



MONIAKSELISEN OPPIMISYMPÄRISTÖN HYÖDYNTÄMINEN INSINÖÖRIKOULUTUKSESSA

Mika Heikkilä

Opinnäytetyö
Syyskuu 2012
Automaatioteknologian koulutusohjelma
Ylempi AMK-tutkinto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Tekijä	Mika Heikkilä
Opinnäytetyö	Moniakselisen oppimisympäristön hyödyntäminen insinöörikoulutuksessa
Sivumäärä	76 + 8 liitettä
Valmistumisaika	syyskuu 2012
Työn ohjaaja	Diplomi-insinööri Kaarlo Koivisto
Työn tilaaja	Tampereen ammattiopisto, ohjaajana insinööri Kyösti Lehtonen

TIIVISTELMÄ

Moniakselinen valmistus on viimeisten vuosien aikana tuonut muutoksia suomalaisiin konepajoihin. Perinteinen kahden tai kolmen akselin koneistaminen on saanut moniakselisesta valmistuksesta kilpailijan, joka ominaisuuksissaan on niihin nähden lyömätön.

Moniakselinen valmistus mahdollistaa entistä monimutkaisempien kappaleiden valmistamisen aikaisempaa tehokkaammin ja nopeammin. Tämä koetaan alan yrityksissä merkittävänä kilpailutekijänä. Useat yritykset, jotka eivät ole vielä siirtyneet moniakseliseen valmistukseen ovat kuitenkin pakotettuja siihen siirtymään. Näin siksi, että valmistettavien tuotteiden monimutkaisuus lisääntyy jatkuvasti ja yrityksen on kilpailukyvyyn nimissä pysyttävä valmistusteknologian mukana. Muuten yrityksen ei ole taloudellisesti mahdollista toimia monimutkaisten tuotteiden valmistajana, sillä kilpailijat tekevät ne nopeammin, taloudellisemmin sekä laadukkaammin nykyaikaisilla työstökoneilla. Yrityksen on siis jossain vaiheessa siirryttävä moniakseliseen valmistukseen. Siirtyminen tähän tekniikkaan tapahtuu helpommin silloin, kun yrityksen työntekijöillä ja toimihenkilöillä on kokemusta moniakselisesta valmistuksesta. Insinööreille tämä osaaminen on erittäin tärkeää, sillä he ovat usein avainasemassa valmistusmenetelmistä päätettäessä. Insinööreillä on siis oltava kokemusta moniakselisen valmistuksen tuomista mahdollisuuksista, eduista ja hyödyistä.

Perinteiset valmistusmenetelmät hallitaan Suomessa, mutta moniakselisuus on usein haaste niin yrityksille kuin oppilaitoksillekin. Moniakselisia työstökoneita Suomen oppilaitoksissa on lukumääräisesti vähän ja näin ollen niiden käyttöaste olisi saatava tehokkaasti hyödynnettyä. Oppilaitoskäytössä olevia moniakselisiä työstökoneita tulisi opetella käyttämään eri koulutusasteilla, jolloin tietojen ja taitojen kehittyminen saatettaisiin kaikille työntekijä- ja toimihenkilötasolle. Tämä mahdollistaisi yrityksissä moniakselisten työstökoneiden nykyistä tehokkaamman käytön aina menetelmäsuunnittelusta konekohtaiseen operointiin. Yhdenkin koulutusasteen unohtaminen koulutuksesta jättää osaamisloven, jota on myöhemmin vaikea paikata.

Tampereen ammattikorkeakoululla ei ole aikaisemmin ollut mahdollisuutta kouluttaa insinöörejä moniakseliseen valmistukseen. Tampereen ammattiopistolla on tähän koulutukseen sopiva oppimisympäristö, jossa päätettiin toteuttaa insinöörien koulutusta tälle tärkeälle osaamisen alueelle.

Writer	Mika Heikkilä
Thesis	The utilization of multi-axis learning environment in engineering education
Pages	76 pages + 8 annexes
Date	September 2012
Tutor	Kaarlo Koivisto
Commissioner	Tampere College Kyösti Lehtonen

ABSTRACT

In recent year's multi-axis manufacturing has brought changes to Finnish workshops. The traditional two- or three-axis machining has been challenged by multi-axis manufacturing, the characteristics of which are insurmountable in comparison to the traditional manufacturing methods.

Multi-axis manufacturing allows more complex pieces to be produced more efficiently and faster. This is regarded in the industry as a major competitive factor. A number of companies which have not yet been transferred to multi-axis manufacturing are forced to move towards it. This is because the complexity of manufactured products is constantly increasing and the companies must keep up with the developing technology. Otherwise it's not economically feasible for the companies to manufacture complex products because competitors make them more quickly, more economically and with higher quality with modern machining tools. Therefore, the companies have to, at some point, move to multi-axis manufacturing. The transition to this technology will become easier when the employees and staff members have experience in multi-axial manufacturing. For engineers this know-how is of greatest importance as they tend to play a key role in determining the means of manufacturing in the first place. Engineers must therefore have experience in the opportunities, advantages and benefits of multi-axial production.

Traditional manufacturing processes are mastered in Finland but multi-axial processing is often a challenge for companies and educational institutions. There are very few multi-axial machining tools in Finnish schools and therefore their utilization should be more efficient. The multi-axial equipment at various schools should be used at different levels of vocational education and training and thus develop the knowledge and skills of all employee groups. This would enable the companies to use the machinery more efficiently from the design level to the production phase. To forget one level of

education and training will lead to deficiency in skills, which would later be difficult to fill.

Tampere University of Applied Sciences has not previously had the opportunity to train engineers in multi-axis manufacturing. Tampere College has a suitable learning environment, and it was decided to carry out the training of engineers in this important area of knowledge at this learning environment.

ESIPUHE

Tämän opinnäytetyö tarkoituksena oli selvittää moniakselisen valmistuksen sisältöä insinöörikoulutuksessa. Moniakselinen valmistus on jatkuvassa noususuunnassa ja osaaminen tällä koneistuksen sektorilla on insinöörin kannalta tärkeää. Koulutuksen sisältöä ja laajuutta selvitettiin yrityksille suunnatulla kyselyllä, jonka oli myös tutkimusaineisto. Tutkimusaineistosta analysoitiin insinööriopiskelijan moniakselisen koulutuksen tavoitteet, joihin koulutuksen pitää vastata. Moniakselinen valmistus on haastavaa, sillä kyseessä on laaja kokonaisuus, joka ei rajaudu vain johonkin tiettyyn konetyyppiin ja tekniikkaan. Tämä luo haastetta koulutukselle mutta myös opiskelijalle, jotta saavutetaan riittävä osaaminen laajasta alueesta.

Insinöörin moniakseliseen koulutukseen oli käytettävissä 28 oppituntia, joten koulutuksen sisältöä ja laajuutta tuli harkita tarkasti ja huolellisesti. Koulutuksen oli muodostettava ehjä kokonaisuus, jotta opiskelija saa selkeän kuvan moniakselisesta valmistuksesta. Yrityksiltä kerätyn aineiston pohjalta tärkeäksi osaamisalueeksi muodostui moniakselisen valmistuksen laaja-alainen hallinta. Tämä vaikutti alkuperäiseen suunnitelmaan, jossa tarkoitus oli pääasiassa hyödyntää Tampereen ammattiopiston moniakselista oppimisympäristöä. Tämä oppimisympäristö tarjoaa yhden mahdollisuuden moniakselisen valmistustekniikan opetukseen, eikä se näin ollen ole suoraan vastaus yritysten tarpeisiin.

Tämän työn tavoitteena oli luoda runko insinöörikoulutuksen sisällölle. Sisällöstä tuli laaja mutta myös kattava katsaus moniakselisen valmistuksen maailmaan, jossa haasteita riittää.

Haluan kiittää kaikkia minua auttaneita tahoja, erityisesti Tampereen ammattiopiston koulutusalojohtajaa Kyösti Lehtosta, joka antoi mahdollisuuden tämän opinnäytetyön tekemiseen. Kiitän myös opinnäytetyöni ohjaajaa diplomi-insinööri Kaarlo Koivistoa sekä YAMK- insinööri Tomi Niemistä saamastani tuesta.

Tampereella 19.9.2012

Mika Heikkilä

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO JA OPINNÄYTETYÖN TAVOITE	8
	Tavoitteet.....	9
2	TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU.....	10
	2.1 Ammattikorkeakoulut	10
	2.2 TAMK.....	10
	2.2.1 Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	11
	2.2.2 Modernit tuotantojärjestelmät.....	12
3	MONIAKSELINEN TYÖSTÖKESKUS	13
	3.1 Moniakselisen työstökoneen määritelmä	13
	3.2 Moniakselisen valmistuksen kehittyminen	13
	3.3 Moniakselisen työstön hyödyt	14
	3.4 Moniakselisen työstön haasteet.....	16
4	TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	18
	4.1 Tutkimussuunnitelman tarkoitus.....	18
	4.2 Tutkimussuunnitelman toteutus	18
	4.3 Kvalitatiivinen tutkimus ja sen piirteet	20
5	TUTKIMUSAINEISTO	21
	5.1 Tutkimusaineiston keräys	21
	5.2 Tutkimusaineiston keräysmenetelmät.....	22
	5.2.1 Kysely	22
	5.2.2 Havainnointi.....	23
	5.2.3 Dokumentit	24
	5.2.4 Haastattelu.....	24
	5.3 Kokemukset tutkimusaineiston keräyksestä	25
6	TUTKIMUSAINEISTON ANALYYSI.....	26
	6.1 Analyysin tavoitteet	26
	6.2 Analyysin tulkinta.....	27

6.3	Analyyysin tulokset	28
6.3.1	Moniakselinen valmistuksen työstökoneet	29
6.3.2	Työkappaleen kiinnitys.....	29
6.3.3	Työkalut.....	30
6.3.4	Valmistustekniikan hallinta	30
7	MONIAKSELISEN TYÖSTÖN INSINÖÖRIKOULUTUS.....	31
7.1	Opiskelijalta vaadittava osaaminen ennen koulutuksen aloittamista.....	31
7.2	Moniakselisen koulutuksen sisällön suunnittelu	32
7.3	Opetussuunnitelmat.....	32
7.4	Moniakselisen valmistuksen koulutuksen sisältö	33
8	KOULUTTAJIEN KOULUTUS	34
8.1	Kouluttajakoulutuksen tavoitteet	34
8.2	Koulutuksen sisältö	35
9	MONIAKSELISET TYÖSTÖKONEET	38
9.1	Moniakselisten työstökoneiden jako	38
9.2	Muut moniakseliset työstökoneet.....	38
10	MONIAKSELISET SORVIT	39
10.1	Määritelmä	39
10.2	Moniakselisten sorvien päätyypit.....	40
10.2.1	Yhdellä kallistuvalla työkalulla varustetut sorvit	40
10.2.2	Kahdella karalla varustetut sorvit	42
10.2.3	Alarevolverilla varustetut sorvit.....	44
11	MONIAKSELISET KONEISTUSKESKUKSET	45
11.1	Määritelmä	45
11.2	Satelliittipää.....	46
11.3	Universaalipää.....	47
11.4	Keinupöytä	49
11.5	Yhdistetty kääntyvä kara ja pyörivä pöytä.....	50
12	TYÖSTÖKONEEN VALINTA.....	52

12.1	Perusteet työstökoneen valinnalle	52
12.2	Kappaleen koon vaikutus	52
12.3	Kappaleen yksityiskohtien vaikutus.....	53
12.4	Sarjakoon vaikutus	53
13	UUDEN TYÖSTÖKONEEN VALINTA.....	54
13.1	Uuden työstökoneen hankinnan perusteet.....	54
13.2	Kappaleen vaikutus valinnalle	54
14	MILLOIN MONIAKSELINEN VALMISTUS KANNATTA.....	56
14.1	Moniakselisen työstökoneen käyttö	56
14.2	Työkappaleen kiinnitysten merkitys	56
14.3	Työkappaleen sarjakoon merkitys.....	56
14.4	Työkappaleen muotojen merkitys	57
14.5	Yhteenveto kannattavuudesta.....	57
15	TYÖKAPPALEEN KIINNITYS	58
15.1	Vakiokiinnittimet	58
15.2	Nollapistekiinnitysjärjestelmä ja sen osat	58
15.4	Nollapistekiinnitysjärjestelmän toimintaperiaate.....	60
15.4	Nollapistekiinnitysjärjestelmän käyttö.....	62
15.5	Nollapistekiinnitysjärjestelmän edut	63
15.6	Nollapistekiinnitysjärjestelmän haitat	64
16	ASETUKSET MONIAKSELISELLA TYÖSTÖKONEELLA	65
16.1	Työkappaleen kiinnittäminen.....	65
16.2	Kiinnittimet	66
16.3	Työkalujen kiinnittäminen	68
16.4	Pitkien työkalujen käyttö	68
16.5	Kutisteistukka.....	69
17	OPISKELU	70
17.1	Lähi- ja etätunnit	70

17.2 Käytettävissä olevat tuntiresurssit ja niiden käyttö.....	71
17.2 Seminaariesitys	71
17.3 Koneistaminen oppimisympäristössä.....	72
17.3 Vierailu yrityksessä.....	73
18 YHTEEVETO.....	73
18.1 Tavoite.....	73
18.2 Tulokset.....	73
18.3 Kehitettävää.....	74
LÄHTEET.....	75
LIITTEET	76

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK – Tampereen ammattikorkeakoulu

Moniakselinen valmistus – koneistusmenetelmä, jossa käytetään moderneja työstökoneita

Moniakselinen työstökeskus - työstökone, jossa terä liikkuu useamman kuin kolmen akselin suuntaan

Jyrsintä – työkalu pyörii ja työkappale pysyy paikallaan. Syöttöliikkeiden ansiosta saadaan lastuaminen aikaiseksi

Sorvaus – työkappale pyörii ja työkalu pysyy paikallaan. Syöttöliikkeiden ansiosta saadaan lastuaminen aikaiseksi

CNC – tietokoneen ohjaama työstökone

CAD – tietokoneavusteinen suunnittelu

CAM – tietokoneavusteinen valmistus

Ohjelmointi – työstöratojen valmistusta. Yleensä tällä ymmärretään ohjelmointia tietokoneen eli CAM- ohjelman avulla

Työstörata – työstökoneella tai CAM-ohjelmalla tehty ohjelma, joka määrittelee terän ja työkappaleen liikkeit

Työkappaleen kiinnitin – laite, jonka avulla työkappale kiinnitetään työstökoneeseen

Työkalun kiinnitin – osa, jonka avulla lastuava terä kiinnitetään työstökoneeseen

Kellottaminen – työkappaleen asettamista tarkasti haluttuun asentoon työstökoneelle.

Kellottamisessa käytetään mittakelloa, jonka tarkkuus on yleensä 0,01mm

Nollaleikkuu – työkalun keskiakselilla lastuamisnopeus putoaa nolnaan, joka erityisesti pallopäisillä työkaluilla vaikeuttaa koneistamista

Lastuamisnopeus – ilmoitetaan metreinä minuutissa (m/min) ja tarkoittaa nopeutta, jolla terä liikkuu pintaa pitkin. Halkaisijaltaan suuri työkalu pyörii hitaammin kuin pieni lastuamisnopeuden ollessa sama. Tyypillinen kovametalliterällä käytetty lastuamisnopeus on 150m/min

1 JOHDANTO JA OPINNÄYTETYÖN TAVOITE

Moniakselinen valmistus on muuttanut koneistamista viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävästi. Moniakselinen valmistus mahdollistaa ennen erittäin hankalina pidettyjen muotojen koneistamisen huomattavasti nopeammin ja tehokkaammin. Tämä on myös vaikuttanut kappaleiden suunnitteluun, sillä valmistuksen kehittyessä myös suunnittelu muuttuu. Tämä tarkoittaa yleensä monimutkaistuvia kappaleita, joiden valmistaminen taloudellisesti onnistuu ainoastaan moniakselisilla työstökoneilla. Näiden kappaleiden valmistaminen on pidettävä Suomessa ja se onnistuu osaamisen avulla. Muuten kappaleiden valmistus liukuu maan rajojen ulkopuolelle, josta löytyy osaavia tekijöitä kovan kilpailun luoman jatkuvan kehityksen seurauksena.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda TAMKin insinööriopiskelijoille moniakselisen koulutuksen runko, johon pohjautuen moniakselisen valmistuksen koulutus toteutetaan. Koulutuksen sisällöllisen rungon tuli täyttää yritysten tarpeet. Tämä vaikutti siten, että opinnäytetyön aloittamisesta alkaen oli selvillä, että yrityksiltä oli kerättävä tietoa koulutuksen sisällöstä. Tutkimusaineiston kokoamisen jälkeen se analysoitiin, jolloin saatiin selville ne näkökulmat, joita yritykset pitivät tärkeinä osa-alueina insinööriopiskelijoiden moniakselisen valmistuksen koulutuksessa. Analysoitu aineisto ja sen vertaaminen TAMKin opetussuunnitelmiin johtivat koulutuksen rungon syntymiseen.

Moniakselinen valmistus on käsitteenä laaja ja sisältää pelkästään työstökoneiden rakenteellisia eroja tarkastellen useita erilaisia menetelmiä. Näiden lisäksi on tunnettava vielä muut valmistukseen tarvittavat välineet, jotta kokonaisuus on toimiva ja valmistuksen kannalta kustannustehokas.

Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda TAMKin insinööriopiskelijoiden moniakseliseen koulutukseen koulutusrunko. Koulutuksessa oli otettava huomioon moniakselisen valmistuksen laaja-alaisuus sekä menetelmien monipuolisuus. Näin ollen koko koulutuksessa ei voinut käyttää vain yhtä käytössä olevaa moniakselista työstökoneetta, sillä vaatimuksena oli tekniikan mahdollisimman laaja tunteminen.

Tavoitteena oli luoda kattava koulutuspaketti, jossa huomioidaan työstökoneet, menetelmät, kiinnittimet, työkalut sekä taloudellisuus.

2 TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

2.1 Ammattikorkeakoulut

Suomen korkeakoulujärjestelmä muodostuu tiede- ja taidekorkeakouluista (yliopistot) sekä ammattikorkeakouluista (www.tamk.fi).

Ammattikorkeakouluilla ja yliopistoilla on toisistaan poikkeavat profiilit ja tehtävät. Ammattikorkeakoulujen toiminnassa korostuu yhteys työelämään ja alueelliseen kehittämiseen. Niissä suoritettavat tutkinnot ovat ammatillispainotteisia korkeakoulututkintoja (www.tamk.fi).

Ammattikorkeakoulujen tehtävänä on antaa korkeakouluopetusta ammatillisiin asiantuntijatehtäviin. Opetus perustuu työelämän ja sen kehittämisen vaatimuksiin sekä tutkimukseen ja taiteellisiin lähtökohtiin. Lisäksi ammattikorkeakoulut harjoittavat soveltavaa tutkimus- ja kehitystyötä, joka palvelee opetusta sekä tukee alueen kehitystä, elinkeinoja ja työelämää (www.tamk.fi).

2.2 TAMK

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) tarjoaa koulutusta noin 10 000 opiskelijalle seitsemällä koulutusalueella. TAMK toimii Tampereen lisäksi Ikaalisissa, Mänttä-Vilppulassa ja Virroilla (www.tamk.fi).

Opetus TAMKissa painottuu erityisesti tekniikkaan, hyvinvointipalveluihin sekä liiketalouteen, matkailuun ja kulttuuriin. Osana TAMKia toimii myös Tampereen ammatillinen opettajakorkeakoulu, jossa voi suorittaa opettajan ja ammatillisen erityisopettajan kelpoisuuden. Lisäksi TAMK tarjoaa monipuoliset mahdollisuudet osaamisen ylläpitämiseen erilaisissa täydennyskoulutusohjelmissa (www.tamk.fi).

Ammattikorkeakoulun tehtäviin kuuluu myös soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta sekä työelämälähtöinen palvelutoiminta (www.tamk.fi).

2.2.1 Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Suuri osa Suomen viennistä koostuu koneenrakennuksen tuotteista, joiden suunnittelu ja tuotannon johtaminen kuuluu koneinsinööreille. Tampere on merkittävä liikkuvien työkoneiden sekä energialaitosten ja ympäristöteknologiateollisuuden keskus. Koulutusohjelma tuottaa sekä suunnitteluosaamista että tuotantoteknistä osaamista tämän teollisuuden palvelukseen (www.tamk.fi).

Koneinsinöörit työskentelevät sekä tuotannon, automaation ja koneiden suunnittelutehtävissä että suunnittelu-, tuotanto-, kehitys-, käyttö-, kunnossapito-, markkinointi-, ja johtotehtävissä konepajateollisuudessa, suunnittelutoimistoissa, teknisen kaupan piirissä ja yksityisyrittäjinä (www.tamk.fi).

