

Tampereen ammattikorkeakoulu, ylempi amk-tutkinto
Automaatioteknologian koulutusohjelma
Tomi Nieminen

**TAPAUSTUTKIMUS ATA GEARS OY
VAATIVAN VALMISTUKSEN KOULUTUSTEN KEHITTÄMISEKSI**

Työn ohjaaja TAMK, koulutuspäällikkö, diplomi-insinööri Kaarlo Koivisto
Ata Gears Oy, linjapäällikkö, insinööri (AMK) Risto Lahti
Työn Tilaajat TAMK / CAM Forum, linjanjohtaja, diplomi-insinööri Arto Jokihaara,
Tredea Oy:n TuoVa-hanke, projektipäällikkö, diplomi-insinööri Jouni
Myllymäki

Tampere 12/2009

Tekijä: Tomi Nieminen

Työn nimi: Tapaustutkimus Ata Gears Oy

Vaativan valmistuksen koulutusten kehittämiseksi

Sivumäärä: 59

Valmistumisaika: 8.12.2009

Työn ohjaaja: dipl.ins. Kaarlo Koivisto

Työn Tilajat: TAMK / CAM Forum ja Tredea Oy:n TuoVa-hanke

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa perehdytään vaativan konepajatuotannon haasteisiin. Tarkoituksena on kerätä kattavasti tietoa yritysten toiminnasta. Vaativien tuotteiden valmistukseen erikoistunut Ata Gears Oy on tutkimuksessa esimerkkiyrityksenä.

Ata Gears Oy valmistaa päätuotteinaan kaarevahampaisia kartiohammaspyöriä raskaan konepajateollisuuden ja meriteollisuuden tarpeisiin. Vaativan valmistuksen eri vaiheisiin perehdytään tutkimalla Ata Gears Oy:n valmistusketjua, joka jaetaan pienempiin osa-alueisiin, joita ovat suunnittelu, koneistus, lämpökäsittely, viimeistely ja laadunvarmistus.

Kaikista tuotantoketjun vaiheista saatujen tietojen perusteella on kerätty kattava kuvaus työvaiheiden vaativuudesta ja työntekijöiden ammattitaidosta. Vaihe vaiheelta kerätyistä tiedoista saadaan tarkka kokonaiskuva Ata Gears Oy:n valmistusketjusta. Haasteellisten tuotteiden valmistuksessa on erikoistöitä, jotka vaativat erityisosaamista, mutta tässä tutkimuksessa niitä on pyritty käsittelemään yleisellä tasolla. Oppilaitoksissa tämän tutkimuksen tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää opetuksen sisältöjen suunnittelussa.

Yritysten ja eriateisten oppilaitosten välisessä yhteistyössä voidaan parantaa opiskelijoiden valmiutta siirtyä suoraan työelämään opintojen jälkeen. Tampereen kaupunkiseudun elinkeino- ja kehitysyhtiö Tredea Oy:n ja Tampereen oppilaitosten yhteistyöprojektin (TuoVa) tarkoituksena on hyödyntää kerättyä tutkimustietoa. Tiedon avulla Tuova-projektissa on tarkoitus kehittää oppilaitosten kurssien sisältöjä vastaamaan vaativan valmistuksen tarpeita.

Writer: Tomi Nieminen

Thesis: Case Study Ata Gears Ltd

in order to develop the contents of teaching of demanding production

Pages: 59

Graduation time 8.12.2009

Thesis Supervisor: MSc (Eng) Kaarlo Koivisto

Co-operating Company: TAMK / CAM Forum & Technology center Hermia /TuoVa

ABSTRACT

Study is focused in the demanding challenges of engineering production. The aim is to collect comprehensive information about the company's activities. Study example of specialized manufacture of demanded goods is made in Ata Gears Ltd.

Ata Gears Ltd manufactures spiral bevel gears for needs of heavy mechanical engineering and marine industries. In different stages of demanding production is studied in the Ata Gears Ltd's manufacturing chain. Manufacture chain is divided into smaller sections, which are design, machining, heat treatment, finishing and quality control.

For all stages of production derived from the data is collected in a comprehensive description of the work and the complexity of workers' skills. Step by step, here is collected a precise overview of the Ata Gears Ltd's manufacturing chain. There is also a special job and skill requirements for challenging manufacture products, but in this study, it has been discussed in general level. The study has maintained the perspective of educational institutions, so that the collected data can be used in designing the contents of teaching.

Enterprises and educational institutions in different degrees are working in collaboration to improve students' skills to be ready to the labor market after school. Tampere Region Economic Development Agency Tredea and Tampere educational collaborative are running a project (TuoVa). Its goal is to use collected information to develop educational content of courses to meet requirements of demanding manufacturing.

Esipuhe

Tutkimuksessa tarvittavien tietojen kerääminen on ollut odotettua haastavampaa. Selvityksen rajaus yhden vaativaan valmistukseen erikoistuneeseen yritykseen ja toisaalta muidenkin yritysten tuotannon haasteet huomioon ottaminen oli iso projekti. Tiedon kerääminen ja sen tutkiminen oli lähes kokonaan haastatteluiden ja oman tutkimisen varassa.

Tutkimukseen on kerätty tietoa ja tutkittu sitä syvällisesti yhdestä yrityksestä. Laajempaa ymmärrystä haasteiden tulkintaan on saatu tutustumalla pirkanmaalaisten PK-yritysten tuotannon haasteisiin.

Tutkimus on tarkoitettu eritasoisten koulutusten ja oppimisympäristöjen kehittämiseksi pirkanmaalaisissa oppilaitoksissa.

Kiitän Ata Gears Oy:n linjapäällikkö Risto Lahtea ja koneistaja Antti Saarista heidän panoksestaan tutkimuksen tietojen keräämiseksi ja minun perehdyttämiseksi Ata Gears Oy:n toimintaan.

Tomi Nieminen

Sisällysluettelo

1 Johdanto	8
2 Selvitystyön lähtökohdat.....	9
2.1 Tutkimuksen tavoitteet.....	9
2.2 Toteutussuunnitelma	10
2.3 Työn edellyttämät resurssit	11
3 Tutkimusmenetelmät ja toteuttaminen.....	12
3.1 Laadullinen tutkimus.....	12
3.2 Tapaustutkimus	13
3.3 Tapaustutkimuksen lähestymistapoja.....	14
4 Ata Gears Oy	15
5 Tuotantoketju Ata Gears Oy:ssä	17
6 Suunnittelu	18
6.1 Tuotesuunnittelu.....	18
6.2 Tuotannonsuunnittelu.....	20
7 Koneistus ennen lämpökäsittelyä.....	23
7.1 CAD/CAM-ohjelmointi	24
7.2 Lastuamistekniikat ja lastuavat työkalut	27
7.3 Postprosessointi.....	31
7.4 Törmäystarkastelu	32
7.5 Sorvaus ja poraus	34
7.6 Hammasprofiilien koneistaminen	35
7.7 FM-järjestelmän käyttö koneistuksessa	37
7.8 Työkalujen hallinta	41
8 Lämpökäsittely	42
9 Viimeistely lämpökäsittelyn jälkeen.....	44

10 Laadun varmistus	46
10.1 Mittaaminen	46
10.2 Laatumittarit ja laatukustannusten seurantajärjestelmä	50
10.3 Valmistuksen valvonta	51
10.4 Laatutyökalut ja laadunhallintajärjestelmän toimintatavat	53
10.5 Laadunhallintajärjestelmän suunnittelu	53
10.6 Seuranta- ja mittauslaitteiden ohjaus	54
11 Koulutusten kehittäminen TuoVa-hankkeessa	55
12 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	56
Lähteet.....	59

Lyhenteiden selitykset

CAD/CAM	Graafinen mallinnus ja ohjelmointiohjelma
FM-järjestelmä	Joustava valmistusjärjestelmä (FMS)
APT-koodi	CAD/CAM- ohjelmien ohjelmakoodi
NC-koodi/ohjelma	Työstökoneiden numeerinen ohjelmointikieli
Case-study	Tapaustutkimus
PK-yritys	Pieni tai keskisuuri yritys
TuoVa	Tuotantoketjut vaativassa valmistuksessa kone- ja metalliteollisuudessa (ESR-projekti 2008–2011)
TAO	Tampereen ammattiopisto
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto

1 Johdanto

Tutkimus pyrkii selvittämään vaativaan valmistukseen liittyviä haasteita, joiden kanssa konepajateollisuudessa tällä hetkellä ollaan tekemisissä. Aluksi tarkastellaan kappaleiden- ja tuotannosuunnitteluun liittyviä ongelmia. Lisäksi selvitetään CAD/CAM-ohjelmoinnin haasteita, esimerkiksi miten sopivien materiaalien ja valmistusmenetelmien valinta vaikuttaa tuotannon etenemiseen ja laatuun.

Tutkimuksessa selvitetään toimenpiteitä, joita ohjelmoijan tulee hallita, jotta työstökoneille saadaan toimiva NC-ohjelma. Samalla tutustutaan ohjelman kääntämiseen (postprosessointiin) ja testaukseen.

Tutkimuksen avulla pyritään selvittämään tuotannon automatisoinnin haasteita sekä koulutuksen mahdollisuuksia ratkaista ongelmia. Samalla käydään läpi moniakselisten koneiden valintaan liittyviä seikkoja nimenomaan automatisoidun tuotantolinjan näkökulmasta ja tutkitaan tuotannonohjauksen merkitystä tuotannon sujuvuuteen.

Yksittäiskappalevalmistukseen liittyy olennaisesti tarkka laadunvalvonta. Selvityksessä tarkastellaan mittausten ja laadunvalvonnan vaativuutta.

2 Selvitystyön lähtökohdat

Konepajatuotannossa kappaleenvalmistus on muuttunut radikaalisti viimeisten vuosien aikana. Yksinkertaisten ja suurivolyymisten tuotteiden valmistuksen siirtyminen ulkomaille on pakottanut monet suomalaiset konepajat kehittämään valmistusmenetelmiään. Yritysten konekannan modernisoinnilla on pyritty siihen, että tuotteita, joita on tavallista vaikeampi valmistaa, pystytään valmistamaan tehokkaasti ja laadukkaasti, sillä maailmanmarkkinoiden tämänhetkisessä tilanteessa suomalaisilta konepajoilta tilataan juuri tavallista vaativampia, vaikeasti valmistettavia ja tarkkoja sekä nopean toimituksen töitä.

Vaativien töiden takia yritykset ovat joutuneet muuttamaan ja kehittämään tuotantomenetelmiään ja panostamaan itse tarvittaviin henkilöstökoulutuksiin. Oppilaitokset eivät ole kaikilta osin pystyneet vastaamaan yritysten koulutustarpeiden aiheuttamiin haasteisiin. Koulutusten kehittämistarpeita on niin tutkintoon tähtäävissä koulutuksissa kuin yrityksille suunnatuissa täydennyskoulutuksissakin. Yritysten ja oppilaitosten välinen yhteistyö on sujunut hyvin, mutta koulutuksia ei ole pysytty kehittämään riittävän nopeasti vastaamaan teollisuuden tarpeita. Tämän seurauksena vaativaan valmistukseen ei löydy riittävästi osaajia.

2.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää vaativaan valmistukseen erikoistuneiden PK-yritysten tuotannonmuutoksissa esille tulleita haasteita. Esimerkkiyrityksenä on Tampereella toimiva Ata Gears Oy, joka on ollut kehittämässä tuotantoaan moniakselisen jyrsinän sekä nyt myös moniakselisen sorvauksen parissa. Tavoitteena on tutkia sitä, miten vaativien tuotteiden valmistusketju etenee esimerkkiyrityksessä ja millaista osaamista vaaditaan työntekijöiltä heidän toimiessaan tuotantoketjun eri vaiheissa. Samalla selvitetään, millaisia haasteita tuotannonmuutos on tuonut mukanaan ja millaisia ratkaisuja valmistusketjussa on tehty.

Lisäksi selvitetään, mitä ominaisuuksia moniakselisilta koneilta ja niiden ohjelmoinnilta vaaditaan sekä millaisia kehityssuunnitelmia on olemassa. Viimeisenä tutkitaan, miten moniakselinen koneistus ja moniakseliset koneet soveltuvat automatisoituun tuotantoon sekä miten automatisointi on vaikuttanut koneiden ja niiden ominaisuuksien valintaan. Näin pyritään saamaan hyvä kuva siitä, millaisia osaamisalueita on vaativan valmistuksen parissa työskentelevillä henkilöillä. Samalla saadaan selville myös, miten koulutuksia ja koulutusympäristöjä voitaisiin kehittää.

2.2 Toteutussuunnitelma

Tehtävän toteutus aloitetaan keräämällä mahdollisimman laajasti tietoa pirkanmaalaisilta PK-yrityksiltä. Tiedonhankinta tapahtuu haastatteleamalla yritysten työntekijöitä ja erityisesti tuotannosta vastaavia henkilöitä. Tämä on tarkoitus toteuttaa CAM Forum -verkoston jäsenten välisellä yhteistyöllä. Itse toimin CAM Forum -verkostossa omassa työssäni Tampereen ammattikorkeakoulun edustajana ja yritysyhteyshenkilönä. CAM Forum on konepaja- ja automaatioalan yhteistyöverkosto, joka tarjoaa yrityksille täydennyskoulutusta osaamisen varmistamiseksi ja tuottavuuden kohottamiseksi. Ammatillisen osaamisen lisäämiseksi CAM Forum kehittää yritysten ja oppilaitosten välistä yhteistyötä. CAM Forumin täydennyskoulutukset painottuvat koneistavaan osavalmistukseen ja yritysten tuottavuuden kehittämiseen. CAM Forum -verkostoon kuuluu kuusi oppilaitosta, jotka ovat sitoutuneet palvelemaan ja panostamaan yritysten koulutustarpeisiin.

Verkostoon kuuluvat

- Tampereen ammattikorkeakoulu
- Tampereen ammattiopisto
- Tampereen teknillinen yliopisto
- Valkeakosken ammattiopisto
- Valkeakosken aikuiskoulutus
- Vammalan ammattikoulu
- Vammalan aikuiskoulutus
- Pirkanmaan koulutus konserni kuntayhtymä PIRKO
- Tampereen aikuiskoulutuskeskus.

Verkoston toiminnassa on lisäksi mukana Tampereen kaupunkiseudun elinkeino- ja kehitysyhtiö Tredea Oy ja TuoVa -projekti. Kaikki verkoston yhteistyötahot tekevät yhteistyötä yritysten kanssa. Verkoston kokouksissa pystytään keskustelemaan laajasti Pirkanmaan alueen koulutustarpeista. Keskustelujen avulla yrityksille pystytään toimittamaan omiin tarpeisiin räätälöityjä koulutuksia.

Pirkanmaan alueelta kerättyä tietoa on hyödynnetty tässä tutkimuksessa perehdyttäessä hammaspyöriä valmistavan Ata Gears Oy:n tuotantoon. Esimerkkiyrityksen tuotantoketjun vaiheet käydään läpi ja selvitetään tarvittavat osaamisalueet. Haastattelujen pohjalta kerätään tietoa yrityksen osaamisalueista ja esiintyneistä kehityshaasteista.

2.3 Työn edellyttämät resurssit

Selvityksen tekeminen edellyttää pitkäaikaista perehtymistä konepajatuotantoon yleisellä tasolla. Tämä vaatii useita yrityskontakteja ja useiden toimijoiden yhteistyötä, missä CAM Forum -verkosto on suureksi avuksi. Verkoston kokouksissa käydään läpi kaikkien yhteistyötahojen keräämät tiedot ja luodaan kokonaiskuva vaativaan valmistukseen keskittyneiden PK-yritysten nykytilasta ja haasteista.

