan Vestakselle. Tuuliturbiini markkinoilla kilpaillaan tehon ohella kilowattitunnin hinnalla, turbiinin koolla, painolla ja pyörimisestä aiheutuvalla äänellä. Vaihteisto vaikuttaa suoraan näistä; kokoon, painoon ja ääneen. Jo pelkästään Moventaksella valmistettavan 3000 kW turbiinin vaihteisto painaa 29,5Tkg (Ks. KUVIO 2).



KUVIO 2. 3000-KW tuuliturbiinivaihte kasattuna ja valmiina koekäyttöön. Koekäytön jälkeen vaihteisto maalataan ja loppu varustellaan

Vaihteistosta ääntä tuottaa hammaskosketus. Pelkästään 0,005mm hammaskosketusvirhe nopealla puolella voi aiheuttaa ääntä vaihteistossa. Tuuliturbiinissa käytettävän planeettavaihteen suurimmat hyödyt ovat suuri momentinsiirtokyky, pieni koko ja hiljainen käyntiääni (Halme, 2005).

Siemens on tuonut markkinoille vaihteettomia, niin sanottuja suoravetoturbiineja kolmen megawatin kokoluokkaan. Suoravetoturbiini tuottaa yrityksen mukaan enemmän energiaa aiempaa pienemmin kustannuksin. Ilman vaihteistoa toimivan tuuliturbiinin huoltokustannukset saataisiin alemmaksi, kun ei tarvita öljynvaihtoja ja mekaanisia osia olisi käytössä vähemmän (Fairley, 2010). Vaihteiston ongelmana onkin, että rikkoutumisen aiheuttama huoltokatko kestää hyvin pitkään. Komponentit ovat painavia ja vaikeita liikutella ylälmoissa (Vanhala, 2010).

2.4 Planeettavaihde

Planeettavaihteiston tyypillisimpiä käyttökohteita ovat auto-, ilmailu- ja erilaiset teollisuussovellukset. Planeettavaihteen suurimmat hyödyt ovat suuri momentinsiirtokyky, pieni koko, moninkertainen pyörimisnopeuden alennus ja hiljainen käyntiääni (Halme, 2005).



KUVIO 3. Layout kuva planeettavaihteiston Planeetta portaasta ja Lieriö portaasta

Moventaksen valmistaman tuuliturbiinin planeettavaihte pitää sisällään: rengaspyörän, planeettapyörät, planeetankantajan, aurinkoakselin, holkkiakselin, holkkipyörän, välipyörän, väliakselin ja nopean-akselin. Liike-energia tulee vaihteiston sisälle planeetankantajasta ja otetaan ulos nopea-akselilta. Planeetankantaja on kiinni roottorissa ja nopea-akseliin on kytketty kiinni generaattori ja näiden kahden akselin välillä muutetaan pyörimisnopeus. Planeetan kantaja pyörittää planeettapyöriä (3 kpl), jotka on laakeroitu kiinni planeetankantajaan. Planeettapyörät ovat jatkuvasti rynnössä sekä aurinkoakselin ja rengaspyörän kanssa. Aurinkoakseli vie liike-energian kytkimen kautta holkkiakseliin. Holkkiakseli on rynnössä väliakselin kanssa ja vie liike-energian välipyörän kautta nopea-akselille jotka on rynnössä keskenään (Ks. KUVIO 3.)

3 VÄLIAKSELIN VALMISTUS JA SEN ONGELMAT

3.1 Prosessi

Tuuliturbiinin vaihteiston komponenteista, tässä työssä keskityttiin vain Moventaksella tehtäviin työvaiheisiin, jotka liittyvät väliakseli koottuna valmistukseen. Moventaksella valmistettavista väliakseleista alkukoneistus ostetaan alihankinasta, karkaisu ja loppukoneistus tehdään Moventaksella. Väliakselin päälle kutistusliitettävä hammaspyörä valmistetaan kokonaan Moventaksella.

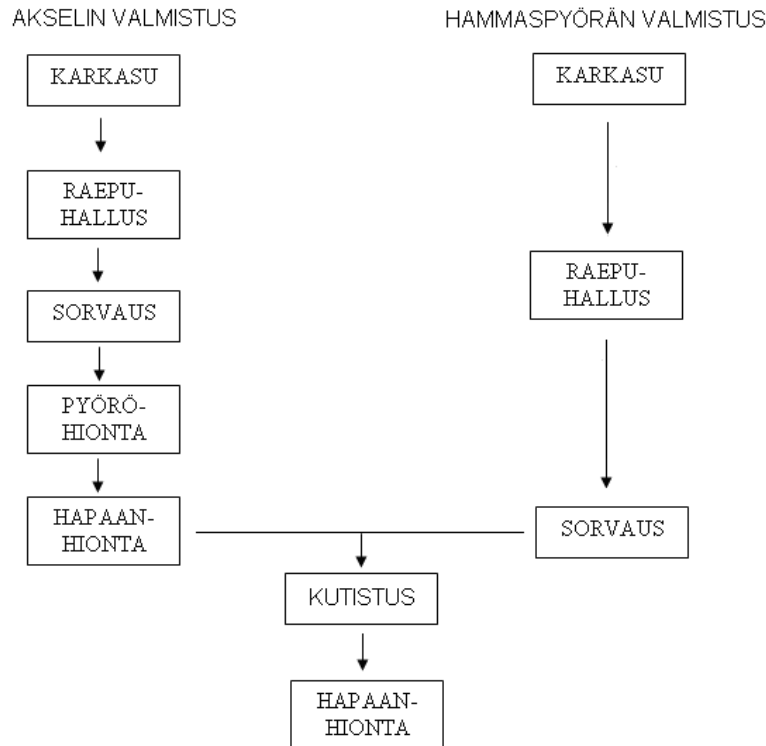
Suurimmassa osassa Moventaksen planeettavaihteissa on käytössä väliakseli (Ks. KUVIO 5.) On myös olemassa rakenteeltaan ja toiminnaltaan hieman erilaisia planeettavaihteita joista väliakseli on kokonaan poistettu, kuten 3MW vaihte. Väliakseli koottuna pitää sisällään akselin ja hammaspyörän jotka liitetään toisiinsa, joko kutistus- tai kiila-liitoksella. Väliakseli on rynnössä jatkuvasti holkkipyörän ja nopea-akselin kanssa.

Akselin ja pyörän jalostava aika ei ole lähellekään sama, joten tuotannon ohjaukselle on suuri haaste saada molemmat komponentit yhtä aikaa kutistukseen (Ks. KUVIO 4).

Moventaksella on pyritty ohjaamaan tuotantoa Lean periaatteiden mukaan. Leanin periaatteet voi tiivistää ajatukseksi siitä, että oikea määrä oikeita kappaleita on oikeassa paikassa oikeaan aikaan (JIT), jolloin tuloksena on mahdollisimman virtaviivainen ja joustava työnkulku. Moventaksen sisällä sekoituu perinteinen massatuotanto sorvien kohdalla, kun taas hionnassa on päästy yksiosaiseen virtaukseen.

Akseli-linjalla sarja koko on 3-6 akselia. Tämä tarkoittaa, että työt on jaettu kolmesta kuuden kappaleen eriin, joissa kappaleet kulkevat tuotantoketjun läpi. Tämä näkyy hiomakoneilla sarjan vaihtuessa kappaleiden odotteluna ja keskeneräisenä tuotantona, etenkin sorveilla. Kappaleet ovat ulkoisesti hyvin samanmuotoisia, joten koneiden asetusajat ei ole ratkaisevassa osassa. Asetusajalla tarkoitetaan aikaa, joka menee kun muutetaan koneessa olevia asetuksia toisen kappaleen vaatimiin asetuksiin.

Suurempi haitta, on kovasorvauksen kaksi kiinnitystä vaativa valmistus ja keskiöiden korjaus. Keskeneräinen tuotanto näkyy ensimmäisenä sorveilla, joiden edessä ykkösvaiheen läpikäyneet akselit odottavat kakkoskiinnitystä. Sorvauksessa ykköskiinnityksen koneaika on 40min ja kakkoskiinnityksen aika on 30min, tulee ensimmäisen akseli sorvilta hiottavaksi 3 kappaleen sarjassa n~3h kuluttua aloituksesta.



KUVIO 4. Väliakselin ja välipyörän valmistuksen vaiheet

Kiristyneen kilpailun vuoksi vaihteen valmistaminen onkin suuri haaste. Materiaalin laatu vaatimukset, ovat tiukat akselin suhteen ja materiaalin saatavuus on hidasta. Planeettavaihteen valmistusprosessi täytyy olla todella hyvin hallinnassa, sillä tämän hetkinen toimitusnopeus pitäisi olla 3-6 viikkoon. Esimerkiksi nopean pään välityksiä ei voi tehdä etukäteen varastoon, koska asiakas ilmoittaa hertsimäärän generaattorille vasta tilauksen tullessa kolme viikkoa aiemmin. Tämä vaatimus aiheuttaa vaatimuksia varsinkin välipyörän ja nopea-akselin valmistukseen. Välipyörä ja nopea-akselin välityssuhde määrittää generaattorin pyörimisnopeuden.



KUVIO 5. Kaikki väliakselin jalostavat työvaiheet läpikäynyt väliakseli PLH-1700

3.2 Karkaisu

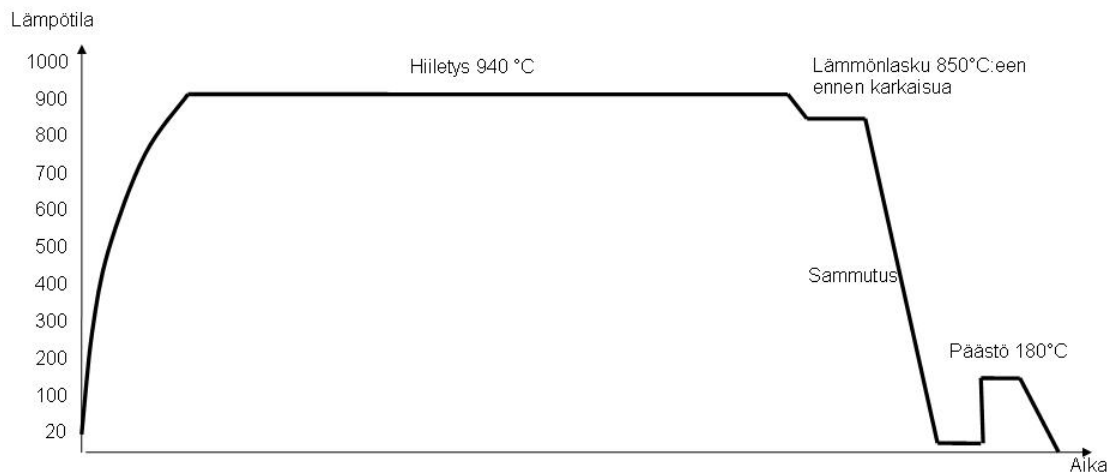
Akselit ja pyörät tulevat Moventakselle alihankinnasta. Ensimmäinen työvaihe kappaleille Moventaksella on pesu, jonne logistiikka osasto ne toimittaa. Paketin purkamisen yhteydessä tarkistetaan silmämääräisesti kappaleiden kunto, ja lastataan ne pesukoneeseen. Pesukone on läpi ajettava, eli ladataan toiselta puolelta ja puretaan toiselta, jolloin karkaisimoon tulee ainoastaan vain pestyjä kappaleita.