Kone- ja tuotantotekniikan tarkoituksena on luoda tehokkaat apuvälineet elinympäristömme toimintojen toteuttamiseksi. Nämä tekniikan alat vapauttavat ihmisen toistuvista, raskaista ja terveydelle haitallisista töistä sekä mahdollistavat keskittymisen ohjaus- ja suunnittelutoimintoihin. Hyvin toimivilla koneilla voidaan vähentää energiankulutusta. Tällä on keskeinen merkitys luonnonvarojen säästämässä. Sekä teollisuudessa että yksityiskäytössä tarvittavien koneiden ja laitteiden suunnittelussa, valmistuksessa ja kunnossapidossa arvoperustana ovat korkea laatu, turvallisuus, tarkoituksenmukaisuus, toimivuus ja asiakastyytyväisyys. Yhtä tärkeitä arvopäämääriä ovat myös käytön helppous, miellyttävä ulkonäkö, ergonomia, kierrätyksen järjestäminen ja ympäristönormien täyttäminen (www.tamk.fi).

Kaksi ensimmäistä opiskeluvuotta painottuvat luonnontieteellisiin perusteisiin eli fysiikkaan ja matematiikkaan ja toisaalta konetekniikan perusammattiaineisiin kuten statiikkaan, lujuusoppiin, koneenosaoppiin ja tietokoneavusteiseen piirtämiseen ja mallintamiseen. Toisaalta peruslaboraatiot hitsauksesta, koneistuksesta, koneenasennuksesta ja koneautomaatiosta ovat antaneet monenlaisia käytännön valmiuksia. Ensimmäisten opiskeluvuosien jälkeen opiskelija selviytyy jo monista koneenrakennuksen perustehtävistä, liittyivätpä ne sitten asennukseen, koneistukseen tai perussuunnitteluun (www.tamk.fi).

Ammattiaineiden opiskelu aloitetaan toisen opiskeluvuoden keväällä ja niitä jatketaan sitten kolmantena ja neljäntenä opiskeluvuotena seuraavin osaamistavoittein: Kone- ja laiteautomaation opiskelija hallitsee automaattisten koneiden ja laitteiden sekä erilaisten mekatronisten tuotteiden ja komponenttien kehittämisen, suunnittelun, tuotannon ja myynnin ja pystyy toimimaan projektiluonteisissa tehtävissä eri kehityshankkeissa (www.tamk.fi).

Lentokonetekniikan opiskelija voi toimia lentokoneiden avioniikan, kunnossapidon, komposiittirakenteiden valmistuksen tai suunnittelun tehtävissä. Tuotekehitykseen suuntautunut opiskelija hallitsee tuotesuunnittelun periaatteet ja tietokoneavusteiset suunnittelumenetelmät sekä tuotteen markkinoille saattamisen eri vaiheet (www.tamk.fi).

Moderneihin tuotantojärjestelmiin suuntautuneella opiskelijalla on näkemys nykyaikaisesta konepajatekniikasta ja -automaatiosta. Hän on perehtynyt tietokoneavusteiseen tuotantoon, joustaviin valmistusjärjestelmiin (FMS) sekä tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen (www.tamk.fi).

2.2.2 Modernit tuotantojärjestelmät

Tuotantotekniikan ja tuotantojärjestelmien parissa työskentelevä insinööri kehittää tuotantomenetelmiä ja valmistusta sekä ohjaa tuotantoa. Kustannustehokas tuotanto piensarja- ja yksittäistuotannossa sekä laatu ja tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus ovat avainsanoja tuotantoautomaation ohella (www.tamk.fi).

Modernien tuotantojärjestelmien suuntautumisen tavoitteena on antaa opiskelijalle laaja näkemys nykyaikaisesta konepajatekniikasta ja -automaatiosta sekä valmiudet toimia tuotantoon ja valmistukseen liittyvissä kehitys-, ohjaus- ja esimiestehtävissä. Opiskelija perehtyy syvällisesti tietokoneavusteiseen tuotantoon, joustaviin valmistusjärjestelmiin (FMS), tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaukseen. Tuotantotekniikan asiantuntijalla tulee olla osaamista myös laadunvarmistuksesta, mittaustekniikasta, materiaalitekniikasta, CAD/CAM- ohjelmoinnista sekä työvälinsuunnittelusta (www.tamk.fi).

3 MONIAKSELINEN TYÖSTÖKESKUS

3.1 Moniakselisen työstökoneen määritelmä

Moniakselisella työstökoneella tarkoitetaan työstökonetta, jossa työkalua, elektrodia tai hiomalaikkaa ja työkappaletta liikutetaan toisiinsa nähden useamman kuin kahden tai kolmen akselin suunnassa samaan aikaan tai erikseen. Hyvin usein nämä liikkeet voidaan toteuttaa samanaikaisesti kaikkien akseleiden kesken, mutta on myös ns. indeksoivia akseleita, joissa paikoitus tehdään ennen työstön aloittamista. Indeksoiva paikoitus voi tapahtua täysin portaattomasti tai se saattaa olla jaettu sektoreihin, jotka ovat suuruudeltaan esimerkiksi 2 astetta. Työstökoneiden liikkeet toteutetaan tietokoneen ohjaamina, jolloin niitä kutsutaan CNC-työstökoneiksi. CNC-työstökoneet mahdollistavat automatisoidun ja miehittämättömän valmistuksen ja niiden toistotarkkuus, monipuolisuus ja suorituskyky ovat ylivertaisia muihin koneisiin nähden. Manuaalikoneiden käyttö rajoittuu nykyään lähinnä yksittäis- ja piensarjatuotantoon sekä apukoneistuksiin.

Tässä opinnäyteyössä moniakselisella työstökoneella tarkoitetaan työstökonetta, jossa lastuaminen tapahtuu työkalun avulla. Kipinätyöstökoneet (elektrodi) ja hiomakoneet on siis rajattu aihealueen ulkopuolelle.

3.2 Moniakselisen valmistuksen kehittyminen

Moniakselinen työstö on kehitetty yleensä vaikeiden ja paljon aikaa vievien kappaleiden valmistukseen, jossa moniakselisella valmistustekniikalla työstöaikoja on voitu lyhentää usein huomattavasti. Tekniikka yleistyi hiljalleen 1990-luvulla ja 2000-luvun aikana se saavutti selvän aseman suomalaisissa konepajoissa. Moniakselisten työstökoneiden kehitys on jatkuvaa, mutta uusia mullistavia konstruktioita ei ole viime vuosina kuitenkaan esitelty. Kehitystä on sen sijaan tapahtunut työstökoneiden liikenopeuksissa, tarkkuuksissa ja käyttöominaisuuksissa. Liikenopeudet ovat kehittyneet 1990-luvun 5 m/min nopeudesta tämän päivän 60 m/min nopeuteen. Liikenopeuksien kehitys on siis ollut nopeaa ja kun samanaikaisesti työstökoneiden liikkeiden toistotarkkuudet ovat parantuneet alle 0,01 mm:iin. Käyttäjien kannalta oleellinen muutos on käyttöliittymien kehittyminen entistä monipuolisemmiksi, käyttäjäystävällisemmiksi ja

havainnollistavammiksi. Tämä lisää työn tuottavuutta, tehokkuutta, joustavuutta ja motivaatiota työtä kohtaan.

Moniakselisia työstökoneita on lähes jokaisella työstön osa-alueella. Näitä ovat hionta, sorvaus, jyrshintä ja kipinätyöstö. Tässä työssä keskitytään moniakseliseen jyrshintään ja sorvaukseen sekä niiden vaatimuksiin. Jyrsinnässä käytössä olevista CNC-työstökoneista käytetään yleisnimitystä koneistuskeskus, jolloin moniakselinen CNC-jyrsin on ns. moniakselinen koneistuskeskus. Sorvauksessa puolestaan puhutaan sorvauskeskuksista.

3.3 Moniakselisen työstön hyödyt

Moniakseliset työstökeskukset ovat luoneet uusia mahdollisuuksia entistä monimutkaisempien kappaleiden taloudelliseen valmistukseen. Siinä, missä perinteisellä tekniikalla työkappaletta on jouduttu irrottamaan kiinnityksestä ja kääntämään uuteen asentoon seuraavaa koneistusta varten, tapahtuu tämä moniakselisella työstökoneella hyödyntämällä koneen akseleiden kiertoliikkeitä. Näin ollen työkappale kiinnitetään vain yhden kerran ja koneistaminen tapahtuu työstökeskuksen ominaisuuksia hyödyntämällä. Tällä saavutetaan huomattavaa ajansäästöä, koska ns. ylimääräinen työkappaleen kellottaminen jää pois. Kellottaminen on hidas työvaihe, joka varaa työstökeskuksen kapasiteettia eikä ole tuottavaa työtä.

Monimutkaisten työkappaleiden kiinnittäminen saattaa viedä enemmän koneaikaa kuin itse koneistaminen, joten siihen kulutetulla ajalla on taloudellista merkitystä. Mikäli käytössä on esiasetuslaite työkappaleiden kiinnittämiseen, muuttaa tämä asiaa parempaan suuntaan. Tässä tapauksessa työkappaleiden kiinnittäminen tapahtuu työstökeskuksen ulkopuolella, jolloin työstökoneen kapasiteetti voidaan hyödyntää koneistamiseen lähes täysimääräisesti. Tällainen tilanne on kuitenkin harvinainen, sillä esiasetuslaitteet ovat arvokkaita ja niillä saavutettava hyöty on kuitenkin usein riittämätön kattamaan investointia. Joka tapauksessa moniakselisella työstökeskuksella todellinen työstöaika työkappaleiden kiinnitysten välillä on huomattavasti pidempi kuin perinteisellä kolmen akselin työstökeskuksella.

Toinen etu moniakselisestä työstökeskuksesta on parantunut työstötarkkuus. Koska kaikki työstö tehdään yhden ja saman kiinnityksen aikana, ei kiinnityksistä pääse aiheutumaan mittavirheitä. Ainoat mittavirheet eri suuntien koneistuksista voivat johtua

näin ollen työstökeskuksen toistotarkkuudesta tai käyttäjän aiheuttamasta virheestä, joka yleensä on ohjelmointivirhe. Mikäli kaikki muut asiat konetta lukuun ottamatta on todettu ja testattu, jää ainoaksi virhemahdollisuudeksi työstökeskuksen toistotarkkuus. Tämän parantamiseksi on menetelmiä, joilla työstökoneen tarkkuutta voidaan mitata ja todettujen virheiden mukaan koneen mekaniikkaa tai ohjelmistoa tai molempia korjataan tarpeen mukaan (kuva 1). Moniakseliset työstökeskukset kuuluvat yrityksissä yleensä ns. avainkoneisiin, jolloin ne ovat vuosihuollon piirissä. Vuosihuolto sisältää koneen huollon lisäksi koneen mittaamisen, jonka avulla koneen ominaisuudet ja kunto voidaan varmentaa ja pitää yllä.



Kuva 1. Kuvassa on työstökoneen liikkeiden tarkistukseen tarkoitettu mittalaite. Kuva www.edufix.fi

Monimutkaisten muotojen koneistus ei onnistu yhdellä työkappaleen kiinnityksellä kolmen akselin koneistuskeskuksella. Kolmen akselin työstökoneessa akseleiden lukumäärä ei riitä siihen, että työkalu saadaan pidettyä jatkuvasti optimaalisessa asennossa koneistettavaan pintaan nähden. Kartiohammaspyörän jyrshintä on tästä hyvä esimerkki (kuva 2).



Kuva 2. Kuvassa on kartiohammaspyörän valmistus moniakselisellä työstökoneella. Kuva www.gearsolutions.fi

Kartiohammaspyörän koneistuksen vaatimuksiin ei riitä, että työstökeskuksessa on vain kolme käytettävää akselia. Näiden lisäksi työstökeskuksen pöydän pitää olla pyörivä, jolloin koneistuksen aikana työkappaletta voidaan pyörittää oikeassa asennossa työkaluun nähden. Tämä on työstökoneen neljäs akseli. Viides akseli on työkalun kallistusakseli, joka mahdollistaa työkalun asennon muuttamisen suhteessa koneistettavaan työkappaleeseen. Näiden viiden akselin ansiosta työkalua voidaan pitää jatkuvasti optimaalisessa asennossa työkappaleeseen nähden. Hammaspyörien koneistuksessa tämä on erittäin tärkeää, koska työkalu on usein muotoiltu hammaspyörän moduulin mukaisesti ja näin ollen väärä työkalun asento aiheuttaa muotovirheen hammaspyörään. Rouhinnassa usein käytetään standardijyrsimiä ja niiden käytössä viidestä akselistä on myös hyötyä, sillä työkalujen asento voidaan pitää vakiona työkappaleeseen nähden eikä ns. nollaleikkuuta pääse missään vaiheessa syntymään. Pallopäinen työkalu on tässä kaikkein ongelmallisimman, sillä sen kärjessä on nollaleikkuu aina. Kallistamalla pallopäistä työkalua menosuunnasta hieman pois päin saadaan nollaleikkuu eliminoitua ja moniakselisella työstökoneella tämä onnistuu jokaisessa tilanteessa. Samalla työkalun kestoikä pitenee ja työstöjälki sekä työstön tarkkuus paranevat.

3.4 Moniakselisen työstön haasteet

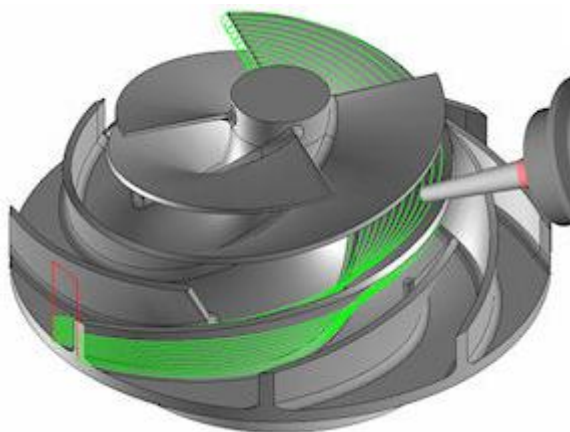
Moniakselinen työstö ei lastun irrotuksen periaatteelta poikkea muusta työstöstä. Eli työkalun syöttöliikkeen avulla kovempina materiaalina se tunkeutuu työstettävään työkappaleeseen ja irrottaa materiaalia lastun muodossa. Lastuaminen on periaatteeltaan siis yksinkertaista. Kolmen akselin työstöä on käytetty kymmeniä vuosia ja siihen löytyy osaamista ja kokemusta runsaasti, eikä sitä pidetä kovin haasteellisena nykyään. Toki on tilanteita, joissa asiat eivät etene, kuten on ajateltu. Usein kyseessä ovat uudet, ennen kokemattomat materiaalit, joiden työstö osoittautuu haasteelliseksi.

Moniakselisessa työstössä tilanne onkin sitten toisin, sillä ohjelmoitsijan ja työstökoneen käyttäjän näkökulmasta tilanne on huomattavasti monimutkaisempi. Moniakselisessä työstössä muuttuvia tekijöitä on huomattavasti enemmän kuin kolmen akselin työstössä. Lisäakseleiden mukaantulo mahdollistaa täysin uudet koneistusmenetelmät, joita kolmen akselin työstö ei mahdollista. Näitä ovat esimerkiksi työkappaleen työstö viideltä sivulta yhden kiinnityksen aikana, terän kallistus pinnan

normaalin tai tietyn kulman mukaisesti työstön aikana ja viiden akselin samanaikainen liike työstön aikana. Näin ollen kolmen akselin työstön tai ohjelmoinnin hallitsija ei opi ilman koulutusta ja harjoittelua toimimaan moniakselisella työstökeskuksella.

Useat yritykset tekevät moniakselisten työstökoneiden ohjelmointia ainoastaan CAM-ohjelmilla. Syy tähän on se, että työstökeskuksen oman ohjauksen ominaisuudet riittävät yleensä vain siihen, että paikoitetaan työkalu ja työkappale tiettyyn asentoon ja työstetään. Mikäli terää tai työkappaletta pitäisi työstön aikana kääntää, ei työstökeskuksen oman ohjauksen ominaisuudet mahdollista tätä. Ainoa mahdollisuus suorittaa ohjelmointi on siis CAM-ohjelma. Jotta CAM-ohjelmointi olisi tehokasta ja tuottavaa, pitää ohjelmoitsijan tuntea CAM-ohjelman lisäksi työstökeskuksen ominaisuudet, työkalut ja työkappaleen ominaisuudet kiinnitystä myöden. Tämä kaikki vaatii siis työstökeskuksen ohjelmoitsijalta laajaa osaamista, jotta työstökeskuksen ominaisuuksia voidaan hyödyntää täysimääräisesti ja tehokkaasti.

Usein suurimmat ongelmat moniakselisessä työstössä rajoittuvat ohjelmointiin eli työstökoneen oman ohjauksen tai CAM-ohjelman käytön osaamattomuuteen. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että ei hallita työstökoneen akseleiden kääntöjä siten, että työkalu saadaan kulkemaan ohjelmoitsijan toivomaa rataa myöden. CAM-ohjelmoinnissa on lisäksi hallittava työkalun kallistaminen haluttuun asentoon, sillä tämä on merkittävä lopputuloksen ja työkalun kulumisen kannalta. Tähän liittyy hyvin erilaisia tilanteita ja ratkaisuja, jotka ovat pitkälti riippuvaisia käytetystä CAM-ohjelmasta. Joka tapauksessa, oli ohjelma mikä tahansa, haasteita on riittävästi. Hyvin yleinen tilanne moniakselisen työstökeskuksen ohjelmoinnissa on, että työkalu kulkee urassa työkappaleen sisällä kulmaan kallistettuna. Työkalun on seurattava kyseistä uraa, on sen muoto mikä tahansa. Väärä kallistussuunta johtaa törmäykseen, joka hajottaa sekä työkappaleen että työkalun (kuva 3).



Kuva 3. Kuvassa työkalu seuraa työkappaleen muotoja moniakselisesti. Kuva www.surfcam.com

4 TUTKIMUSSUUNNITELMA

4.1 Tutkimussuunnitelman tarkoitus

Jokainen tutkimus vaatii tutkimussuunnitelman. Tutkimussuunnitelma saattaa olla toteutettu pitkällisen ajattelun ja pohdinnan tuloksena tai se saattaa olla vain suunnitelma tekijänsä ”pään sisällä”. Molemmat ovat tutkimussuunnitelmia mutta niiden toteutustapa on täysin toisistaan poikkeava. Tutkimussuunnitelma saattaa olla myös tarkka suunnitelma aikatauluineen ja mittareineen, joiden avulla seurataan ja valvotaan tutkimuksen edistymistä sekä aikataulussa pysymistä. Huolellisestikaan laadittu tutkimussuunnitelma ei kuitenkaan aina pysy asetetuissa tavoitteissa, vaan sitä joudutaan toisinaan muokkaamaan. Tästä syystä tutkimussuunnitelmaa ei pitäisi laatia optimistiseksi, koska ongelmia tulee yleensä aina jossakin vaiheessa. Tutkimussuunnitelmalle olisi jätettävä liukumavaraa, joka voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön lopputuloksen kärsimättä.

Mikäli tutkimussuunnitelma on laadittu asiantuntemuksella ja etukäteen on varauduttu ennalta arvaamattomiin tilanteisiin, tarkoittaa se yleensä sitä, että liukumavaraa ei tarvitse käyttää. Tämä on tutkimuksen onnistumisen kannalta huomion arvoista, sillä kiireen vaikutus näkyy yleensä myös tuloksellisuudessa.

4.2 Tutkimussuunnitelman toteutus

Heti alkuun on todettava, että tutkimus oli vain osa tätä työtä eikä näin ollen ollut niin keskeisessä asemassa kuin usein esimerkiksi pro gradu tutkielmissa. Työn aiheena oli moniakselinen valmistus insinöörikoulutuksessa ja siinä tutkimuksen osuus oli yritysten näkemysten, kokemusten ja mielipiteiden huomioonottaminen koulutuksen suunnittelussa ja siten sen sisällössä. Tämä toteutettiin siten, että moniakselista valmistusta harjoittavista yrityksistä kerättiin tutkimusaineisto, jonka perusteella esille nousseet näkökulmat pyrittiin huomioimaan koulutuksen suunnittelussa niiltä osin kuin mahdollista.

Tämän työn tutkimussuunnitelman laadinta aloitettiin syksyllä 2011. Alkuun se oli vain suuntaviivoja, joita ei kuitenkaan saatu paperille. Tämä johtui pääasiassa siitä, että työn tekijä ei pystynyt keskittymään riittävästi tutkimussuunnitelman laadintaan työ- ja vapaa-ajan kiireiden vuoksi. Vasta marraskuussa 2011 keskittyminen tutkimussuunni-

telman luomiseen alkoi tuottaa tyydyttäviä tuloksia, jolloin ensimmäisenä syntyi alustava opinnäytetyön sisällysluettelo. Tämä oli ”raakile”, mutta sellaisenaan tyhjää parempi. Sisällysluettelon perusteella ajatukset työstä kokonaisuutena alkoivat hahmottua.