3 Tutkimusmenetelmät ja toteuttaminen

Työn tutkimuksellinen osio toteutettiin laadullisena tutkimuksena, joka tunnetaan myös kvalitatiivisena tutkimuksena. Tutkimuslajina käytettiin tapaustutkimuksen (case-study) etnografista tutkimusmenetelmää siten, että tutkija pyrkii ymmärtämään ihmisten ja yritysten tuotantolinjojen toimintaa vaativan valmistuksen tuotantoketjussa.

Tutkimuskohteena käytetään pirkanmaalaista, vaativaan konepajatuotantoon keskittynyttä yritystä. Etnografisessa tutkimuksessa tutkijan on pyrittävä tuntemaan organisaation toimintatavat perinpohjaisesti ja pyrittävä ajattelemaan kuin natiivi (syntyperäinen) organisaation jäsen (Järvinen & Järvinen 2000, 98–100). Tähän tutkijan on käytettävä runsaasti aikaa ymmärtääkseen yrityksen toimintamallit riittävän hyvin.

3.1 Laadullinen tutkimus

Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus on menetelmäsuuntaus, jota käytetään ihmistieteissä määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen lisäksi. Laadullisessa tutkimuksessa pyritään ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä. Tällä tarkoitetaan ilmiön merkityksen tai tarkoituksen selvittämistä sekä kokonaisvaltaisen ja syvemmän käsityksen saamista siitä. Käytännössä tämä tarkoittaa usein tilan antamista tutkittavien henkilöiden näkökulmille ja kokemuksille sekä perehtymistä tutkittavaan ilmiöön liittyviin ajatuksiin, tunteisiin ja vaikuttimiin (Hirsjärvi & Huttunen 1995, 174, 201).

Laadullisissa tutkimuksissa pyritään etenemään aineistosta käsin mahdollisimman vähin ennakko-oletuksin. Ennakko-oletuksista ei voi kuitenkaan täysin päästä, mikä on syytä tiedostaa. Silloin niitä voi käyttää tutkimuksessa esioletuksina. Tutkija voi myös käyttää työnsä apuna työhypoteeseja eli omia arvauksia tutkimuksen tuloksista. Yksi laadullisen tutkimuksen tehtävä on auttaa luomaan uusia hypoteeseja myöhemmälle määrälliselle tutkimukselle (Eskola & Suoranta 1995, 19–20).

Laadullisessa tutkimuksessa käytetään yleensä tarkkaan harkittua otantaa. Tutkittaviksi kohteiksi valitaan pieni määrä yksiköitä ja niitä tutkitaan perusteellisesti. Aineiston

koolla on myös merkitystä. Aineiston tulisi olla kattava suhteessa siihen, millaista analyysia ja tulkintaa siitä aiotaan tehdä (Eskola & Suoranta 1995, 18, 60–61).

Laadullisessa analyysissä on tyypillistä tehdä yleistyksiä ja päätelmiä aineistosta nousevien seikkojen perusteella. Aineistoa pyritään tarkastelemaan monista näkökulmista ja yksityiskohtaisesti etsien siitä merkityksellisiä teemoja (Eskola & Suoranta 1995, 65, 161). Yksi laadullisen ja määrällisen tutkimuksen ero on se, että määrällisessä tutkimuksessa tutkimusongelmat muotoillaan tarkasti etukäteen, kun taas laadullisessa tutkimuksessa tutkimustehtävä voi muuttua tutkimuksen aikana (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 119–120, 255).

Tämän tutkimuksen lähtökohtana on selvittää moniakselisen sorvauksen ja jyrinnän nykytila sekä näiden kehittämiseen liittyviä tarpeita. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää esimerkkiyritysten osaamistasoa ja koulutustarpeita. Oppilaitosnäkökulmasta haetaan koulutuksen kehittämiseen tarkempia suuntalinjoja.

3.2 Tapaustutkimus

Kvalitatiivinen tutkimus voidaan jakaa eri tyyppeihin. Tapaustutkimus on eräs kvalitatiivisen tutkimuksen laji. Tapaustutkimukselle on ominaista yksityiskohtainen tutkimus, intensiivinen tiedon kerääminen yksittäisestä tai pienestä joukosta tapauksia. Tavallisimpia aineistonkeruumetodeja tapaustutkimuksessa ovat dokumenttien tutkiminen, haastattelut ja havainnointi (Hirsjärvi, Remes. & Sajavaara 2007, 13–14).

Tutkimuksen kohteina olleista yritysten tuotantoketjuista on kerätty intensiivisesti tietoa. Keskeisimmät tiedonkeruutavat noudattavat tyypillistä tapaustutkimusta.

Aineistoa on kerätty lukemalla dokumentteja, haastattelemalla yritysten ja oppilaitosten asiantuntijoita ja tulkitsemalla haastatteluissa ilmenneitä kehitysteemoja.

Yksinkertaistettuna työn tarkoituksena on saada tarkempi kuva vaativan valmistuksen nykytilasta ja suuntauksista, jotta oppilaitosten koulutuksia voitaisiin kohdentaa nykyistä tarkemmin vastaamaan konepajatuotantoa.

3.3 Tapaustutkimuksen lähestymistapoja

Tapaustutkimukselle voidaan valita erilaisia lähestymistapoja. Järvinen & Järvinen ovat kuvailleet eri tyyppisiin jaettuun tutkimusmetodeja. He kuvaavat vertailua korostavaa case-metodia tulkitsevana vertailuna. Muita vertailua korostavia case-metodeita ovat tapausten katsaus ja tapausten vertailu.

Esimerkkinä tulkitsevasta vertailusta Cunningham mainitsee menestyneiden yritysten kuvaukset. Ne toimivat ikään kuin mallina muille, ts. muut voivat ottaa niistä esimerkkiä ja pyrkiä menestymään. Englannin kielessä käytetään termiä benchmarking, jolla tarkoitetaan oman yrityksen vertaamista alan johtavaan yritykseen sekä sen pohtimista, paljonko ollaan jäljessä ja miksi (Järvinen & Järvinen 2000, 59).

Tässä kehittämishankkeessa case-tutkimusmenetelmässä on tulkitsevan vertailun piirteitä, koska siinä on vertailtu Pirkanmaan alueen PK-yritysten tuotannon toimintamalleja oppilaitostoiminnan kehittämiseksi.

Tutkimuksen etnografista metodia käyttävä tutkija menee Järvinen & Järvisen mukaan tutkittavaan organisaatioon pidemmäksi aikaa perehtymään kohteen toimintaan.

Etnografista metodia soveltava tutkija pyrkii ns. tulemaan syntyperäiseksi (native), ja tuloksena vertailusta hän kuvaa ja selittää tutkittavan kohteen toimintoja ja ilmiöitä.

Kehittämishankkeen tutkimus noudattaa osaltaan tätä etnografista metodia.

Etnografiselle menetelmälle on tyypillistä, että tutkittavaan yritykseen tutustutaan perusteellisesti. (Järvinen & Järvinen 2000, 58–63).

4 Ata Gears Oy

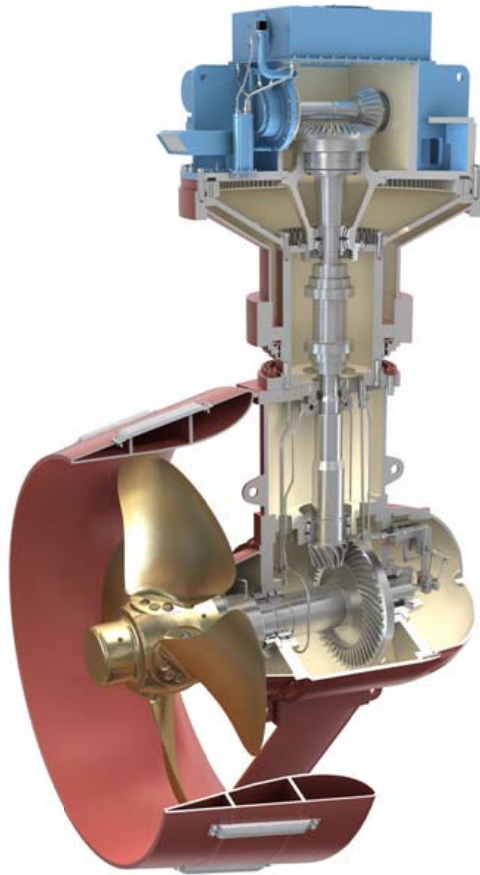
Ata Gears Oy on vuonna 1937 perustettu hammaspyöriä valmistava konepajayritys, jonka päätoimipiste sijaitsee Tampereella Atalassa (Kuva 1) sekä sivutoimipisteet, jotka sijaitsevat Tampereella Leinolassa ja Pälkäneellä. Tällä hetkellä Ata Gears työllistää yhteensä 183 henkilöä. Ata Gears on erikoistunut raskaan konepajateollisuuden, ajoneuvoteollisuuden ja meriteollisuuden hammaspyörien valmistukseen. Hammaspyöräpareja valmistetaan n. 13 000 kpl, n. 26 000 hammaspyörää vuodessa. Näistä n. 2/3 menee suoraan vientiin ympäri maailmaa. Hammaspyörien valmistuksessa Ata Gears on keskittynyt kaarevahampaisten kartiohammaspyörien valmistukseen (Lahti, 2008, 2–3).



Kuva 1: Ata Gears Oy:n Atalan toimipiste (Ata Gears Oy)

Hammaspyöräpari muodostuu aina toisiinsa sovitetuista pinionista ja lautaspyörästä. Kaarevan hampaan ansiosta useammat hampaat ovat kosketuksissa samaan aikaan, minkä takia hammaspyöräparille saadaan suurempi tehonsiirtokyky ja hiljaisempi käyntiääni. Hammaspyöriä valmistetaan aina 2 300 mm:n halkaisijaan asti.

Pääosa tuotteista valmistetaan meriteollisuuteen ja raskaaseen konepajateollisuuteen. Tyypillisimpiä käyttökohteita ovat esim. laivojen potkureiden (Kuva 2) sekä raskaiden maansiirtokalustojen voimansiirto (Kuva 3).



Kuva 2: Laivan potkurin voimansiirto (Ata Gears Oy)



Kuva 3: Raskasta maansiirtokalustoa (Ata Gears Oy)

5 Tuotantoketju Ata Gears Oy:ssä

Tuotantoketjulla tarkoitetaan tuotteiden valmistusreittiä suunnitteluvaiheesta valmiin tuotteen tarkastukseen asti. Ata Gears Oy:n tuotantoketjun selvittämisessä käytiin läpi kaikki tuotannon eri vaiheet (Kuva 4). Eri yrityksillä valmistusketjut voivat erota toisistaan paljonkin. Ata Gears Oy:n tuotantoketju on ajan myötä muokkautunut hammaspyörien valmistukseen sopivaksi yksittäis- ja piensarjatuotannoksi.



Kuva 4: Ata Gears Oy:n tuotantoketju (Ata Gears Oy)

Tuotantoketjussa hammaspyörien valmistus etenee asiakkaan tilauksen jälkeen suunnitteluvaiheeseen, jossa tehdään itse hammaspyörän suunnittelun lisäksi myös tuotanto- ja menetelmäsuunnittelu. Tämän jälkeen siirrytään materiaalin aihointiin, koneistukseen ja hammastukseen ennen lämpökäsittelyä. Lämpökäsittelyn jälkeen hammaspyörät siirtyvät kovakoneistusvaiheisiin sekä vaihtoehtoisin viimeistelyvaiheisiin, joita ovat

- hionta
- kovahammastus
- läppäys.

Lopuksi kaikki hammaspyörät tarkastetaan ja suuri osa luokitushyväksytetään ennen asiakkaalle lähettämistä.

6 Suunnittelu

Tuotesuunnittelijat ja tuotannosuunnittelijat haastateltiin tutkimusta varten.

Suunnittelijoiden tehtäviä tutkittaessa selvitettiin kaikki tuotantoa edeltävät vaiheet, joihin suunnittelutiimissä työskentelevien henkilöiden osaamista tarvitaan. Työskentely edellyttää koko tuotantoprosessin tuntemista sekä tuotannon eri vaiheiden, toiminnan ja järjestyksen ymmärtämistä.

Tämä asettaa suunnittelijoiden koulutuksille selvät suuntalinjat. Koulutuksissa on pyrittävä kehittämään suunnittelijoiden ymmärrystä ja tuntemusta valmistuksen vaatimuksista ja rajoituksista. Niissä pitää ottaa erityisesti huomioon suunniteltavien tuotteiden valmistettavuus ja kokoonpantavuus.

6.1 Tuotesuunnittelu

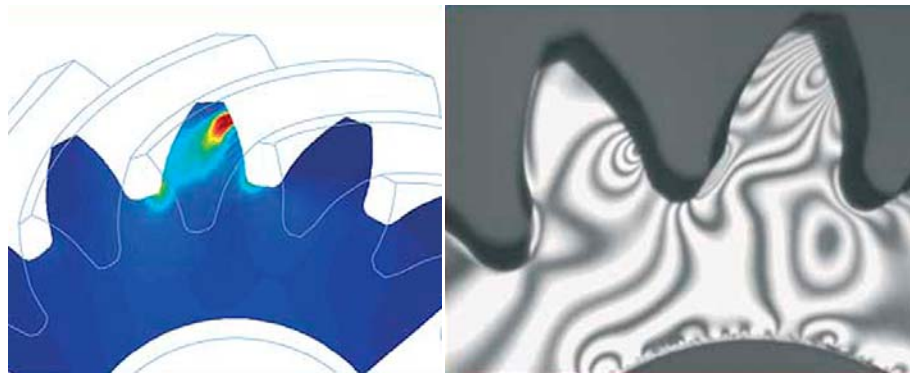
Vaativan valmistuksen haasteina ovat mm. asiakaslähtöisesti räätälöidyt tuotteet, joissa valmistettavien tuotteiden sarjakoko pysyy pienenä. Pienien sarjakokojen takia jokainen tuote on erilainen toisiinsa nähden ja tuotevariaatioiden määrä on suuri.

Samantyyppisten kappaleiden suunnittelussa pystytään hyödyntämään osia aiemmista tuotteista suunniteltaessa uutta hammaspyöräparia. Koska varioivat tuotteet vaikuttavat eniten valmistukseen, on suunnittelussa pyrittävä minimoimaan tuotantoa vaikeuttavia eroavaisuuksia.

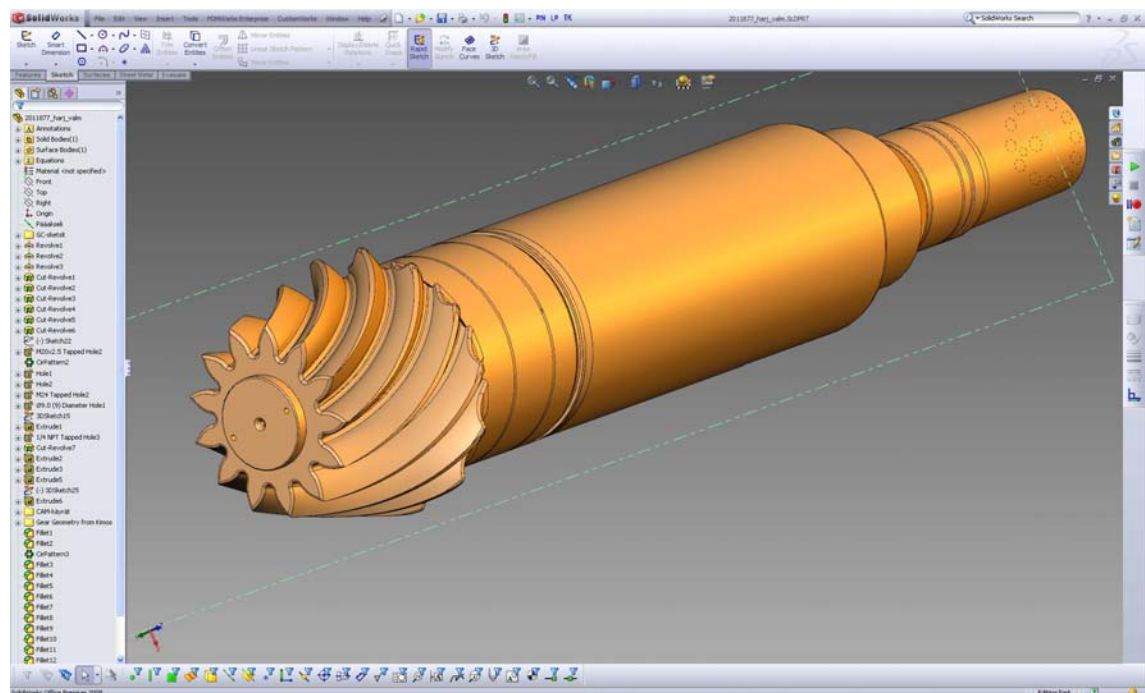
Uutta tuotetta suunniteltaessa tiedossa on vain tuotteen käyttötarkoitus ja mahdollisesti joitain maksimikokoa rajoittavia mittoja. Käyttötarkoituksen perusteella lasketaan hammaspyöriin kohdistuva kuormitus ja kierrosnopeus, jolla hammaspyöriä käytetään. Hammaspyöräparin tyypin ja hammasgeometrian valinnassa tulee ottaa huomioon mm. seuraavia seikkoja:

- Onko pyörimissuunta yhteen vai kahteen suuntaan?
- Pyörivätkö hammaspyörät korkeilla vai matalilla kierroksilla?
- Kuinka suuri vääntömomentti vaikuttaa hammaspyöriin?