Pesun jälkeen pyöristä ja akseleista suojataan koneistettavat pinnat Nocarb-abdeckmittel paste suoja-aineella. Suoja-aine estää teräksen hiiltymisen karkaistumisen yhteydessä, jolloin sorvattavat kaulat, ovat vielä karkaisun jälkeen koneistettavissa. Jos maalattavassa pinnassa on öljyä, ruostetta tms. likaa, ei aine pysy kiinni, vaan "tipahtaa" pois. Tämä aiheuttaa koneistuksessa suuria

ongelmia, koska teräpalat eivät kestä pistemäistä vaihtelevaa kovuutta, vaan teräpala halkeaa. Akselit ladataan pystyyn karkaisutelineeseen liite 1 mukaan.

Hammaspyörät pinotaan päällekkäin samanlaiseen telineeseen ja ennen pinoamista suojamaalataan reikä ja otsapinnat. Hammaspyöriä asetetaan päällekkäin 4-5 kappaletta ja pyörien väliin laitetaan korokepalat, etteivät otsapinnat olisi toisiaan vasten.

Rauta esilämmitetään 500°C ennen hiiletystä. Esilämmityksen jälkeen kappaleet lämmitetään uunissa austeniittiselle alueelle eli yli A3 rajan (liite 2), kuten kuvioista kuusi ja seitsemän näkyy. Uunissa pitoaika määräytyy hampaan moduulista ja karkaisusyvydestä, joka Moventaksen kappaleissa on 2-3mm. Lämmityksen aikana uuniin syötetään lisäksi suojakaasuksi typpeä ja kantajakaasu on endokaasu, eli häkä. Kappaleen lisä-hiilipitoisuutta säädetään syöttämällä propaania kuumennuksen aikana. Kappaleet lasketaan täydestä lämmöstä ripeästi hiilikadon minimoiseksi kerralla jäähtymään kokemusperäisesti $60\text{--}100^{\circ}\text{C}$:een öljyyn. Tällä menetelmällä estetään austeniitin tasapainon mukainen hajaantuminen ferriitiksi ja perliitiksi tai bainiitiksi, vaan saadaan muuttumaan martensiitiksi (Tut, N.D).



KUVIO 6. Hiiletyskarkaisun kulku Moventas Wind Oy:ssä

Karkaisun jälkeen kappaleet vielä päästetään 180°C suolakylvyssä kuvion 8 mukaan. Alhaisella päästämislämpötilalla saavutetaan paras kulutuskestä-

vyys, saadaan sisäiset jännitykset laukaistua ja teräksestä tulee mahdollisimman sitkeä, ilman että kovuus kärsisi.

Kappaleet rae puhalletaan puhtaaksi teräskuulalla karkaisun yhteydessä syntyneistä epäpuhtauksista. Puhtaaksi puhalletut kappaleet toimitetaan sorveille odottamaan koneistusta.

Koska hammaspyörät pinotaan päällekkäin telineeseen, pyrkii alin pyörä taipumaan telineen pohjan muotoon. Sorvauksessa näitä pyöriä ei saa asettumaan suoraan paletille. Näitä pyöriä on myös sorvattu valmiiksi ja kutistusliitetty akselille, mutta hiomavarat ovat vääntymien takia loppuneet kesken. Ainoana vaihtoehtona korjaamiseen on hammaspyörän irrottaminen akselilta ja yleensä niitä ei saa ehjänä irti, vaan akseli pitää korjaus-sorvata (Kuva 14).

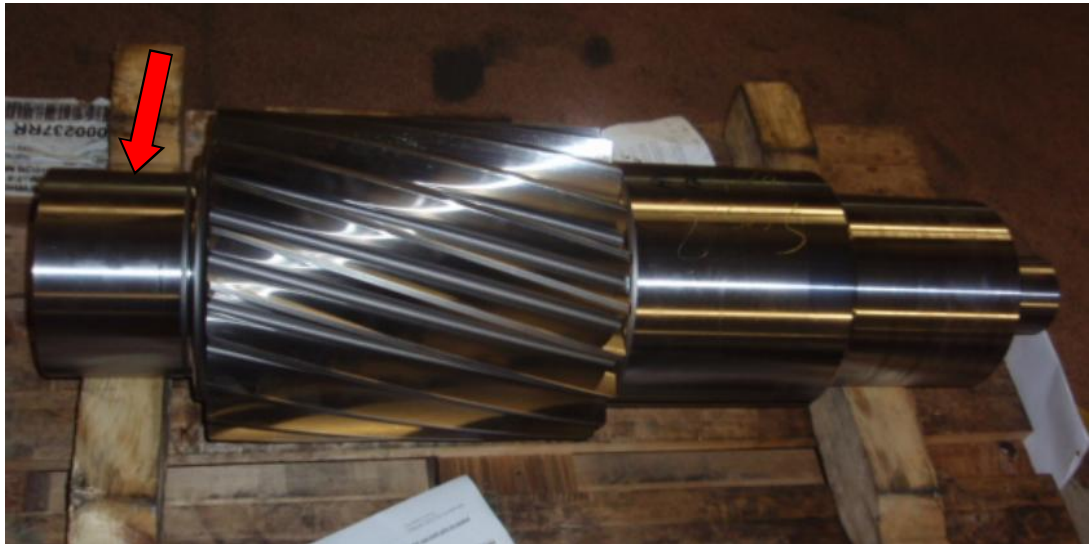
3.3 Väliakselin sorvaus

Moventaksella väliakseleita sorvataan kahdella eri koneella Mazak S-309 ja Okuma S-836:lla. Molemmat ovat vaakakaraisia CNC-sorveja. Mazak on ollut tuotannossa jo 16 vuotta, mutta iästään huolimatta teknisesti vielä hyväkuntoinen. Mazak on varustettu pyörivillä työkaluilla, 90kpl työkalumakasiinilla ja Y-akselilla. Pyörivillä työkaluilla pystyy koneistamaan sekä X-, Z-, C ja Y-akselin suuntaisesti. Mazakilla pystyy ajamaan kaikki väliakseli mallit mitä on olemassa.

Toinen kone Okuma, joka on ostettu pelkästään väliakseleiden sorvaukseen, ei ole ihan tasavertainen Mazakiin verrattuna. Okumalla on aika paljon rajoitteita, jotka estävät tiettyjen väliakseleiden sorvaamisen kokonaan. Okumaa ei ole varusteltu pyörivillä työkaluilla vaan ainoastaan revolverilla johon saadaan käyttöön 12kpl sorvaavia työkaluja, eli kiilauria ei pysty valmistamaan.

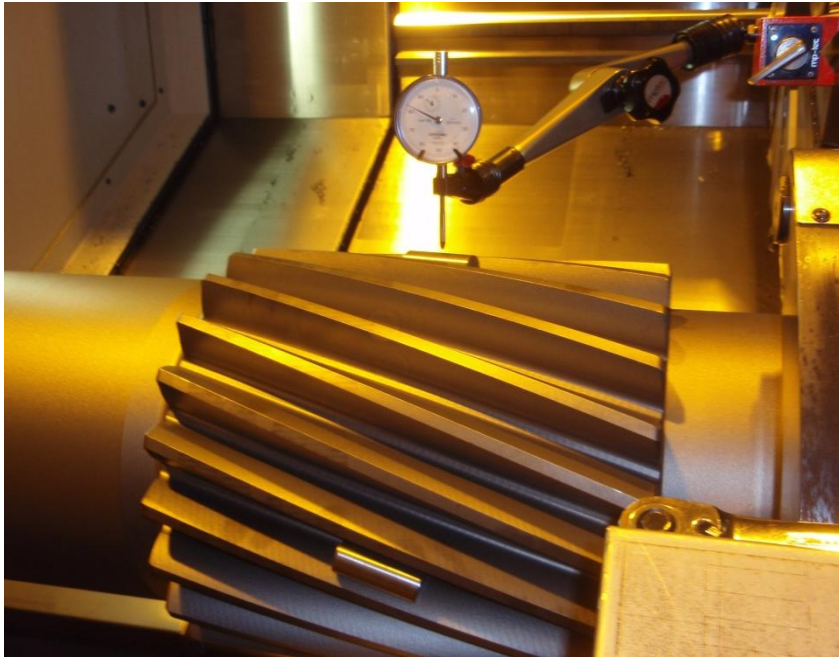
Akselin rakenne voi aiheuttaa sen, ettei Okumalla sorvaaminen onnistu, tai ole tuotannollisesti järkevää. Esimerkiksi 1900 Mw vaihteen väliakselissa on toisen pään laakerikaula niin lyhyt, ettei tukikärjellä pysty tukemaan akselin päätä keskiöstä, jos tukilaakeri on käytössä (Ks. KUVIO 7). Syynä tähän on vääränkätinen tukilaakeri, joka estää tukikärjen pääsyn riittävän lähelle akselin

päätä, mutta tukilaakerilla pääsee lähelle pakkaa, jolloin lyhyiden akselien sorvaaminen on mahdollista. Tuotannollisesti 1900:n väliakselin pystyy valmistamaan Okumalla, mutta työhön tulee yksi ylimääräinen työvaihe lisää. Tässä ongelmassa ratkaisuna on ollut toistaiseksi, että Mazakilla sorvataan akselin ensimmäinen kiinnitys, jossa sorvataan akselin lyhyt pää ja tukilaakerin paikka ja Okumalla sorvataan kakkospää.



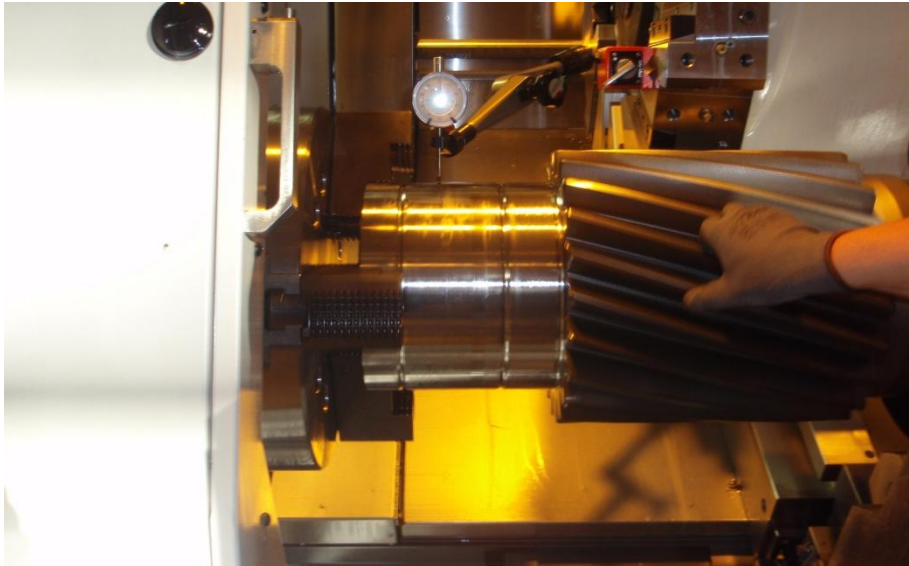
KUVIO 7. PIH-1900 väliakseli jota ei Okumalla pysty ajamaan kahdella kiinnityksellä nuolen osoittaman kaulan takia.