Marraskuun lopulla 2011 pidettiin opinnäytetyön tiimoilta kokous Tampereen ammattikorkeakoululla, jossa läsnä olivat opinnäytetyön tekijän lisäksi työn ohjaaja, osastonjohtaja sekä vastuukouluttaja. Tämän kokouksen tuloksena työn tekijän ajatukset ”kirkastuivat” ja opinnäytetyö sai uuden suunnan ja tavoitteen. Tätä ennen olivat opinnäytetyön tekijän omat ajatukset ja kokouksessa esille tulleet tavoitteet poikenneet toisistaan merkittävästi. Kokouksen jälkeen työ sai selkeän ajatuksen siitä eli kuinka laajentaa yhteistyötä Tampereen ammattikorkeakoulun ja Tampereen ammattiopiston moniakselisen työstökoneympäristön välillä. Tätä ennen työn tekijä oli keskittynyt lähinnä siihen, mitä insinööriopiskelijoille tulisi kouluttaa moniakselisesta valmistuksesta.

Tämän kokouksen pohjalta laadittiin uusi opinnäytetyön sisällysluettelo ja johdanto, joita työn tekijä piti riittävänä tutkimussuunnitelmana tälle työlle. Tähän vaikutti myös se, että työn tekijällä oli samanaikaisesti myös muita työtehtäviä sen verran runsaasti, että laadituissa aikataulutavoitteissa ei olisi uskottu pysyvän eikä näitä näin ollen valmisteltu sen tarkemmin. Opinnäytetyölle tavoitteena oli, että valmista pitäisi olla keväällä 2012.

Toisaalta tutkimuksena tämä työ ei ole kovinkaan laaja, joten ei nähty tarvetta syvällisen tutkimussuunnitelman laadintaan. Näiden syiden perusteella päädyttiin siihen, että tutkimussuunnitelma koostuu sisällysluettelosta, johdannosta sekä työn tekijän ajatuksista. Kvalitatiiviselle tutkimukselle on myös tyypillistä, että tutkimussuunnitelma muuttuu tutkimushankkeen mukana (Johdatus laadulliseen tutkimukseen 1998, 15). Tässä opinnäytetyössä oli myös periaatteena, että ei ollut ”tiukkoja” rajoja, joiden sisällä oli pysyttävä. Haluttiin siis antaa mahdollisuus tutkimuksen ja päätelmien avulla ilmaantuville yllättäville ajatuksille, jotka johtaisivat työtä yllättävään suuntaan. Tämä ajatus antoi siis mahdollisuuden pitäytyä suuntaa antavassa tutkimussuunnitelmassa.

4.3 Kvalitatiivinen tutkimus ja sen piirteet

Lähtökohtana kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa on todellisen elämän kuvaaminen, johon sisältyy ajatus, että elämä on moninainen (Tutki ja kirjoita 2000, 152). On kuitenkin huomioitava, että todellisuutta ei voi pirstoa mielivaltaisesti osiin, sillä tapahtumat muovaavat toinen toisiaan ja näin ollen on mahdollista löytää toisenlaisia suuntia. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa myös pyritään tutkimaan kohdetta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti (Tutki ja kirjoita 2000, 152).

Alla on kuvattu kvalitatiivisen tutkimuksen piirteitä (Tutki ja kirjoita 2000, 155). Alla olevista piirteistä valtaosa, elleivät jopa kaikki kohdat, toteutui tässä tutkimustyössä.

- Tutkimus on luonteeltaan kokonaisvaltaista tiedon hankintaa ja aineisto kootaan luonnollisissa, todellisissa tilanteissa.
- Suositaan ihmistä tiedonkeruun instrumenttina. Tutkija luottaa enemmän omiin havaintoihinsa ja keskusteluihin tutkittavien kanssa kuin mittavälineillä hankittavaan tietoon.
- On paljastaa odottamattomia seikkoja, jolloin mahdollisuutena on aineiston monitahoinen ja yksityiskohtainen tarkastelu.
- Suositaan menetelmiä, joissa tutkittavan näkökulmat ja ääni pääsevät esille.
- Valitaan tarkoituksenmukainen kohdejoukko.
- Tutkimussuunnitelma muotoutuu tutkimuksen edetessä.
- Käsitellään tapauksia ainutlaatuisina ja tulkitaan aineistoa sen mukaisesti.

Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa keskitytään usein pieneen määrään tapauksia ja pyritään analysoimaan niitä mahdollisimman perusteellisesti (Johdatus laadulliseen tutkimukseen 1998, 18). Näin ollen oleellista ei ole kerätyn aineiston määrä vaan se, että kerätty aineisto on laadukasta ja kattavaa. Laadullisessa tutkimuksessa ei ole ennakkoon päätettyjä olettamuksia tutkittavasta kohteesta tai asiasta, vaan kaikille näkemyksille pitää olla avoimia. Tämä antaa kvalitatiiviselle tutkimukselle hyvät mutta samalla haastavat lähtökohdat, sillä kerätty aineisto saattaa tuoda esille odottamattomia näkökulmia. Nämä saattavat johdattaa tutkimusta ennako-odotuksista poikkeavaan suuntaan, mikä saattaa olla tutkijalle haasteellista.

Tähän työhön kvalitatiivisen tutkimuksen piirteet sopivat erinomaisesti, koska tutkimuksen aineistoa kerättiin yrityksiltä ja yrityksen sisällä niiltä henkilöiltä, jotka

olivat tutkimuksen aihealueen ammattilaisia ja olivat siis tekemisessä moniakselisen valmistuksen kanssa. Tutkimuksen tarkoitus oli etsiä osaamisalueita, joita ei muuten olisi otettu koulutuksen suunnitteluun mukaan. Tämä toteutui tutkimuksen avulla mutta hieman eri tavalla kuin alun alkaen oli ajateltu. Tutkimuksen avulla saatiin nimittäin selville, että alun perin koulutuksen sisällössä merkittävään rooliin ajateltua osaamisaluetta ei koettu ollenkaan oleelliseksi yrityksissä. Tämä muutti koulutuksen suunnittelun lähestymistä ja koulutuksen sisältöä huomattavasti.

5 TUTKIMUSAINEISTO

5.1 Tutkimusaineiston keräys

Tutkimusaineisto kerättiin kahdeksasta pääasiassa Pirkanmaalla toimivista yrityksistä yhtä lukuun ottamatta. Kyseinen yritys haluttiin mukaan, sillä yrityksellä oli pitkäaikainen kokemus moniakselisten työstökoneiden käytöstä ja joltain osin yrityksen toiminta on jopa pyrkinyt ohjaamaan suomalaista valmistusta mieleiseensä suuntaan.

Aineiston keruun yhteydessä yrityksille luvattiin, että ne esiintyvät aineistossa anonymieinä, ja näin myös toimittiin. Aineiston keräykseen osallistui kaikkiaan seitsemän yritystä, jotka kaikki käyttävät moniakselisiä työstökoneita. Näitä koneita saattoi olla yrityksessä yksi tai useampi, mutta sen kokemuksen kautta yrityksillä oli näkemys kyseisen tekniikan vaatimuksista niin käyttäjille kuin toimihenkilöille. Lähes jokainen näistä yrityksistä käytti moniakselisen työstökoneen ohjelmointiin CAM-ohjelmaa. Tämän ohjelman kautta yrityksille muodostunut kokemus oli tärkeä osa tätä tutkimusta, sillä se ratkaisi työstökoneen oman ohjauksen opiskeluun käytettävän koulutusajan keston. Aineiston keruuseen valitut yritykset valmistavat moniakselisillä työstökoneilla mitä erilaisimpia tuotteita moneen eri käyttökohteeseen. Yritykset olivat jossain määrin toistensa kilpailijoita mutta tämä ei käynyt esille haastatteluiden suorituksen aikana, sillä yritysten nimiä ei mainittu missään yhteydessä. Yksi asia olisi kuitenkin kaikkialla sama: moniakselisen työstökoneen merkitys yritykselle. Jokainen yritys nimittäin piti kyseistä tai kyseisiä työstökoneita yrityksen toiminnan kannalta oleellisen tärkeinä. Jotkut yritykset olivat jopa muuttaneet toimintatapaansa moniakselisten työstökoneiden myötä.

Yritykset suhtautuivat aineiston keräämiseen erittäin positiivisesti, ja jokainen tavoitteeksi asetettu yrityshaastattelu myös toteutui. Positiivista aineiston keräämisestä teki myös se, että yritykset toivat esiin näkemyksiään ja kokemuksiaan hyvin avoimesti. Näin ainakin aineiston kerääjä asian saattoi tulkita.

5.2 Tutkimusaineiston keräysmenetelmät

Aineiston keräämistä varten laadittiin kyselylomake (liite 1). Ennen aineiston keräämistä kyselylomake lähetettiin kommentoitavaksi Teknologiateollisuus ry:lle, josta lomakkeen sisältöä kommentoitiin pääasiassa lauserakenteiden ja päällekkäisyyksien korjaamiseksi. Teknologiateollisuudelta kommentteja pyydettiin siksi, että he ovat teollisuuden kanssa jatkuvassa yhteistoiminnassa ja heidän avulla saatettiin tutkia kysymysten tulkinnanvaraisuutta. Kyselylomakkeen korjaamisen jälkeen saatettiin aloittaa aineiston kerääminen.

Aineistoa tutkimukseen voi kerätä monella eri tavalla riippumatta tutkimuksen aiheesta. Aineiston keruun perusmenetelmät ovat kysely, haastattelu, havainnointi ja dokumentit (tutki ja kirjoita 2000, 178). Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa haastattelu on päämenetelmä aineiston keräyksessä (tutki ja kirjoita 2000, 192). Tämän opinnäytetyöhön tutkimusmenetelmäksi valittiin kvalitatiivinen tutkimus, johon palataan myöhemmin, mutta osa aineistosta kerättiin kyselyn avulla. Kaikilta haastatteluun valituilta henkilöiltä ei löytynyt haastattelulle sopivaa ajankohtaa ja näin ollen he täyttivät kyselylomakkeen heille parhaiten sopivana ajankohtana. Kuitenkin haastattelua olisi haluttu käyttää jokaisen henkilön kanssa, koska siten saadaan yleensä aineiston kerääjän mielestä parhaat tulokset. Seuraavaksi on kuvattu lyhyesti erilaiset aineistonkeruun menetelmät.

5.2.1 Kysely

Kysely on aineiston keruussa kaikkein suosituin menetelmä. Kyselytutkimuksen etuna pidetään yleensä sitä, että sen avulla voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto (Tutki ja kirjoita 2000, 182). Tämä toteutuu jakamalla kyselylomake laajalle joukolle henkilöitä ja sen avulla voidaan kysellä myös monia asioita, kunhan kysymykset esitetään riittävän yksiselitteisesti, jotta vältetään väärinymmärryksiä. Kyselyn suorittaminen on yleensä

helppoa, sillä lomakkeen voi lähettää kohdehenkilöille postin tai sähköpostin kautta tai vaihtoehtoisesti jakaa esimerkiksi kauppakeskuksessa kyselyyn osallistuville (Tutki ja kirjoita 2000, 182).

Kyselyssä kohdataan usein seuraavia ongelmia:

- ei ole mahdollista varmistua siitä, kuinka vakavasti vastaajat kyselyyn suhtautuvat
- on myös mahdollista, että vastaaja ei ole täysin ymmärtänyt kysymyksiä
- ei tiedetä onko vastaaja perehtynyt tai selvillä kyselyn alueesta
- kyselylomakkeen laatiminen on työlästä ja aikaa vievää ja se vaatii tutkijalta monenlaista tietoa ja taitoa
- kysymyksiin ei saada vastauksia eli ne eivät palaudu

Kuten aiemmin jo todettiin, aineiston keruu kokonaisuudessa olisi haluttu suorittaa haastattelemalla, sillä siinä aineiston keräämiseen osallistuvat henkilöt aktivoituvat paremmin kuin kyselyssä. Kyselyssä tulosten luotettavuus ei ole aina paras mahdollinen, mikäli osallistuja ei vakavasti suhtaudu kysymyksiin tai hän ei täysin ymmärrä kysymyksiä. Tässä opinnäytetyössä uskottiin, että kysymysten ymmärtämisen kanssa ei olisi ongelmia, sillä kaikki kyselyyn osallistuneet henkilöt olivat alan asiantuntijoita.

5.2.2 Havainnointi

Havainnoinnin avulla saadaan tietoa siitä, toimivatko ihmiset siten kuin sanovat. Yhteiskuntatieteilijät ovat hyvin selvillä siitä, että esimerkiksi ihmisten arvostuksia tutkittaessa saadaan erilaisia tuloksia, jos näitä asioita kysellään ja mitataan puheen keinoin tai jos katsotaan, miten ihmiset todella toimivat arkielämässä (Tutki ja kirjoita 2000, 199). Havainnointi on myös työläs menetelmä aineiston keräämiseksi, sillä havainnoijan pitää olla paikalla kirjaamassa, kun jotain ennalta suunniteltua toimintaa suoritetaan. Tämä on myös yksi havainnoinnin ongelmista, eli henkilöiden käyttäytyminen saattaa häiriintyä tai jopa muuttua, kun havainnoija on paikalla. Toinen haitta saattaa olla se, että havainnoija sitoutuu tutkittavaan ryhmään tai henkilöön eikä osaa havainnoida tilannetta täysin puolueettomasti. Kolmas ongelma havainnoinnissa saattaa olla se, että havainnoija ei pysty tallentamaan tietoja välittömästi vaan joutuu

luottamaan muistiinsa ja kirjaa havainnoinnit myöhemmin. Tämä saattaa muuttaa havainnointien todenperäisyyttä. Opinnäytetyötä, esimerkiksi pro gradu -tutkielmaa tekevä opiskelija ei voi käyttää pitkiä ajanjaksoja aineiston keruuseen (Tutki ja kirjoita 2000, 201).

Edellä kuvattujen asioiden seurauksena päätettiin, että tässä opinnäytetyössä ei käytetä havainnointia aineistonkeruun menetelmänä, koska sitä pidettiin liian työläänä eikä oikeastaan edes tähän tutkimukseen sopivana menetelmänä. Havainnoinnilla pyritään yleensä selvittämään, toimivatko ihmiset niin kuin sanovat. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää koulutuksen ja osaamisen tarpeet eikä sitä, kuinka ihmiset työpaikoilla toimivat.

5.2.3 Dokumentit

Dokumenteilla tarkoitetaan yleensä omaelämäkertoja, päiväkirjoja, kirjeitä, muistelmia ja virallisia dokumentteja (Tutki ja kirjoita 2000, 204). Näiden avulla tutkitaan dokumenttien tekijöiden toimintaa. Tämä aineistonkeruumenetelmä ei soveltunut tämän tutkimuksen menetelmäksi.

5.2.4 Haastattelu

Haastattelu oli tämän opinnäytetyön aineistonkeruun päämenetelmä, kuten se on yleensä aina kvalitatiivisessa tutkimuksessa. Haastattelemalla kerätyssä aineistossa useimmat edellä kuvatut epäkohdat eivät pääse toteutumaan, koska haastattelussa on mahdollista päästä hyvään kontaktiin haastateltavan henkilön kanssa, ja tämä tarjoaa mahdollisuuden saada vastaajasta ”enemmän irti” kuin esimerkiksi kyselyssä. Haastattelu on siinä suhteessa ainutlaatuinen tiedonkeruumenetelmä, että siinä ollaan suorassa kielellisessä vuorovaikutuksessa tutkittavan kanssa (Tutki ja kirjoita 2000, 191). Haastattelun vahvuus on myös kysymysten väärin ymmärtämisen ehkäiseminen, sillä haastateltava voi aina halutessaan kysyä haastattelijalta kysymyksen todellista tarkoitusta. Tässä haastattelijan on kuitenkin oltava valveutunut, jotta hän ei johdattele vastaajaa.

Haastattelujen suorittaminen oli yksi tämän opinnäytetyön mielenkiintoisimpia tehtäviä. Mielenkiintoista se oli siitä syystä, että vierailemalla yrityksissä oli mahdollista päästä

näkemään yrityksen toimintaa ”lattiatasolla”. Näin saatettiin havainnoida yritysten käyttämien moniakselisten työstökoneiden konstruktioita, työtehtävien vaatimuksia ja koneistusympäristöä yleensä. Havainnointihan on yksi aineiston keruun menetelmistä, mutta tarkoitus ei kuitenkaan ollut käyttää sitä, vaikka näin osaksi tapahtuikin. Havainnoinnilla on yleensä tarkoitus havainnoida henkilöiden toimintaa, mutta näin lyhyiden vierailujen aikana ei tähän tarjoutunut mahdollisuutta. Mielenkiintoista tämä olisi varmasti ollutkin, mutta eri asia on taas se, kuinka kyseiset yritykset asiaan olisivat suhtautuneet.

Haastattelun vahvuus on myös siinä, että etukäteen tiedetään vastausten tuottavan monitahoisia ja erilaisia suuntauksia. Tämä kävi ilmi myös tässä tutkimustyössä, jossa haastattelijan mielestä tuli yllättäviä vastauksia. Tämä käy ilmi esimerkiksi kyselylomakkeen kysymyksestä, jossa kysyttiin mitä työkappaleiden kiinnitinsuunnittelun koulutuksessa pitäisi huomioida. Haastattelija oli ajatellut, että tässä tuodaan ilmi se, millaisten työkappaleiden kiinnitystä pitäisi koulutuksessa käsitellä tai mitä kiinnittimiä pidetään tärkeinä ja mitä niiden suunnittelussa on otettava huomioon. Vastauksissa kuitenkin painotettiin usein kiinnitysvoimien, lastuamisvoimien sekä lujuuslaskennan merkitystä. Tämä oli ennalta arvaamatonta ja oikeastaan haastattelijalle odottamatonta. Vastaus kuitenkin kertoo kaiken oleellisen kysymykseen, eikä se tarvitse lisäselvityksiä.

5.3 Kokemukset tutkimusaineiston keräyksestä

Tutkimusaineiston kerääminen saatiin päätökseen kevättalvella 2012. Yritysten mielestä tutkimuksen aihe sekä samalla myös opinnäytetyön tavoitteet olivat hyvin ajankohtaisia. Tosin jostain kuultiin ajatuksia siitä, että työ olisi pitänyt tehdä jo aiemmin, sillä tämän alueen käytännön osaamista uusilla insinööreillä ei ole ollut. Tuli myös muutamia kommentteja siitä, miksi pitää opettaa moniakselista valmistusta, kun perusasiatkaan eivät ole opiskelijoilla hallinnassa. Jälkimmäinen kommentti oli työn tekijän mielestä niin oleellinen huomio, että sitä ei voitu ohittaa noin vain. Tämä on huomioitu koulutuksien suunnittelussa, jossa on käsitelty koneistuksen, kappaleen ja työkalun kiinnityksen näkökulmia, jotka ovat valmistuksen kannalta perusasioita. Näitä haluttiin käsitellä myös sen takia, että moniakselista valmistusta ei voi eikä kannata kouluttaa, jos perusasiat eivät ole hallinnassa. Moniakselinen valmistus on monessa mielessä valmistustekniikan vaikeimpia ja haastavimpia asioita, joihin siirrytään vasta, kun perusasiat ovat hyvin hallinnassa. Näin ollen voisi myös kyseenalaistaa insinöörien

moniakselisen koulutuksen, mutta toisaalta asian voi nähdä myös siten, että miksi vasta työelämän pitäisi opettaa, kun osaamista on mahdollista kartuttaa jo opiskelujen aikana. Tämän ajatuksen tarkoitus on siinä, että kun uusia asioita, menetelmiä tai tekniikoita käsitellään opiskelun aikana, syntyy opiskelijalle joka tapauksessa näistä mielikuvia ja kokemuksia. Niiden palauttaminen mieleen työelämässä käy huomattavasti nopeammin sekä helpommin, kun on edes vähän aiempaa kokemusta. Toisaalta opiskelijan koulutuksen aikana saadut opit voivat jalostua moneksikin ideaksi myöhemmin. On myös totta, että koulutus harvoin valmistaa ketään suoraan valmiiksi tekijäksi, ja koulutuksen jälkeen tarvitaan aina työkokemusta, jotta jonain päivänä tekijä voi sanoa osaavansa työn. Jotta yrityksillä olisi mahdollisuus saada töihin insinöörejä, joiden osaamispohja olisi mahdollisimman laaja, moniakselisen valmistuksen koulutus on tärkeä osa koulutuskokonaisuutta.