Materiaalinvalinta täytyy tehdä suunnittelun alkuvaiheessa. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat käyttökohteen ja mitoituksien lisäksi valmistukseen vaikuttavat tekijät, kuten koneistettavuus ja lämpökäsittelyt. Näistä esimerkkinä olivat hiiletysteräkset ja nuorrutusteräkset. Kovalle kuormitukselle joutuvien hammaspyörien materiaalien täytyy lisäksi olla laadukkaita. Raaka-aineiden hankinnassa on tarkat ostokriteerit ja raaka-ainevaatimukset. Tämän takia Ata Gears Oy:ssä on päädytty käyttämään suuria ja tunnettuja raaka-ainetoimittajia. Suunnittelun apuna käytetään viimeisimpiä ohjelmistoja, joilla lasketaan hammaspyöriin kohdistuvia voimia ja rasituksia (Kuvat 5 ja 6).



Kuva 5: Lujuuslaskennassa ja analyyseissä käytössä olevat, uusimmat teknologiat (Ata Gears Oy)



Kuva 6: SolidWorks-ohjelmalla mallinnettu pinioni (Ata Gears Oy)

Suunnittelijan on myös otettava huomioon valmistettavien kappaleiden kokoon liittyvät seikat. Etenkin suurien kappaleiden suunnittelussa tulee huomioida valmistuksen kannalta olennaisia asioita, kuten suurien kappaleiden nostot, siirrot ja kiinnittämiset. Tämän takia tuotesuunnittelijoiden on tehtävä tiiviisti yhteistyötä valmistajien kanssa. Suurten kappaleiden siirrot pitää valmistella hyvin etukäteen, ja valmistuksessa tarvittavien nostolenkkien paikkojen tulee olla tiedossa jo kappaletta suunniteltaessa. Vaikka nostolenkkien paikkojen etukäteinen suunnittelu vaikuttaakin pieneltä asialta, niiden puuttumisella on suuri merkitys raskaiden kappaleiden siirtämisessä.

Myös kappaleiden kiinnittämisvaihtoehtojen täytyy olla suunnittelijoiden tiedossa, jotta he pystyvät ottamaan kiinnittämistä johtuvat rajoitukset huomioon tuotetta suunniteltaessa. Näistä syistä tuotesuunnittelijoilla olisi hyvä olla käytännön kokemusta myös tuotannosta. Ata Gears Oy:ssä pidetään uusille suunnittelijoille perehdyttämisjakso, jossa he pääsevät muutamaksi viikoksi mukaan tutustumaan tuotantoon ennen kuin he pääsevät aloittamaan työtänsä suunnittelijoina.

Tuotesuunnittelijoiden kouluttaminen on erittäin haasteellista. Heidän on osattava valita tuotteiden materiaalit erilaisiin käyttökohteisiin, käytössä olevat valmistusmenetelmät ja kokoonpantavuus. Suunnittelijoilla pitää olla myös käytännön kokemusta valmistusketjun eri vaiheista. Lisäksi heillä tulee olla ymmärrys tuotteiden todellisista laatuvaatimuksista ja tarpeellisista toleransseista. Valmistusystävällinen tuotesuunnittelu vaikuttaa erittäin suurelta osalta tuotteen valmistuskustannuksiin.

6.2 Tuotannosuunnittelu

Tuotannossa on samanaikaisesti monia erilaisia yksittäiskappaleina valmistettavia hammaspyöräpareja. Haasteena onkin erilaisten tuotteiden valmistaminen synkronoidusti tuotantoketjussa. Tästä syystä myös tuotannosuunnittelussa pitää pyrkiä mahdollisimman joustavaan valmistusketjun toimintaan.

Esimerkkinä käytetään pinioni- ja lautashammaspyöräparin valmistamista (Kuva 7). Yhden hammaspyöräparin valmistus pitää kulkea tuotantoketjussa samassa tahdissa. Tuotantoketjun loppuvaiheessa hammaspyöräparit sovitetaan toisiinsa. Mikäli hammaspyöräparia ei ole saatu valmiiksi samanaikaisesti, joudutaan odottamaan puuttuvan pyörän valmistumista. Tämä aiheuttaa helposti ketjureaktion muidenkin hammaspyöräparien valmistukseen. Tuotantoprosessin hallinta onkin yksi tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen haastavimmista tehtävistä.



Kuva 7: Kaarevahampaisen kartiohammaspyöräparin pinioni ja lautaspöörä (Ata Gears Oy)

Valmistuksen suunnittelun alkuvaiheessa valitaan työmenetelmät ja töiden vaiheistus. Oikealla työvaiheiden järjestyksellä voidaan vaikuttaa merkittävästi tuotteiden valmistuksen sujuvuuteen. Koska osa työvaiheista on nopeita ja toiset aikaa vieviä, on vaiheistuksen lisäksi suunniteltava valmistuksessa käytettävien koneiden valinta sekä alihankinnassa teetettävät työvaiheet. Osa työvaiheista, joita ei pystytä tekemään tai joita ei kannata tehdä NC-koneilla, tehdään edelleen manuaalikoneistuksena. Tällaisten

työvaiheiden suurin haaste on ammattitaitoisten manuaalikoneistajien ikääntyminen ja nuoremman sukupolven osaamisen keskittyminen NC-tekniikkaan.

Alihankintana tehtävät työvaiheet on suunniteltava tarkasti. Alihankintana voidaan tehdä mm. sorvauksia ja erilaisia lämpökäsittelyjä. Ulkopuolella tehtävien työvaiheiden tilauksissa käydään alihankkijan kanssa läpi tilattavan tuotteen vaatimukset, esimerkiksi toleranssit, hionta- tai työvarat. Lämpökäsittelyn aikana tapahtuvien jännitysten ja muodonmuutosten takia tuotannonsuunnittelijoiden ja alihankkijan täytyy tietää tarkasti menetelmät, joilla mahdolliset muodonmuutokset saadaan mahdollisimman pieniksi. Ennen karkaisua kappaleet valmistetaan työvaroilta, mutta väärin työmenetelmien takia jännitysten aiheuttamat muodonmuutokset saattavat olla liian suuria. Näin voidaan hammaspyörä pilata korjauskelvottomaksi.

Valmistuksen kaikissa vaiheissa joudutaan mukautumaan myös mahdollisiin tuotannosta johtuviin muutokseksiin, joita voi seurata mm. valmistuksen aikana tapahtuneista virheistä tai inhimillisistä erehdyksistä. Näitä aiheutuu aika-ajoin, koska pienten sarjakokojen ja suurien kappalekokojen takia ei voida valmistaa ns. koekappaleita ennen varsinaisen tilatun tuotteen valmistusta. Valmistuksessa on pyrittävä tekemään ensimmäinenkin kappale ilman virheitä.

Yhteenvetona suunnittelijoiden työstä voidaankin todeta, että suunnittelijan tulee olla jatkuvassa vuorovaikutuksessa tuotannon kanssa kehittyäkseen ammattinsa osaavaksi suunnittelijaksi. Käytännön valmistuksen tunteminen on yksi suunnittelijan tärkeimmistä osaamisalueista.

Tuotannonsuunnittelijoiden kouluttaminen on toteutettava yhteistyössä yritysten kanssa. Ideaalitulanteessa koulutettavalla on jo muutaman vuoden kokemus tuotannon tehtävistä ja hän tuntee laajalti valmistusprosessin eri vaiheet. Mikäli koulutettavalla ei ole aiempaa kokemusta tuotannosta, voidaan koulutukseen sisällyttää työharjoitteluosio, jossa opiskelija pääsee tutustumaan tuotannon tehtäviin.

7 Koneistus ennen lämpökäsittelyä

Koneistus on hammaspyörän valmistuksessa suurin osakokonaisuus, joihin kuuluu monia työvaiheita. Ata Gears Oy:ssä myös työstöratujen ohjelmointi CAD/CAM-ohjelmalla kuuluu koneistusvaiheisiin. Tässä tuotetaan työstöradat ja NC-ohjelmat sorvaus- ja jyrskeskuksille eli lyhyesti työstökoneille.

Hammaspyörien valmistus aloitetaan aihoiden sahaamisesta, jonka jälkeen ne sorvataan oikeaan muotoonsa ja niihin tehdään tarvittavat poraukset ja koneistukset. Tämän jälkeen hammasprofiilit rouhitaan ja viimeistellään työvaroille ennen lämpökäsittelyä.

Koneistusvaiheisiin on uusien valmistusmenetelmien avulla tuotu paljon muutoksia. Perinteisen hammaspyöränvalmistuksen rinnalle ollaankin käynnistämässä uudentyyppistä valmistuslinjaa moniakselisten koneistus- ja sorvauskeskusten avulla. Monitoimikoneilla pyritään tehostamaan tuotantoa ja nopeuttamaan tuotteiden läpäisyä.

Tuotannon tehostaminen pyritään saamaan aikaan työvaiheita yhdistämällä. Näin siirtoihin käytetty aika (koneelta toiselle) lyhenee samoin kuin kappaleiden läpimenoaikakin. Tämä tarkoittaa käytännössä myös sitä, että kappale pystytään valmistamaan uudessa valmistusketjussa vähemmällä kiinnityksillä ja siirroilla.

Vanhaan valmistusketjuun verrattuna uudet koneet ovat lastuamisteholtaan hitaampia, koska hammasgeometrioiden rouhintaan kuluu enemmän aikaa mutta aikaa säästetään, kun kappaleita ei tarvitse siirtää eikä uusia asetuksia tehdä työstökoneen sisällä. Hammasaukon koko eli moduuli vaikuttaa myös valmistusmenetelmän valintaan. Etenkin suurten hammaspyörien koneistuksessa moniakseliset työstökoneet ovat osoittautuneet tehokkaiksi, sillä niitä voidaan käyttää yöaikana miehittämättöminä.

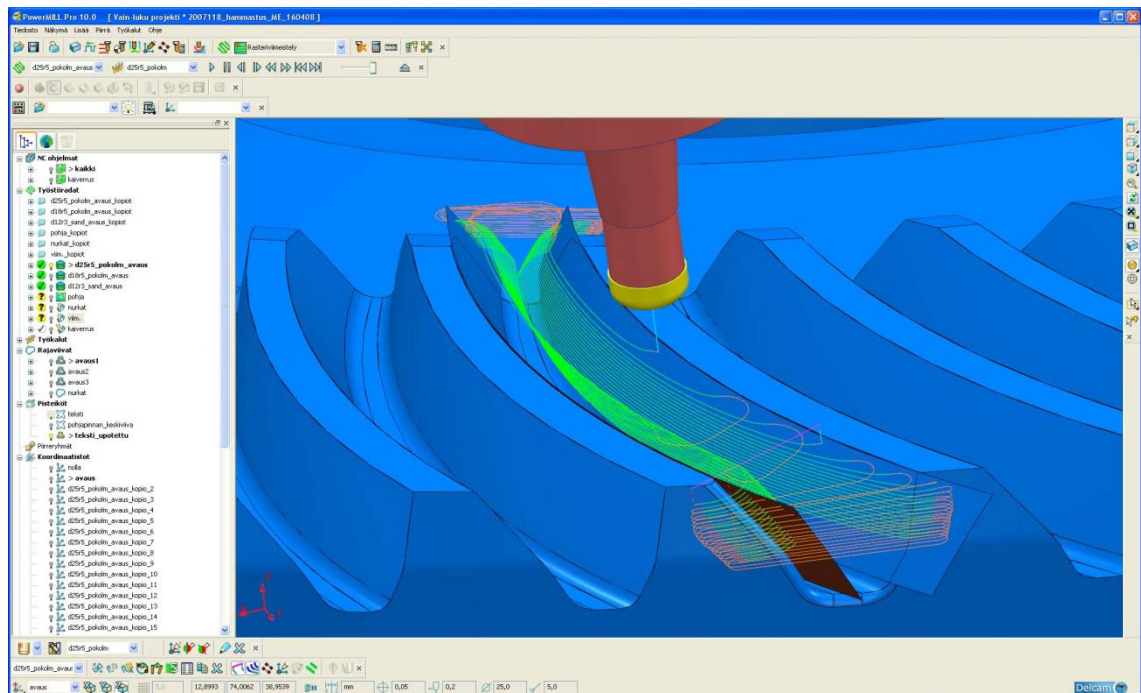
Vanhalla menetelmällä toteutetussa valmistuksessa jokainen työvaihe tehdään omalla työstökoneella, joka on suunniteltu juuri kyseistä työvaihetta varten. Nämä ns. erikoiskoneet ovat tehokkaita ja nopeita lastuamisessa, mutta koneasetusten tekemiseen kuluva aika voi olla jopa pidempi kuin itse lastuamisprosessi.

Karkaisemattomien kappaleiden koneistaminen on kouluissa yleisesti opetettu valmistusmenetelmä. Koneistamiseen saadaan hyvä perusosaaminen harjoittelemalla manuaalikoneiden käyttöä, minkä jälkeen koulutuksessa siirrytään opettelemaan NC-koneiden käyttöä. Koulutusten kehityssuuntana kaikilla tasoilla tulisi olla tehokas aineenpoisto. Työstömenetelmien ja lastuavien työkalujen valinnalla on suuri merkitys erityisesti vaativien koneistuskappaleiden ja moniakselisten koneistuskeskusten käytössä. Manuaalikonekanta on oppilaitoksissa kohtuullisen hyvä, mutta oppilaitosten tulisi investoida modernien työstökoneiden hankintaan. Tällöin kalusto saataisiin vastaamaan ominaisuuksiltaan teollisuudessa käytettäviä koneita.

7.1 CAD/CAM-ohjelmointi

Markkinoilla on runsas valikoima erilaisia CAD/CAM-ohjelmia. Monet ohjelmat ovat toiminnaltaan hyvin lähellä toisiaan, mutta eroavaisuuksiakin löytyy. CAD/CAM-ohjelmissa on samalla tavalla ominaisuuseroja kuin työstökoneissa. Toiset ohjelmista pystyvät paremmin toimimaan eri ohjelmointitilanteissa kuin toiset. Ei ole vain yhtä ohjelmaa, joka soveltuisi kaikkiin ohjelmointitehtäviin paremmin kuin muut. CAD/CAM-ohjelmaa valittaessa onkin pyrittävä valitsemaan yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva ohjelma.