Väliakseli sorvataan hiomavaroille kahdessa vaiheessa sarjakoossa ollessa kolmesta kuuteen kappaletta. Ensimmäisessä kiinnityksessä toinen pää kiinnitetään nelileukapakkaan ja toinen pää tuetaan tukikärjellä. Magneetitappien avulla keskitetään hammaskehä 0.05mm tarkkuuteen vastakkaisilta leuoilta (Ks. KUVIO 8). Keskittämisen jälkeen rouhinta- ja viimeistelysorvataan ensimmäinen kaula ja tukilaakerin paikka kakkoskiinnitystä varten. Ulkosorvauksen jälkeen tuetaan akselia tukilaakerilla sorvatulta kaulalta ja korjaus-sorvataan keskiöt.



KUVIO 8. PLH-1400 väliakselin hampaalta kellotus Okumalla

Kakkoskiinnityksessä otetaan kolmileukaisella hydraulipakalla kappaleesta kiinni ja tarkistetaan mittakellolla, ettei sorvattu pää leuoissa heitä keskeisyydeltään yli 0,05mm (Ks. KUVIO 9). Akselia tuetaan ensin tukilaakerilla heitottomaksi sorvatulta pinnalta, joka tehtiin ykköskiinnityksessä. Tämän jälkeen sorvataan keskiö, josta tuetaan akselia tukikärjellä ulkopinnan sorvauksen ajan. Tällä menetelmällä saadaan hampaan kylkihalkaisija heitottomaksi keskiöihin nähden.



KUVIO 9. Plh-1400 sorvatun kaulan keskitys kellotus kakkoskiinnityksessä

3.4 Väliakselin kaulojen pyöröhionta

Moventaksella on akseleiden kaulojen pyöröhiontaan varauduttu kahdella koneella. Nykyaikaisempi hiomakone Danobat, joka on varustettu CNC-ohjauksella, on hankittu väliakselien hiontaan v.2009. Danobatin ostossa ei ole huomioitu kaikkea, mitä akseleiden pyöröhionta kappaleen kiinnityksen osalta vaatii. Koneen oston yhteydessä tiedossa oli vain muutama väliakselimalli, jota tullaan valmistamaan ja hiomaan. Markkinatilanteen muutoksen myötä ja töiden vähentyessä pyrittiin selvittämään, millaisia lisävarusteita Danobatiin pitää hankkia, että kaikki väliakselit ja myös nopeat akselit, voitaisiin hioa yhdellä kiinnityksellä valmiiksi.

Akseli nostetaan muovisten johde palojen päälle, jotka asettavat kappaleen keskiöt oikealle korkeudelle. Akseli hiotaan kärkien välissä yhdellä kiinnityksellä valmiiksi (Ks. KUVIO 10).

Suurin rajoittava tekijä pyöröhionnassa Danobatilla on akselin pyörittämiseen tarvittava voima. Vanhemmalla hiomakoneella käytetään vääntiötä kappaleen

pyörittämiseen, mutta silloin tarvitaan kaksi kiinnitystä kappaleen valmistumiseen. Danobatilla kappale valmistetaan yhdellä kiinnityksellä valmiiksi ja silloin jommassakummassa päässä akselia pitää olla vetoreikä, josta akselia pyöritetään.



KUVIO 10. Pih-1400 väliakseli paikallaan kärkien välissä hiomakoneessa

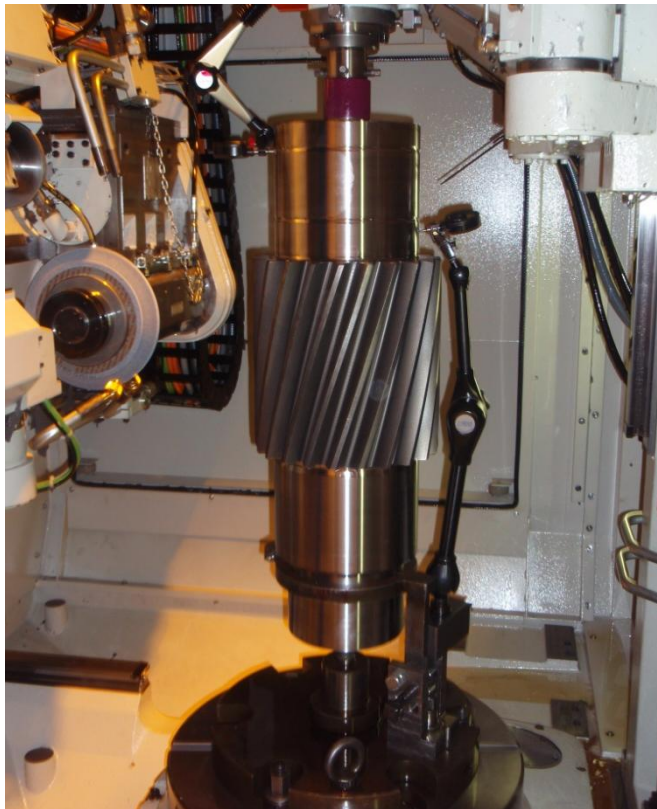
Väliakseleista suurimmassa osassa on reikäpiiri päässä, jolloin näistä rei'istä saadaan pyörintään veto (Ks. KUVIO 12). Pih-1900:sen väliakseli on kuitenkin poikkeus, koska reikäpiiripäässä on olake jonka takana on reikäpiiri. Akselin hiontaa rajoittaa siis kaksi tekijää: vetoreikää ei ole akselin päässä ja pienintä olaketta ei voida hioa, koska tukikärjen ja otsapinnan väliin jää liian vähän tilaa eikä kivi mahdu tähän. Nyt tilanne on korjattu siten, että Danobatilla hiotaan akselista kaikki muut kaulat paitsi pienin akselin päässä. Vanhemmalla hiomakoneella hiotaan erikseen yksi olake, jonka jälkeen akseli siirtyy hampaan muotohiontaan.

3.5 Väliakselin hampaanhionta

Ennen hammaspyörän kutistusliittämistä akselille, akselin hammastus hiotaan. Akseli kiinnitetään koneeseen keskiöistään kärkien väliin, samalla lailla kun

pistohionnassakin. Akseli kiinnitetään lisäksi pöytään kiinni mukaanottajalla ja vääntiöllä, joilla varmistetaan että akseli pysyy paikallaan pöydän pyöriessä. Akseli keskitetään koneeseen 0.005mm sisään molemmilta laakeripinnoilta ja lisäksi myös kellotetaan pystyyn. Akselista kone mittaa omalla mittausjärjestelmällään neljän hampaan perusteella, keskitys-, ulko- ja tyviympyrän mittauksen. Näillä mitoilla kone määrittelee arvot joilla hampaat voi muoto hioa.

Väliakselin hionnassa ei ole ilmennyt ongelmia tuotteen laadun suhteen, vaan ennemminkin haittoina oli työvälaineet, joilla kappale kiinnitetään koneeseen. Kun hampaanhionakone HA-838 tuli Moventakselle, ei kunnollisia työlaitteita suunniteltu, vaan otettiin käyttöön ne mitä löydettiin. Pöydässä oleva tukikärki, oli akselin painoon nähden hyvin huterä ja saattaa aiheuttaa akseliin hionnan aikana jako- sekä kylkisuoruus virhettä.



KUVIO 11. PLH-1400 väliakseli kellotuksessa hampaanhionnassa vanhalla jalustalla sekä potero ja reikäpiiri ylöspäin

Väliakseleista, esim. PLH-1400 on rakenteeltaan sellainen, että akselin toisessa päässä on reikäpiiri ja potero jotka hionnassa ovat ylöspäin (ks. KUVIO 11 ja 12). Hionnan päätyttyä potero ja kierrereikä piiri, on täynnä hiomaöljyä ja kiven murusia. Ennen kappaleen irrotusta öljyt pitää poistaa ja akseli puhdistaa hiomajätteestä. Hampaanhionnan jälkeen akseli toimitetaan mittahuoneeseen jossa hampaille tehdään barkhaus-kovuuden mittaus ja mitataan halkaisijamitat kauloilta ja hammasvälimita jotka raportoidaan tietokantaan.



KUVIO 12. Pih-1400 Väliakselin päässä oleva potero ja kierrereikäpiiri josta otetaan veto akselin pyörittämiseen pyöröhionnassa

3.6 Välipyörän sorvaus

Kuten jo aiemmin kirjoitin, välipyörä tehdään kokonaan alusta loppuun Moventaksella. Tilanne muuttui 1.11.2010 jolloin Tourulan yksikkö myytiin Komakselle. Pehmeää rautaa ei koneisteta Rautpohjassa ja tulevaisuudessa hammaspyörät tulee alihankinnasta Komaksen Tourulan yksiköstä. Tämä vaikuttaa työssä siihen, että en tutki menetelmiä, miten Komaksella välipyörän valmistaminen tapahtuu.

Välipyörien kovasorvaus tehdään Rautpohjassa. Sorvi on varustettu hydraulisella kolmileukapakalla ja kappaleen keskittäminen vaatii peltilevyn palasia leuan ja kappaleen väliin, koska hammaspyörä ei ole karkaisun jälkeen pyöreä. Hampaalta kellottaessa heittoa ei saa olla yli 0,03 millimetriä. Kappaleen epäkeskeisyyden takia joudutaan aloittamaan hampaanhionta kauempaa ja jokainen millin kymmenys lisää koneaikaa n~10 minuuttia.

Kappale lasketaan kolmen topparin päälle ja otsapinta kellotetaan heitottomaksi. Tarvittaessa kappaletta nostatetaan topparilla, että saadaan otsapinta heitottomaksi. Otsapinnan heitto vastakkaisilta toppareilta ei saa olla yli 0,1 millimetriä, koska otsapinna heitto kääntää myös hammasta.