6 TUTKIMUSAINEISTON ANALYYSI

6.1 Analyysin tavoitteet

Laadullisen aineiston analyysin tarkoitus on luoda aineistoon selkeyttä ja siten tuottaa uutta tietoa tutkittavasta asiasta (Johdatus laadulliseen tutkimukseen 1998, 138). Analyysin tavoitteena on pyrkiä siihen, että tutkimusaineistosta tiivistetään ja siitä luodaan selkeä kokonaisuus, jota tutkija voi hyödyntää työssään. Aineiston on siis oltava analyysin jälkeen selkeää ja mielekästä ja sen on pysyttävä tutkittavassa aiasassa. Aineiston analyysi tehtävänä ei ole helppo ja sitä on jopa pidetty tutkimuksen vaikeimpana vaiheena.

Analyysissä pyritään siis aineiston selkeyttämiseen ja sitä kautta tiivistämiseen. Tässä tutkimustyössä aineiston analyysi tarkoittaa vastausten painottamista sen esiintymistiheyden perusteella. Ongelmana esiintymistiheyden valinnassa oli usein kuitenkin se, että kysymykset olivat avoimia eivätkä vastaukset olleet näin ollen täsmälleen samanlaisia. Asia ratkaistiin yksinkertaisesti siten, että samaa tarkoittavat vastaukset käsiteltiin samoina ja näitä painotettiin enemmän.

Kysymykset, joissa henkilön piti antaa numero sen mukaan, kuinka tärkeänä kysymyksen koki, ratkaistiin analyysissä keskiarvon perusteella. Eli laskettiin vastausten summa ja jaettiin se vastanneiden lukumäärän perusteella. Tämä oli selkeä

menetelmä, joka oli kuitenkin ehkä siinä määrin kyseenalainen menetelmä, että joku vastaaja piti jotain kysymystä erittäin oleellisena, kun toisen mielestä sillä ei ole ”oleellista merkitystä”. Joka tapauksessa keskiarvon mukainen järjestys oli tasapuolista. Analyysi päätettiin toteuttaa samalla kyselylomakkeella kuin mitä käytettiin aineiston keräämisessä (liite 2). Tämä sen takia, että kysymyksen esilläolo piti vastausten asiayhteyden koko ajan selkeänä, ja erehdyksen mahdollisuus oli näin ollen pieni.

Analyysin tarkoitus oli etsiä aineistosta ajatuksia ja ehdotuksia moniakselisen valmistuksen koulutukseen tai mahdollisia nykyisen insinööriopiskelutuksen puutteita, joita voitaisiin mahdollisesti huomioida moniakselisen valmistuksen koulutuksessa. Kaikkia näitä edellä mainittuja näkökulmia tutkimusaineistosta tuli esille ja niihin palataan kohdassa analyysin tulkinta.

6.2 Analyysin tulkinta

Laadulliseen analyysiin ja tulkintojen tekemiseen on olemassa kaksi periaatteellista lähestymistapaa (Johdatus laadulliseen tutkimukseen 1998, 146). Ensimmäinen on se, että pitäydytään tiukasti aineistossa, analysoidaan sitä ja tehdään tulkintoja tiukasti aineistossa pysyen. Tämä on tyypillinen tapa silloin, kun tehdään teksti- tai kertomusanalyysyjä. Toinen tapa on se, että pidetään aineistoa teoreettisen ajattelun lähtökohtana, apuvälineinä tai lähtökohtana tulkinnoille. Tämä jälkimmäinen tulkintamalli oli käytössä tässä työssä, sillä se on joustava ja se sallii mahdollisuuden tehdä päätelmiä aineiston sisällön perusteella.

Analyysin tulkinta oli mielenkiintoinen työvaihe mutta aikaa kuluttava. Valitun lähestymistavan johdosta oli mahdollista pohtia vastausten todellisia tarkoituspäitä ja merkitystä, johon olisi todennäköisesti voinut kuluttaa aikaa lähes loputtomasti. Johonkin raja tulkinnassa piti kuitenkin asettaa, ja se oli viikko viimeisestä aineiston keruusta.

Analyysin tulkinta oli tutkimuksen tärkein työvaihe, sillä siinä nostettiin esille niitä asioita, joita insinööriopiskelijoiden moniakselisessä koulutuksessa tulee ottaa huomioon ja toisaalta myös niitä osaamisen perusasioista, joita yritysten mielestä pitäisi painottaa nykyistä enemmän. Toisaalta siinä myös siirrettiin syrjään niitä asioita, joita ei pidetty merkittävänä tärkeitä. Tulkinnassa haasteellista oli se, kuinka monta merkittävää näkemystä voidaan nostaa esille, jotta ne mahdollista toteuttaa koulutuksessa. Asiaa ei

kuitenkaan päätetty ratkaista näin, vaan päädyttiin toisenlaiseen ratkaisumalliin. Tämä ajatus toimi siten, että nostettiin esille ne kaikki merkitsevät asiat, jotka analyysin tulkinnassa tulivat ilmi. Tästä edettiin koulutuksen sisällön suunniteluun, jossa huomioitiin tulkinnassa esille nousseet seikat tärkeysjärjestyksessä ajankäytön niin salliessa.

Tätä pidettiin myös koulutuksen suunnittelun kannalta parempana vaihtoehtona, sillä se sallisi aineiston tulkinnassa esille nousseiden asioiden sijoittamisen vapaammin koulutuksen sisältöön. Kuitenkin oli huomioitava se, että tulkinnassa esille nousseet seikat ovat tärkeysjärjestyksessä ja tämän mukaan niiden painoarvo pitäisi myös koulutuksessa huomioida eikä niitä tulisi näin ollen vapaasti poimia koulutuksen sisältöön.

6.3 Analyysin tulkinnan tulokset

Aineiston keruun aikana vastauksia kysymyksiin saatiin runsaasti mutta myös laaja-alaisesti. Toisinaan vastaukset olivat hyvin päinvastaisia, jonka huomaa alla olevasta vastausten poiminnasta:

- moniakselisen valmistuksen perusteet riittävät
- kaikki konetyypit on oltava mukana koulutuksessa
- moniakselinen koulutus ei ole erityisen tärkeää insinööreille
- moniakselinen koulutus on tärkeää
- moniakselinen valmistus tulee lisääntymään
- yleinen valmistustekniikan hallinta on oleellista
- valmistuksen suunnittelu on helpompaa, kun tietää käytössä olevien työstökoneiden mahdollisuudet
- eri konetyypit pitäisi tietää
- insinöörin on tunnettava työstökoneen ohjelmointikielen perusteet
- insinööri ei ole koneistajana teollisuudessa
- on oleellista tuntea työkalut
- työkalut on tunnettava, sillä ne on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa
- työkappaleen kiinnittimen on oltava yksinkertainen
- kiinnittimen on mahdollistettava useat koneistussuunnat
- valmistustekniikkaa on painotettava koulutuksessa
- koulutuksessa huomioitava käytännönläheisyys

Tässä oli siis vain osa vastauksista. Koska kyseessä on moniakselisen valmistuksen koulutus, rajattiin koulutusalue kuulumaan vain siihen liittyviin näkökulmiin.

Seuraavat näkökulmat tulivat esille muita useammin kerätystä aineistosta analyysin tulkinnan seurauksena:

- moniakselisen valmistuksen työstökoneet
- työkappaleen kiinnitys
- työkalut
- valmistustekniikan hallinta.

Nämä neljä näkökulmaa yhdessä muodostavat selkeän kokonaisuuden moniakseliselle koulutukselle ja seuraavassa niiden sisällön kuvaus.

6.3.1 Moniakselinen valmistuksen työstökoneet

Moniakselisen valmistuksen työstökoneet tarkoittavat sitä, että ei käsitellä koulutuksessa vain jotain moniakselista työstökoneytppiä, vaan asiaa pitää katsoa laaja-alaisesti. Laaja kokonaisuus toi koulutuksen suunnitteluun uudenlaisen lähestymistavan. Alun perin oli tarkoitus toteuttaa koulutus Tampereen ammattiopiston viisiakselisella koneistuskeskuksella, mutta tämä esille tullut näkökulma muutti alkuperäistä suunnitelmaa.

Tampereen ammattiopiston viisiakselinen koneistuskeskus tarjoaa hyvän mahdollisuuden moniakseliseen koulutukseen. Yritysten vastausten perusteella koulutusta ei kuitenkaan voi toteuttaa näin kapea-alaisesti, sillä koulutuksessa on huomioitava erilaiset moniakseliset työstökoneet. Tätä työstökonetta on kuitenkin syytä hyödyntää koulutuksessa mutta sen lisäksi on myös tutustuttava muihin tarjolla oleviin vaihtoehtoihin.

6.3.2 Työkappaleen kiinnitys

Työkappaleen kiinnitys on selkeä mutta hyvin laaja kokonaisuus, jonka opettaminen on erittäin haastavaa. Haastavaksi sen tekee työkappaleiden erilaisuus mitoissa ja muodoissa, seinämänpaksuuksissa, materiaaleissa ja valmistettavassa kappalemäärässä. Myös valmistuksessa käytettävät työstökoneet ja oheislaitteet, kuten paletit, on myös otettava huomioon. Yrityksillä on myös omia tapoja tehdä työkappaleiden kiinnitystä,

eikä niihin aina päde yleiset ohjeet. Nämä ovat niitä taitoja, joita voi opetella kuitenkin vasta työpaikalla mutta siinä vaiheessa kiinnittämisen perusteet pitää olla hallinnassa. Työkappaleiden kiinnittämisessä on joka tapauksessa ”helppojaakin” tapauksia, joita ovat esimerkiksi kappaleen kiinnittäminen ruuvipuristimeen tai kolmileukaistukkaan.

6.3.3 Työkalut

Työkalut ovat nykyään erittäin merkittävässä roolissa valmistustekniikassa. Tämän alan kehitys on ollut huimaa viimeisen 10–15 vuoden aikana, eikä hidastumisen merkkejä ole näkyvissä. Kilpailu eri valmistajien kesken tulee pitämään siitä huolta. Joka vuosi valmistajat tuovat entistä tehokkaampia, taloudellisempia ja tuottavampia työkaluja, joiden ominaisuudet pitäisi olla tiedossa. Tuottavammalla työkalulla on valmistuksessa huomattava etu, sillä sen avulla koneaikaa on mahdollista kasvattaa, kuten myös miehittämätöntä työskentelyä. Työkalujen ominaisuuksia ei kuitenkaan voi opiskella vain dokumenteista ja esitteistä, sillä paras osaaminen tulee kokeilemisen myötä. Nämä kaksi eri menetelmää tukevat toisiaan ja niiden yhteensovittaminen koulutuksessa olisi tärkeää.

Erilaisia työkaluja on kuitenkin tarjolla valtava määrä jo yhdellä valmistajalla, ja Suomessa näkyvästi edustettuja toimittajia ovat Seco, Sandvik Coromant, Iskar, Pokolm ja monet muut. Näin ollen kaikkien työkalujen kokeileminen koulutuksessa ei ole mitenkään mahdollista. Koulutuksessa on keskityttävä terätyyppeihin, jotka ovat laajasti käytössä suomalaisissa konepajoissa. Näitä ovat mm. varsijyrsimet ja otsajyrsimet.

6.3.4 Valmistustekniikan hallinta

Valmistustekniikan hallinnalla tarkoitetaan kappaleiden valmistuksen suunnittelua koneistusympäristössä sisältäen kaiken siihen liittyvän. Tämä tarkoittaa työstökoneen valintaa, työkalujen valintaa, kiinnitysten suunnittelua ja toteutusta, ohjelmointia, työstöarvojen määrittämiä jne. Näistä useat ovat tehtäviä, jotka yleensä kuuluvat työstökoneen käyttäjälle, mutta saattavat myös olla insinöörin tehtäviä. Mikäli työkappaletta ei voida kiinnittää vakiokiinnittimeen, kuuluu sen suunnittelu yleensä ns. menetelmä miehelle, joka on yleensä koulutukseltaan insinööri. Toinen tehtävä, joka ei aina kuulu työstökoneen käyttäjälle on ohjelmointi. Tämäkin on joissain tapauksissa

menetelmämiestä tehtävä. On huomattava, että ohjelmointia tehdään usein myös työstökoneen omalla ohjauksella tai sen vieressä olevalla PC:llä, jossa on CAM-ohjelma. Silloin puhutaan verstaasuuntautuneesta ohjelmoinnista eli työstökoneen käyttäjä muun työn ohessa suorittaa myös työstörotujen valmistuksen.

7 MONIAKSELISEN TYÖSTÖN INSINÖÖRIKOULUTUS

7.1 Opiskelijalta vaadittava osaaminen ennen koulutuksen aloittamista

Moniakselinen valmistus on vaativaa, koska se koostuu monesta eri osaamisalueesta. Nämä kaikki olisi hallittava jotenkin, jotta kokonaisuus olisi tyydyttävä. Yhdenkin osaamisalueen epätydyttävä hallinta johtaa kokonaisuuden pettämiseen, joka ei mahdollista täysin itsenäistä työskentelyä moniakselisessa ympäristössä, jota kuitenkin yleensä ainakin insinöörit odotetaan. Ainoa osaamisalue, jota insinöörin ei odoteta hallitsevan moniakselisessa työstöympäristössä, on työstökoneen käyttö. Muut osaamisalueet olisi hallittava, ja tämä kokonaisuus on laaja, vaativa sekä haastava eikä näitä taitoja opita nopeasti. Hallittavia asioita ovat esimerkiksi ohjelmointi, työkappaleen kiinnittäminen ja kiinnittimien suunnittelu, työkalujen hallinta, menetelmien hallinta jne. Ne ovat haastavia osaamisalueita kaikki, ja kun ne hallitaan, kyseinen henkilö on varmasti palkkansa ansainnut.

Moniakselisen valmistuksen opiskelua ei ole syytä aloittaa ilman riittävää perusosaamista. Moniakselisen valmistuksen kursseilla oletetaan, että opiskelija hallitsee valmistuksen perusasiat. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kurssilla ei käsitellä sorvausta tai jyrsintää peruskoneistusmenetelminä. Moniakselisen valmistuksen kurssilla sen sijaan käsitellään kuinka sorvauksen ja jyrsinnän käyttöä voidaan tehostaa ja mitkä ovat näiden menetelmien erot moniakselisessä valmistuksessa. Valmistusmenetelmien erot on siis tunnettava, jotta moniakselisuuden kurssille voi ottaa osaa.

Opiskelijan riittävän osaamisen varmistamiseksi ennen moniakselisen valmistuksen kurssia on hänen suoritettava joitakin opetussuunnitelman mukaisesti tiettyjä kursseja. Näitä käsitellään hieman myöhemmin.

7.2 Moniakselisen koulutuksen sisällön suunnittelu

Moniakselisen koulutuksen sisältö oli tutkimuksen avulla selvitetty ja esille nousivat seuraavat jo edelläkin mainitut asiat: moniakselisen valmistuksen työstökoneet, työkappaleen kiinnitys, työkalut ja valmistustekniikan hallinta. Näissä aiheissa oli kuitenkin päällekkäisyyksiä TAMKin opetussuunnitelman kanssa ja niitä pyrittiin välttämään. Jotta tämä olisi ollut mahdollista, niin tutustuttiin opetussuunnitelmiin ja karsittiin moniakselisesta koulutuksesta päällekkäisyydet aiemmin opetetun asian kanssa. Opetussuunnitelmat löytyvät kokonaisuudessaan TAMKin kotisivuilta (www.tamk.fi).

7.3 Opetussuunnitelmat

Moniakseliseen koulutukseen tulevat insinööriopiskelijat ovat tulleet opiskelemaan kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaan ja siitä modernien tuotantojärjestelmien suuntautumisvaihtoehdon. Mikäli opiskelija tulee jotain toista reittiä moniakselisen valmistuksen kurssille, pitää hänellä olla riittävät perustaidot hankittuna muilla tavoin. Seuraavat opetussuunnitelmien kurssit on suoritettava ennen moniakselisen valmistuksen kurssia:

- K-16302 NC- tekniikka 5 op
- K-16304 CAD/CAM- mallinnus 3 op
- K-16305 CAD/CAM- ohjelmointi 4 op
- K-160201 työvälineet ja menetelmäsuunnittelu 5 op
- K-16402 tietokoneavusteinen tuotanto 5 op

Näiden kurssien suorittamisen jälkeen opiskelijalla on riittävät perustiedot ja taidot valmistustekniikasta, eli hän tuntee sorvauksen ja jysynnän erot, tietää tietokoneavusteisen suunnittelun ja valmistuksen mahdollisuudet ja tärkeiden nykyaikaiselle teollisuudelle sekä tuntee työvälineet, menetelmät ja työkappaleiden kiinnittimet. Nämä tulevat esiintymään moniakselisen kurssin koulutuksessa ja näin ollen niiden etukäteen osaaminen on oleellista.

7.4 Moniakselisen valmistuksen koulutuksen sisältö

Tutkimuksen perusteella nousseet asiakokonaisuudet olivat laajoja kokonaisuuksia ja joltain osin ne menivät opetussuunnitelmien kanssa päällekkäin. Pällekkäisyydet poistettiin siten, että jäljelle jätettiin vain moniakseliseen valmistukseen liittyvät asiat, eli tekniikat, joita käytetään vain vähän tai ei ollenkaan peruskoneistamisessa. Muut kuuluvat moniakseliselle kurssille. Alla moniakselisen valmistuksen koulutuksen sisältö:

- moniakselisen työstön haasteet
- moniakselisen valmistuksen kannattavuus eli koska moniakselisen työstökoneen käyttö tulee ajankohtaiseksi
- nollapistekiinnitys ja sen edut, haitat ja haasteet
- moniakselisen valmistuksen asetukset
- koneistus moniakselisella työstökoneella CAM- radan mukaan
- nykyaikaiset työkalujen kiinnitysmenetelmät, lämpöistukat, hydraulistukat, niiden edut ja haitat

Seuraavaksi käsitellään edellä mainittuja sisältöjä, jotta lukijalle tulee käsitys siitä, mitä ovat moniakselisen valmistuksen haasteet, käyttökohteet, nollapistekiinnitys, asetukset ja työkalut.

8 KOULUTTAJIEN KOULUTUS

8.1 Kouluttajakoulutuksen tavoitteet

Tampereen ammattikorkeakoulun kouluttajia koulutetaan Tampereen ammattiopiston 5-akselisen työstökeskuksen (kuva 4) kouluttajiksi. Tulevien kouluttajien osaamisvaatimukset määräytyvät insinööriopiskelijoiden osaamistarpeen mukaisesti eli heidän osaamisensa on vastattava kyseisten opiskelijoiden kouluttamiseen kyseisellä työstökeskuksella. Koulutuksen sisältö ja laajuus ovat laajemmat kuin mitä ne ovat insinööriopiskelijoilla, sillä kouluttajan on kyettävä itsenäisesti käyttämään työstökeskusta. Tätä ei insinööriopiskelijoilta vaadita.



Kuva 4. Tampereen ammattiopiston 5-akselinen koneistuskeskus

Koulutukseen osallistuvilta kouluttajilta edellytetään koneistuskokemusta. Henkilö, jolla ei ole koneistuskokemusta ei kykene kouluttamaan 5-akselisella työstökeskuksella, sillä ympäristönä se on vaativa kokeneellekin koneistajalle. Ilman koneistuskokemusta työskentely ympäristössä on epävarmaa sekä riskialtista eikä kolareihin työstökoneella ole varaa. Myös työturvallisuusasioiden huomioon ottaminen onnistuu helpommin, kun on omakohtaista kokemusta työstökoneen käytöstä. Insinöörien koulutuksessa tullaan koneistamaan, joten koneistuskokemuksesta on siinäkin mielessä paljon apua.

Missään vaiheessa ei saa tulla tilannetta, että opiskelijat ovat ilman ohjausta opiskelemissa kyseisellä koneella. 5-akselinen ympäristö on haastava monellakin

tavalla. Näiden haasteiden kohtaaminen ilman ohjausta turhauttaa ja se saattaa johtaa yllättäviin tilanteisiin.

Kyseessä on myös työturvallisuus, sillä 5-akselisen työstökeskuksen oppimisympäristössä on useita koneita ja laitteita, joiden väärä käyttö saattaa johtaa henkilövahinkoihin. Kaikkien 5-akselisen työstökeskuksen ympäristössä olevien laitteiden käyttö on toteutettava ohjatusti ja jatkuvan valvonnan alaisuudessa.