Ata Gears Oy:ssä toteutettiin CAD/CAM-ohjelman valinta testaamalla muutamaa moniakseliseen koneistukseen soveltuvaa ohjelmaa. Testattavilla ohjelmilla valmistettiin Ata:n tuotannosta valittuja tuotteita ja selvitettiin miten valittavana olleet ohjelmat soveltuivat kyseisen tuotteen ohjelmointiin.



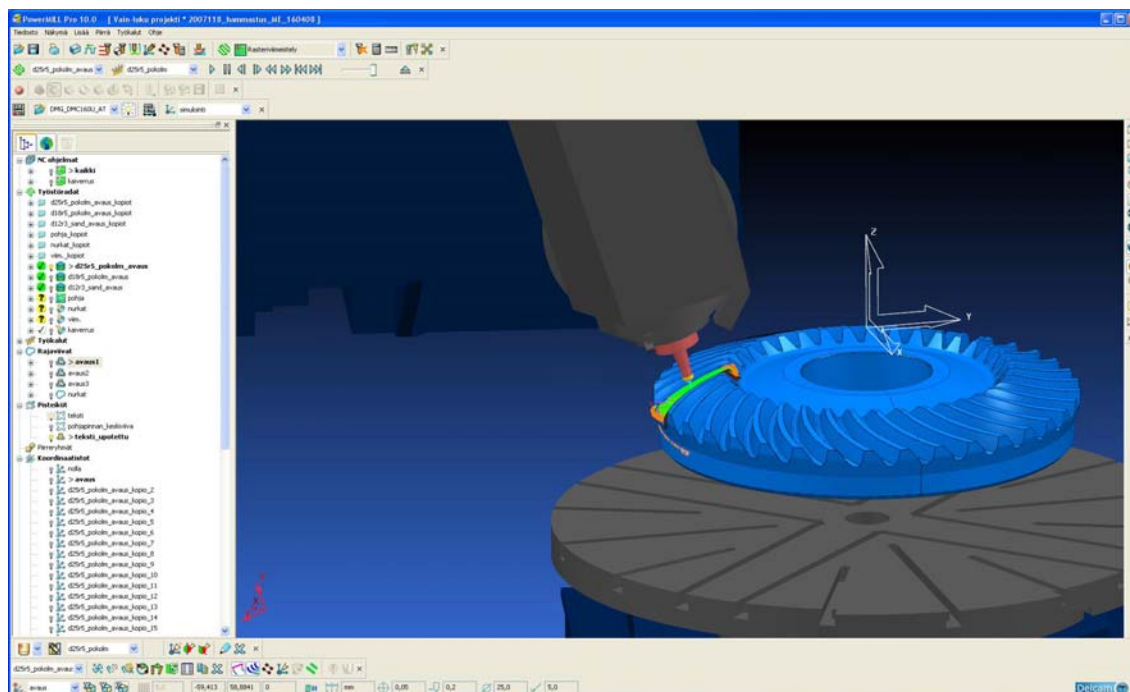
Kuva 8: Hammasprofiilin työstöradan ohjelmointi CAD/CAM-ohjelmalla
(Ata Gears Oy)

Moniakselisessa koneistuksessa voidaan hyödyntää erilaisia ohjelmointimenetelmiä (Kuva 8). Hammasprofiilien rouhinnassa voidaan käyttää yksinkertaisimmillaan puhdasta kolmeakselista jysrintää, jolloin ohjelmoidaan vain kolmea koneen viidestä akselista. Tässä menetelmässä käytetään yleensä ns. pallopäistä terää, mikä aiheuttaa jonkin verran rajoitteita rouhintaratojen laskemiselle. Profiili saadaan oikean muotoiseksi, mutta tämä ei ole nopein ja tehokkain työstömenetelmä.

Toisena ohjelmointitapana voidaan käyttää 3+2 -akselista menetelmää. Tässä ohjelmointitavassa käännetään lastuavaa terää lastuamisteknisesti tehokkaampaan asentoon kappaleeseen nähden, jonka jälkeen työstörataohjelmointi suoritetaan vastaavasti kolmeakselisesti. Tällä menetelmällä lastuavan terän muoto ei ole niin merkittävässä asemassa rouhintaratojen laskennassa. Lastuamistehokkuus perustuu lastuavan terän tehokkaan lieriöpinnan hyödyntämiseen. 3+2 -akselinen ohjelmointi onkin huomattavasti tehokkaampi tapa rouhia kaarevapintaisia profiileja kuin puhdas kolmeakselinen ohjelmointi. Rajoittavaksi tekijäksi muodostuu tällöin terän kiinteä asento, minkä vuoksi vaikeampia ja monimuotoisempia pintoja ei pystytä ohjelmoimaan.

Kolmannessa tavassa voidaan käyttää puhdasta 5-akselista ohjelmointitapaa. 5-akselisessa ohjelmointimenetelmässä pystytään hyödyntämään parhaiten moniakselisen työstökoneen ominaisuuksia. Tällä menetelmällä terän kiinteästä asennosta ei aiheudu rajoitteita, koska terän asento muuttuu koko ajan lastuamisprosessin aikana. Kaarevien muotojen rouhinta pystytään suorittamaan lähes kaikissa tilanteissa tehokkaasti. Näistä kolmesta tavasta viimeksi mainittu on tehokkain, mutta myös haastavin CAD/CAM-ohjelman ja ohjelmoitsijan kannalta. Rajoittavaksi tekijäksi tässä menetelmässä tulevat työstökoneen kinemaattiset ominaisuudet kuten koneen koko ja akseleiden liikepituudet.

Viiden akselin samanaikainen ohjelmointi vaatii paljon laskentatehoa ja ominaisuuksia tietokoneelta sekä CAD/CAM-ohjelmalta. Uusissa CAD/CAM-ohjelmissa täytyy olla työstörajojen törmäystarkasteluun tarvittava ominaisuus. Ohjelmoidut ja lasketut työstöradat tarkastetaan CAD/CAM-ohjelmalla törmäysten varalta (Kuva 9). Tämä tapahtuu suoraan tietokoneen näytöllä ennen kuin ohjelmaa on vielä siirretty työstökoneelle. CAD/CAM-ohjelmassa tehdyn törmäystarkastelun jälkeen lasketut työstöradat voidaan postprosessoida työstökoneille sopivalle ohjelmointikielelle.



Kuva 9: Työstörajojen simulointi ja törmäystarkastus CAD/CAM-ohjelmalla
(Ata Gears Oy)

Aivan kuten työstökoneiden hankinnassakin CAD/CAM-ohjelman valinnassa täytyy kriteerit perustua yrityksen tarpeisiin. Ohjelmisto kannattaa hankkia riittävän monipuolisilla ominaisuuksilla. Vastaavasti liian monipuolinen ohjelma voi olla turhan raskas ja vaikeakäyttöinen, jos ohjelmointityössä ei voida hyödyntää monipuolisia ominaisuuksia.

Koulutuksissa ei pystytä keskittymään vain yhteen ”oikeaan” CAD/CAM-ohjelmaan, koska teollisuuden käyttämien ohjelmien valikoima on suuri. Oppilaitosten on hyvä keskittyä muutamaankin yleisimmin käytettyyn ohjelmaan ja käyttää niitä tutkintoon tähtäävissä koulutuksissa. CAD/CAM-ohjelmoinnissa koulutuksen tulisi painottua työstöratojen määrittämiseen. Työstöradat on saatava täysin toimiviksi ennen ohjelmien postprosessointia, koska postprosessoitua NC-ohjelmaa on lähes mahdotonta muokata työstökoneilla. Tällöin korjaus joudutaan tekemään CAD/CAM-ohjelmalla ja postprosessoimaan uudestaan. Useiden vaativimpien ohjelmien postprosessointi saattaa kestää tunteja, ja siksi huolellisuuteen on panostettava. CAD/CAM-ohjelmien käytännönläheinen käyttäminen koulutuksissa on myös erittäin tarpeellista. Ohjelmien siirto työstökoneelle ja ohjelman koeajon suorittaminen pitäisi kuulua CAD/CAM-koulutukseen.

7.2 Lastuamistekniikat ja lastuavat työkalut

Työstöratojen ohjelmoinnissa on tunnettava paljon erilaisia lastuamistekniikoita. Työstökoneiden kehittymisen lisäksi myös lastuavia työkaluja on kehitetty tehokkaammiksi ja käytöltään monipuolisemmiksi. Uusilla työkaluilla ja lastuamistekniikoilla voidaan nopeuttaa, tapauksista riippuen, lastuamisnopeutta jopa kaksinkertaiseksi perinteisiin lastuamistekniikoihin verrattuna. Vaikka kaikissa työvaiheissa ei voidakaan käyttää tehokkaampia lastuamistekniikoita, niiden tunteminen on välttämätöntä ohjelmoitsijoille ja koneistajille työn vaativuuden ja tuottavuudenkin takia.

Työstökoneiden rakenne ja ominaisuudet vaikuttavat myös lastuamistekniikoiden valintaan. Siksi ohjelmoitsijan on tunnettava niiden vaikutus koneistusprosessiin.

Työstökoneen rakenteen kokemusperäinen tunteminen parantaa oikeiden lastuamistekniikoiden valitsemista. Koneiden rakenteellisia ominaisuuksia ovat mm.:

- koneen tukevuus ja värinäherkkyys
- syöttömoottoreiden nopeus, vääntömomentti ja teho
- karamoottorin pyörimisnopeus, vääntömomentti ja teho.

NC-ohjauksen ominaisuuksia ovat lisäksi:

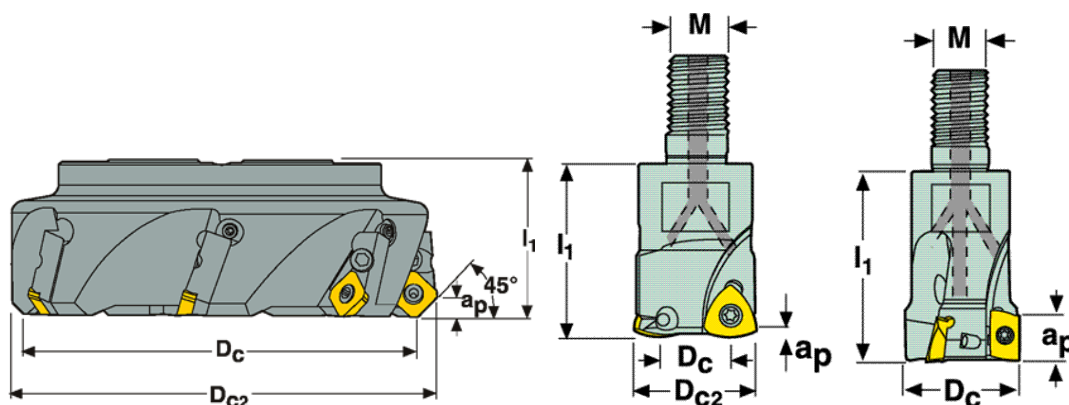
- ohjelmanlukunopeus
- ohjelman laskentateho
- toteutuneen radan seurantakyky.

Lastuamistekniikoiden ja työkalujen oikea valitseminen korostuu suurten aineenpoistojen koneistuksissa. Tampereen ammattikorkeakoululla tekemissämme lastuamiskokeissa testasimme koulun kevytrakenteisen työstökeskuksen lastuamistehokkuutta. Vertailimme perinteisiä lastuamismenetelmiä ja työkaluvalintoja uusiin tekniikoihin ja työkaluihin. Kokeen tarkoituksena oli selvittää miten työkalujen ja lastuamistekniikan valinta vaikuttaa koneen toimintavarmuuteen ja lastuamistehokkuuteen.

Lähtökohtaisesti lastuamiskokeissa oli tiedossa, että kone on kevytrakenteinen ja varustettu vain 10 kW:n karamoottorilla. Näitä tietoja piti käyttää hyväksi työkaluja valittaessa, koska työkalujen ja niiden lastuamisominaisuuksien täytyy sopia yhteen työstökoneen ominaisuuksien kanssa. Myös valmistettavan kappaleen materiaali ja muodot vaikuttavat lastuamistekniikoiden valintaan.

Teimme kokeen, jossa mitattiin eri työkalujen ja lastuamistekniikoiden vaikutusta aineenpoiston nopeuteen. Ajoimme 100 mm x 100 mm kappaleen pinnasta 10 mm pois kolmella eri terällä ja menetelmällä (Kuva10):

1. tasorouhinta 63 mm otsajyrsimellä ja 3,5 mm asetussyvyydellä
2. tason suurnopeusrouhinta 40 mm high feed -otsajyrsimellä ja 1 mm asetussyvyydellä
3. aksiaalirouhinnalla 25 mm nurkkajyrsimellä ja 3 mm askelluksella.



Kuva 10: Otsajyrsin, high feed -otsajyrsin ja nurkkajyrsin (Seco Tools Oy)

Tasorouhinta 63 mm otsajyrsimellä sai aikaan värinää koneistuksen aikana, mikä aiheutti herkemmin terärikkoja. Vaikka terän tehollinen halkaisija oli testatuista työkaluista suurin, tällä terävalinnalla ja menetelmällä saatiin kokeen hitaimpia tuloksia.

Tason suurnopeusrouhinnassa asetussyvyys oli vain 1 mm, mutta menetelmän etuina on huomattavasti suurempi lastuamis- ja syöttönopeus. Suurella syöttönopeudella liikesuunnan muutokset aiheuttivat hieman nykivää liikettä. Näistä päästiin eroon asettamalla NC-ohjauksesta ohjelman ennakoiva luku päälle. Vaikka käytetty terä olikin teholliselta halkaisijaltaan pienempi kuin ensimmäisen testin otsajyrsin, tämä lastuamistekniikka osoittautui selvästi kokeen tehokkaimmaksi tavaksi. Suuresta nopeudesta huolimatta koneistuksen aikana ei ilmennyt terän kestoa heikentävää värinää.

Viimeisenä menetelmänä käytimme aksiaalirouhintaa ja 25 mm nurkkajyrsintä. Menetelmä ei aiheuttanut työstön aikana värinää. Menetelmä oli lähes yhtä nopea kuin ensimmäinen tasorouhintaa. Sitä voidaan myös pitää kokeen perusteella tehokkaana rouhintamenetelmänä, koska terän tehollinen halkaisija oli huomattavasti pienempi kuin 63 mm otsajyrsin. Menetelmä on parhaimmillaan syvien taskujen ja profiilien rouhinnassa, joiden koneistus on mahdollista toteuttaa aksiaalirouhinnalla.

Kokeemme vahvisti sen, että terien ja menetelmien valintaan vaikuttavat olennaisesti koneistettavan kappaleen muodot sekä koneen ominaisuudet ja rakenne. Lastuamistekniikoiden valinta pitää aina perustua lastuamisolosuhteisiin sekä työstökoneen ominaisuuksiin.

Lastuamismenetelmien koulutuksissa on otettava huomioon koulutettavan yrityksen konekanta ja valmistuksessa olevat kappaleet. Oppilaitosten koneilla ja niiden tiloissa tehtyjä kokeita ei pystytä suoraan hyödyntämään yritysten käytettäväksi, koska konekanta vaikuttaa olennaisesti työkalujen ja menetelmien valintaan. Koulutuksien lastuamiskokeilla saadaan kuitenkin suuntaa-antavia tuloksia yritysten tarpeisiin. Koulutusten tarkoituksena on avartaa tuotannosuunnittelijoiden ja koneistajien näkemystä uusien menetelmien mahdollisuuksista.