KUVIO 13 Okuma S-837 sorvaustyökalut, vasen viimeistelyyn käytettävä kolmiopala ja oikea rouhintaan käytettävä veitsiterä

Reikä sorvattiin kuvion 13 mukaisilla Kennametalin Quick-Change työkalu järjestelmän mukaisilla sorvaustyökaluilla, joista reiän rouhintaan käytettiin oikean puoleista veitsiterää. Käytetty lastunvahvuus rouhinnassa oli 2mm, syöttönopeuden ollessa 0.4 mm/r ja lastuamisnopeudella 70–80 m/min. Karkaistun teräksen sorvaaminen aiheuttaa suuret vaatimukset teräpalalle ja myös No-carb suoja-aineen maalaus pitää onnistua, ettei pyörään jää kovia kohtia.

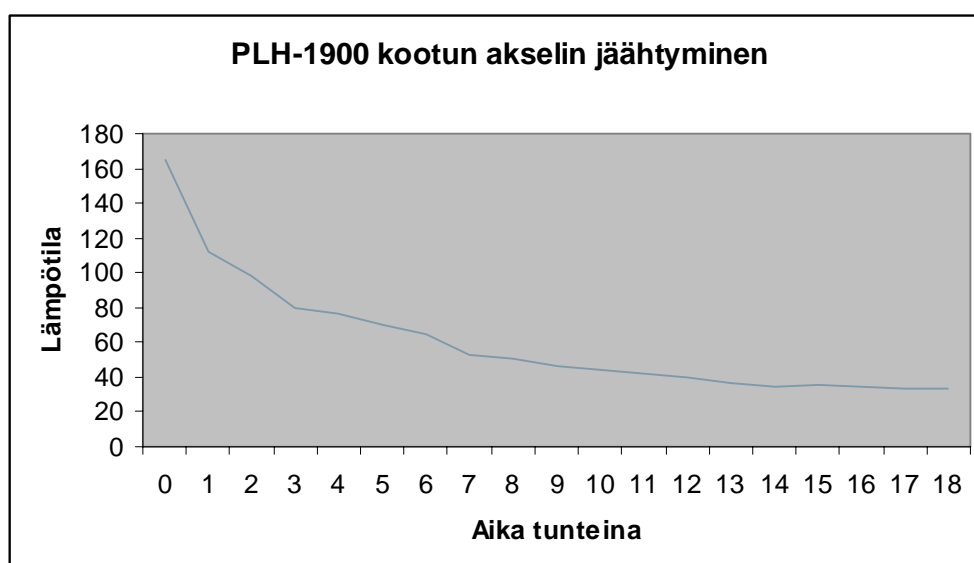
Koneen suurimpina ongelmina hammaspyörän sorvauksessa ovat väärän malliset terät ja hydraulinen kolmileukapakka. Kolmileukapakalla on lähes mahdotonta saada pyörää keskittymään pakkaan toleranssien vaatimuksiin.

Pyörä sorvattiin vain toiselta puolelta, ja jos ulkohalkaisija oli kasvanut yli toleranssin karkaisun aikana, käännettiin pyörä ja sorvattiin myös hampaanpäällinen toiselta puolelta. Tällä menetelmällä reikään jää purse alapintaan, joka pitää poistaa käsin hiomalla. Käytettävistä teräpaloista, rouhintapala on tyypiltään sellainen, että sitä ei ole tarkoitettu raskaaseen koneistukseen. Pyöriä valmistui Okuma S-837:lla vuorossa noin 4-5 kpl.

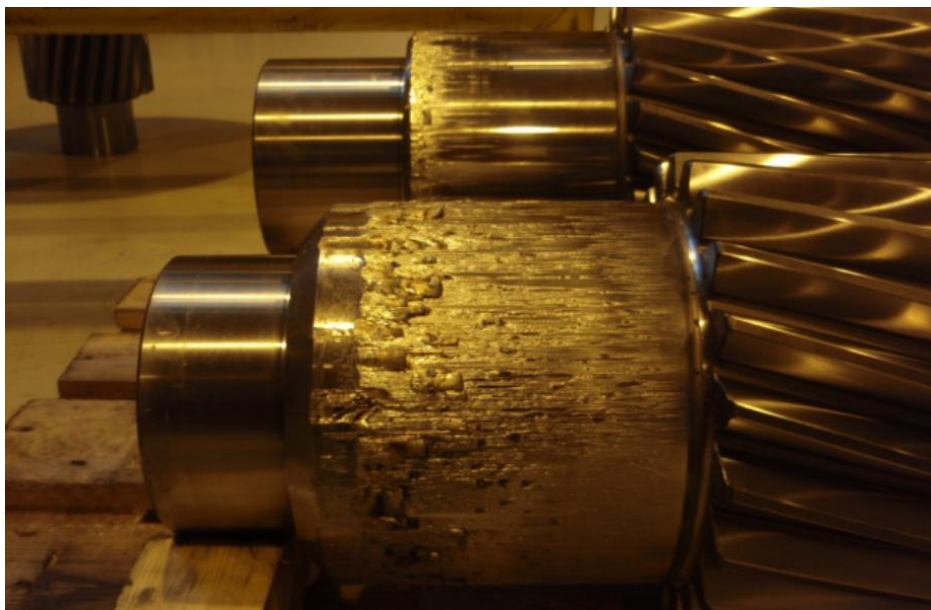
3.7 Kutistusliittäminen

Akselin ja hammaspyörän valmistuttua ja tarkastettua, kutistus liitetään nämä toisiinsa kiinni. Hammaspyörä lämmitetään uunissa lämpötilaan 160°C ja saavutettuaan tämän lämpötilan pyörä lasketaan akselin kaulalle ja jätetään jäähtymään. Pyörien lämmitys kestää massasta ja sovituksesta riippuen kuudesta, kahdeksaan tuntiin. Kutistusliitos on työvaihe joka pitää onnistua kerralla. Jos pyörä jää välille, ei sitä saa kaulalta enää ehjänä pois (Ks. KUVIO 14).

TAULUKKO 1. PLH-1900 kootun akselin jäähtyminen tunteina



Kutistus työvaiheen jälkeen akseli jätetään jäähtymään. Kaaviosta 1 ilmenee väliakseli koottuna plh-1900 jäähtymisaika. Jäähtymisaika on yksi sellainen joka pitkittää työvaiheen edistämistä, koska vasta 30°C voidaan laittaa hioma-koneeseen hiontaan. 60°C kootun väliakselin voi nostaa jo koneeseen ja jäähdyttää hiomaöljyllä, mutta tällä tavalla kuormitetaan hiontaöljyn jäähdytysjärjestelmää.



KUVIO 14. Kutistus liitoksesta irrotettuja aksleita

4 KEHITYSEHDOTUKSET

4.1 Työmenetelmät

Kappaleen valmistaminen kuvan mukaiseksi voi edetä hyvinkin monella tavalla. Jokaisella työntekijällä on oma tapansa tehdä ja ohjelmoida ja käyttää konetta. Työmenetelmät on tärkeä saada yhdenmukaiseksi jokaiselle koneelle ja työntekijälle, jotta läpimeno aika kappaleelle, olisi kaikilla työntekijöillä sama. Tämän takia laadittiin Moventaksen pyynnöstä työn menetelmäkuvaus (SOP-ohje) jokaiselle koneelle, jossa kuvattiin turvalliset työtavat ja menetelmät kappaleen valmistamiseksi. Katso liite 3-4. Lähtökohtana työn valmistumiselle on taulukon 1 mukaiset ehdot. Tällä hetkellä, kun akseli saapuu sorvattavaksi,

ei välttämättä ole tarvittavia teriä, käyttäjä ei osaa ohjelmoida, ei tiedetä mitä leimataan akseliin ja unohdetaan raportoida.

Taulukko 2. Kappaleen valmistamisen edellytykset sorvilla ja hiomakoneella

Menetelmä	Käyttäjä tietää miten työ pitää tehdä
Asetus	Käyttäjällä on kaikki tarvittavat kiinnitysvälineet
Ohjelma	Käyttäjä osaa ohjelmoida koneen ja lukea ohjelmaa
Työkalut	Valmistamiseen tarvittavat terät, palat ja kivet löytyvät koneelta
Viimeistely	Käyttäjä tietää miten työkappale pitää leimata ja puhdistaa
Raportointi	Työ avataan ja lopetetaan sekä tarvittavat mitat raportoidaan

SOP-ohjeissa kerrotaan lyhyesti konekohtaisesti, miten akselin valmistuksessa edetään. Ohjeista ilmenee myös laatuvaatimukset, kaulojen heittovaatimukset, kellotettavat pinnat, hyväksytyt nostoapuvälineet, turvalliset työtavat ja koneella käytettävät kemikaalit. Ympäristön ja työturvallisuuden takia on tärkeää, että työntekijä tietää mitä kemikaaleja koneella käytetään ja miten ne turvallisesti hävitetään. Sama asia on myös nostoapuvälineistä, koska kappaleiden paino on +500 kg, pitää oikeat käsittelytavat olla tiedossa kaikilla ja näkyvillä koneilla. Työmenetelmiä päivitetään sitä mukaa, kun on tarvetta tarkentaa tai selkeyttää työvaihetta.

Työmenetelmien yhdenmukaistamisen tavoitteena, oli saada akselin valmistuksessa läpimenoajan vaihtelu vähenemään, laatutieto kaikille samaksi ja turvalliset työtavat.

4.2 Akselin sorvaus

Väliakselin sorvauksessa tavoitteeksi asetettiin saada akseli yhdellä kiinnityksellä mahdollisimman pitkälle valmiiksi. Kiinnitykseen käytettiin apuvälineenä ns. apukeskiötä joka näkyy kuviossa 15. Apukeskiö asennettiin akselin pää-

hän, josta pidettiin kiinni sorvauksen ajan. Akselin valmistusta sorvaamalla kokonaan valmiiksi, rajoittavat annetut muototoleranssit, joihin ei sorvilla tällä hetkellä päästä. Laakerikauloja ei sorvilla pysty valmistamaan loppuun asti valmiiksi vaan ne jätetään hiomavaroille joka on 0.2mm halkaisijassa. Sen sijaan kutistusliitettävä kaula väliakselissa voidaan valmistaa sorvaamalla valmiiksi. Tällä menetelmällä vähennetään hiontatyön osuutta ja vältetään kallista ylilaatua.

Testattavaksi akseliksi valittiin kaksi erilaista PLH-1100 väliakselia, joista toinen sorvattiin pehmeässä vaiheessa normaalin työohjeen mukaan ja toinen muuten valmiiksi, paitsi pintatyövaroja kauloille jätettiin halkaisijassa 3mm ja pituuteen 0.3mm. Työvarallisessa akselissa hiontaväisteet, pyöristykset ja viisteet ajettiin valmiisiin mittoihin. Ideana oli, että kovan vaiheen sorvauksessa sorvataan vain suorat pinnat puhtaaksi ja ettei hiontaväisteitä enää kovana viimeisteltäisi.