8. 2 Koulutuksen sisältö

Koulutus sisältää tarvittavat elementit Tampereen ammattiopiston 5-akselisen työstökoneen käyttöön. Näistä elementeistä syntyy kokonaisuus, jonka avulla kouluttajat voivat kouluttaa insinööriopiskelijoita kyseisellä työstökeskuksella. Näitä elementtejä kutsutaan tässä tapauksessa stepeiksi, jotka etenevät loogisessa järjestyksessä. Steppien sisältö etenee järjestyksessä siten, että edellisen stepin sisältö tukee seuraavaa jne. Tavoitteena on siis suorittaa koulutettavat asiat järjestyksessä, jotta tulevalle kouluttajalle muodostuu selkeä kuva työstökeskuksen käyttämisestä eikä jää aukkoja osaamiseen. Mikäli koulutettava hallitsee joitain osia koulutuksen sisällöstä, tulee se hyväksilukea koulutuksessa. Seuraavassa on lueteltu stepit järjestyksessä sekä niiden kestoajat.

step 1. Heidenhain perustoiminnot 16h

step 2. Heidenhain 5-akselinen ohjelmointi 16h

step 3. Työkappaleen ja työkalujen kiinnitykset, työturvallisuus, nollapisteet 8h

step 4. Koneistaminen ja ongelmatilanteiden ratkaisu, 8h

Heidenhain perustoiminnot

Koulutus tapahtuu Heidenhain iTNC530-ohjauksella, joka on myös työstökeskuksen ohjauksena. Perustoiminnot tarkoittavat sitä, että niiden hallitsemisen jälkeen kyseinen henkilö kykenee työskentelemään 3-akselisella Heidenhain ohjatulla työstökeskuksella. Hän hallitsee kansioden ja ohjelmien luonnin, osaa käyttää työkalutaulukkoa sekä suorittaa tarvittavia editointi ja testaustoimintoja. Normaalisti kyseinen koulutus on kestoltaan 24h mutta kouluttajien koulutuksessa osa asioista on jätetty pois. Tämä siitä syystä, että insinöörien koulutuksessa työstöradat tullaan tekemään cam-ohjelmalla, eikä

näin ollen Heidenhain-ohjelmoinnin kaikkia osia tarvitse hallita. Koulutus tapahtuu luokkaympäristössä Heidenhain ohjauspaneeleita hyväksikäyttäen.

Heidenhain 5-akselinen ohjelmointi

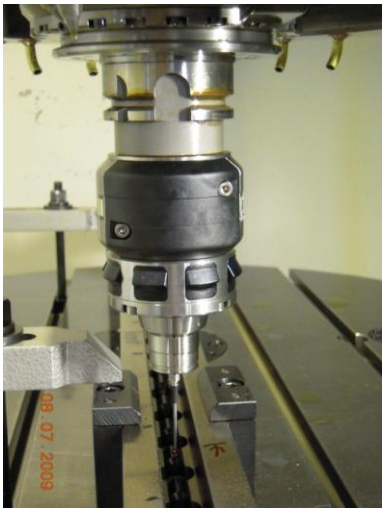
5-akselisessa koulutuksessa opeteltavat asiat rakennetaan perustoiminnoissa opittujen tietojen päälle. Opiskeltavat asiat vaikeutuvat ja monimutkaistuvat huomattavasti. Tämä koulutusvaihe on tärkeä, sillä siinä opiskellaan myös toimenpiteet silloin, jos moniakselinen ohjelma joudutaan lopettamaan kesken. Tällainen tilanne vaatii aina toimenpiteitä, joiden avulla työstökeskus palautetaan takaisin alkuperäiseen toimintatapaan. Se ei tapahdu automaattisesti.

Tämä koulutus antaa myös tulevalle kouluttajalle mahdollisuuden esittää opiskelijoille työstökeskuksen liikkeitä ja toimintoja, joiden avulla opiskelijalle muodostuu selkeä kuva työstökeskuksen toiminnasta.

Työkappaleen ja työkalujen kiinnitykset, työturvallisuus, nollapistet

Kaikki työkalut ja työkappaleet ovat aina kiinnitettävä. Tässä koulutuksessa opitaan tavat ja menetelmät, joita 5-akselisen työstökeskuksen ympäristössä voidaan käyttää. Näitä ovat esimerkiksi kutiste- ja hydraulistiukoiden käyttö ja nollapistekiinnitysjärjestelmä. Työkalujen pituus ja halkaisija mitataan esiasetuslaitteella ja tämän laitteen käyttö opiskellaan myös tässä vaiheessa.

Nollapisteiden haku työkappaleesta tapahtuu kosketusanturin avulla, kuva 5. Kosketusanturi on nopea, helppo ja varma tapa nollapisteiden hakuun sekä hyvin yleisesti yritysten käytössä oleva menetelmä. Sen opettaminen insinööriopiskelijoille on tärkeää.



Kuva 5. 5-akselisen työstökeskuksen kosketusanturi

Työturvallisuudessa on otettava huomioon kaikkien koneiden ja laitteiden turvallinen käyttö, jotta ei aiheuteta vaaraa itselle ja muille. Eritystä varovaisuutta vaativat kutisteliitoskoneen (kuva 6) ja kutisteistukoiden käyttö, sillä istukan lämpötila terän kiinnityksessä nousee useisiin satoihin celsiusasteisiin. Toinen huomion arvoinen asia on hydraulii-istukoiden käyttö, sillä yli jäänyt öljy liukastaa käsiä mutta myös lattiaa, joka taas saattaa johtaa liukastumiseen.



Kuva 6. Kutisteliitoskone

Työstökeskuksella huomioitavia asioita ovat latausaseman ja ovet auki toiminnon käyttäminen sekä paineilmaan liittyvät työturvallisuusasiat. Myös painavien kappaleiden siirtämiseen liittyvät asiat pitää ottaa huomioon, sillä näitä ovat mm. koneruuvipuristimet ja muut työkappaleen kiinnittämiseen liittyvät välineet. Työkappale itsestään saattaa myös olla painava.

Koneistaminen ja ongelmatilanteiden ratkaisu

Viimeisessä vaiheessa käsitellään työstökeskuksen käyttö koneistustilanteessa ja sen aikana syntyvien ongelmatilanteiden ratkaiseminen. Tyypillisesti ongelmatilanteet liittyvät työkalun vaihtoon. Tämä tarkoittaa tilannetta, jossa työstökeskus pysähtyy yllättäen kesken työkalun vaihdon, jolloin meneillään oleva toiminto keskeytyy. Mikäli tätä ongelmaa ei kyetä ratkaisemaan omatoimisesti, loppuvat kyseisen päivän suoritukset siihen. Tämä on etenkin koulutusilanteessa erittäin valitettavaa.

Viimeisessä koulutusvaiheessa läpikäydään koneistamiseen liittyvät asiat ja harjoitellaan sekä kerrataan koneistuskeskusympäristön käyttöön liittyvät toiminnot. Erityisesti työstöä edeltävät ja sen jälkeen tulevat toiminnot tulevat tutuiksi.

Harjoitellaan myös tilannetta, jossa moniakselinen ohjelma keskeytetään ja kuinka tämän jälkeen menetellään, jotta työstökeskus saadaan palautettua lähtötilanteeseen.

Tämä ja kaiken aiemmin opitun osaamisen pitäisi muodostaa kokonaisuus, joka mahdollistaa kouluttajan itsenäisen työskentelyn 5-akselisella työstökeskuksella. Samalla se myös mahdollistaa toimimisen insinöörien kouluttajana.

9 MONIAKSELISET TYÖSTÖKONEET

9.1 Moniakselisten työstökoneiden jako

Tässä osassa käsitellään CNC-sorvin ja jyrsinkoneen moniakselisiä sovellutuksia, muut työstömenetelmät ovat rajattu selvyyden vuoksi pois.

Moniakselisia työstökeskuksia on nykyaikana niin runsaasti, että työstökoneen valinta on haasteellista. Hyvä lähtökohta on se, että jaetaan ne kahteen pääryhmään eli CNC-sorveihin ja jyrsinkoneisiin. Jako on hieman ongelmallinen, sillä sorvausta ja jyrsintää on monen valmistajan työstökoneissa yhdistetty yhteen ja samaan työstökoneeseen. Tässä työssä jako tehtiin kuitenkin siten, että työstökone, joka sorvaa jyrsinnän lisäksi, käsitellään sorvina. Kaikki muut koneet ovat moniakselisiä jyrsimiä. Tässäkin jaossa kohdattiin ongelmia, sillä joillakin valmistajilla on täysin samanlaisia työstökoneita, joista toisessa on sorvausmahdollisuus ja toisessa ei. Tämä koneiden jako sorvauksen ja jyrsinnän välillä oli erittäin hankalaa, jotta se miellyttäisi kaikkia. Tämän seurauksena tässä työssä päätettiin siten, että käsitellään konetyyppejä selkeästi sen mukaan, oliko niissä sorvausmahdollisuus vai ei.

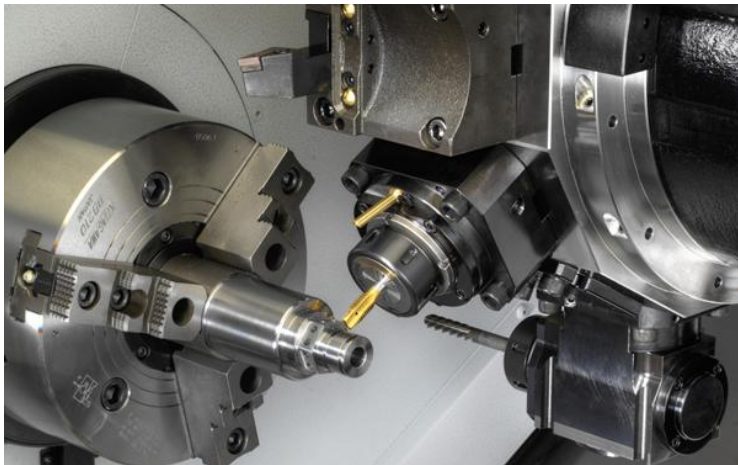
9.2 Muut moniakseliset työstökoneet

Moniakselisia työstökoneita on useilla eri koneistuksen aloilla. Hionta on yksi suurimmista kohderyhmistä ja erityisesti leikkaavien työkalujen valmistuksessa. Toinen tärkeä kohderyhmä on kipinätyöstö eli uppokipinätyöstö ja lankasahaus. Näiden lisäksi on vielä joitakin erikoistekniikoita mutta niiden käyttö on hyvin marginaalista.

10 MONIAKSELISET SORVIT

10.1 Määritelmä

Moniakselinen sorvi tarkoittaa työstökonetta, jolla voidaan sorvauksen lisäksi myös jyrsiä. Työstökone on kuin CNC- sorvi, mutta sen ero perinteiseen kaksiakseliseen sorviin on pyörivissä työkaluissa, joita voidaan liikuttaa useamman kuin X-, Z- ja Y- akselin suunnassa. Mikäli sorvissa on pyörivät työkalut Y- akselilla tai ilman kutsutaan sitä CNC- sorviksi pyörivillä työkaluilla (kuva 7). Tämä ei tässä tarkastelussa tee siitä vielä moniakselista työstökonetta.



Kuva 7. Kuvassa on moniakselinen sorvi, jossa kierretappi pyörivänä työkaluna. Kuva www.lyndexnikken.com

Jotta pyörivillä työkaluilla oleva sorvi olisi moniakselinen, on pyörivää työkaluakselia voitava liikuttaa useaan eri suuntaan. Tämä tarkoittaa sitä, että pyörivää työkalua on voitava liikuttaa Y-akselin suunnassa ja sen on oltava kallistettavissa kuvan 8 mukaisesti. Moniakseliseksi sorviksi ei tässä työssä huomioitu sorvia, joka yhdessä robotin kanssa sisältää enemmän kuin kolme akselia.



Kuva 8. Kuvassa on moniakselinen sorvi. Kuva www.okuma.com

10.2 Moniakselisten sorvien päätyypit

Moniakselisia sorveja valmistavat monet yritykset eri puolilla maailmaa. Moniakseliset sorvit ovat perusrakenteeltaan samankaltaisia mutta siihen yhtäläisyydet jäävätkin. Tyypillisiä eroja ovat ohjaus, liikenopeudet, työkalujen lukumäärä ja akseleiden lukumäärä. Näistä käyttäjille usein merkittävimpiä ovat ohjauksen ja akselien lukumäärän erot. Muut poikkeavuudet ovat usein paranneltavissa lisävarusteilla, jotka kuitenkin nostavat työstökoneen hintaa eivätkä välttämättä toimi vastaavalla suorituskyvyllä kuin koneen vakiovarusteet.

Sorvien päätyypit voidaan jakaa työkaluakselien ja karojen lukumäärän mukaan siten, että on vastakaraiset ja ilman vastakaraa olevat sorvit, alarevolverilla ja ilman sitä olevat sorvit sekä yhdellä tai useammalla työkaluakselilla varustetut sorvit.

Näiden lisäksi on vielä edellä mainitusta poikkeava moniakselinen sorvi. Sen ero muihin sorveihin on työkappaleen työasennossa, eli työkappale on kiinnittimen päällä pystyssä, kun muissa sorveissa työkappale on vaaka-asennossa. Tämä konetyyppi on erittäin lähellä jrsinkonetta silloin, kun se on varustettu myös pyörivillä työkaluilla, eikä tämän konetyypin rajaus CNC-sorviin tai jrsinkoneeseen ole aina itsestään selvää. Ilman pyöriviä työkaluja tämä konetyyppi ei ole moniakselinen työstökone eikä sitä käsitellä tässä yhteydessä. Tässä yhteydessä käytetään tästä moniakselisestä sorvista nimitystä karusellisorvi.

10.2.1 Yhdellä kallistuvalla työkalulla varustetut sorvit

Yksi ryhmä moniakselisissa sorveissa on konemalli, jossa on yksi työkappaleen kiinnityspaikka ja sen lisäksi vain yksi työkalupidin. Työkalupidintä voidaan pyörittää tai se voi olla suuntalukittuna, jolloin työkalusta riippuen työstökoneella voidaan sorvata tai jrsiä. Tämän koneen etuna pidetään helppoa hallittavuutta mutta samalla myös monipuolisuutta ja tehokkuutta. Helppo hallittavuus johtuu yksinkertaisesti yhden ohjelmoitavan työkaluakselin tarpeesta. Jotkut työstökonevalmistajat ovat tutkineet usean työkalun samanaikaista käyttöä työstökoneissa ja todenneet sen olevan usein tehotonta. Tämä on johtanut yhden kallistuvalla työkalulla varustetun sorvin kehittämiseen.

Usean työkalun sorvissa tapahtuu usein siten, että vain yksi työkalu koneistaa ja muut odottavat toimeentomana. Kahden työkalun samanaikainen sorvaus on myös usein vaikeaa ohjelmoida eikä se näin ollen nosta tuotantokykyä pienillä sarjoilla, koska ohjelmointiin kuluva aikaa ei saada takaisin.

Yhden työkalun ohjelmointi ja hallinta on selkeää ja se mahdollistaa runsaan liikkumavaran, joka antaa mahdollisuuden suurempien kappaleiden valmistuksen mutta myös suurempien ja pidempien työkalujen käyttöön. Suuret tai pitkät työkalut laajentavat tämän sorvityypin käyttömahdollisuuksia ja niillä mahdollistetaan sellaisten kappaleiden valmistus, joka muilla konetyypeillä vaatii suuremman työstökoneen. Tästä on etua, sillä yleensä työstökoneen koon kasvaessa myös sen hinta nousee ja myös lattiatilan tarve kasvaa. Kuvassa 9 moniakselinen sorvi, joka on varustettu yhdellä työkalupitimellä sekä työkappaleen kiinnityspaikalla.



Kuva 9. Kuvan sorvissa on monipuolinen työkalukara. Kuva www.okuma.com

Yhdellä kallistuvalla työkalulla varustettu työstökone tyyppi on yleensä tehokkaimmillaan yksittäiskappale tuotannossa ja piensarjavalmistuksessa, jolloin sen joustavuus tulee esille. Joustavuus tulee ohjelmoitavuudesta, työkalujen hallittavuudesta sekä liikkeiden pituuksista, jotka yhden työkalun seurauksena ovat helpompia hallittavia. Vaikka työstökoneessa on vain yksi työkalu akseli, ei se tarkoita, että valmistettavien tuotteiden monimutkaisuudesta pitäisi tinkiä. Tämä saattaa olla päinvastoin, sillä työstökoneen helpomman ohjelmoitavuuden seurauksena liikkeiden hallinta on helpompaa ja se mahdollistaa ohjelmoitsijan keskittymisen kappaleen valmistukseen eikä koneen akselien ja liikkeiden hallintaan. Tämä mahdollistaa

keskittymisen monimutkaisten muotojen valmistamiseen välittämättä muiden akseleiden liikkeistä. Useamman työkaluakselin työstökoneessa saattaa tulla tilanne, jossa vain yksi työkalu työstää ja muut odottavat. Näin ollen niihin suoritettu investointi on tällöin mennyt täysin hukkaan. Tämä tilanne tulee juurikin yksittäiskappale- tai piensarjavalmistuksessa, joissa työstökone on saatava nopeasti töihin ja ohjelmoinnin on oltava nopeaa.

Suomessa valmistus on muuttunut yhä enemmän yksittäis- ja piensarjavalmistukseen jo vuosia globalisaation vaikutuksesta ja todennäköisesti tämä suuntaus tulee yhä jatkumaan. Sen ovat huomanneet myös monet yritykset, sillä työstökone tyyppi on yleistynyt Suomessa. Konetyypin hyvä ominaisuus on myös siinä, että sillä voidaan valmistaa pitkiä tuotteita, sillä kärkipylkän ansiosta kappale on tukevasti kiinni koneistuksen aikana. Tyypillisiä tämän työstökone tyyppin tuotteita ovat esimerkiksi piensarjan hammaspyörät ja prototyypit.

10.2.2 Kahdella karalla varustetut sorvit

Kahdella karalla varustettu sorvi on työstökone, jossa on vastakkaisilla karoilla työkappaleelle sopivat kiinnittimet. Molemmat karat ovat varustettu työkaluakseleilla ja ne toimivat itsenäisesti (kuva 10).



Kuva 10. Kuvassa on kahdella vastakkaisella karalla varustettu sorvi. Kuva www.exapro.com

Kahdella karalla varustettu työstökoneyyppi tulee kyseeseen silloin, kun kyseessä on sarjatuotanto ja tuotetta on pystyttävä sorvaamaan molemmista päistä. Molempien päiden sorvaus on tyypillinen työvaihe ja tällä koneyyppillä se suoritetaan automaattisesti käsin tuotteeseen koskematta. Eli ensimmäisessä vaiheessa sorvaus yleensä suoritetaan vasemmassa karassa, jonka jälkeen sorvi siirtää karojen liikkeillä työkappaleen oikealle karalle automaattisesti. Sen jälkeen suoritetaan toisen vaiheen sorvaus oikealla. Tyypillisesti samalla hetkellä vasemmassa karassa aloitetaan ensimmäisen vaiheen koneistus, johon seuraava työkappale on tuotu robotin avulla.

Koneyypin vahvuus on tuottavuudessa eli tälle koneyyppille sopiva tuote on suursarjatuote, jota valmistetaan sadoista kappaleista aina miljooniin. Mikäli koneen ympäristö on oikein suunniteltu ja varustettu esimerkiksi robotilla, saattaa työstökone työskennellä hyvinkin pitkiä aikoja miehittämättömänä. Koneyyppi mahdollistaa myös monimutkaisten kappaleiden valmistuksen, sillä se on tyypillisesti varustettu pyörivillä ja kallistuvilla työkaluilla, jotka mahdollistavat jyrännät ja poraukset eri suunnista.

Koneyypille ongelmaisia tuotteita ovat sellaiset, jossa toisessa puolella on paljon koneistettavaa mutta toisessa vain vähän. Tästä seuraa odottelua, jonka aikana valmiiksi koneistetussa puolella ei voida tehdä mitään. Jotta tämä vältetään, vaatii se toteuttajalta osaamista, jotta valmistus saataisiin ajallisesti tasapainoon molempien puolien koneistusvaiheiden kesken. Aina se ei kuitenkaan ole mahdollista valmistettavan kappaleen muotojen vuoksi.

Monimutkaisten työkappaleiden valmistukseen tarvitaan usein monimutkaisia automaattisesti toimivia työkappalekiinnittimiä. Tämä on suunnittelulle haaste. Mikäli kiinnittimiin ja ohjelmointiin investoidaan, pitää sarjakoon olla riittävän suuri, muuten toteutus saattaa olla tappiollinen. Piensarjatuotannossa kiinnittimien ja ohjelmointien aiheuttamat kustannukset nousevat helposti liian korkeiksi ja tämä on syytä valmistuksen suunnittelussa huomioida.