7.3 Postprosessointi

Postprossori on eräänlainen kielenkääntäjä, jolla muutetaan CAD/CAM-ohjelman tuottamaa APT-koodia työstökoneen ohjaukselle sopivalle koodikielelle. Eri työstökoneissa voi olla monia erilaisia NC-ohjauksia koneen toimittajasta riippuen. Yleisimpiä NC-ohjauksia Suomessa ovat saksalaiset Siemens ja Heidenhain sekä japanilainen Fanuc. Kaikilla näillä ohjauksilla on täysin oma ohjelmointikieli. Vaikka näiden ohjausten ominaisuudet ovat lähellä toisiaan, niiden ohjelmointikielen eroavaisuudet ovat kuitenkin niin suuria, että jokaiselle ohjaukselle ja konetyypille täytyy olla oma postprossori. Siemensin NC-ohjauksella varustetun 5-akselisen työstökeskuksen postprossoria ei esim. voida käyttää samalla ohjauksella varustetun 5-akselisen sorvin ohjelman kääntämiseen. Sama pätee pienemmissäkin koneiden eroavaisuuksissa. Voidaankin todeta, että postprossorit pitää räätälöidä jokaiselle työstökoneelle ja NC-ohjaukselle erikseen.

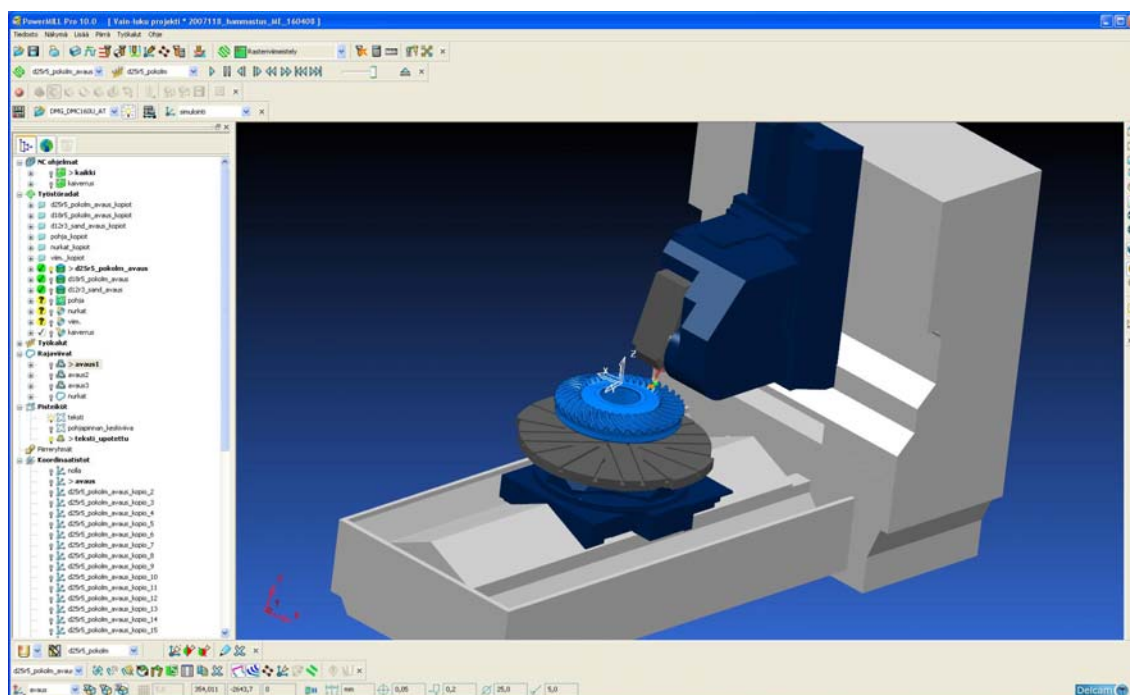
Vaativien ohjelmien myötä suurimmaksi haasteeksi on muodostunut postprossoreiden muokkaaminen koneille sopiviksi. Koska postprossori toimii CAD/CAM-ohjelman ja työstökoneen välisenä koodinkääntäjänä, ei kumpikaan laitteistotoimittajista ole erikoistunut juuri postprossoreiden tekemiseen ja räätälöintiin. Postprossorin voi tilata ulkopuoliselta toimittajalta, joka pyrkii valmistamaan kääntäjäohjelman mahdollisimman hyvin vastaamaan tilaajan tarpeita. Usein postprossorin toimittajalla ei ole kokemuseräistä tietoa miten kyseinen tilaajayritys haluaa postprossorin toimivan. Tällöin postprossoreiden muokkaaminen ja viimeistely saattaa viedä useita vuosia.

Yrityksissä on pyritty viimeistelemään omatoimisesti aiemmin tilattuja postprossoreita. Postprossoriohjelman muokkaamisen on mahdollista vain jos postprossori on ostettu avoimella lähdekoodilla. Siksi postprossoreiden ohjelmoinnin osaamiselle olisi tarvetta monessa yrityksessä. Ammattitaitoisia osajia ei ole riittävästi Pirkanmaalla. Tällä hetkellä yrityksissä on jouduttu itsenäisesti opettelemaan postprossoreiden muokkaamista.

Tampereella lastuavan koneistuksen parissa toimivien oppilaitosten kanssa on lähdetty selvittämään koulutusmahdollisuuksia tähän ongelmaan. Selvitys on vielä alkuvaiheessa, mutta selvästi on jo nähtävillä, että ammattitaitoisen kouluttajan löytäminen on haasteellista. Ammattinsa osaavilla henkilöillä on jo päätyönsä parissa paljon töitä, joten heidän aikaresurssinsa on hyvin rajallista.

7.4 Törmäystarkastelu

CAD/CAM-ohjelmissa olevien törmäystarkastelutyökalujen (Kuva 11) lisäksi yrityksille voidaan hankkia työstökoneita vastaava simulaattori (virtual machine), jossa postprosessoidut ohjelmat voidaan testata tietokoneen näytöllä. Tämä on hyödyllistä, koska postprosessorilla tuotettu ohjelmakoodi on käännetty CAD/CAM-ohjelman APT-koodista. Postprosessoinnin aikana koodia käännettäessä NC-ohjelmaan saattaa tulla eroja alkuperäiseen APT-koodiin, mikä johtuu koodikielten eroavaisuuksista.



Kuva 11: CAD/CAM-ohjelman törmäystarkastelu ennen postprosessointia
(Ata Gears Oy)

Simulaattorin käyttö on tällä hetkellä uutta tekniikkaa, ja sen käyttöönottoa ollaan vasta suunnittelemassa. Tällainen simulointiohjelma voi olla saatavilla työstökoneen lisävarusteena. Ata Gears Oy:n työstökoneisiin on mahdollista tilata simulaattori suoraan koneen valmistajalta. Tässä tapauksessa konetoimittaja Deckel Maho Gildemaister GmbH (DMG) ja NC-ohjauksen toimittaja Heidenhain GmbH ovat yhteistyössä tehneet simulointiohjelman ohjelmien tarkastusta varten. DMG valmistaa tarkan kolmiulotteisen mallin asiakkaalle myymistään koneista, joihin he lisäävät kaikki samat ominaisuudet kuin oikeassakin koneessa on käytössä. Käytännössä he ovat luoneet virtuaalisen työstökoneen, jota voidaan ohjata samanlaisella NC-ohjauksella kuin on käytössä työstökoneellakin. NC-ohjauksen toimittaja vastaavasti toimittaa ohjelmiston samoilla ominaisuuksilla kuin työstökoneessa. Tällaisella ohjelmalla pystytään tarkastamaan postprosessoidut ohjelmat ennen varsinaista koneistusvaihetta. Samalla nähdään miten virtuaalinen kone pystyy suorittamaan liikkeitä. Näin voidaan ennalta ehkäistä mahdolliset törmäykset.

Simulaattorin käyttö on hyödyllistä erityisesti vaikeissa ja monimuotoisissa koneistuksissa, joissa koneen rakenne ja johteiden liikealueet saattavat rajoittaa koneistamista. Simulaattorilla voidaan tarkastaa mm. työstökoneen johteiden liikealueiden riittävyys ja koneen rungon mahdolliset törmäykset kappaleeseen tai kiinnittimiin koneistuksen aikana.

Tällaisten simulaattoreiden käyttö on osoittautunut tarpeelliseksi vaativien kappaleiden ja työstökoneiden monipuolisten ominaisuuksien lisääntymisen takia. 5-akselisen koneistusradan hahmottaminen on todella vaikeaa, ja vain harva pystyy siihen. Simulointiohjelma taas on visuaalisuutensa takia helppokäyttöinen ja selkeä.

7.5 Sorvaus ja poraus

Ensimmäisessä koneistusvaiheessa pinionin ja lautashammaspyörän sahatut aihiot ja takeet sorvataan oikeanmuotoisiksi, tarvittavat kiilaurat koneistetaan ja niihin porataan tarvittavat reiät läpivienneille ja kiinnityksille. Tällä hetkellä pehmeänä sorvauksessa ollaan uuden kehitysvaiheen alussa, jossa pyritään yhdistämään useita erillisiä työvaiheita yhdeksi työvaiheeksi moniakselisessa sorvauskeskuksessa. Aikaisemmin suurimpien aihoiden sorvaukset ja poraukset on jouduttu teettämään alihankinnassa. Tästä johtuen näiden tuotteiden tekemiseen on tarvittu useita erillisiä työvaiheita ja paljon aikaa.

Uusien sorvauskeskusten hankinnalla Ata Gears Oy:ssä on pyritty tehostamaan tuotantoa ja yhdistämään useampi työvaihe tehtäväksi kerralla valmiiksi lämpökäsittelyä varten. Tällä hetkellä uutta menetelmää testataan moniakselisella sorvilla. Yhdistettävissä työvaiheissa on aikaisemmin tehty pinionin läpi porattava reikä, muotoon sorvaus ja hammastus.

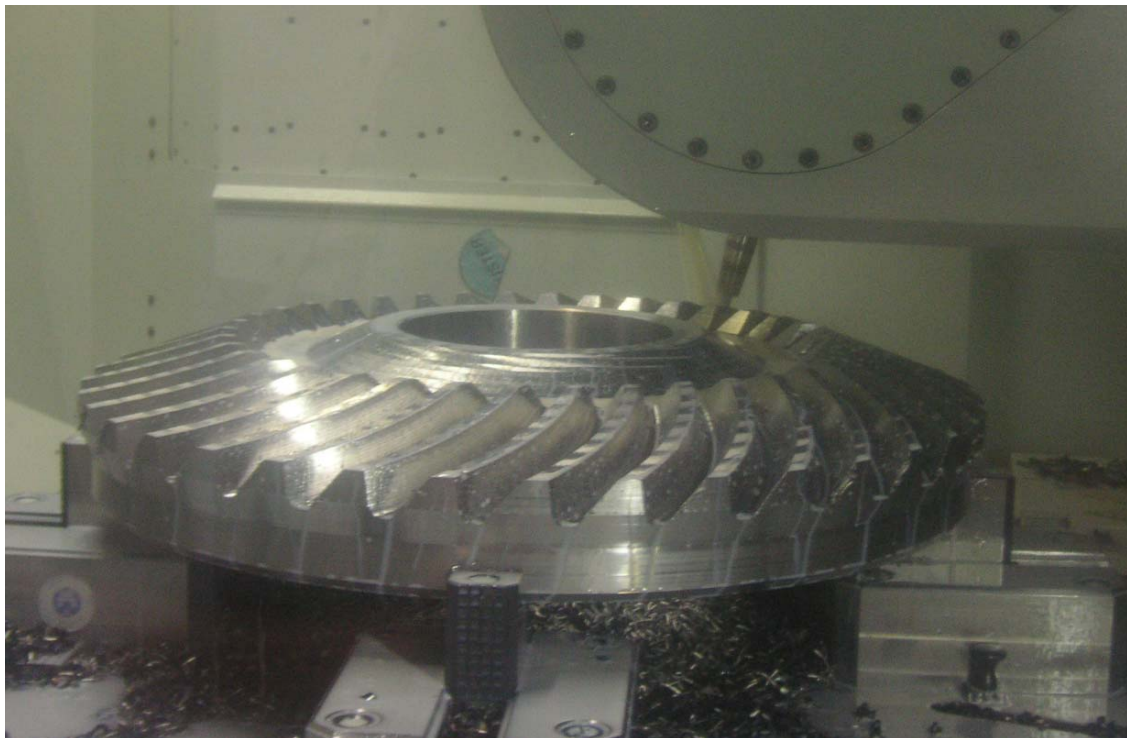
Kaikissa työvaiheissa on aiemmin käytetty niihin työvaiheisiin erikoisesti suunniteltuja koneita. Koneistusvaiheiden yhdistäminen yhdelle koneelle on haasteellista. Pinionin läpi porattava reikä on aikaisemmin tehty alihankintana johtuen porauksen pituudesta. Pinionin pituus voi olla yli kaksi metriä, mikä tarkoittaa samalla sitä, että käytettävän kanuunaporankin pitää olla yli metrin mittainen porattaessa aihiota kahdesta suunnasta. Sorvauskeskuksessa tulee rajoittavaksi tekijäksi koneen karansuuntainen liikepituus. Siten kaksimetristä kappaletta porattaessa liikepituuden täytyy olla yli kolme metriä. Lisäksi haasteena on pitkän työkalun taipuminen oman massansa takia. Testien aikana pyritään selvittämään mahdollisuuksia työkalun paikoittamiseen automaattijolla, ilman työkalun käsin ohjausta.

Seuraavassa kehitysvaiheessa on tarkoitus kokeilla hammasprofiilien rouhintaa samassa työvaiheessa. Kaikkien vaativien työvaiheiden yhdistäminen on haastavaa, mutta onnistuessaan tämä uusi menetelmä lyhentäisi radikaalisti pinionin valmistamiseen kuluvaa aikaa.

Oppilaitosten on pyrittävä kehittämään koulutuksia, joilla pyritään tehostamaan vaativien kappaleiden koneistamista. Koulutuksissa pitäisi pyrkiä opettamaan ohjelmoitsijoille ja menetelmäsuunnittelijoille ohjelmointitapoja ja menetelmiä, joilla kappale voidaan sorvata mahdollisimman valmiiksi yhdellä kiinnityksellä.

7.6 Hammasprofiilien koneistaminen

Sorvausten ja porausten jälkeen aihiot siirtyvät hammastustyövaiheeseen. Tämä työvaihe on perinteisesti tehty hammastuskoneella, joka on erityisesti suunniteltu vain tätä työtä varten. Nämä erikoiskoneet tekevät koneistuksen tehokkaasti ja nopeasti, mutta koneen asetusten tekemiseen tarvittava aika voi vastaavasti olla pitkä. Asetusaikojen lyhentämiseksi Ata Gears Oy:ssä hammasprofiilien jrsintää on kehitetty 5-akselisilla työstökeskuksilla (Kuva 12).



Kuva 12: Hammasprofiilien jrsintää 5-akselisella työstökeskuksella (Ata Gears Oy)

Tässä koneistusvaiheessa pyritään koneistamaan lautaspyörien hammasprofiilien lisäksi työkappaleen sorvausmuoto. Näin suurien lautaspyörien sorvausvaihe saadaan yhdistettyä hammastuksen ja porausten kanssa. Kuten sorvauksissakin, tavoitteena on yhdistää useampi työvaihe tehtäväksi samalla koneella. Asetusaikoihin kuluva aikaa säästyy.

Moderneissa työstökeskuksissa on myös mahdollista sorvata kappaleita. Tällaisissa koneissa on asennettuna sorvauspöytä, jonka avulla koneistettavaa kappaletta voidaan pyörittää suurella pyörimisnopeudella. Työstökeskus toimii tällöin karusellisorvin tavoin pystykaraisena sorvina.

Haasteena on sorvauksessa tyypillisesti muodostuvan lastun pituus. Sorvauksessa lastun muodostuksen hallitseminen on huomattavasti vaativampaa kuin jyrsinnässä. Tämä johtuu leikkaavan terän yhtäjaksoisesta lastuamisesta sorvauksen aikana. Sorvauslastu on saatava katkeamaan lyhyeksi.

Jos työstökeskuksessa ei ole sorvausominaisuutta, on sorvausmuoto mahdollista koneistaa jyrsintäsorvaamalla. Tämä asettaa tietyt rajoitteet työkappaleen muodoille, mutta ei aiheuta ongelmia lastunhallinnan kanssa. Menetelmän tehokkuutta on tarkasteltava kriittisesti vertaamalla sitä perinteiseen sorvaukseen.