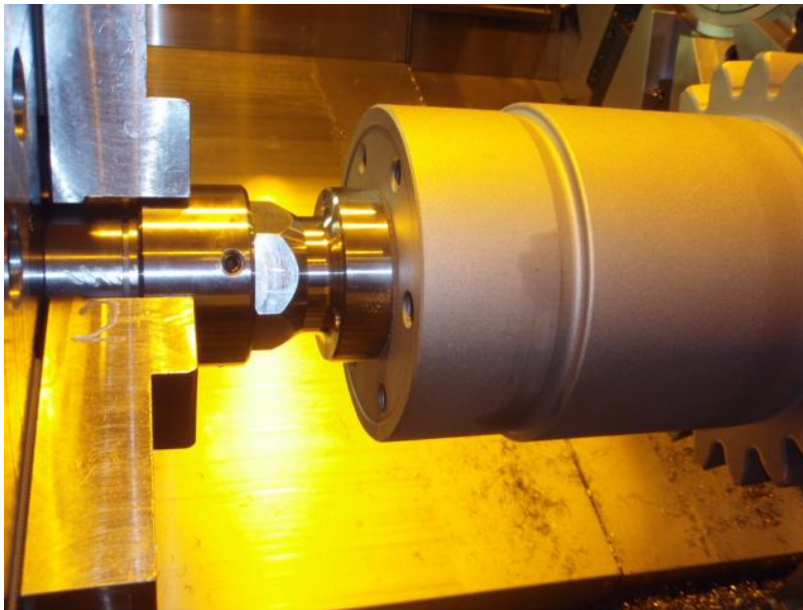
Akseli jätettiin kokonaan suojamaalaamatta ennen karkaisua ja sorvaus tehtiinkin Sumitomon boorinitridi teräpalalla, jolla voidaan työstää myös karkaistua terästä. Kustannussyistä johtuen, samat palat joilla rouhitetaan, viimeistellään kaulat valmiiksi, koska yksi booripala maksaa 100–120€ kappale.

Laakerikaulat sorvattiin valmiiksi kahdella lastulla ja kutistusliitettävä kaula viimeisteltiin kolmella 0.3mm lastulla, jotta saatiin mahdollisimman hyvä pinta ja halkaisija tarkasti 0.03mm toleranssin sisälle. Muotoon rouhitulla akselilla, työstön aloittaminen startista ja oven aukeaminen ohjelman loppuksi mittalastujen kanssa, tuli valmis kappale sorvista 33 minuutissa. Nykyisillä menetelmillä kun akseli ajetaan kääntämällä, on jalostava aika 1 tunti 15 minuuttia. Perinteisillä menetelmillä kaikki kaulat jätetään hiomavaroille. Myös kääntämiseen käytettävä aika häviää asetuksineen kokonaan pois. Aiemmin kun akselit sorvattiin kääntämällä kuuden kappaleen erissä, vei ykköskiinnitys aikaa 30 minuuttia. Kaikista kuudesta kappaleesta sorvattiin ensin ykköspäät ja sen jälkeen päästiin ajamaan kakkospäitä. Sarjakoon ollessa kuusi kappaletta joutui

pyöröhiomakone odottamaan n~ 5 tuntia, ennen kuin ensimmäinen akseli tuli sorvilta valmiiksi.

Toinen akseli, joka oli normaalin työohjeen mukainen, sorvattiin myös yhdellä kiinnityksellä ongelmitta valmiiksi. Vaikka työvaroja oli enemmän, ei aikaa kulunut valmistamiseen, kun 50 minuuttia. Tässä akselissa haittana on vielä suo-
jamaalauksen tarve karkaisun yhteydessä.

Jo pelkästään koneaika tuo merkittäviä säästöjä. Lisäksi jos huomioidaan, että kappale voitiin valmistaa boorinitridi palan ansiosta ilman leikkuunestettä ja pyöröhionnassa ei tarvitse koneistaa PLH-1100 akselin kauloista enää kuin kolme laakerikaulaa, entisen neljän kaulan sijaan, tulee myös hionnassa nä-
kymään selviä kustannussäästöjä.



KUVIO 15. PLH-1100 väliakseli kovan vaiheen sorvaus yhdellä kiinnityksellä valmiiksi apukeskiön avulla

Moventaksella on otettu käyttöön opinnäytetyön aikana myös akselipuolella imuohjaus. Akselin sorvaus yhdellä kertaa valmiiksi nopeuttaa sorvaustyövai-
hetta, mutta samalla tuotannon ohjaus helpottuu. Aiemmin odotettiin ensimmäisen akselinvalmistusta sorvilta n~5 tuntia, ennen kuin hiomakone pääsi aloittamaan pyöröhionnan. Uudella menetelmällä odotus aika on
n~45minuuttia siitä, kun akseli on nostettu sorviin. Pyöröhionta PLH-1100 ak-

selille on kestänyt 45 minuutista – 1 tuntiin. Kun pyöröhionnasta, väliakselista otetaan suurimman kaulan pyöröhionta pois, saadaan sorvin ja pyöröhiomakoneen jalostava aika lähemmäksi toisiaan. Tahtiaikojen yhtenäistäminen on tärkeää, koska silloin saadaan tavara virtaamaan koko tuotantoketjun läpi nopeammin, koska tavara ei ole välivarastoissa keskeneräisessä tuotannossa odottamassa. Kun saadaan tarkasti koneajat pysymään vakiona, myös myynti voi olla varma laskutetusta tuotteen hinnasta ja osto pystyy toimittamaan raadat oikeaan aikaan tuotantoketjun alkupäähän ja kokonpano saa tavaran oikeaan aikaan.

Apukeskiön avulla pystyttäisiin myös sorvaamaan kaikki väliakselimallit sorvillä S-836, koska tämän avulla saataisiin tukilaakerin ja kärkipylkän väliin lisää tilaa ilman että tukevuus kärsisi.

4.3 Hammaspyörän sorvaus

Okuma S-837:lla oli mahdottomuus tehdä pyöriä työohjeiden vaatimiin heittoihin. Moventaksella on 80-luvulta lähtien tehty hammaspyöriä ja näillä työvälineillä, ei päästä sille tasolle asti. Okuma S-837:n työkalut ja menetelmät piti saada samaksi, kun muillakin karusellisorveilla.

Tämä edellytti, että Okuma S-837:lle vaihdettiin nelileuka pakka, jolloin jokaisesta leukaa voidaan siirtää erikseen. Hampaalta kellottaessa saatiin vastakkaisen leukojen heitto luotettavasti 0.03mm sisään. Tämän lisäksi suunniteltiin kappaleen kiinnittämiseksi uudet leuat ja neljä kappaletta toppareita joiden päälle kappale lasketaan.

Toppareita pitää olla ehdottomasti neljä, koska pyörän pitää istua heitottomasti näiden päälle. Tässä tilanteessa pyörä on parhaassa mahdollisessa asennossa koneistettavaksi. Neljä topparia edesauttaa myös siinä, että otsapintaa ei tämän jälkeen tarvitse kellottaa, eli enää vain hampaalta kellotetaan pyörä keskelle. Jos hammaspyörä ei löydä asentoa, jossa paino jakautuu kaikkien toppareiden kesken tasan, ei pyörää pidä sorvata tai kutistus liittää akselille,

koska hammastus on myös virheellinen karkaisun aiheuttaminen vääntymien takia ja työvarat voivat loppua hionnassa kesken.

Näille hammaspyörille jotka eivät istu pökien päälle, suunniteltiin tuurna, jolla hammaspyöristä voi ottaa hiomakoneella keskityspiirron ja mahdollisesti rouhia hammasväli 0.1 mm päähän valmiista mitasta. Jos hammas saadaan hiotua puhtaaksi, eikä Barkhausen mittauksessa esiinny palamista tai raakaa pintaa, voidaan pyörä kutistus liittää akselille ja näin välttyään "turhilta" susiakseleilta.

Aiemmat teräpalat, joita Okumalla käytettiin, eivät olleet tarkoitettu raskaaseen koneistamiseen. Terät valittiin vain siksi, että oli helpompi vähentää lastua ja leikkuuta, kun selvittää mikä aiheuttaa värinää sorvauksessa. Vaihdoin laatikosta jo kertaalleen hylätyt terävarret paikalleen ja aloitimme testit. Vaatimuksena oli sorvata reiästä 4.5mm vahvuinen lastu yhdellä kertaa. Rouhintapalaksi valittiin Kenna Metalin trombinen 16mm CNMG-pala 1.2mm nirkonsäteellä. Meni kaksi kappaletta ja värinä ongelma, oli todella suuri. Ensin yritimme saada värinää pois leikkuuarvoja muuttamalla ja pitämällä lastun samana, mutta tämä ei onnistunut. Kokeilimme seuraaviin kappaleisiin Sandvikin vastaavaa teräpalaa, joka on yleisesti käytössä kovasorvauksessa Moventaksella (ks. KUVIO 16). Pidimme työstöarvot samoina ja värinä katosi kokonaan. Loppujen lopuksi päädyimme työstöarvoihin lastuamisnopeus 110 m/min 0.5mm syötöllä lastun vahvuuden ollessa 4.5mm.



KUVIO 16. Okuma S-837 valitut uudet teräpitimet. Vasemmalla rouhintäterä ja oikealla viimeistelyterä

Asetuksen ja varsinkin uuden kappaleen valmistuksen helpottamiseksi, tehtiin Okumalle hammaspyörän ajoon oma makro jolla, uuden ohjelman tekeminen kestää 2 minuuttia. Ohjelmassa annetaan kuvasta arvot;

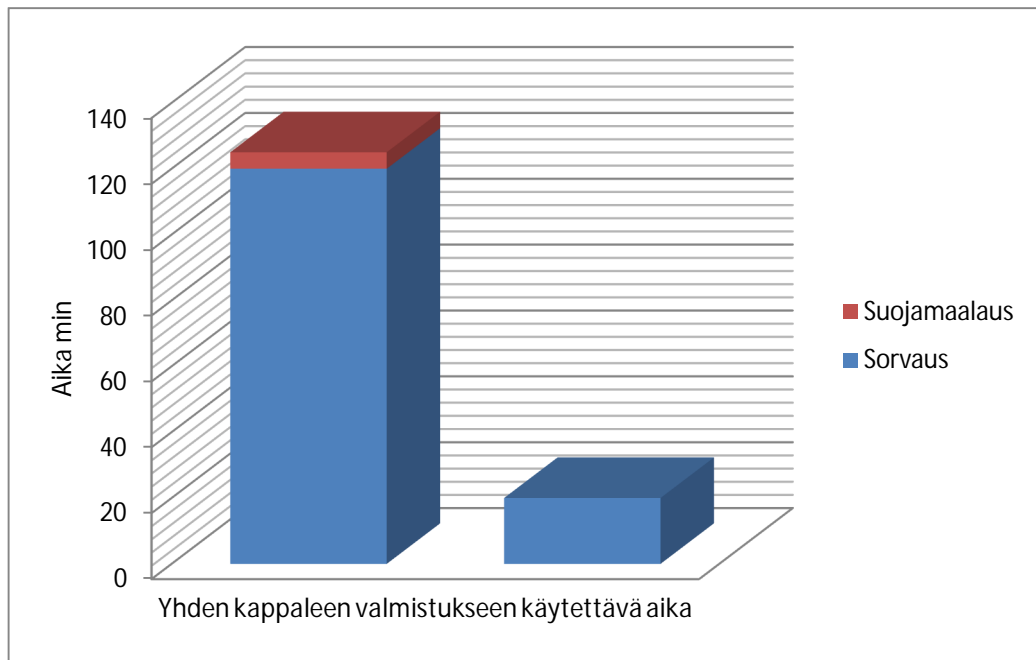
- Pituus
- Viiste
- Kartiokkuuden korjaus
- Alkureiän halkaisija
- Valmiin reiän halkaisija
- Otsakevennys 1 alku
- Otsakevennys 1 loppu
- Otsakevennys 2 alku

Näiden tietojen perusteella kone osaa valmistaa hammaspyörän ja tehdä tarvittavat viisteet ja pyöristykset. Ohjelma tekee viisteen myös pyörän alapintaan, jolloin koneesta pois nostettava kappale on valmis, eikä sitä tarvitse viilata. Ohjelma vaatii vielä pientä kehittämistä, ja olisi vielä mahdollisuus lisätä parametri arvoja, jolloin kappaleen valmistaminen helpottuisi entisestään.