Tyypillisesti koneyyppi onkin tarkoitettu pienille työkappaleille, joita ovat esimerkiksi liittimet, holkit ja muut vastaavat tuotteet, joita valmistetaan suuria määriä. Ne voivat olla koneen ominaisuuksista johtuen yksinkertaisia mutta myös erittäin monimutkaisia. Yhdistettynä tankoautomaattiin, sorvin tuotantokapasiteettia saadaan nostettua huomattavasti ylemmäksi.

10.2.3 Alarevolverilla varustetut sorvit

Alarevolverilla varustettu sorvi on kuin kahdella karalla varustettu sorvi mutta tämä sorvityyppi on varustettu lisäksi alarevolverilla, joka on siis yksi ylimääräinen työkaluakseli (kuva 11). Tämä mahdollistaa kahden työkalun samanaikaisen työstön toisella karalla olevalle työkappaleelle ja samanaikaisesti vastakaralla voidaan suorittaa työstöä yhdellä työkalulla. Kahden työkalun samanaikainen työstö on mahdollista sorvauksessa, kun lastuamisnopeus on sopiva molemmille työkaluille.



Kuva 11. Kuvassa on alarevolverilla varustettu sorvi. Kuva <http://www.exapro.com>

Konetyypin etuna pelkkään vastakaraiseen sorviin verrattuna on siinä, että alarevolverilla voidaan tasapainottaa koneistusaikoja koneistusvaiheiden kesken. Eli alarevolveri voidaan ohjelmoida siihen koneistusvaiheeseen, jossa tarvitaan enemmän tehoa lastun irrotukseen ja näin vaiheajat tasapainottuvat ja kappaleen läpimenoaika pienenee. Konetyypin huonona ominaisuutena voidaan pitää entistä vaikeampaa ohjelmoitavuutta ja yleensä pitkäkestoista asetusaikaa työkappaleen vaihtuessa toiseen. Myös tämä sorvi voidaan yhdistää tankoautomaattiin, jolla kapasiteettia saadaan enemmän.

11 MONIAKSELISET KONEISTUSKESKUKSET

11.1 Määritelmä

Työstökeskuksesta ei tässä työssä käsitellä moniakselisena, jos siinä on neljä akselia tai vähemmän. Moniakselinen se on silloin, kun siinä on vähintään viisi liikkuvaa akselia. Yleisimpiä ovat viisiakseliset koneistuskeskukset ja tätä moniakselisemmat jyrsinkoneet ovat harvinaisia, kun ei huomioida oheislaitteiden ominaisuuksia. Enemmän kuin viisi akselia sisältävät työstökeskukset ovat kooltaan suuria, jolloin akseleiden lukumäärää karan yhteydessä voidaan lisätä monipuolisuuden parantamiseksi. On myös työstökeskusten prototyyppisiä, joissa akseleiden lukumäärä on enemmän kuin viisi, mutta toistaiseksi niitä ei ole juurikaan teollisuuskäytössä. Mikäli jyrsinkoneen yhteydessä on robotti ja huomioidaan myös sen akselit, päästään helposti yli kymmenen liikkuvan akselin lopputulokseen. Tässä työssä robotit jätetään huomioimatta.

Moniakseliset koneistuskeskukset voidaan jaotella neljännen ja viidennen akselin liikkeiden toteutustavan perusteella. Kolme perusakselia, X (pituusliike), Y (poikittaisliike) ja Z (pystyliike), on aina toteutettu periaatteiltaan samoin eikä niissä näin ollen ole merkittäviä eroavaisuuksia. Eroja on sitten moniakselisuuden toteutustavassa, liikenopeuksissa, liikkeiden pituuksissa sekä koneiden rakenteissa.

Neljäs ja viides akseli voidaan toteuttaa neljällä eri menetelmällä. Nämä ovat seuraavat: kääntöakselit lisäyksikössä, akseleiden liikkeet ovat karan yhteydessä (suuret työstökeskukset), liikkeet ovat työstökoneen pöydässä tai liikkeet ovat toteutettu näitä yhdistelemällä.

11.2 Satelliittipää

Satelliittipää (kuva 12) on oma erillinen kahden käännettävän akselin yksikkö, joka tarvittaessa liitetään työstökoneelle työkalunpitimeen. Se saa käyttövoimansa työstökoneen karalta tai käyttövoima tulee ulkoiselta ohjausyksiköltä, jolloin satelliittipään sisällä oleva moottori pyörittää työkalua.



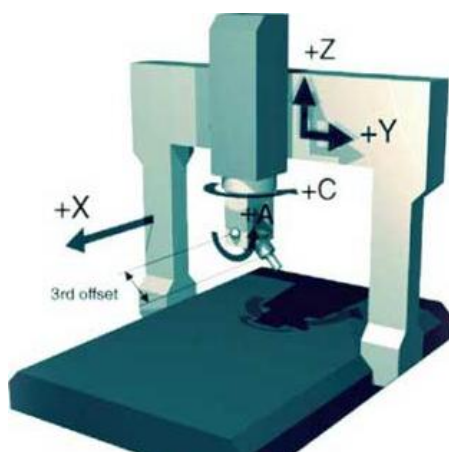
Kuva 12. Kuvassa on satelliittipää. Kuva <http://capelab.com>

Satelliittipää liitetään kolmiakseliseen työstökeskukseen, joka satelliittipään avulla muuttuu viisiakseliseksi työstökeskukseksi. Satelliittipää viedään yleensä manuaalisesti työstökoneen karalle, mutta on myös toteutuksia, joissa liittäminen tapahtuu automaattisesti työkalumakasiinin tai tietyn ennalta ohjelmoidun paikan kautta. Satelliittikaralle on tyypillistä, että sen akseleiden kääntöjä ei hallita työstökoneen ohjauksen avulla, vaan toteutus tapahtuu manuaalisesti. Kääntö voidaan suorittaa työstökoneen karalla tai ennen sinne siirtämistä, jonka jälkeen työkalun kärjen paikka mitataan. Vasta tämän jälkeen koneistus voidaan suorittaa kuten moniakselisilla työstökoneilla, mutta työstön aikana työkalua ei voida kallistella. Tätä koneistusta kutsutaan 3+2-akseliseksi koneistamiseksi ja se on erittäin yleistä kaikilla moniakselisilla työstökoneilla. Satelliittipäätä käytetään yleisesti työvälineiden ja mallien valmistuksessa, ja se on edullinen tapa saavuttaa moniakselisen työstökoneen etuja.

11.3 Universaalipää

Universaalipäällä varustetun konetyypin neljättä ja viidettä akselia kutsutaan universaalipääksi. Konetyypille tyypillistä on suuri koko sekä pitkät liikematkat, jotka saattavat olla useita metrejä. Universaalipää on toimivaksi havaittu toteutusmalli moniakseliselle työstökoneelle ja sitä käytetään teollisuudessa runsaasti. Työstökoneen perusrakenne on yksinkertainen mutta tukeva ja samalla se laskee työstökeskuksen hintaa, sillä samaa perusrakennetta voidaan käyttää myös kolmiakselisessa työstökeskuksessa. Vaikka samaa perusrakennetta voidaan käyttää, niin suuren kokonsa seurauksena nämä työstökeskukset ovat arvokkaita, koska valmistuskustannukset ovat korkeat.

Työstökoneen moniakselinen liikealue on suuri, sillä kallistuvat pöydät tai kääntyvät perusakselit pienentävät työstökeskuksen tehollista toiminta-aluetta (kuva 13), joita tämä konstruktio ei tarvitse.



Kuva 3. Kuvassa on portaalityyppinen koneistuskeskus universaalipäällä varustettuna. Kuva <http://www.nmine.com>

Universaalipäässä neljän ja viides akseli ovat tiiviissä paketissa karayksikön yhteydessä, jolloin sen liikkeiden hahmottaminen on helpompaa kuin yleensä moniakselisessa työstökoneessa, mikä helpottaa ohjelmoitsijan ja koneen käyttäjän tehtäviä. Näin toteutetut lisäakselit myös mahdollistavat ahtaisiin paikkoihin pääsemisen ja työkalua voidaan lisäksi kallistaa yleensä enemmän kuin 90° , jolloin on mahdollista päästä myös työkaluun ”alle”. Universaalipäällä varustetuissa moniakselisissä työstökeskuksissa perusakselien liikkeet ovat moniakselisessä koneistuksessa pienempiä kuin muilla ratkaisuilla, koska kääntyvät akselit ovat karan yhteydessä. Tämä nostaa joissain tapauksissa työstönopeutta ja mahdollistaa suurempien kappaleiden koneistamisen.

Toisinaan nämä koneistuskeskukset ovat niin suuria, että koneen työpöytä ei ole koneen rungon päällä vaan suoraan lattialla. Tämä sallii entistä painavampien kappaleiden koneistuksen pöydän tukevuuden ja kantavuuden parantuessa.

Universaalipäästä on käytössä kaksi erilaista toteutusmallia. Näille yhteistä on, että neljäs ja viides akseli ovat karapäässä eli samassa yksikössä, jossa on työkalun pidin. Näistä yksinkertaisempi malli on kuvassa 14. Tällä ratkaisumallilla on myös joitakin huonoja ominaisuuksia, joista yksi on koneistettavien materiaalien rajallisuus. Tämä universaalipää ei sovellu kuin ”helposti” koneistettaville materiaaleille, sillä sen tukevuus ei riitä kovien materiaalien koneistamiseen. Koneistettavat materiaalit ovat esimerkiksi puu, muovi ja alumiinit. Koneistuksen tarkkuus ei ole aivan huipputasoa, sillä saavutettava tarkkuus on yleensä noin 0,05-0,1 mm luokkaa. Tämä riittää kuitenkin muottien ja mallien valmistamiseen ja siinä käytössä tämä työstökoneytppi yleinen.



Kuva 4. Kuvassa on universaalipäällä varustettu työstökeskus. Kuva <http://www.wagstaffat.com>

Toinen ratkaisumalli universaalipäästä on kuvassa 15. Tämän universaalipään liikenopeudet eivät yllä edellisen tasolle mutta vastaavasti tukevuus ja tarkkuus ovat parempia. Parempi tukevuus perustuu suurempiin johdepintoihin kääntyvien nivelien yhteydessä sekä akseleiden lukitukseen koneistuksen ajaksi. Tällä universaalipäällä ei siis voi kääntää työkalua koneistuksen aikana vaan työkalun paikoitus tehdään ennen koneistusta, jonka jälkeen akselit lukitaan, jolloin saavutetaan hyvä tukevuus ja tarkkuus koneistukseen. Karamoottorin sijoitus on myös erilainen eli karamoottori ei sijaitse suoraan karalla, vaan voima välitetään hammaspyörien avulla karalle, jolloin saatava vääntömomentti kasvaa mutta vastaavasti pyörimisnopeudet jäävät alhaisemmiksi kuin edellisellä universaalipäällä.

Tämän universaalipään liikkeet saattavat tuntua aluksi hieman hankalilta hahmotettavilta, mutta varsin nopeasti ne hahmottuvat. Tämä universaalipää on tarkoitettu metallien koneistamiseen ja on suurissa moniakselisissa työstökoneissa erittäin yleinen ratkaisu. Universaalipäällä varustettu vaakakarainen työstökone voidaan muuttaa kuusiakseliseksi pyöröpöydän avulla. Kuusiakselisuus mahdollistaa työkappaleen koneistamisen joka suunnasta, mikäli se vain kiinnittimien ja muiden asioiden takia on mahdollista.



Kuva 15. Kuvassa on metallien koneistamiseen tarkoitettu universaalipää. Kuva www.hunor.com

11.4 Keinupöytä

Keinupöydällä toteutettu moniakselinen työstökone on yleisin moniakselisuuden toteutustapa työstökeskuksissa (kuva 16).



Kuva 16. Kuvassa on tiltipöydällä varustettu koneistuskeskus. Kuva <http://www.romatex.com>

Keinupöydän vahvuutena on suuri liikenopeus yhdistettynä erinomaiseen toistotarkkuuteen. Tarkkuudet voivat olla jopa alle 0,005 mm ja siitä huolimatta pikaliikenopeudet ovat 60 m/min ja moniakselinen koneistus useiden metrien minuuttivauhdilla. Tämän toteutusmallin vahvuus on koneen perusakseleiden lyhyet

liikkeet moniakselisen koneistuksen aikana, sillä liikkeet toteutetaan työkappaletta pyörittämällä ja keikuttamalla. Vaikka työstökoneen työpöytä on ”ilmassa”, saavutetaan sillä siitä huolimatta hyvä kantavuus, joka pienemmillä työstökoneilla on noin 250 kg ja suuremmilla 2000 kg tai jopa enemmän. Keinupöytä mahdollistaa myös koneistamisen työkappaleen alta, koska työkappaletta voidaan kallistaa noin 110° pystyasennosta. Tässä tulee tietenkin huomioida työkappaleen kiinnittimien asettamat rajoitteet ja työkappaleen etäisyys pöydän pinnasta sekä työkalut.

Keinupöydälle on erilaisia toteutusmalleja, mutta yhteistä niille kaikille on se, että työkappaleen pyöritys ja kallistus ovat työstökoneen työpöydässä. Tästä syystä peruskone on kolmiakselinen, jossa työpöytä on korvattu keinupöydällä. Työstökoneen ohjauksen on tietenkin tuettava moniakselista koneistusta. Keinupöytä on myös mahdollista jälkiasentaa kolmiakseliseen työstökeskukseen, kunhan koneen muut ominaisuudet tukevat tätä. Jälkiasennus ei kuitenkaan täysin vastaa ominaisuuksiltaan alun perin moniakseliseksi rakennettua työstökoneetta, sillä keinupöydän kantavuus ja työpöydän pinta-ala eivät ole vastaavia ja kitaväli jää myös pienemmäksi. Satunnaiselle ja miksei enemminkin moniakselisuutta tarvitsevalle tämä tarjoaa kuitenkin yhden vaihtoehdon, jossa myös hankintahinta on usein edullisempi kuin alun perin moniakseliseksi rakennetulla työstökoneella.

Keinupöydästä on myös kehitetty sorvausmahdollisuudella varustettu malli, jossa pöydän riittävä pyörimisnopeus ja työkalun suuntalukitus mahdollistavat sorvauksen jyrsinän lisäksi.

11.5 Yhdistetty kääntyvä kara ja pyörivä pöytä

Yhdistetty kääntyvä kara ja pyörivä pöytä työstökonemallia ei valmista kuin yksi merkittävä yritys maailmassa, Deckel-Maho, joka on myös samalla suurin moniakselisten työstökeskusten valmistaja. Tämän moniakselisen työstökeskuksen periaate on, että työkappale makaa pyörivällä työpöydällä ja työkalu on kallistuvalla karalla (kuva 17). Deckel-Maho on saavuttanut suuren suosion tällä rakenteella, vaikka siinä on joitakin huonoja ominaisuuksia. Näitä ovat karan kallistaminen pystystä vaakatasoon (0°- 90°) mutta ei työkappaleen alle, kuten esimerkiksi keinupöydässä. Toinen heikkous on, että työkalua voidaan kääntää vain toiseen suuntaan, mikä

aiheuttaa joissakin tilanteissa työkalun irrottamisen työkappaleesta kesken työstön. Tämä saattaa ja yleensä myös jättää jäljen työkappaleeseen siihen kohtaan, jossa irrotus ja uudelleen lähestyminen ovat tapahtuneet.



Kuva 17. Kuvassa on pyörivällä pöydällä ja kallistuvalla työkalulla oleva työstökeskus. Kuva www.wadonet.de

Työstökeskusta valmistetaan nykyään myös sorvausmahdollisuudella, eli työkalu voidaan suuntalukita ja työkappaletta pyörittää pyörivällä pöydällä ja syöttöliikkeen avulla sorvataan. Tämä siis voidaan tehdä jyrsinän lisäksi samalla koneella, mikä on edelleen monipuolistanut tämän työstökoneen käyttöä.

Yhdistetty kääntyvä kara ja pyörivä pöytä työstökoneen etuina ovat tukevuus, yleensä hyvä pöydän kantavuus, rakenteen yksinkertaisuus ja saavutettava toistotarkkuus.

12 TYÖSTÖKONEEN VALINTA

12.1 Perusteet työstökoneen valinnalle

Kuten edellä huomattiin, on moniakselisia työstökoneita monen tyyppisiä. Jokaisella näistä on omat vahvuudet mutta myös heikkoudet. Työstökoneita valittaessa olisi valittava käyttötarkoitukseen paras vaihtoehto, jolloin saavutetaan paras pinnanlaatu, tarkkuus, tuotannon tehokkuus ja yllätyksetön valmistus kokonaisuudessaan.

Työstökone valitaan ensin sen muodon perusteella eli pyörähdyskappaleet sorveille ja muut jyrsinkoneille. Mutta kuten jo edellä huomattiin, voidaan myös moniakselisilla sorveilla jyrsiä ja jyrsinkoneilla sorvata. Näin jakoa ei voida aina suorittaa kappaleen muodon mukaan, vaan sille on myös muita kriteereitä.

12.2 Kappaleen koon vaikutus

Yksi merkittävä kriteeri on työkappaleen koko. Isoa työkappaletta ei voi tehdä pienellä työstökoneella, koska koneen kuormankesto, liikepituudet ja tehokkuus eivät täytä vaatimuksia. Toisaalta taas isoa konetta ei kannata käyttää pienen työkappaleen teossa etenkin sarjavalmistuksessa, sillä ison ja yleensä kalliimman koneen resurssit pitäisi käyttää suuremmalle kappaleelle, joiden yksikköhinta on korkeampi. Ison työstökoneen ongelma pienten työkappaleiden valmistuksessa saattaa olla myös riittämätön johdevoitelu, joka johtuu keskusvoitelujärjestelmältä tulevan öljyn jäämisestä voiteluaukon ympärille. Työstökoneen liikkeitä pidentämällä, öljy leviää tasaisesti johteisiin, jolloin voitelu toimii suunnitellusti. Mikäli tästä ei välitetä tai tätä ongelmaa ei tiedosteta, on mahdollista, että työstökone ajetaan ”loppuun” liian nopeasti.

12.3 Kappaleen yksityiskohtien vaikutus

Työstökoneen valintaan vaikuttavat myös työkappaleen yksityiskohdat. Mikäli kyseessä on kappale, jossa vaaditaan pienillä terillä koneistamista, on valittava siihen tarkoitettu työstökone. Tämä tarkoittaa siis konetta, jolla liikesuuntien vaihto käy nopeasti, ja kun puhutaan moniakselisesta koneistuksesta, niin myös työkappaleen pyöritys ja kallistus sujuu työstönopeutta rajoittamatta. Yleensä on niin, että mitä suurempaan työstökoneeseen mennään, niin sen rauhallisemmin koneistussuuntien muutos myös tapahtuu suurten liikuteltavien massojen seurauksena. Myös työstökoneen konstruktiolla on tässä merkitystä, sillä tilitpöytä on liikkeiltään erittäin nopea ja monipuolinen, kun taas pyörivän pöydän ja kallistuvan karan yhdistelmä on hitaan puoleinen. Hitaus aiheuttaa moniakselisessa ajossa suurella syötöllä hidastumista, sillä työstökoneen liikkeet eivät pysy vaaditun nopeuden mukana. Tämä aiheuttaa työstön nykimistä, mikä johtaa epätarkkuuteen, pinnalaadun huononemiseen ja työkalujen kestoajan laskuun. Tätä ei tule hyväksyä, vaan tilanteeseen on löydettävä toinen ratkaisu.

12.4 Sarjakoon vaikutus

Valmistettavien kappaleiden sarjakoko on myös yksi kriteeri työstökoneen valinnalle. Jos kyseessä on yhden tai useamman kappaleen valmistus, ei työstökoneen valinnalle pidä asettaa liian suurta merkitystä. Tämä siitä syystä, että yksittäistuotannossa kappaleiden vaatimukset, esimerkiksi tuotteen koko voivat vaihdella huomattavasti ja tuskin on olemassa työstökoneita, joka sopisi vaihteleviin tilanteeseen aina ihanteellisesti. Jos vastaavasti puhutaan kymmenistä tai sadoista tai niitä suuremmista kappalemääristä, on saavutettavissa oleva säästö sekä ajallisesti että rahallisesti huomattava, kun on valittu tarpeeseen sopiva työstökone. Mikäli yrityksessä ei ole juuri sitä työstökoneita, joka vaatimuksiin parhaiten sopii, käytetään olemassa olevista koneista parhaiten sopivaa.