Hammasprofiilien jyrsintä tehdään CAD/CAM-ohjelmilla 5-akselisella työstökeskuksella käyttäen joko 3+2-akselista tai 5-akselista menetelmää. Pehmeänä koneistuksessa tehtävät muodot koneistetaan aina viimeistelyvaroilta lämpökäsittelyä varten. Näillä toimenpiteillä pystytään kokonaisvalmistusaikaa lyhentämään.

Tässä uudessa menetelmässä koneistusvaihe on selvästi hitaampi kuin hammastuskoneessa, mutta asetusten tekeminen vie aikaa vain murto-osan aikaisempaan menetelmään verrattuna. Työstökoneissa on käytössä ns. nollapistekiinnitinjärjestelmä, joka mahdollistaa seuraavan kappaleen kiinnittämisen ja esiasetusten tekemisen edellisen kappaleen koneistuksen aikana. Näin saadaan työstökoneen seisonta- ja asetus aika lyhennettyä muutamia minuutteihin. Vaikka koneistusaika onkin hitaampi, asetus aikojen poistuminen vaikuttaa siihen, että läpimenoaika lyhenee. Lisäkehityskohteena on ollut moniakselisten koneiden kytkeminen osaksi FM-järjestelmää. Tavoitteena on lisätä koneaikaa miehittämättömällä ja osittain miehittämättömällä tuotannolla.

Koneistuskoulutuksia on oppilaitoksissa järjestetty paljon, mutta nyt moniakselisen koneistamisen takia perinteisiä koneistuskoulutuksia täytyy kehittää vastaamaan uusia menetelmiä. Moniakselinen jyrsintä vaikuttaa suuresti kappaleiden valmistamisessa työkalujen, kappaleen kiinnitystekniikoiden ja menetelmien valintaan.

7.7 FM-järjestelmän käyttö koneistuksessa

FM-järjestelmän käyttöönotto edellyttää laajaa osaamista koneistuksen eri osa-alueilla. FM-järjestelmän käyttäjän on hallittava järjestelmän ohjauksen lisäksi mm. järjestelmään liitettyjen koneiden ohjelmointi, esiasetukset, tiedonsiirto ja työkalujen hallinta. Lisäksi käyttäjien pitää osata korjata mahdollisista FM-järjestelmän vikatilanteista aiheutuneet häiriöt. Tämän tekee haasteelliseksi isoissa järjestelmissä olevien koneiden määrä ja eroavaisuudet.

FM-järjestelmä koostuu yleensä korkeavarastosta, jonka varastolavoja ja konepaletteja siirrellään automaattisella hissillä. Hissin tehtävänä on palvella varastoon liitettyjä työstökoneita niiden palettien ja esiasetus pisteiden materiaalilavojen ja palettien vaihtajana. Korkeavarastoon liitetään tarvittava määrä lataus- ja materiaaliasemia, joissa tehdään materiaalien ja valmistettavien kappaleiden lataukset ja esiasetukset. Lisäksi järjestelmässä täytyy olla NC-ohjattuja työstökoneita, joiden toimintaa ohjataan FMS-ohjauksen avulla.

Työstökoneet voivat olla esim. paletinvaihtajalla varustettuja työstökeskuksia ja robottipanostajalla käytettäviä sorvauskeskuksia. FM-järjestelmään voidaan liittää kaikenlaisia työstö- tai levytyökoneita, joissa on NC-ohjaus, robotteja, pesukoneita sekä ulkoinen työkaluvarasto. Ulkoisen työkaluvaraston käyttö suuremmissa järjestelmissä alentaa työkalujen investointikuluja, koska kaikilla koneilla ei tarvitse olla samoja työkaluja ja varatyökaluja, vaan niitä pystytään jakamaan automaattisesti yhteisestä työkaluvarastosta kaikille työstökoneille.

FM-järjestelmän perustarkoituksena on tehostaa tuotantoa koneiden asetusajojen poistolla. Tämä on toteutettu toimintaperiaatteella, jossa esiasetukset tehdään työstökoneiden ulkopuolella, FM-järjestelmän latausasemissa. Koneistusajojen ollessa pitkiä, latausasemissa voidaan tehdä useampia esiasetuksia koneistettaville kappaleille ja siirtää ne FM-järjestelmän varastoon odottamaan edellisen koneistuksen valmistumista (Kuva 13). Työstökoneen lopettaessa koneistuksen järjestelmä vaihtaa heti seuraavan työn koneen sisään, jonka jälkeen työstökone aloittaa uuden kappaleen koneistuksen. Näin uuden työn vaihtamiseen ei kulu juuri lainkaan aikaa. Työjonoissa voi olla useita kappaleita kerrallaan, joka mahdollistaa myös pitempiaikaisen miehittämättömän ajon esim. yön tai viikonlopun ajaksi.



Kuva 13: Työstökekuksen konepaleti FM-järjestelmän latausasemassa

FM-järjestelmän kokonaisvaltainen hallitseminen on todella vaativaa ja siksi se kannattaakin jakaa useamman henkilön vastuulle. Tällaisia käyttäjäryhmiä ovat:

1. Järjestelmänkäyttäjä
2. FMS-koneistaja
3. FMS-tukihenkilö
4. Kunnossapitohenkilö

Järjestelmänkäyttäjän tehtävänä on toimia lataajana tai keräilijänä. Hänen on hallittava järjestelmän peruskäyttö:

- materiaalien ja työkappaleiden lataus ja purku
- nimikkeiden ja tilausten, niiden reittien ja hakujen luominen ohjatusti
- perustiedot kiinnittämisistä ja NC-ohjelmista.

FMS-koneistajalla pitää olla vankka kokemus NC-koneistuksesta ja koneista, joita on kytkettyä FM-järjestelmän. FMS-koneistajan tehtäviin kuuluu *järjestelmänkäyttäjän* osaamisen lisäksi:

- nimikkeiden, tilausten ja niille tarvittavien reittien luonti sekä kyky tehdä niistä hakuja
- järjestelmän työstökoneiden hallinta
- NC-ohjelmoinnin hallinta
- tarkistusmittausten hallinta ja tarvittavien korjausten suorittaminen NC-ohjelmiin
- työkappaleiden kiinnitystekniikoiden hallinta
- työkaluhuollon hallinta.

FMS-tukihenkilöllä on oltava jo useamman vuoden työkokemus FM-järjestelmän käytöstä, jotta hänen tietämyksensä kattaisi järjestelmän useista osa-alueista. Hän hallitsee *FMS-koneistajan* tehtävien lisäksi:

- suuremmistakin virhetilanteista toipumisen
- kapasiteetin simuloimisen
- tuotannon karkean suunnittelun ja aikataulutuksen.

Kunnossapitohenkilön on ymmärrettävä sähkötekniikan perusteet. Hänellä tulee olla aikaisempaa kokemusta vastaavista tehtävistä. Hänen on hallittava järjestelmän ja järjestelmäkomponenttien:

- mekaaniset määräaikaishuollot
- sähköiset määräaikaishuollot
- hydrauliset määräaikaishuollot.

Tuotantoautomaatio on yleistynyt paljon konepaja-alalla erilaisten käyttöönotettujen FM-järjestelmien, robotti- ja konenäkösovellusten takia. Oppilaitosten on pyrittävä kouluttamaan vanhoja ja uusia koneistajia automatisoitujen tuotantolinjojen osaajiksi.

7.8 Työkalujen hallinta

Valmistuksessa tarvitaan paljon erilaisia lastuavia työkaluja, jotta voidaan hyödyntää työstökoneiden kaikkia ominaisuuksia. Työkaluja on saatavilla hyvin vaativan valmistuksen tarpeisiin. Valikoiman laajuudesta johtuen haasteena on löytää sopivimmat työkalut yrityksen tarpeisiin. Valinnassa ei aina pyritä löytämään optimityökalua yhtä työtä varten, vaan valintoja tarkastellaan laajemmin, jotta hankittavia työkaluja voisi käyttää useammassa työssä. Jos työkalut valittaisiin vain yhtä työtä varten, kasvaisi työkalujen määrä suureksi ja niiden hallittavuus vaikeutuisi.

Työkalujen ja niiden varaosien hallinnointiin on mahdollista käyttää automaattisia varastointijärjestelmiä. Ata Gears Oy:ssä on otettu käyttöön Sandvik Coromant Ltd.:n AutoTAS -tilaus- ja hallintajärjestelmä. Järjestelmää käytetään teräpalojen tilaamiseen ja hallintaan. Uusi järjestelmä tekee automaattisesti tarvittavat työkalujen täydennystilaukset työkalujen toimittajalle. Hallintajärjestelmä tarkkailee myös käytössä olevien terien määrää, jolloin niiden tarkka lukumäärä on selvillä. Aiemmin tilaukset on hoidettu sähköpostin avulla, tarpeen mukaan. Terien määrästä ei ole ollut tarkkaa kirjanpitoa. Seuraavassa vaiheessa on tarkoitus hallita muitakin työkaluja järjestelmän avulla.

Järjestelmän toiminta perustuu työkalunimikkeiden hälytysrajaohjaukseen. Nimikkeille luodaan hälytysrajat ja tilausmäärät. Hälytysrajan alittuessa järjestelmä luo uuden ostotilauksen. Työkalun hallintajärjestelmän ansiosta varaston ylläpitokustannukset laskevat ja asetusajat lyhenevät.

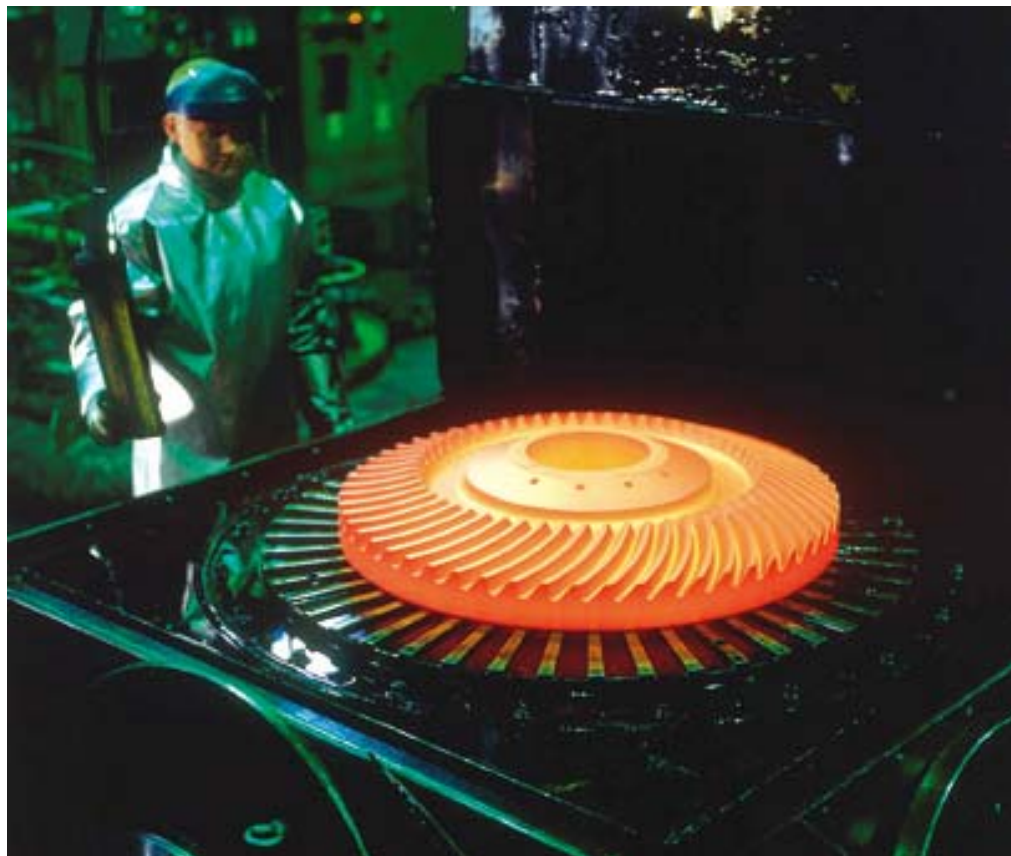
Uudistusten myötä koulutustarve on kasvanut. Uusimman teknologian tunteminen ja sen osaamisen saattaminen käytäntöön vaatii täydennyskoulutusta. Tähän oppilaitosten kannattaa panostaa niin teorian kuin käytännön tasolla. Koulutuksia voitaisiin järjestää yhteistyössä yritysten kanssa, jotta tietotaitoa ja hiljaista tietoa saadaan siirrettyä tuleville sukupolville.

8 Lämpökäsittely

Hammaspyörien lämpökäsittelyssä käytetään menetelmänä yleisimmin hiiletyskarkaisua. Lämpökäsittelyprosessia valvotaan ja ohjataan tietokoneella.

Hammaspyörät valmistellaan suojamaalaamalla pinnat, joita ei haluta karkaista koviksi ennen hiiletyskarkaisua. Toisena menetelmänä on nuorrutusteräksille tehtävä induktiokarkaisu, jolla karkaisu tehdään muutamalle hampaalle kerrallaan. Näin jännitysten aiheuttamat muodonmuutokset jäävät pienemmiksi.

Suuret lautashammaspyörät karkaistaan puristimessa muodonmuutosten pienentämiseksi (Kuva 14). Pinionit karkaistaan pystyasennossa kuumana taipumisen takia. Pinionit ovat lämpökäsittelyssä roikkumassa kiinnittimessä (Kuva 15).



Kuva 14: Lautashammaspyörän karkaisu (Ata Gears Oy)



Kuva 15: Pinionien karkaisu (Ata Gears Oy)

Laadun varmistamiseksi, jokaisessa karkaisupanoksessa on mukana koepalat. Koepalojen avulla testataan lämpökäsittelyn onnistuminen ja karkaisuusvyvyys. Koepalojen käyttö on välttämätöntä, koska kokeita ei voida tehdä suoraan hammaspyöriin. Koepalojen testaus tehdään omassa testilaboratoriossa, jossa koepalat leikataan ja analysoidaan.

Terästen lämpökäsittely on yleistä vaativien tuotteiden valmistuksessa. Lämpökäsittelyt vaikuttavat myös kappaleiden, valmistusmenetelmien ja työvaiheiden suunnitteluun. Lämpökäsittelyyn erikoistuneet yritykset voisivat toimia yhteistyössä oppilaitosten kanssa suunnitellessaan kurseja.

9 Viimeistely lämpökäsittelyn jälkeen

Lämpökäsittelyn jälkeen kappaleet sorvataan uudelleen oikeisiin mittoihin, jonka jälkeen tehdään hammasprofiilien viimeistely. Viimeistelymenetelminä voidaan käyttää kolmea eri menetelmää, jotka ovat hionta, kovahammastus ja läppäys.