Työstöarvojen noustessa ongelmaksi muodostui myös teräpalojen kestävyys. Aiemmin käytössä olleet työstöarvot eivät olleet niin herkkiä reagoimaan kappaleen eroavaisuuksiin kovuuden suhteen. Lastunvahvuuden, syötön ja lastuamisnopeuden noustessa, kohdat jossa suoja-aine kerros, oli ohuempi tai teräs jostain muusta syystä hiilettynyt, särkivät ne kohdat teräpalan heti.

Tästä syystä otin tutkittavaksi mahdollisuuden, että hammaspyörää ei suojatamaalata ollenkaan, vaan sorvataan pienemmillä työvaroilla karkaistu pyörä valmiiksi boorinitridi teräpalalla. Tällaista työmenetelmää testattiin PLH-1100:n välipyörään. Pehmeässä vaiheessa hammaspyörä sorvattiin valmiiksi pituuden ja viisteiden osalta. Turpoamisen takia reikään jätettiin työvaroja 1,2 mm verran halkaisijassa. Tällä menetelmällä voitiin kovasorvaus suorittaa vain yhtä teräpalaa käyttämällä ilman työkalunvaihtoja, koska samalla työkalulla sorvattiin otsapinta ja reikä. Pyörän valmistaminen vei aikaa mittauksineen 20 minuuttia (katso KUVIO 17). Tällaista työmenetelmää kun verrataan nyt käytössä olevaan menetelmään, on parannus huomattava.

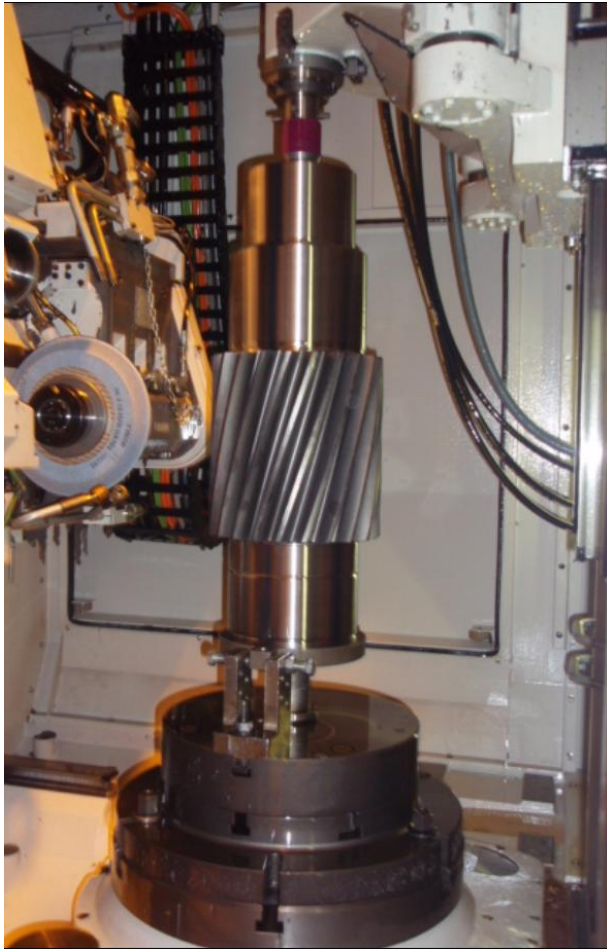
Sorvaus helpottuu myös sen takia, että enää ei karkaisimossa tarvitsisi kappaleita maalata ollenkaan. Myös laatu paranee, koska voidaan olla varmoja, että suojamaaliroiskeita ei hampaille pääse syntymään. Yhden PLH-1100 pyörän maalaaminen kestää n~5 minuuttia, joten 6 kpl sarjassa pelkkää maalaus aikaa säästetään jo 30 minuuttia. Maalaamisen lisäksi kappaleen käsittely helpottuu, koska pesukoneesta voidaan pyörät ladata suoraan telineeseen.



KUVIO 17. Välipyörän valmistuksen kehitys. Karkaisusta maalaus jää pois kokonaan.

4.4 Muotohionta

Hampaanhiontaan suunniteltiin uusi jalusta koneelle Pfauther HA-838, (liite 5-6) johon käy MK6 kartiolla oleva tukikärki ja samalla niin pitkä, että väliakselit, kuten plh-1400 voidaan hioa potero ja kierrereikäpiiri alaspäin (Ks.KUVIO 18). Tämä ratkaisu helpottaa ja nopeuttaa akselin puhdistusta hionnan jälkeen, kun öljyä ei tarvitse imeä pois. Aiemmin myös hiomajäte jäi poteroon ja kierrereikiin, mutta uuden työmenetelmän ja laitteiden ansiosta, paineilmalla ei tarvitse enää pölyttää hiomaöljyä pois kierrerei'istä, koska akselin alapää on sisältä lähestulkoon kuiva irrottaessa. Myös laatu paranee väliakselituotannossa, kun voidaan olla varmoja, ettei kärki enää joustaa hionnan aikana. Nyt akseli pysyy pystyssä koko hionnan ajan, eikä ns. viipotusta esiinny.



KUVIO 18. PIH-1400 Väliakseli hiomakoneessa uuden pöydän ja vahvemman tukikärjen kanssa, potero ja reikäpiiri alaspäin

Tulevaisuudessa akseleiden Barkhaus mittaus ja T-mittojen ottaminen siirtyy koneen käyttäjien tehtäväksi. Nyt akseli toimitetaan hionnan jälkeen mittahuoneeseen tarkastukseen ennen kutistusliittämistä. Uusi jalusta mahdollistaa sen, että akseleita ei tarvitsisi kääntää pyöröhionnan jälkeen, vaan akselit matkustaisivat aina kutistusliitettävässä asennossa kokoonpanoon asti.

4.5 Kutistaminen

Kutistus työvaiheessa saatiin kappaleen jäähtymisaikaa nopeutettua ihan yksinkertaisella toimenpiteellä, kun akselit nostetaan jäähtymään ilmanvaihdon

raittiin ilman puhaltimien kohdalle. Tällä pienellä toimenpiteellä saatiin akseli jäähtymään 36°C:een 9h nopeammin kuin vapaassa ilmassa jäähtyen.



KUVIO 19. PIH-1400 väliakseleita koottuna jäähtymässä ilmastoinnin raittiin ilman tulopuolen sekoittimen edessä.

Jäähtymisen nopeuttamiseksi suunniteltiin viilennyskaapin johon puhallettaisiin ilmalämpöpumpulla viileää ilmaa jäähtymisen nopeuttamiseksi. Tämä idea on kuitenkin vasta ehdotus tasolla, eikä sitä ole testattu millään tavalla. Ainoastaan tämä pieni tutkimus, miten paljon nopeammin jäähtyminen tapahtuu, jos saadaan viileä ilma kiertämään kuumen akselin ympärillä.

5 JATKOKEHITTÄMINEN

5.1 Uudet ideat

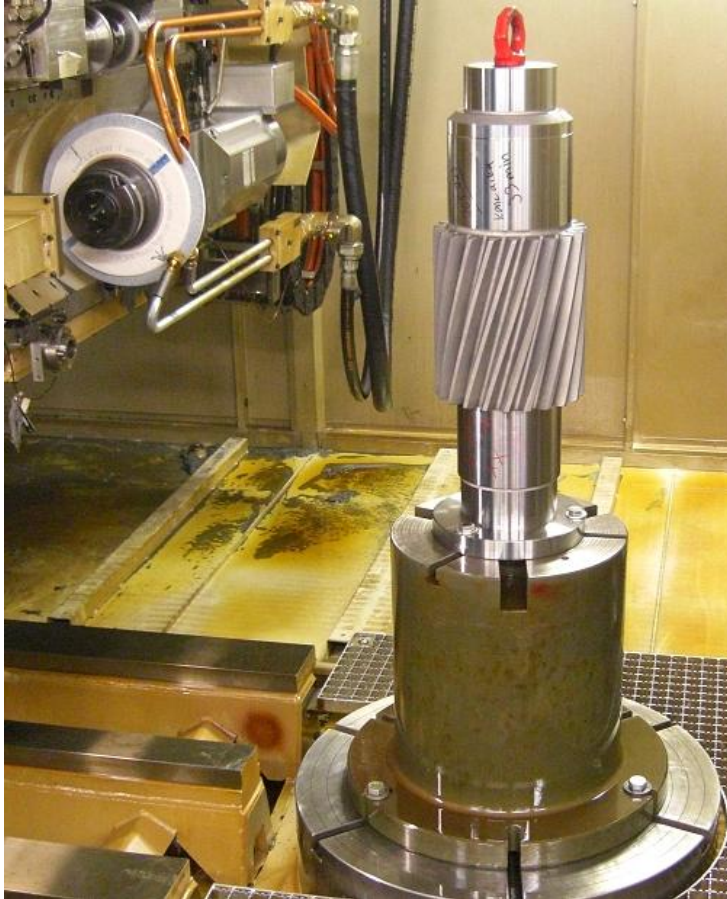
Työn edetessä jatkokehittämiseen tuli paljon ideoita, joiden toteuttaminen vaatii tarkastelua. Ideat tuovat varmasti säästöä ja parantavat laatua. Akseleiden ja pyörien karkaisussa, kun koneistettavat pinnat suoja maalataan, tulee paljon kolhuja hammastukseen lattiasta, koska kappaleita pyöritetään lattiaa vasten maalauksen aikana. Myös suojamaali roiskeita voi jäädä hampaalle ja silloin siltä kohdalta hammas ei karkene. Tästä tuli kehitysehdotukseksi se, että suojamaalaus lopetetaan kokonaan. Koneistettavat kaulat sorvataan pehmeässä vaiheessa 1.5mm pintavaralle. Karkaisun jälkeen sorvataan tai hiotaan kova pois Boorinitridi palalla, jolla pystyy koneistamaan myös karkaistuja pintoja.