13 UUDEN TYÖSTÖKONEEN VALINTA

13.1 Uuden työstökoneen hankinnan perusteet

Uuden moniakselisen työstökoneen hankintaan ei riitä yksi tai muutama asiakastilaus, sillä työstökoneet ovat yrityksille suuria investointeja, ellei puhuta merkittävästä vuosia kestävästä sarjatyöstä. Pelkästään työstökoneen hankinnan lisäksi on myös muistettava työntekijöiden koulutus, työkalut, kiinnittimet jne. Työntekijät on koulutettava työstökoneen käyttäjiksi, jotta uudesta moniakselisesta koneesta saadaan kaikki mahdollinen hyöty irti. Myös uuden koneen tuoma valmistustekniikan kehittäminen on huomioitava, sillä muuten uusi työstökone on vain vanhan konekannan korvausinvestointi eikä vastaa sitä, mihin sitä voisi oikealla käytöllä hyödyntää eli valmistustekniikan muuttamiseen tehokkaammaksi ja tuottavammaksi.

Tästä esimerkkinä voidaan mainita työkalumakasiinin hyödyntämisen eli ostetaan uusi hieno työstökeskus työkalumakasiinilla, joka kuuluu nykyään lähes poikkeuksetta vakiovarustukseen, mutta kuitenkin se jätetään käyttämättä, sillä sitä ei ole käytetty vanhassakaan koneessa, koska se ei toiminut tai sitä ei ole totuttu käyttämään. Mitä kehitystä saatiin uudella työstökoneella aikaiseksi? Tämä on hyvin aiheellinen kysymys, joka voidaan esittää monessa muussakin yhteydessä. Uuden tekniikan haltuunotto on siis erittäin tärkeätä, jotta saadaan investoinneista kaikki mahdollinen hyöty irti.

13.2 Kappaleen vaikutus valinnalle

Uuden moniakselisen työstökoneen valinta tehdään pääasiassa kappaleen koon perusteella ja sen jälkeen valinnan ratkaisevat kappaleen muodot. Mikäli kyseessä on pieni pyörähdyskappale muutamilla sivusta tulevilla muodoilla, on valinta moniakselinen sorvi. Mikäli kappaleen molempia päitä koneistetaan, tarvitaan työstökone, jossa on vastakara, sillä se nopeuttaa ja tehostaa isojen sarjojen tuotantoa huomattavasti. Mikäli kyseessä on edelleen pieni kappale mutta pyörähdysmuotoja on vähän, osuu valinta yleensä tiltipöydällä varustettuun jyrskoneeseen. Mikäli kyseessä on pitkä pyörähdyskappale, jossa on myös jyrskintää, osuu valinta yhdellä kallistuvalla karalla olevaan sorviin.

Kappaleet, joissa jyrä on pääosassa, niin moniakselinen jyrä on luonnollinen valinta. Tässä valinnan ratkaisee lähes yksinään valmistettavien tuotteiden koko. Isojen tuotteiden valmistuksessa, esimerkiksi mallit tai muotit, valinta kohdistuu universaalipöydällä varustettuun jyräkoneeseen. Universaalipöytä tulee myös kysymykseen silloin, jos vaatimuksena on vaakakarainen työstökeskus. Vaakakaraisen työstökoneen hyviä ominaisuuksia ovat luoksepäästävyys ja lastujen luonnollinen virta alas pois työstettävästä kohdasta. Nämä ovat isojen tuotteiden valmistuksessa huomioitavia asioita.

Pienten jyrätyövälineiden työstökonevalinta on vaikeampi. Mikäli tehdään tuotteita, joissa tarvitaan työkalulta yli 90°:n kääntöjä, osuu valinta keinupöydälliseen työstökeskukseen. Mikäli työkalun ei tarvitse kääntyä yli 90° ja tarvitaan työstökoneelta tukevuutta ja isompaa työpöytää, tulee varteenotettavaksi vaihtoehdoksi kääntyvän karan ja pyörivän pöydän yhdistelmä.

Kuten edellä huomataan, työstökoneen valinta ei ole helppoa. Siinä tapauksessa, että valmistettava tuote tunnetaan hyvin ja sitä tullaan valmistamaan pitkään, on työstökoneen valinta selkeää. Muussa tapauksessa työstökoneen valinta on haastavaa. Valintaan vaikuttavat edellä olevien asioiden lisäksi vielä eri valmistajien koneiden hinnoittelu, ominaisuudet, varusteet, huollon saatavuus, koulutustarjonta, aiemmat kokemukset koneesta jne.

14 MILLOIN MONIAKSELINEN VALMISTUS KANNATTAA

14.1 Moniakselisen työstökoneen käyttö

Moniakselisella työstökoneella moniakselinen valmistus ei saa olla ainoa vaihtoehto. Kyseisellä koneella on voitava valmistaa myös muita kuin moniakselisiä kappaleita, mikäli koneen kapasiteetti siihen riittää eikä sopivampia työstökoneita ole tarjolla. Moniakseliset työstökoneet ovat usein työstönopeudeltaan kehittyneitä, sillä ne on rakennettu moniakselisen työstön vaatimiin tarpeisiin. Tämä tarkoittaa yleensä myös koneen hyvää tukevuutta ja tarkkuutta ja näitä ominaisuuksia kannattaa hyödyntää tarpeen mukaan, mikäli resurssit riittävät.

13.2 Työkappaleen kiinnitysten merkitys

Moniakselinen valmistus tulee yleensä aina edullisemmaksi, kun valmistettavaa kappaletta joudutaan kääntämään enemmän kuin kerran ensimmäisen kiinnityksen jälkeen. Kiinnitysten muuttaminen vähentää työstökoneen hyödynnettävissä olevaa koneistusaikaa ilman paletti- tai fms- järjestelmää. Asetusaikojen kesto pitää saada minimiin ja näin ollen moniakselinen valmistus tulee kannattavaksi, kun kääntöjä on useampia.

14.3 Työkappaleen sarjakoon merkitys

Sarjakoko vaikuttaa kannattavuuteen, kuten myös kappaleen monimutkaisuus työstösuuntien lisäksi. Mikäli kappaleessa on useita työstösuuntia mutta ne ovat selkeitä esimerkiksi 90°:n kääntöjä ja niitä valmistetaan vain yksi tai muutama kappale, on syytä tarkastella työstöratojen tekemiseen kuluva aikaa. Mikäli työstöratojen valmistus vie huomattavasti enemmän aikaa moniakselisella työstöllä kuin perinteisellä työstöllä, saattaa jälkimmäinen menetelmä osoittautua kannattavammaksi nopeamman ohjelmoinnin seurauksena. Mikäli käännot ovat haastavia ja kellosta joudutaan tekemään aina sen yhteydessä, on erittäin todennäköistä, että moniakselinen koneistus

on nopeampaa, vaikka ohjelmointi vie enemmän aikaa. Toisaalta myös lähes aina valmistuksen tarkkuus ja laatu paranevat, sillä kappaleen käännoissä mahdollisesti syntyvät virheet jäävät pois.

Sarjakoon noustessa kymmeneen tai sitä suurempaan lukumääriin monen työstösuunnan kappaleilla, ei perinteisellä valmistuksella ole mahdollisuuksia kilpailla moniakselista koneistusta vastaan. Näin ollen ratkaisu on selkeä, kun valitaan valmistustekniikkaa.

14.4 Työkappaleen muotojen merkitys

Sarajakoon ollessa yksi usean koneistussuunnan kappaleilla valinnan ratkaisevat kappaleen muodot ja kiinnitettävyydet. Kappaleessa saattaa olla muotoja, jotka eivät ole mahdollisia kuin moniakselisella työstökoneella, koska työkalun asentoa kappaleeseen joudutaan muuttamaan työstön aikana. Tämä ratkaisee työstökoneen valinnan.

Mikäli kyseistä muotoa kappaleessa ei ole, ratkaisee menetelmän valinnan työkappaleen kiinnitettävyydet ja ohjelmoinnin nopeus. Moniakselista työstöä ei päästä hyödyntämään, jos kiinnitys estää luoksepäästävyyden. Tämä tarkoittaisi siinä tapauksessa oman kiinnittimen valmistusta, ja vain yhden kappaleen valmistuksessa sen kannattavuus on mietittävä huolellisesti. Mikäli kappale voidaan kiinnittää vakiokiinnittimillä perinteiselle työstökoneelle, tulee se todennäköisesti nopeammaksi ja edullisemmaksi.

14.5 Yhteenveto kannattavuudesta

Kuten edellä huomattiin, ei valmistusmenetelmän valinta ole aina itsestään selvää. Menetelmää on syytä miettiä huolellisesti olemassa olevaa tietämystä käyttäen eikä pidä ryhtyä liian hätäisiin toimenpiteisiin. Selkeästi moniakselinen useasta suunnasta koneistettava kappale valmistetaan moniakselisella työstökoneella, kun valmistetaan useampia kappaleita. Yksittäisen kappaleen kohdalla on mietittävä huolellisesti valmistuksen kannattavuutta eri menetelmien kesken. Sarjatuotanto valmistetaan moniakselisella työstökoneella, jos kiinnityksiä tulee enemmän kuin kaksi eli koneistussuuntia on kolme tai enemmän.

15 TYÖKAPPALEEN KIINNITYS

15.1 Vakiokiinnittimet

Opiskelijoiden esitietoihin ennen moniakselisen valmistuksen kurssille pääsemistä kuuluu menetelmäsuunnittelun ja kiinnityskurssin suorittaminen, joten työkappaleen kiinnittämistä ei tämän kurssin aikana kerrata mutta nollapistekiinnitys uutena menetelmänä kuuluu opetuksen sisältöön.

Moniakselisilla työstökoneilla käytetään vakiokiinnittimiä aina kun on mahdollista mutta usein se ei onnistu. Tämä johtuu moniakselisen työstökoneen vaatimasta tilasta valmistettavan kappaleen ympärillä jota ei saa rajoittaa erilaisilla kiinnittimillä. Moniakselisessa valmistuksessa tuote on siis pyrittävä kiinnittämään siten, että kiinnitys on matala, helppo toistaa, tarkka ja riittävän tukeva.

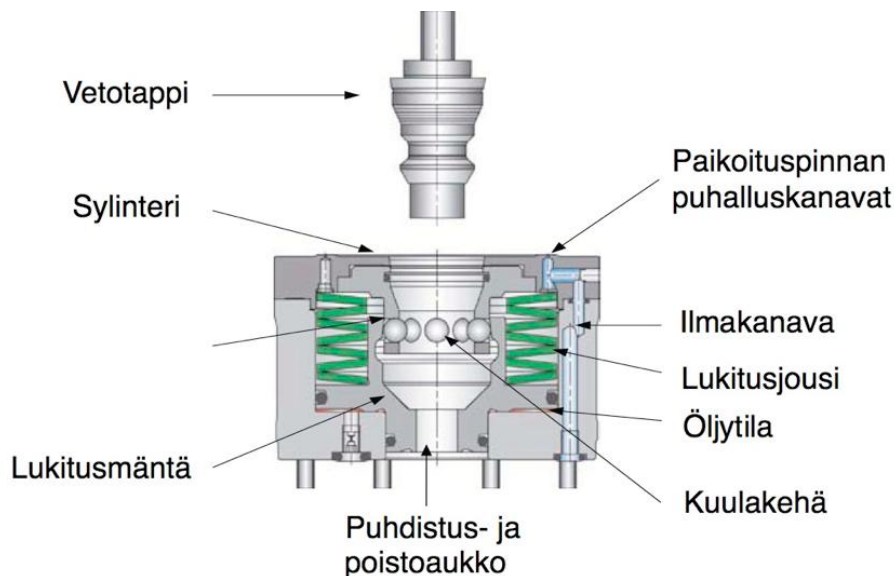
Sorveilla vakiokiinnittimien käyttö on yleisempää ja kolmileukaistukkaa käytetään hyvin useissa tapauksissa, sillä se on edullinen, nopea ja yleensä riittävän tarkka työkappaleen kiinnitysmenetelmä. Se mahdollistaa myös helpon säädettävyyden seurauksena nopeat asetusten muutokset. Jyrsinkoneilla peruskiinnitin on yleensä koneruuvipuristin, mutta sen käyttäminen moniakselisella koneistuskeskuksella ei useinkaan salli työstökoneen ominaisuuksien hyödyntämistä, sillä se ei salli kaikkien suuntien koneistamista. Mikäli työkappale ei siis sovellu vakiokiinnittimiin, vaatii kiinnittäminen oman räätälöidyn kiinnittimen. Tämän suunnittelu kuuluu yleensä yrityksen menetelmäsuunnittelijalle, joka on usein insinööri.

15.2 Nollapistekiinnitysjärjestelmä ja sen osat

Nollapistekiinnitys on kiinnitysmenetelmä, jossa työkappale asemoituu ennalta suunniteltuun paikkaan noin 0,005 mm:n tarkkuudella ja samalla myös oikean asennon kaikkien kolmen X, Y ja Z- akselin suunnassa.

Nollapistekiinnitysjärjestelmä koostuu vetotapista ja sylinteristä (kuva 18). Tyypillisesti vetotapit kiinnitetään työkappaleeseen ruuvin ja ohjaavan kannan avulla, jossa on yleensä H7/g6- luokan toleranssit. Ohjaava kanta suorittaa vetotapin paikoituksen ja on

näin ollen tärkeä yksityiskohta onnistuneen kiinnityksen kannalta. Työkappaletta on siis koneistettava, ennen kuin siihen saadaan kiinnitettyä nollapistekiinnityksen vaatimat vetotapit. Tämä koneistusvaihe on pyrittävä suunnittelemaan siten, että samalla koneistetaan myös työkappaleen valmistuksen kannalta ne kohdat, jotka ovat samalla puolella vetotappien kanssa. Tällä saadaan vähennettyä työkappaleen tarvitsemien kiinnitysten lukumäärä minimiin. Vetotappien lukumäärä vaihtelee siten, että niitä on kaksi tai neljä riippuen kiinnitettävän kappaleen koosta. Vetotappeja on kolme erilaista riippumatta järjestelmän valmistajasta. Yksi vetotapeista on ns. keskittävä, joka määrittää kappaleen sijainnin. Sen lisäksi on ns. linjaavia vetotappeja, jotka varmistavat kiinnityksen oikean suunnan. Näiden lisäksi on vielä kiinnittävä vetotappi, jonka ainoa tehtävä on pitää kappale kiinni. Vetotappien käytöstä on kerrottu enemmän kohdassa toimintaperiaate.



Kuva 58. Kuvassa on nollapistekiinnitysjärjestelmän osat. Kuva Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto

Sylinterit kiinnitetään työstökoneen työpöytään kiinteästi eli niitä ei kiinnityksen jälkeen irroteta missään tilanteessa. Asemointi on tehtävä huolellisesti ja yleensä sen suorittaa järjestelmän toimittaja. Tyypillisesti sylintereiden väli työpöydällä on 200-400 mm ja sylintereitä on pöydällä kahdesta kahdeksaan kappaletta. Niitä voi olla enemmänkin, jos pöydän koko sen sallii. Sylinterit voidaan asentaa sekä pinta-asennuksena (kuva 19) että uppoasennuksena (kuva 20). Näistä kahdesta asennustavasta uppoasennus on parempi, sillä siinä järjestelmän tarvitsemat liittimet, johdot ja letkut on upotettu asennuslevyn sisään eivätkä lastut ja lastuamismesteet pääse vahingoittamaan

järjestelmän komponentteja. Pinta-asennuksen hyvänä puolena voidaan pitää ongelmatilanteiden helppoa ratkaisemista silloin, kun järjestelmässä on vika. Tämä on kuitenkin erittäin harvinaista, sillä järjestelmille luvataan yleensä satojen tuhansien tai miljoonien kiinnityskertojen kestoikä.



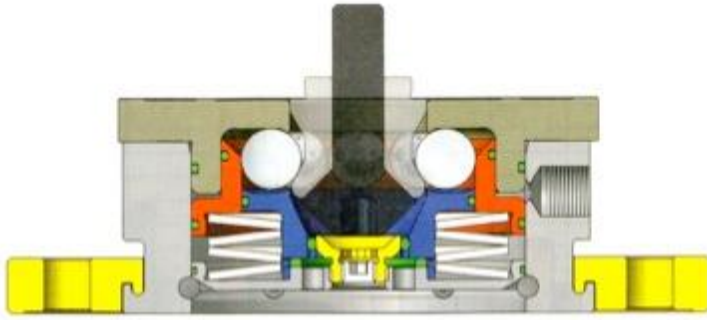
Kuva 19. Kuvassa on nollapistekiinnityksen sylinterit pinta-asennuksessa. Kuva Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus, Tekes 2011



Kuva 20. Kuvasa on nollapistekiinnityksen sylinterit uppoasennuksessa. Kuva Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus, Tekes 2011

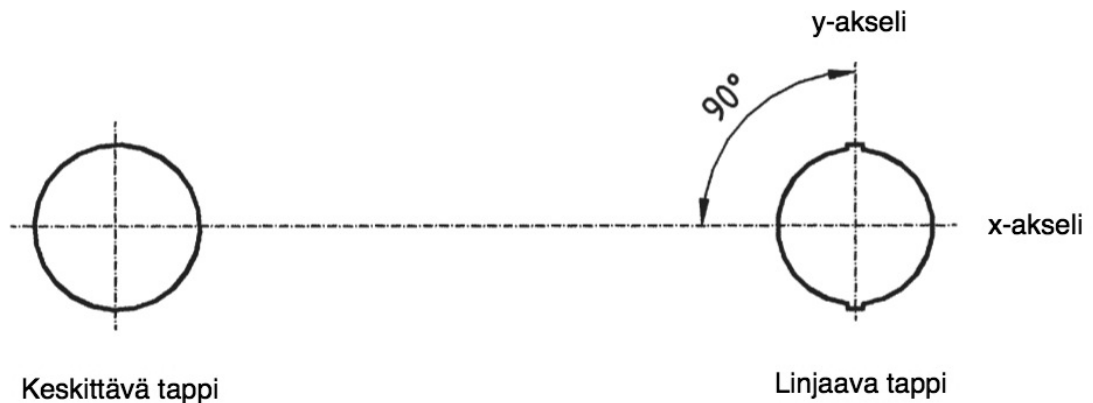
15.4 Nollapistekiinnitysjärjestelmän toimintaperiaate

Vetotappien kiinnitys tapahtuu asemoimisen jälkeen mekaanisesti, kunhan järjestelmän käyttövoima poistetaan sylintereistä. Käyttövoimana käytetään sekä paineilmaa että hydraulikkaa, eikä se vaikuta saavutettavan kiinnitysvoiman suuruuteen. Kiinnitys tapahtuu jousien avulla, jotka työntävät kiiloja, holkkeja tai kuulia vetotapin uraa vasten (kuva 21). Kiinnitysvoima yhdellä nollapistejärjestelmän kiinnityselementillä on yleensä noin 40-70kN ja yleensä elementtejä on kahdesta neljään samanaikaisesti. Näin ollen kiinnitysvoima on alimmillaan noin 80kN, joka on jo erittäin suuri kiinnitysvoima, ja mahdollisuus on saavuttaa jopa yli 200kN:n voima, joka riittää jo lähes kaikkiin tarpeisiin.



Kuva 21. Kuvassa on nollapistekiinnitys lukitussa asennossa, jolloin kuulat painavat vetotappia alaspäin. Kuva Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto

Tyypillisesti vetotappeja on siis kahdesta neljään kappaletta. Mikäli käytetään vain kahta vetotappia (näin on usein esimerkiksi koneruuvipuristissa), on molemmilla tapeilla kiinnityksen lisäksi myös toinen tehtävä. Toinen tapeista on keskittävä tappi, joka siis paikoittaa kappaleen ennakolta tiedettyyn paikkaan. Toinen tappi varmistaa kappaleen asennon eli linjaa kappaleen tiettyyn asentoon X- ja Y- akselien suunnassa (kuva 22).



Kuva 6. Kuvassa on nollapistekiinnityksen vetotappien asemointi kahden tapin kiinnityksessä. Kuva Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto

Neljän tapin kiinnityksessä vetotapit kiinnitetään siten, että vain yksi tapeista on keskittävä ja sitä vastapäisessä kulmassa on vain kiinnittävä vetotappi. Vapaissa paikoissa ovat linjaavat vetotapit, jotka ovat siten, että toinen linjaa X-akselin suuntaa ja toinen Y-akselin suuntaa. Niiden asennuksessa on huolehdittava siitä, että ne eivät ole keskenään ristiriidassa.

15.4 Nollapistekiinnitysjärjestelmän käyttö

Nollapistekiinnitysjärjestelmä on käytössä erittäin yksinkertainen. Seuraavassa on kuvattu järjestelmän käytön periaatteet karkealla tasolla.

1. Kiinnitetään käyttövoiman letku sylintereiden liittimeen
2. Kytetään käyttövoima päälle, jolloin nollapistesylintereiden lukitukset avautuvat
3. Nostetaan kappale pois kolhimatta osia toisiinsa. On suositeltavaa suorittaa nostaminen nosturia käyttäen etenkin, jos nostettava kappale on vähänkään raskaampi
4. Viedään valmis kappale pois
5. Viedään seuraavaksi valmistukseen menossa oleva kappale nollapistekiinnitykseen ja lasketaan alas rauhallisesti. Ennen kappaleen laskemista varmistetaan kaikkien osien puhtaus huolellisesti
6. Kytetään käyttövoima pois päältä ja irrotetaan letku. Kiinnitys on nyt suoritettu ja voidaan aloittaa koneistus (kuva 23).