Lämpökäsittelyn jälkeisiä työvaiheita ovat:

- Lämpökäsittelyssä vääntyneiden pinionien oikaisu hydraulipuristimella
- pinionien ja lautasten kovasorvaus ja kovakoneistusvaiheet (poraus ja jyrsintä)
- pinionien pyöröhionta sekä lautasten reikä- ja tasohionta
- kiilaurien veto reikiin, reiän sisäpuolisten uritusten vierintäpisto sekä pinionien ulkopuolisten kiilaurien booriuritusten vierintäjyrsintä (Kuva 16)
- hammasprofiilien viimeistely joko hiomalla, läppäämällä tai kovahammastamalla



Kuva 16: Kiilaurat jyrsitty karkaistuun pinioniin

Uusien koneinvestointien myötä ollaan siirtymässä myös kovahammastuksen korvaamiseen 5-akselisella työstökeskustekniikalla (Kuva 17). Tämä asettaa aivan uusia haasteita:

- työstökoneen tarkkuudelle
- lastuaville terille
- terämateriaaleille
- työstöarvoille
- CAD/CAM-ohjelmoinnille
- henkilöstön osaamiselle



Kuva 17: Pinionin hammasprofiilien viimeistely karkaistuun kappaleeseen 5-akselisella työstökeskuksella

Kovakoneistuksen työvaiheet ovat haastavia, ja ne vaativat erikoisosaamista. Kaikki kappaleet ovat erilaisia, ja siksi vankka kokemus on tarpeen erityisesti viimeistelyvaiheissa. Tällaisen tietotaidon oppii vain työtä tekemällä. Oppilaitoksilla on rajalliset resurssit opettaa omissa oppimisympäristöissään kaikkia kovakoneistuksen alueita. Työssäoppimis- ja oppisopimusjärjestelmä luovat hyvän mahdollisuuden tutustua kovakoneistukseen ja muihin viimeistelyvaiheiden työmenetelmiin.

10 Laadun varmistus

Ata Gears Oy:n laadunhallintajärjestelmän perustana on laatukäsikirja, jonka tukena ovat laatu- ja toimintaohjeet. Laatukäsikirja perustuu DNV:n sertifioimaan ISO 9001:2000 standardin mukaiseen laadunhallintajärjestelmään.

Voimassaolevan laatukäsikirjan osat on tallennettu tietojärjestelmään, josta ne ovat luettavissa ja tarvittaessa tulostettavissa. Laatujärjestelmään liittyvät asiakirjat, joita säännöllisesti ohjataan ja valvotaan menettelyohjeen mukaisesti, ovat seuraavat:

- myyntiasiakirjat
- hankinta-asiakirjat
- suunnitteluasiakirjat
- valmistusasiakirjat
- laatukäsikirja
- laatu- ja toimintaohjeet
- muut laatuasiakirjat

Vaativassa valmistuksessa laadunvarmistus on moniosainen kokonaisuus. Siksi oppilaitosten tulee panostaa siihen. Koulutuksia voitaisiin kehittää erilaisten sertifioitujen laatujärjestelmien suuntaan, jossa mittausmenetelmien lisäksi selvitetäisiin myös laatustandardien vaatimuksia ja tarkastusten dokumentointeja.

10.1 Mittaaminen

Hammaspyörien mittaamiseen ja laadun varmistamiseen Ata Gears Oy:ssä on käytössä, työpistekohtaisten mittausten lisäksi, koordinaattimittauskone.

Koordinaattimittauskoneella suoritetaan lopputarkastuksien lisäksi useita välivaihemittauksia. Lopputarkastuksessa varmistetaan, että tuote täyttää asiakkaan asettamat laatuvaatimukset. Välivaihemittauksia käytetään yrityksen sisäisen laadun seurantaan. Koordinaattimittauskonella mitataan Ata Gears Oy:ssä pääasiassa hammaspyörien hammasprofiileja ja jakomittoja.

Mittaukset suoritetaan ilmastoidussa huoneessa, jonka lämpötila on asetettu tarkasti +20°C. Tuotannossa kappaleiden lämpötilat vaihtelevat reilusti ja siksi tarkastettavien kappaleiden annetaan temperoitua tasalämpöiseksi (+20°C) ennen mittausta. Suurien kappaleiden temperoituminen voi kestää useita tunteja. Ata Gears Oy:ssä tuodaan kaikki tarkastettavat kappaleet temperoitumaan vähintään 24 h ennen mittaamista.

Mitattaville kappaleille on tehtävä karkeapuhdistus jo ennen temperointia. Karkeapuhdistuksessa poistetaan karkaisuhilse ja lastut sekä kuivataan leikkuunesteet. Temperoinnin aikana voidaan suorittaa hienopuhdistus, jossa kappaleista poistetaan alkoholilla kaikki lika ja rasva.

Kappaleiden nostoa varten mittaushuoneessa on pieni siltanosturi, jonka nostokyky on 2000 kg. Tällä nosturilla pystytään nostamaan kaikki pinionit ja pienimmät lautashammaspyörät. Suurempien kappaleiden nostossa käytetään verstaan isompaa siltanosturia, jonka nostokyky on 5000 kg. Isomman nosturin käyttöä varten mittaushuoneen katto saadaan auki noston ajaksi. Mittaushuoneen katon aukaisun jälkeen huoneen lämpötilan pitää tasaantua +20°C ennen mittaamista.

Pinionit nostetaan mittauskoneen pöydälle kahden V-paranellin varaan. Mittauskoneelle valitaan kappaleen muotojen mittaamiseen sopivat mittauskärkiyhdistelmät. Tämän jälkeen valitut mittauskärjet kalibroidaan ennen mittaamista.

Lautashammaspyörät asetetaan mittauskoneen pöydälle kolmen suuntaispalan päälle, jotta mittauskoneella pystytään mittaamaan myös lautashammaspyörän pohja.

Uuden tuotteen (nimikkeen) mittaamisessa luodaan uusi mittausohjelma, jota voidaan myöhemmin käyttää sellaisenaan rinnakkaistuotteiden mittaamiseen. Mittausohjelma pitää sisällään:

- nimikkeen perustiedot
- käsin suuntauksen
- mittauskoordinaatistojen luonti
- nominaalidatan luonti
- NC-ohjelman luonti.

Nimikkeen perustietoihin kuuluu:

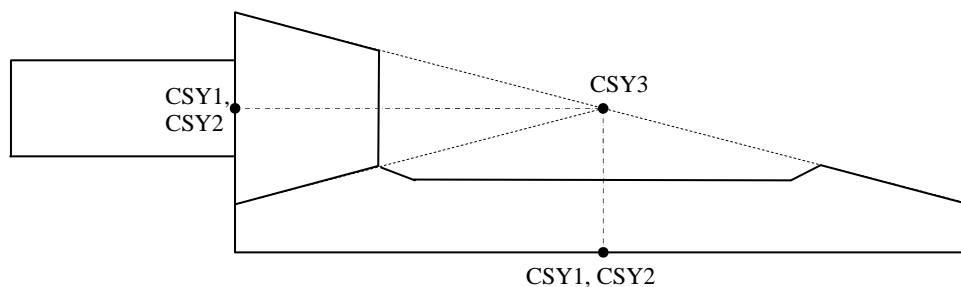
- kappaleen tuotetiedot
- päivämäärä
- ohjelman tekijä nimi

Käsin suuntauksessa kappaleen asento ja nollapiste (origo) määritetään mittauskoneelle. *Pinionin* suuntauksessa laakerin kauloista mitataan ympyrät, joiden keskiöiden väliin määritetään Z-akseli, eli kappaleen suuntaus. *Pinionin* laakerin kaulan sivusta määritetään taso. Tason ja Z-akselin leikkauspisteeseen määritetään Z-akselin nollapiste, eli ohjelman 1. kappalekoordinaatisto (CSY1).

Lautashammaspyörän suuntauksessa määritetään taso, suuntaus ja Z-akselin nollakohta hammaspyörän pohjasta. Seuraavaksi määritetään Z-akselin asema mittaamalla lautashammaspyörän keskiöreiästä ympyrä, jonka keskipisteen kautta Z-akseli asetetaan kulkeväksi. Tason ja Z-akselin leikkauspisteeseen ohjelmoidaan 1. kappalekoordinaatisto (CSY1).

Käsin suuntauksen jälkeen tehdään samat mittaukset kappalekoordinaatistossa. Kappalekoordinaatistossa tehtävät mittaukset tehdään automaattisena CNC-ajona. Automaattiajona tarkastetut kappaleiden suuntaukset ja kappalekoordinaatistot nimetään mittausohjelmaan 2. kappalekoordinaatistoksi (CSY2).

Ohjelmallisista syistä saatetaan tarvita myös kolmas kappalekoordinaatisto (CSY3) (Kuva 18). Kolmatta kappalekoordinaatistoa tarvitaan hammasgeometrioiden ja hammasjakojen mittaamista varten.



Kuva 18: Pinionin ja lautashammaspyörän kappalekoordinaatistot

Uusille nimikkeille tehdään vain kerran hammasprofiilien määrittäminen. CNC ohjelmaa tehtäessä hampaan profiili määritellään Klingelnbergin Kimos -ohjelmalla. Ohjelma luo pisteverkoston hampaan geometriasta. Pisteverkkoa kutsutaan hampaan nominaalidataksi.

Nominaalidatan määrittämiseksi Kimos-ohjelma tarvitsee seuraavat tiedot

hammaspyöräparista (pinionista ja lautashammaspyörästä):

- akselikulma
- pinionin hammasluku
- lautaspyörän hammasluku
- lautaspyörän ulkohalkaisija
- hampaan pituus
- normaali moduuli
- teräsäde ja terien lukumäärä
- spiraalikulma
- pinionin kätsisyys
- ryntökulma
- profiilin siirtokerroin
- hampaan vahvuus kerroin (pinioni / lautaspyörä)
- hampaan harjan korkeuskerroin
- hampaan tyven korkeuskerroin
- tyvivälyksen kerroin
- kulmakorjaus
- kylkivällys
- nominaali teräsäde (pinioni / lautaspyörä)
- teräsäde kupera (pinioni / lautaspyörä)
- teräpään säde
- terämoduuli
- pituusmallomaisuus veto/pakki
- korkeusmallomaisuus veto/pakki
- korkeusmallomaisuus prosentteina pinionin veto/pakki kyljellä
- pituusmallomaisuus prosentteina pinionin veto/pakki kyljellä
- asennusetäisyys (pinioni / lautaspyörä)
- hampaan harjan kartiokulma
- hampaan kyljen muoto (pinioni / lautaspyörä)

Nominaalidata luetaan mittausohjelmaan, minkä jälkeen CNC-ohjelmalle on opetettu hammaspyörän mittausgeometriat. Nominaalidatan avulla hammaspyörille voidaan tehdä tarvittavat mittaukset, jotka ovat:

- profiilin mittaus
- jakomittaus
- säteittäisheiton mittaus.

CNC-ohjelmalla mitataan automaattisesti koko hammaspyörä alusta loppuun. Mitattuja tuloksia käytetään Ata Gears Oy:ssä laadun seurantaan, tuotannon kehitykseen ja lopputarkastukseen.

10.2 Laatumittarit ja laadukustannusten seurantajärjestelmä

Ata Gears Oy:ssä on käytössä sisäinen laatuauditointijärjestelmä.

Laadunhallintajärjestelmää seurataan tuotantoketjun toimitusvarmuuden ja taloudellisten mittareiden avulla.

Yksittäisten tuotteiden vaatimustenmukaisuus osoitetaan kappaleiden mittauksilla ja tarvittavilla korjaavilla toimenpiteillä. Laadunhallintajärjestelmän toimivuutta ja vaikuttavuutta arvioidaan ryhmässä, joka päättää tarvittavista kehittämistoimenpiteistä.

Laadunhallintaryhmässä käsitellään mm seuraavia asioita:

- asiakaspalaute / reklamaatiot ja korjaavat toimenpiteet
- sisäiset poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet
- aiemmin sovittujen korjaavien toimenpiteiden toteutuminen
- sisäisten laatuauditointien tulokset

Asiakasreklamaatiot käsitellään tapauskohtaisesti, ja yleistä asiakastyytyväisyyttä tutkitaan asiakastyytyväisyyskyselyillä. Välittömät asiakaspalautteet tulevat esille myyjän ja asiakkaan välisessä yhteydenpidossa.

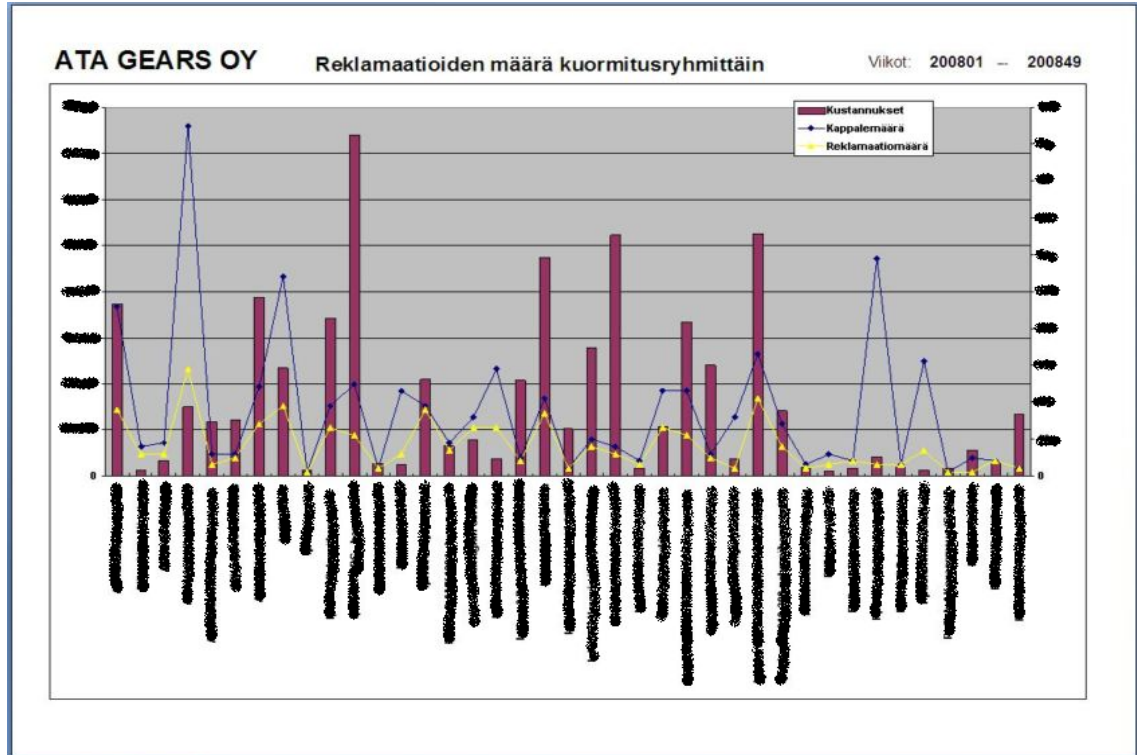
Ata Gears Oy:ssä laatujärjestelmän toimivuutta ja soveltamista valvotaan yrityksen sisäisillä auditoinneilla. Auditoinnit kohdistuvat yrityksen kaikkiin toimintoihin, ja ne suoritetaan laatu- ja toimintaohjeiden mukaisesti. Kukaan ei saa auditoida omaa toimintaansa.