Sorvauksessa pintavarojen pienennyttyä kappaleen kiinnitystarve ei ole niin kova kuin rouhittavalle kappaleelle. Tämä mahdollistaisi apukiinnittimen käytön jolloin akselin voisi sorvata valmiiksi yhdellä kertaa, nykyisen kahdella kiinnityksellä ajamisen sijaan. Hiomakoneisiin on saatavana mittalaitteita jotka sallivat akselin kaulojen heiton keskiöihin nähden, jolloin näillä uusilla mittalaitteilla saataisiin myös hampaanhionta tehtyä.

Pyörien sorvauksessa voitaisiin jättää hammaskehän puoleisen otsapinnan viimeistelysorvaus kokonaan pois, koska nykyiset valmistusmenetelmät ei tarvitse enää koneistettua pintaa. Kiilaurallisista pyöristä suojattaisiin vain napa, koska kiilaura valmistetaan vetämällä ja tähän käyttöön ei ole niin kovia teriä, että ne pystyisi karkaistuun kappaleeseen.

Akseleiden kutistusliittämisessä pyörän lämpötila nostetaan lähelle päästölämpötilaa. Tähän asiaan pitäisi kokeilla akselin viilentämistä esimerkiksi -30°C glycoliin. Karkaistun raudan pakastaminen vaatii testejä, joita pitää tehdä, koska karkaistua rautaa ei saa pakastaa. Pakastumisen aikana jäännösausteniitti pinnassa muuttuu martensiitiksi, kun mennään riittävän kylmään. Teräksen pakastaminen lisäksi aiheuttaa hiotuilla kauloilla turpoamista halkaisijasta riippuen $n \sim 0.01-0.02\text{mm}$. Jos teräs pakkaskarkaistaan ennen päästöä, ei jäännösausteniitin pitäisi enää muuttaa muotoaan. Tällä toimenpiteellä saataisiin 60°C pyörän kutistusliitos lämmöstä pois ja oltaisiin turvallisesti päästölämpötilan alapuolella. Myöskään ei ole tutkittu, millaisia muodonmuutoksia kuumen pyörän asentaminen aiheuttaa akselin hiotulle hammastukselle. Lisäksi olisiko energiatehokkaampaa käyttää hammaspyörät ennen uuniin laittoa pesukoneessa, jossa ne pestäisiin 60°C :lla vedellä, joka toimisi pyörän esilämmittimenä.

Hampaanhiomakoneet on varusteltu laitteilla, jolla kappale voidaan vetää pöytään kiinni ja silloin ei enää kyytipoikia tarvitsisi käyttää. Myös osa hiomakoneista on varusteltu laitteella, joka käyttää koneen omaa mittalaitteistoa 3D-asennon muodostamiseen. Tätä laitetta kutsutaan viipottajaksi. Viipottajaa käytettäessä ei akselia tarvitse kellottaa keskelle, vaan hiomakone mittaa kappaleen asennon ja korjaa epäkeskeisyysvirheen ja pystyvirheen. Tähän menetelmään suunnittelin ja valmistin vetolaitteet, joilla akseli vedettiin pöytään kiinni ja keskitettiin viipottimen avulla. Menetelmä vie pois asetusaikaa, koska enää ei tarvitse kellottaa akselia keskelle eikä kiinnitellä kyytipoikia. Myös laatu paranee, koska ei tarvitse huolehtia yläkärjen mahdollisesti aiheuttamasta heitosta. Kun akseli vedetään pöytään kiinni, ei tukikärkeä tarvitse enää käyttää hionnan aikana. Koska yläkärkeä ei käytetä, ei myöskään sorvauksessa tarvitsisi korjata keskiötä. Myöskään Service toiminta ei vaikeudu tällaisen muutoksen myötä, koska myös Service osien hionta voitaisiin hoitaa jälkikäteen samalla tavalla.



KUVIO 20. Vetolaitteilla pöytään hiontaa varten kiinnitetty PLH-1100 akseli

6 YHTEENVETO

6.1 Arvio

Työn valmistuminen sai heti alussa kovan kolauksen, kun Moventaksella alkoivat pitkät lomautukset ja opinnäytetyöhön tarvittavia akseleita ja pyöriä ei valmistettu ollenkaan! Jouduin paljon tekemään päätelmiä pelkästään haastatteleamalla ja tutkimalla valmistusmenetelmiä paperilta.

Aluksi työn piti olla yksinkertainen kuvaus akselin valmistuksesta ja työmenetelmien kehittamisestä. Työn edetessä huomasin, että kehitettävää on aivan

liian paljon yhteen opinnäytetyön tuntimäärään. Tästä syystä oli pakko rajata jokin taso, mihin lopettaa. Ongelmia tulvi joka koneelta, vaikka kuinka ja paljon. Suurin ongelma oli se, että työ voidaan tehdä välttävästi näillä uusilla koneilla ja yleensä vielä tarvittiin toisen koneen apua työn läpiviemiseksi. Uusilla 2000-luvun työstökoneilla ei päästy samalle tasolle kappalemäärissä tai kappaleajoissa kun 80–90 luvun vanhoilla sorveilla. Koneistamisesta oli kokonaan unohdettu perustiedot ja taidot, jotka oli jo olemassa. Tehtiin paljon ylimääräistä työtä yksinkertaisen ongelmankin takia, jotka oli jo pahimmillaan 20 vuotta sitten ratkaistu.

Tavoitteeksi työlle asetinkin tämän huomion jälkeen sen, että on oltava lähtötaso missä kaikilla koneilla ja työntekijöillä on mahdollisuus tehdä työ alusta loppuun asti vaaditulla tavalla. Tämän tason saavutettua voidaan alkaa kehittämään tuotantoa ja laskemaan kappalemääriä, koska voidaan luottaa siihen, että kappale valmistuu ajallaan, laadukkaasti ja tuotanto toimii. Aiemmin yksi konerikko saattoi pysäyttää koko linjan tuotannon. Nyt taso on jo niin luotettava, että koneet eivät ole niin riippuvaisia toisistaan ja useimmalle koneelle löytyy korvaava kone.

Oli monia parannustoimia, kuten teräpalatestejä ja näiden testien johdosta eteenpäin vietyjä ajatuksia kappaleiden valmistuksesta, joita ei mainita tässä työssä, mutta tulevat tulevaisuudessa muuttamaan valmistusta hyvinkin paljon. Olen tyytyväinen työstä saamaani oppiin ja myös työn lopputulokseen.

LÄHTEET

Energymapin verkkosivut, N.D, <http://www.energymap.dk/Technology-Areas/Renewable-Energy/Wind-Power>, Tuulivoimalan historia, moderni tapa tuottaa energiaa, 15.4.2010

Halme.J, 2005, Vtt:n verkkosivut, http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servoplaneettavaihteet_btuo43-051349.pdf, viitattu 1.9.2010, Planeettavaihteen käyttökohteet

Liker.J, 2006, Toyotan tapaan, Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy

Moventas Wind Oy:n verkkosivut, N.D, http://intra.moventas.com/News/Jyvaskyla/Pages/Default.aspx?ECQWP_NewsDate=2010, Viitattu 12.4.2010, Mikä on moventas

Moventas Wind Oy:n verkkosivut, N.D, <http://intra.moventas.com/News/Global/Pages/Moventasvalmistautuupitk%C3%A4nt%C3%A4ht%C3%A4imenkasvuun.aspx>, Moventaksen liikevaihto, viitattu 29.4.2010

Suomentuulienergian verkkosivut, N.D, <http://www.suomentuulienergia.fi/>, Viitattu 15.4.2010, tuulliturbiinin historia

Tampereen teknillisen yliopiston verkkosivut, N.D, http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1_1.php, Viitattu 10.11.2010, Teräksen karkaisu

Tampereen teknillisen yliopiston verkkosivut, N.D, <http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/kurssit/Wind/Seminaarit/luku2.pdf>, Tuuli-voiman hyödyntäminen maailmalla, 27.4.2010

Fairley.P, 2010, Technologyreview verkkosivut,
<http://www.technologyreview.com/energy/25188/>, Wind turbines shed their gears,
viitattu 18.5.2010

Vanhala.L,2010, Tekniikka ja talous lehden verkkosivut,
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article399873.ece>, Suoravetoinen tuuliturbiini
ilman vaihteistoa, Viitattu 18.5.2010

Tuulivoimala verkkosivut, N.D, <http://www.tuulivoimala.com/Tuulivoima.asp>, Viitattu
12.4.2010, Tuuliturbiinin toiminta

Työ ja elinkeinoministeriön tilaama verkkosivu, N.D,
<http://www.tuuliatlas.fi/tuulivoima/index.html>, Viitattu 12.4.2010, Tuuliturbiinin
toiminta

Valtionsäädöstötietopankki verkkosivut, 1992,
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>, Viitattu 13.4.2010, Tuulivoimalan
melurajat

Vtt:n verkkosivut, 2009, <http://www.vtt.fi/news/2009/06042009.jsp?lang=fi>, viitattu
13.4.2010, Maailman energiantarve