10.3 Valmistuksen valvonta

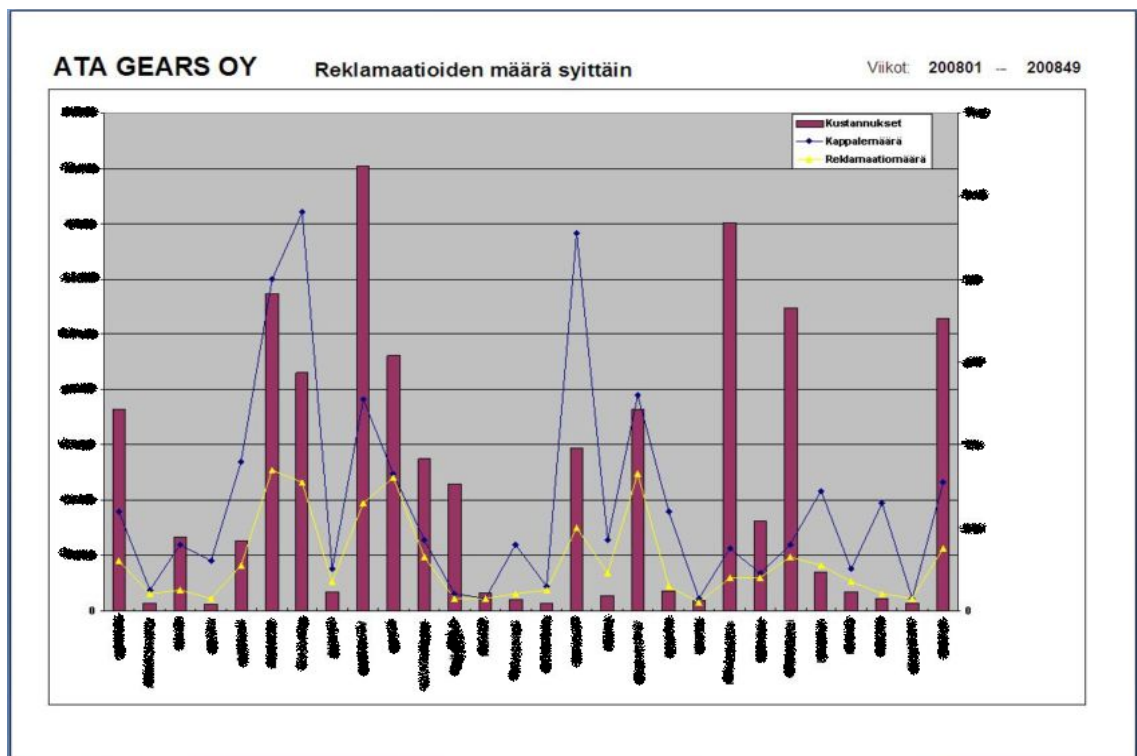
Valmistuksen valvonnassa sovelletaan Det Norske Veritasin (DNV) ja Ata:n välistä Manufacturing Survey Arrangement -sopimusta (MSA). Valvonnan oleellisia kohteita ovat käytettävät materiaalit, hiiletyskarkaisuprosessi, siihen liittyvät tarkastukset, testaukset ja tutkimukset sekä valmiiden tuotteiden tarkastus ja testaus.

Tuotantoprosessien oikea-aikaisuutta seurataan muutamissa ennaltamäärätyissä vaiheissa. Tuotteisiin liittyvät tarkastukset on sijoitettu valmistuksen eri vaiheisiin siten, että työkohtaisien vaatimusten toteutuminen voidaan todeta välittömästi. Valmistusprosessin aikana suoritettavat tarkastukset raportoidaan ja tulokset dokumentoidaan lopputarkastusta varten tietojärjestelmään.

Sisäiset reklamaatiot ja asiakasreklamaatiot kirjataan yksityiskohtaisesti tuotannonohjausjärjestelmään ja välitetään tuotantoketjun asianomaisille vaiheille. Kun reklamaatiot on käsitelty ja niiden kustannukset ovat selvillä, kirjataan kustannukset myös järjestelmään. Reklamaatioita, niiden syitä ja kustannuksia on mahdollista tarkastella tarvittavalla aikavälillä ja jakaa ne esimerkiksi kuormitusryhmittäin eri työpisteisiin. Reklamaatiosta, niiden syistä, kustannuksista ja jakaumasta on mahdollista tuottaa valmiita graafisia taulukoita. Taulukon avulla on helppo eritellä syyt suurimpiin laatu-kustannuksiin (Kuvat 19 ja 20) (Lahti 2008, 16-29).



Kuva 19: Reklamaatioiden määrä kuormitusryhmittäin (Ata Gears Oy)



Kuva 20: Reklamaatioiden määrä syittäin (Ata Gears Oy)

10.4 Laatutyökalut ja laadunhallintajärjestelmän toimintatavat

Ata Gears Oy:ssä on käytössä laatukäsikirja, jossa kuvataan yrityksen laatupolitiikan toimintatavat. Laatukäsikirjaan on kirjattu yrityksen toiminnan ja tuotteiden laadulliset tavoitteet. Käsikirjan tavoitteiden toteutumista valvotaan yrityksen sisäisillä auditoinneilla, joiden avulla yrityksen toiminnan ja tuotteiden laatua pyritään kehittämään.

Ata Gears Oy:n toiminta perustuu tilaus-toimitus-prosessiin, jonka toimintaa ja toiminnan tuloksia seurataan. Seurantatulosten perusteella toteutetaan toimenpiteet, jotka tarvitaan asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Oman toiminnan seuraaminen luo mahdollisuudet prosessien jatkuvalle kehittymiselle. Toiminnan tuloksena syntyy laatuun ja toimintoihin liittyviä asiakirjoja, joiden avulla toiminnan kehitystä voidaan seurata.

10.5 Laadunhallintajärjestelmän suunnittelu

Ata Gears Oy:n tuotteet ovat asiakastilauksina valmistettavia hammaspyöriä. Niiden laatuvaatimukset määräytyvät asiakkaiden omien erittelyjen ja hammaspyörien luokitussääntöjen perusteella. Nämä laatuvaatimukset ohjaavat laadunhallintajärjestelmän suunnittelua.

Toistuvasti tilattavien samankaltaisten tuotteiden osalta on vakiintunut vaatimuskäytäntö, jotka toteutetaan työkohtaisesti:

- valvontamenetelmiä
- tuotteiden tarkastusta
- testausta ja tunnistusta
- laatudokumentointia.

Luokitettavien kartiohammaspyörien vaatimukset on esitetty laatu- ja toimintaohjeissa. Tätä ohjetta sovelletaan myös hammaspyöriin liittyviin akseleihin ja muihin osiin. Tuotteiden laatuominaisuuksiin liittyvät mittaus- ja testausvaiheet sijoitetaan valmistusketjuun siten, että vaatimuksien toteutuminen voidaan todeta välittömästi.

10.6 Seuranta- ja mittauslaitteiden ohjaus

Tuotteille asetettujen vaatimusten toteutumista ja oikeita mittaustuloksia ja -välineitä valvotaan toimintokohtaisesti (varmistamiseksi prosessinohjaus- ja säätölaitteita sekä valmistuksessa ja tarkastuksessa käytettäviä mittaus- ja testausvälineitä). Tämä on toteutettu Ata Gears Oy:ssä seuraavasti:

- Kalibroinnin piiriin kuuluvat laitteet on luetteloitu ja merkitty tunnusnumeroilla.
- Valmistuksessa ja tarkastuksessa käytettävien pituudenmittauslaitteiden kalibrointi suoritetaan kalibrointihuoneessa kansallisen tai valtuutetun mittauspaikan kalibroimilla mittauslaitteilla.
- Laitteiden kalibrointitila ja voimassaoloaika tunnistetaan kalibrointitarroista.
- Kalibrointia koskevat yksityiskohtaiset ohjeet on esitetty kalibrointikäsikirjassa.
- Kalibrointitulokset kirjataan tietojärjestelmään tai mittavälinekortteille.
- Jos mittauslaite ei täytä kalibrointiohjeessa esitettyjä hyväksymisrajoja, se korjataan tai romutetaan ja poistetaan kalibroinnin piiristä.
- Lisäksi selvitetään mahdollisten poikkeamien toteamiseksi mitä tuotteita viallisella laitteella on mitattu.
- Valvonta koskee seuraavia ryhmiä:
 - pituudenmittausvälineet
 - pinnankarheuden mittauslaitteet
 - kovuusmittarit
 - hammaspyörien tarkkuusluokan mittauskoneet
 - hammaspyörien koitos- ja läppäyskoneet
 - lämpötilan mittaus-, ohjaus- ja säätölaitteet
 - hiilipotentialin mittaus- ja säätölaitteet
 - ultraäänitarkastuslaitteet
 - magneettijauh tarkastuslaitteet

Mikäli tuotteiden lopputarkastuksessa todetaan vaatimukset ylittäviä mittapoikkeamia, tarkistetaan tuotannossa käytetyt mittausvälineet syyn selvittämiseksi ja ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin. Kalibroitaviin mittausvälineisiin eivät kuulu rullamitat eivätkä rouhintasorvauksen, sahauksen ja lämpökäsittelyn yhteydessä käytettävät harpit, viivoittimet ja työntömitat.

11 Koulutusten kehittäminen TuoVa-hankkeessa

TuoVa-hanke perustuu oppilaitosten yhteiseen visioon kehittää ja vahvistaa pirkanmaalaisten oppilaitosten sekä niiden ja yritysten välistä yhteistyötä. TuoVa:ssa oppilaitokset sekä metallituoteteollisuudessa toimivat yritykset kehittävät valmistus- ja materiaalitekniikkaan liittyvää osaamistaan ja parantavat siten koulutus- ja valmistusketjun tehokkuutta. Hankkeen painopiste on moniakselisessa lastuavassa työstössä ja siihen liittyvässä oppimisympäristössä. Hankkeen koulutustahojen välisellä yhteistyöllä mahdollistetaan huippuosaamisen vahvistuminen, kehittyminen sekä riittävä laaja-alaisuus niin oppilaitoksissa kuin yrityksissä.

TuoVa on Tampereen kaupunkiseudun elinkeino- ja kehitysyhtiö Tredea Oy:n koordinoima aikuiskoulutushanke. Hankkeen toteuttavat yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampereen ammattiopisto sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Hankkeen rahoittaa Länsi-Suomen lääninhallitus Euroopan sosiaalirahastosta sekä osallistuvat yritykset ja Tampereen kaupunki.

12 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Tutkimuksessa selvitettiin vaativaan valmistukseen erikoistuneiden PK-yritysten tuotantoa ja tuotiin esille niiden tämänhetkistä tilaa ja tulevaisuudensuuntauksia. Yritysten on kehitettävä tuotantoansa voimakkaasti vaativien kappaleiden valmistuksessa sekä tuotantosolujen ja -linjojen automatisoinnissa.

Vaativien kappaleiden koneistaminen moniakselisilla työstökoneilla vaatii paljon osaamista myös koneiden käyttäjiltä. Tähän koulutuksen tarpeeseen tarvitaan kehitystyötä ja apua myös oppilaitoksilta. Koulutuksia on pystyttävä jatkuvasti kehittämään yritysten tarpeita vastaaviksi, koska yritysten tuotannonkin kehitys on jatkuvaa.

Tuotantolinjat on usein automatisoitu FM-järjestelmien, robottien ja konenäkösovellusten avulla. Tuotteiden valmistukseen käytettävää aikaa voidaan lyhentää koneistusmenetelmiä kehittämällä. Moniakselisilla koneilla pystytään korvaamaan useita työvaiheita ja valmistamaan tuotteita pitkälle yhdessä työvaiheessa.

Moniakseliset koneet soveltuvat hyvin vaativaan valmistukseen ja automatisoituihin tuotantolinjoihin. Moniakselisia koneistuskeskuksia pystytään käyttämään valmistuksessa joustavasti, koska niillä voidaan valmistaa tavallisten koneistustöiden lisäksi myös töitä, jotka aiemmin pystyttiin valmistamaan vain erikoiskoneilla kuten esim. hammastuskoneilla.

Oppilaitosten ja Treda Oy:n TuoVa-hankkeessa on aloitettu kehittää koulutuksia, joilla pyritään auttamaan yrityksiä vaativan valmistukseen liittyvissä haasteissa. Hankkeessa on tarkoitus kehittää kunkin tuotannon osa-alueen tarpeita vastaavia koulutuksia. Alla on taulukko kehitteillä olevista koulutuksista ja niiden vastuuoppilaitoksista (Taulukko 1).

Taulukko 1. (s. 1/2) Oppilaitosten vastualueet koulutusten suunnittelussa.

	TAO	TAMK	TTY
Koulutusten suunnittelu ja vastuoppilaitokset			
Toiminnanohjaus <ul style="list-style-type: none"> • Materiaalien hankinta/osto (Materiaalivirta) • Aikataulutus (Toimitusaikojen hallinta) • Tuotannon suunnittelu/-ohjaus (Kapasiteetin hallinta) 		X	
Valmistusystävällinen tuotesuunnittelu ja kiinnittäminen <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelussa otetaan huomioon valmistuksessa mahdollisesti ilmenevät ongelmat • Lastuttavan materiaalin valinta • Toleranssisuunnittelu 	X	X	X
Kiinnitys ja kappaleen käsittely <ul style="list-style-type: none"> • Nollapistekiinnitys • Kappaleen valmistus yhdellä kiinnityksellä • Tartuntapiirteet • Valmistuksen automatisointi • Nostojen suunnittelu 	X	X	X
Ympäristö, kierrätys ja turvallisuus <ul style="list-style-type: none"> • Työturvallisuus • Lastujen jälkikäsittely • Öljyt ja lastuamismesteet • Energian käyttö • Ongelmajätteet 	X		X
Terävalinnan merkitys <ul style="list-style-type: none"> • Vaikeasti lastuttavat materiaalit • Uudet terä- ja materiaalivaihtoehdot • Terien monikäyttöisyys • Erikoisterät • Terägeometrian vaikutus • Terän kestoajan optimointi • Terän kulumismekanismit • Lastuamisarvojen ja menetelmien vaikutus kestoajaan • Hyväksyttävän lastunmuodostuksen merkitys • Työturvallisuus • Automaatio 	X	X	X
Työn vaiheistaminen ja kapasiteetin hallinnan kehittäminen <ul style="list-style-type: none"> • Miten kappale valmistetaan ilman turhia työvaiheita • Valmistusmenetelmien tuntemus ja -valmistustarkkuudet • Koneet • Tarkkuus ja suorituskyky • Jäysteetön valmistus • Tuotannon layout suunnittelu • Sisälogistiikka 	X		
Moniakselisen koneistuksen CAD/CAM-ohjelmointi <ul style="list-style-type: none"> • Case pohjainen lähestyminen, eri CAM-sovellukset • Ohjelmointitavan soveltuvuus ja valinta • CAM-ohjelmointi • Mallin siirto • CAD-mallinnuksen problematiikka • Postprosessori • Simulointi ja törmäystarkastelu • NC-koodin simulointi 	X	X	X

Taulukko 1. (s. 2/2) Oppilaitosten vastualueet koulutusten suunnittelussa.

	TAO	TAMK	TTY
Koulutusten suunnittelu ja vastuuoppilaitokset			
Konepajan tuotantoautomaatio <ul style="list-style-type: none"> • Automaattinen kappaleen käsittely • Robotti- ja konepalvelusovellukset • Hyllystöt • Manuaalikäsittely ja apuvälineet 		X	
Mittaustekniikka <ul style="list-style-type: none"> • Mittavälineiden oikea käyttö • Jäljitettävyys ja kalibrointi • Automaattinen mittaustulosten keruu • Mittaustekniikan perusteet • Mittausepävarmuus • Mittaustiedon keruu ja hyväksikäyttö • Oikean mittausmenetelmän valinta 	X	X	X
Prosessin- laadunvalvonta <ul style="list-style-type: none"> • Jäljitettävyys • Tilastollinen laadunhallinta (SPC) • Mittausdatan keruu ja käsittely • Reklamointi • Tuotantovälineiden tarkkuuden hallinta • Korjaavat toimenpiteet 		X	X
Työstökoneen hankinta ja käyttöönotto <ul style="list-style-type: none"> • Koneen valinta/määrittely • Vastaanotto • Koneen kunnossa- ja käynnissäpitoon liittyvät asiat (etenkin takuuajana) • Koneen sijoitus (layout, perustus, lämpötila, nostimet jne.) • Liitännät mahdolliseen koneseurantajärjestelmään • Muu toimintaympäristö, CAM, Postprosessori, jne • Juridiikka ja muut sopimustekniset asiat 			X
Kaikkien koulutusten taustalla kulkee kustannustehokkuus ja työturvallisuus.			

Lähteet

Lahti Risto, 2008, Laatutoiminnot organisaatiossa Ata Gears Oy. Tampere: Yritysesite

Eskola, J. & Suoranta, J. 1998, Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.

Hirsjärvi, S. & Huttunen, J. 1995 Johdatus kasvatustieteeseen. 4. uudistettu laitos. Porvoo Helsinki Juva: WSOY

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13.-14. painos. Helsinki: Tammi.

Järvinen, P. & Järvinen, A. 2000. Tutkimustyön metodeista. Tampere: Opinpaja.