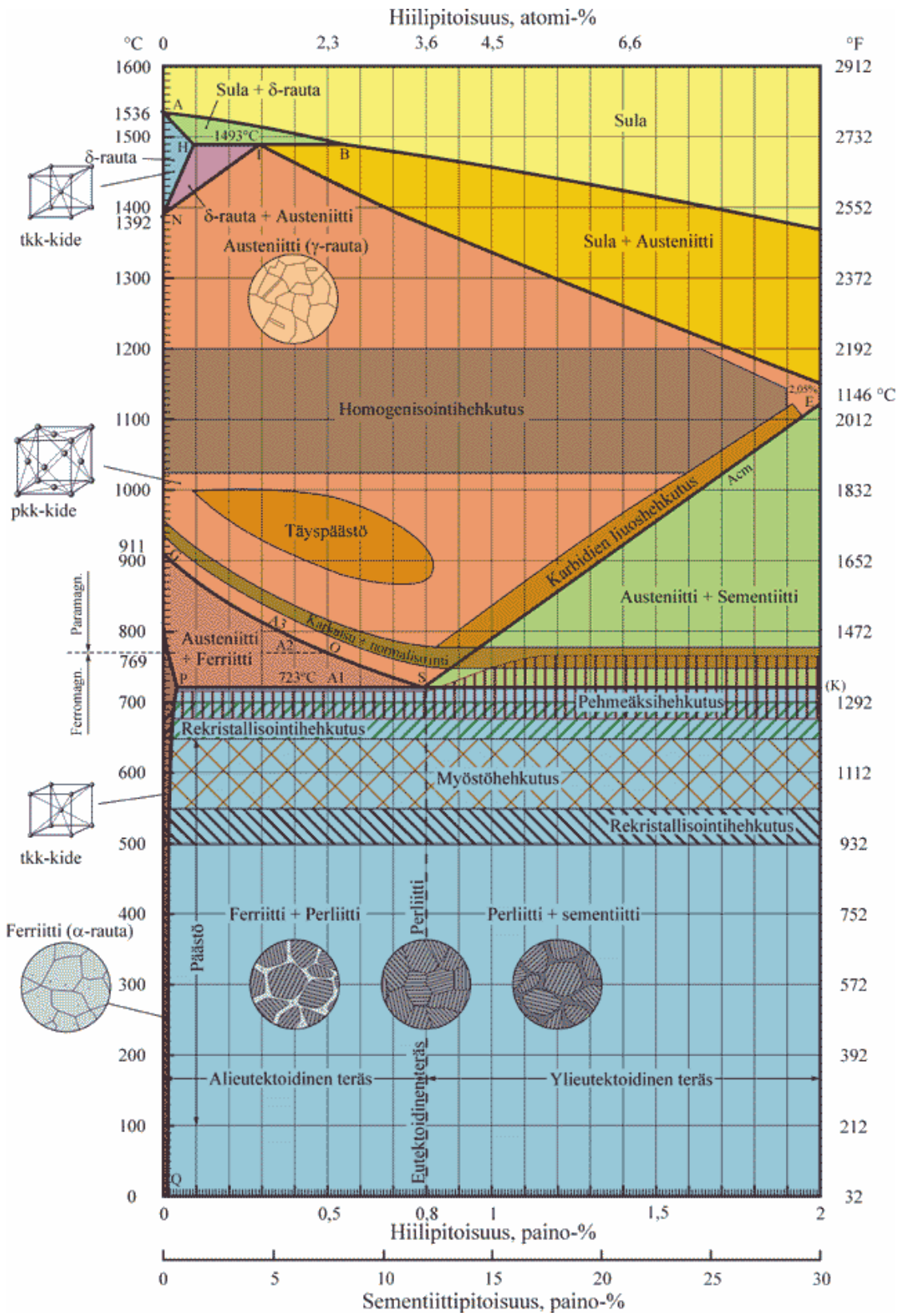
Windpowerninjan verkkosivut, 2010, <http://www.windpowerninja.com/wp-content/uploads/2010/04/wind-turbine1.jpg>, Kuva kolmilapasesta vaaka-
akseloidusta tuuliturbiinista, Viitattu 10.11.2010

LIITTEET

LIITE 1. SUOJAMAALATUT VÄLIAKSELIT ASETELTUNA KARKAISUTELINEESEEN



LIITE 2. RAUTA HIILI TASAPAINOKAAVIO



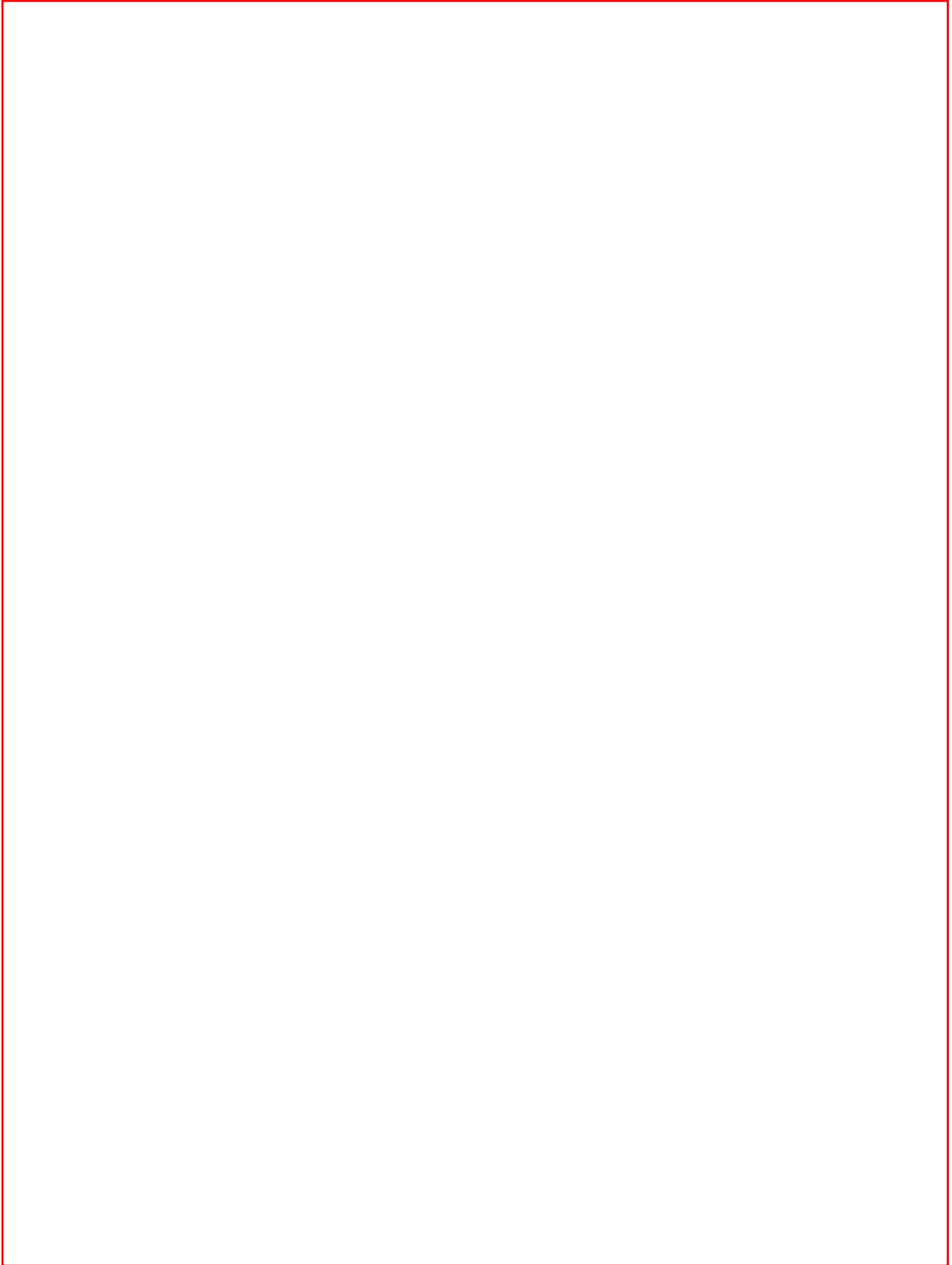
LIITE 3. YKKÖSKIINNITYS SOP-TYÖOHJE SORVILLE OKUMA S-836



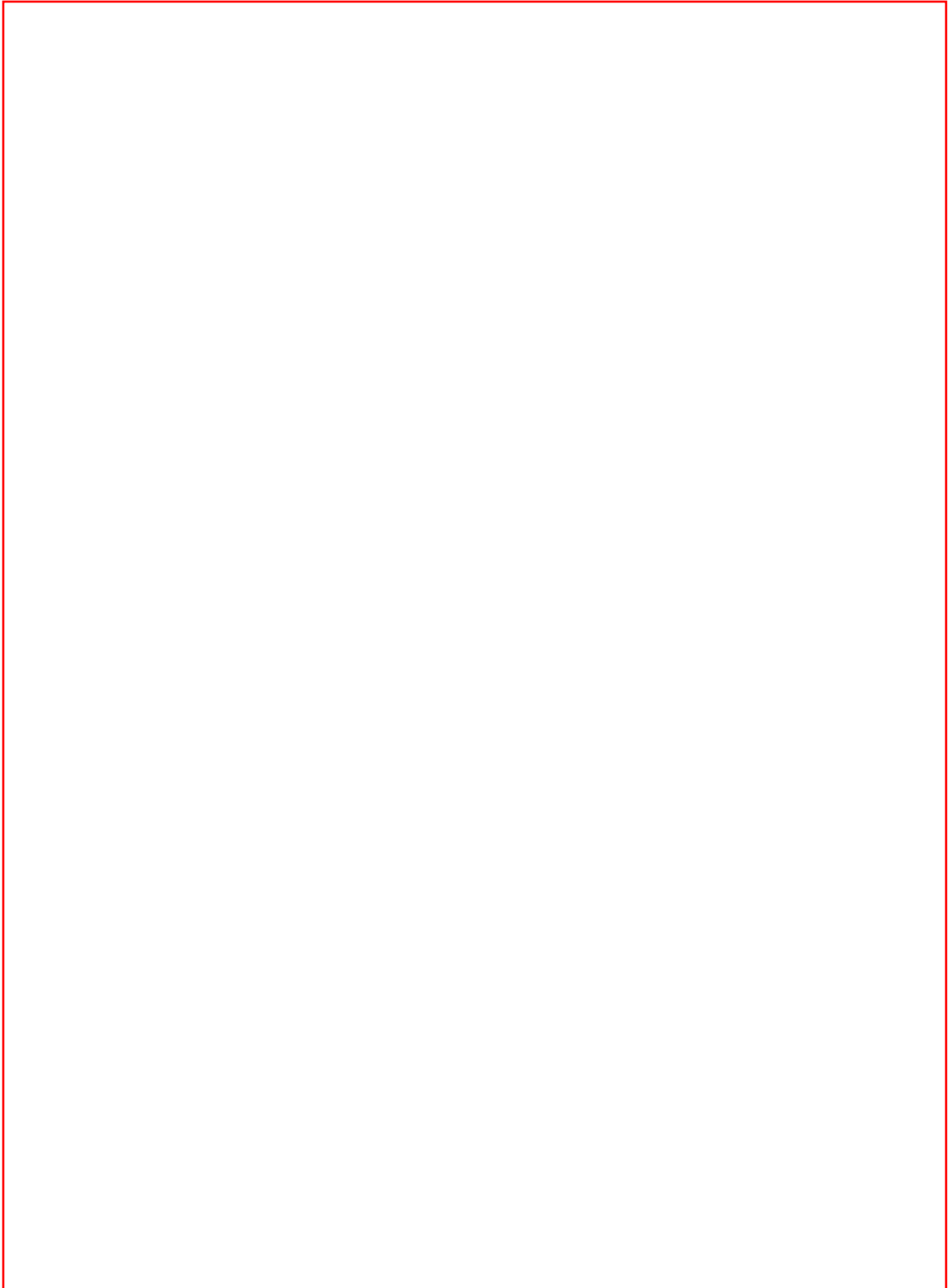
LIITE 4. KAKKOSKIINNITYS SOP-TYÖOHJE SORVILLE OKUMA S-836



LIITE 5. UUSI PÖYTÄ HAMMASHIOMAKONEELLE HA-838



LIITE 6. KOROTUSPALA HAMMASHIOMAKONEELLE HA-838



LIITE 7. HAVAINNOLLISTAMISKUVA VETOLAITTEISTA JOILLA AKSELI VEDETÄÄN PÖYTÄÄN KIINNI
MUOTOHIONNAN AJAKSI