Kuva 23. Kuvassa on nollapistejärjestelmä kiinnitystornissa pystyasennossa. Kappaletta ollaan juuri siirtämässä kiinnitettäväksi. Kuva Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto

15.5 Nollapistekiinnitysjärjestelmän edut

Nollapistekiinnitysjärjestelmän avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä tuotannossa. Aikasäästö on yksi merkittävimmistä saavutuksista ja säästetty aika voidaan käyttää tuotannon muuhun kehittämiseen. Nollapistekiinnityksen etuja ajansäästön lisäksi on: (Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto)

- toistotarkkuus on erittäin hyvä
- nollapistekiinnitys sopii miehittämättömään ja automatisoituun tuotantoon
- kappaleen väliaikainen irrotus kesken valmistuksen ei hukkaa nollapistettä
- kappaleen viisi sivua ovat vapaina työstölle
- kiinnitysvoimien vaikutukset, jännitykset ja muodonmuutokset ovat vähäiset
- työturvallisuus lisääntyy turvallisien kiinnitysten seurauksena
- vakiokiinnittimien kiinnitys ja paikoitus ovat nopeaa
- räätälöityjen kiinnittimien kiinnitys ja paikoitus sujuvat nopeasti

15.6 Nollapistekiinnitysjärjestelmän haitat

Haittoja nollapistekiinnitysjärjestelmällä on toki myös. Ehkäpä sen yleistymisen suurimpana esteenä on ollut järjestelmän hinta, joka helposti nousee useisiin kymmeneen tuhansiin euroihin. Moniakselisessa valmistuksessa ongelmana on usein myös kiinnityksen mataluus eli koneistettava kohta kappaleesta tulee liian lähelle työstökoneen pöytää. Tämä vaatii kappaleen nostamista ylöspäin, jolloin nollapistekiinnityksen elementtejä ei voida kiinnittää suoraan työkappaleeseen vaan sen vaatimaan kiinnittimeen. Muita huonoja ominaisuuksia nollapistekiinnitysjärjestelmällä ovat seuraavat: (Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lauri Pursiainen 2010, Lappeenrannan tekninen yliopisto)

- nollapistekiinnityksen elementit vaativat koneistusta kiinnitettävään osaan
- paikoituspintojen ja vetotappien kiinnitykset aiheuttavat rajoituksia kappaleen muodolle
- vetotappien kiinnitys koneistettavaan kappaleeseen on tehtävä huolellisesti
- käyttövoiman liittäminen ja irrottaminen järjestelmästä on hidasta
- lastujen ja epäpuhtauksien haittavaikutuksia ilmenee
- monimuotoisten kappaleiden kiinnitys ei välttämättä onnistu ilman omaa kiinnitintä

16 ASETUKSET MONIAKSELISELLA TYÖSTÖKONEELLA

16.1 Työkappaleen kiinnittäminen

Edellisessä kappaleessa aiheena oli nollapistekiinnitysjärjestelmä. Se on yksi tapa kiinnittää työkappaleita työstökoneelle mutta sillä ei voida kaikkia kiinnityksiä toteuttaa. Moniakselisilla työstökoneilla käytetään usein nollapistekiinnitysjärjestelmää, koska sen avulla muut kiinnittimet kiinnitetään nopeasti, tarkasti ja vaivattomasti.

Moniakselisesta työstökoneesta ei ole vastaavaa hyötyä, mikäli työkappaleen kiinnitysten lukumäärää ei saada minimoitua. Tätä varten joudutaan toisinaan turvautumaan normaalista poikkeaviin ratkaisuihin, mutta niistä hieman myöhemmin.

Moniakselisella sorvilla työkappaleen kiinnityksen eroavaisuus perinteiseen sorviin nähden on usein olematon ja näin ollen yleisin kiinnitin on kolmileukaistukka. Kolmileukaistukan tarkkuus, tukevuus ja kiinnitysvoima riittävät yleensä aina täyttämään kiinnityksen vaatimukset. Sen vaatima tilantarve on myös pieni, eli näin ollen se on erittäin sovelias myös moniakselisten työkappaleiden kiinnittämiseen. Mikäli työkappaleen kiinnittämiseen ei sovellu kolmileukaistukka, voidaan käyttää nelileukaistukkaa. Mikäli tämäkään istukka ei kiinnitykseen sovellu, joudutaan yleensä turvautumaan erikoiskiinnittimeen. Tämä tarkoittaa kiinnitintä, joka on suunniteltu juuri tietyn kappaleen valmistusta varten. Tällainen kiinnitin on pyrittävä valmistamaan mahdollisimman yksinkertaiseksi mutta tukevaksi, kappaleen kiinnitys mahdollisimman helpoksi, luotettavaksi, toistettavuudeltaan varmaksi sekä helposti kiinnitettäväksi sorvin karalle.

Koneistuskeskuksissa tilanne on usein toinen. Koneistuskeskuksissa tyypillisiä kiinnittimiä ovat koneruuvipuristimet, erilaiset istukat, kuten kolmileukaistukka, kiinnitysraudat, nollapistekiinnitys, matalakiinnittimet ja kappalekohtaiset kiinnittimet. Näistä moniakselisessa valmistuksessa ongelmallisimpia ovat koneruuvipuristimet ja kiinnitysraudat. Niiden ongelmana on yleensä se, että nämä kiinnittimet eivät jätä työkappaleen sivuja vapaiksi koneistukselle. Näin ollen niiden käyttöä on harkittava huolellisesti. Ne soveltuvat käytettäväksi siinä tapauksessa, että kappaleen koneistukset eivät tule kiinnityksien vaatimille sivuille tai kappaleen mitat ja muodot sallivat näiden kiinnittimien käyttämisen.

Nollapiste- ja matalakiinnityksen ongelmana moniakselisilla työstökeskuksilla on se, että niitä käytettäessä työkappale on liian lähellä työstökoneen pöytää eikä työstökoneella päästä ilman törmäyksen vaaraa koneistamaan kaikkia muotoja. Näitä kiinnitysmenetelmiä voidaan käyttää siis vain siinä tapauksessa, että kappaleen koneistukset ovat riittävällä korkeudella työstökoneen pöydän pinnasta. Edellä mainittujen syiden seurauksena moniakselisille työstökeskuksille on kehitetty niiden vaatimia kiinnittimiä, joilla nämä ongelmat voidaan suurelta osin kiertää.

16.2 Kiinnittimet

Koneruuvipuristimesta on tullut markkinoille versioita, jotka on varustettu korkealla olevilla leuoilla, jotka nostavat kappaleen riittävän ylös työpöydän pinnasta ja kaikki viisi sivua jäävät vapaiksi koneistuksen tarpeisiin (kuva 24). Tämä kiinnintyyppi on toimiva silloin, kun kappale on kooltaan sille sopiva ja kappaleessa on sopivat kiinnityspinnat puristimen leuoille.



Kuva 247. Kuvassa on koneruuvipuristin, jonka leuat ovat suunniteltu moniakselista koneistamista varten. Kuva <http://www.kurtworkholding.com>

Jossakin tapauksissa normaalin koneruuvipuristimen voi myös nostaa korotuspalojen päälle, ja näin saavutetaan tarvittava tila työstökoneelle kappaleen kaikkien muotojen koneistamiseksi.

Mikäli kappale ei sovellu tälle eikä muillekaan vakiokiinnittimille, joudutaan työkappaleelle suunnittelemaan ja valmistamaan sopiva kiinnitin. Tämä on haastava työtehtävä, joka kuuluu usein yrityksen menetelmäsuunnittelijan tehtäviin.

Yksinkertaisin kiinnitin tietyn kappaleen kiinnittämiseen on kappaleen pohjaan ruuveilla kiinnitettävä ”korotuspala”, joka kiinnitetään vakiokiinnittimeen. Näin kappale saadaan nostettua koneistettavalle korkeudelle.

Kappalekohtaisen kiinnittimien suunnittelu aloitetaan valmistettavan tuotteen ehdoilla, kuitenkin työstökoneen ominaisuudet huomioiden. Tuotteen ympärille rakennettavan kiinnittimen suunnittelussa on huomioitava tuotteen vaatimukset mutta myös tuotteessa olisi huomioitava kiinnityksen tarpeet. Usein vaikeasti kiinnitettävät tuotteet ovat valuja, joiden suunnittelussa kiinnitystarpeet usein unohdetaan. Kuitenkin valun suunnittelussa ja valmistuksessa kiinnityksen vaatimien lisämuotojen tai korvakkeiden valmistus on yleensä helppoa (kuva 25). Näillä lisämuodoilla jatkojalostus helpottuu huomattavasti, sillä tuotteen kiinnittämisen vaatimat työt helpottuvat huomattavasti. Oikein suunniteltuna tuotteen kiinnittäminen kiinnittimeen tarkoittaa yhden ruuvin tai vastaavan elementin lukitsemista sen jälkeen, kun tuote on nostettu oikealle paikalle.



Kuva 25. Kappaleeseen lisätty T-muoto, jonka avulla kappaleen kiinnittäminen tapahtuu yksiselitteisesti, www.valuatlas.fi

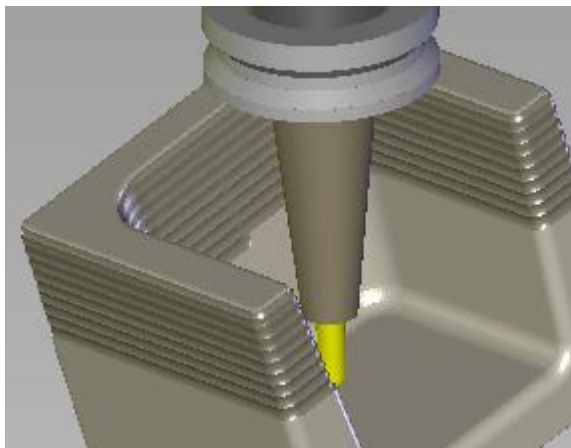
Kiinnittimen ollessa mikä tahansa edellä mainituista sen on otettava huomioon valmistuksen vaatimukset eli kiinnitysten määrä on pyrittävä minimoimaan niin vähäiseksi kuin mahdollista. Paras mahdollinen kiinnitysten lukumäärä moniakselisessa valmistuksessa on yksi ja tähän on syytä pyrkiä. Kuitenkin kiinnitysten lukumäärä on usein kaksi, sillä se mahdollistaa kaikkien sivujen koneistuksen moniakselisilla työstökoneilla lähes kaikissa tilanteissa.

16.3 Työkalujen kiinnittäminen

Työkalujen kiinnittämisessä on paljon samoja elementtejä ja osia kuin perinteisillä työstökoneilla. Mutta on myös joitakin eroja. Kaikessa koneistamisessa työkalujen kiinnitys pyritään pitämään niin lyhyenä kuin mahdollista, sillä siten saavutetaan paras mahdollinen työkalukiinnityksen tukevuus. Tämä mahdollistaa paremman tarkkuuden, hyvän pinnanlaadun, työkalujen kestoian, työstön tehokkuuden jne. Moniakselisessa valmistuksessa tuotteen vaatimukset mutta myös työstökoneen ominaisuudet vaativat toisinaan kuitenkin poikkeuksia. Tämä tarkoittaa usein erittäin pitkien ja hoikkien työkalujen käyttöä, jotta työstökoneen ominaisuuksia voidaan hyödyntää ja että tuotteen vaativia muotoja voidaan koneistaa.

16.4 Pitkien työkalujen käyttö

Pitkillä työkaluilla tai enemmänkin niiden kiinnittimillä pyritään kompensoimaan työstökoneen tarvitsemaa liiketilaa, jotta työkappale ja työstökone eivät osuisi toisiinsa koneistuksen aikana (kuva 26). Niitä tarvitaan usein myös sen takia, että koneistettavat alueet ovat haastavissa paikoissa.



Kuva 26. Kuvassa suoritetaan koneistusta normaalia pidemmällä työkalulla työkalun nurkkapyörityksellä. Kuva [http:// www.onecnc.net](http://www.onecnc.net)

Pitkällä työkalulla saadaan tarvittavaa etäisyyttä, jotta moniakselisiä liikkeitä voidaan toteuttaa. Pitkä ja hoikka (lue epätukeva) työkalu vaatii erilaiset työstöarvot kuin tukevasti kiinnitetty. Tämä on osattava huomioida työstöarvojen luonnissa, jotta vältetään ikäviltä työkalurikoilta, laatuvirheilta tai turhilta koneistuksen keskeytyksiltä. Pitkien työkalujen työstöarvoissa oleellisin muutos verrattuna lyhyeen kiinnityksen on

lastun syvyys. Lastun syvyys on yleensä huomattavasti pienempi kuin tukevassa kiinnityksessä. Tähän ei kuitenkaan voi antaa yhtä oikeaa ohjearvoa, sillä koneistukset eroavat yleensä aina toisistaan. Eroavuuksia ovat mm. työkappaleen ja kiinnityksen eroavaisuudet, materiaalierot, työkalujen eroavaisuudet, työstökoneiden eroavaisuudet jne.

Ohjeena on, että pidetään lastuamisnopeus ja hammaskohtainen syöttö vakiona, samoin lastuamislämpötilan tai ilmapuhalluksen määrää vakiona mutta muutetaan syvyysasetusta selvästi pienemmäksi kuin lyhyttä työkalukiinnitystä käyttäessä.

16.5 Kutisteistukka

Moniakselisessa koneistuksessa kutisteistukoiden käyttö on laajempaa kuin perinteisillä työstökoneilla. Kutisteistukat soveltuvat käytettäväksi kaikilla työstökoneilla, joissa käytetään pyöriä työkaluja, mutta juuri moniakselisilla työstökoneilla ne ovat yleisiä. Niillä saavutetaan suuria kiinnityspituuksia ja samaan aikaan tukevuus on tyydyttävä. Kutisteistukka on rakenteeltaan varsin yksinkertainen, eli se koostuu työstökoneen kiinnityskartiolle sopivasta vastakartiosta, jonka jatkona on kartion muotoinen runko työkalua varten (kuva 27). Rungon päässä on reikä työkalulle, jonka koko on hieman työkalun varren halkaisijaa pienempi.



Kuva 27. Kuvassa on kutisteistukka. Kuva <http://www.suomenteratuonti.fi>

Kutisteistukan runkoa lämmitetään induktiivisella lämmittimellä, jolloin siinä olevan reiän halkaisija kasvaa niin paljon, että huoneilman lämpöinen kovametallinen työkalu

voidaan työntää sen sisälle (kuva 28). Tämän jälkeen istukkaa jäähdytetään paineilmalla, jolloin istukka jäähtyessään kutistuu työkalun ympärille kiinnittäen sen tukevasti ja tarkasti. Tämä liitos on tarkka, tasapainoinen ja tukeva ja se antaa mahdollisuuden suorittaa hankalasti luoksepäästävien muotojen koneistuksen.



Kuva 28. Kuvassa on kutisteliitoksien valmistamiseen tarvittava laite. Kuva <http://img.directindustry.com>

Työkalun irrotus tapahtuu vastaavalla tavalla kuin liittäminen eli pidintä lämmitettäessä siinä oleva reikä laajenee, jolloin työkalu voidaan vetää pois. Kutisteistukka kestää kokemusten mukaan satoja kiinnitys- ja irrotuskertoja oikein käytettynä.

17 OPISKELU

17.1 Lähi- ja etätunnit

Moniakselista valmistusta opiskellaan sekä lähi- ja etätuntien avulla. Lähituntien aikana käydään luennoitsijan johdolla moniakselisen valmistuksen vaiheet läpi kohta kohdalta tämän työn aineistoon tukeutuen. Etätunneilla tarkoitetaan muun kuin kouluaikana tapahtuvaa opiskelua. Etätuntien aikana valmistetaan seminaariesitys, joka on laaja arvioitava tehtävä, jossa opiskelija tulee tutustumaan moniakseliseen valmistukseen. Seminaarityöstä hieman myöhemmin lisää.

17.2 Käytettävissä olevat tuntiresurssit ja niiden käyttö

Moniakselisen valmistuksen opiskeluun on käytettävissä 28 lähituntia, jotka tulevat jakautumaan seuraavasti:

- moniakselisen työstön haasteet	2 h
- seminaarityö	2 h
- moniakseliset työstökoneet	5 h
- moniakselinen valmistuksen kannattavuus	2 h
- nollapistekiinnitys	2 h
- työkalujen kutistukiinnitys	1 h
- koneistaminen oppimisympäristössä	6 h
- vierailu yrityksessä	2 h
- seminaariesityksen pitäminen	4 h
- kirjallinen koe	2 h

Seuraavaksi tutustutaan niihin aihealueisiin, jotka poikkeavat normaalista luennoitsijavetoisesta luokkaopetuksesta.

17.2 Seminaariesitys

Seminaariesityksellä tarkoitetaan opiskelijan tekemään esitystä jostain tietystä aiheesta, joka valitaan yhdessä ohjaajan kanssa. Seminaari koostuu kirjallisesta raportista sekä suullisesta esityksessä ja sen pituus vaihtelee tyypillisesti 10–30 minuuttiin. Seminaariesityksessä on toivottavaa, että opiskelija käyttää havaintomateriaalia esityksensä tueksi, kuten esimerkiksi kuvia ja videoita.

Moniakselisen valmistuksen kurssilla seminaariesityksellä tavoitellaan myös opiskelijoiden orientoitumista opiskeluun sekä tiedon hakuun. Nämä tukevat uuden asian opiskelua.

Seminaarityön tehtävän anto on seuraava: opiskelija saa piirustuksen, josta selviää valmistettavan kappaleen mitat ja valmistettava kappalemäärä. Tämän jälkeen opiskelija valitsee valmistukseen soveltuvat työkalut työstöarvoineen, käytettävän työstökoneen ja työkalukappalekiinnittimen. Näiden jälkeen hän suunnittelee työn vaiheistuksen.

Seminaarityön esitys tapahtuu siten, että opiskelija esittelee piirustuksen muille. Sen jälkeen hän osoittaa työkalut eri muotojen koneistamiseen työstöarvoineen. Seuraavaksi tulee työkappaleen kiinnittämisen esittäminen ja sen jälkeen työstökone. Näiden jälkeen opiskelija esittelee vielä työvaiheiden järjestyksen. Tämä kokonaisuus on normaalia työnsuunnittelua konepajoissa ja näin ollen insinöörin osaamisen kannalta tärkeä elementti.

Moniakselisen valmistuksen kurssilla seminaaritöiden esityksille on varattu aikaa yhteensä neljä tuntia. Jokaiselle opiskelijalle varataan seminaarienesitykseen aikaa noin 10 minuuttia. Yhteensä 20 opiskelijaa käsittävälle luokalle tämä tarkoittaa noin 3,5 tunnin kokonaisaikaa, johon on vielä lisättävä keskusteluun ja järjestelyihin kuluvat ajat.

17.3 Koneistaminen oppimisympäristössä

Tampereen ammattiopiston oppimisympäristössä on viisiakselinen Deckel-Maho-koneistuskeskus, jota tullaan hyödyntämään tulevien insinöörien koulutuksessa. Tällä hetkellä oppimisympäristön pääkäyttökohteena on toisen asteen ammatillinen koulutus mutta sitä käytetään myös alihankintakoneistuksissa. Ympäristössä on mahdollista tutustua myös nollapiste- ja työkalujen kutistekiinnitykseen, joita molempia tullaan käyttämään insinöörien koulutuksessa.

Insinööriopiskelijat valmistelevat CAD/CAM-opintojen aikana työstöradat harjoitustöille, jotka tullaan oppimisympäristössä koneistamaan. Kouluttajan avustamana insinööriopiskelijat tekevät kaikki tarvittavat asetukset koneistukseen. Näitä asetuksia ovat mm. työkalujen kiinnittäminen ja mittaaminen sekä työkappaleen kiinnittäminen ja nollapisteen haku kosketusanturin avulla. CAD/CAM-tuntien aikana valmisteltu työstörata siirretään työstökoneelle, minkä jälkeen suoritetaan työstö. Työstöradan toiminta varmistetaan ennen työkappaleen koneistamista ajamalla se kertaalleen ”ilmassa” eli ilman työkappaletta. Näin menetellen vältetään ikäviltä yllätyksiltä.

Insinööriopiskelijoiden ei tarvitse hallita työstökoneen käyttöä mutta he osallistuvat kaikkeen mitä koneistukseen liittyy. Tämä antaa opiskelijoille käsityksen moniakselisesta koneistuksesta, kun he pääsevät osalliseksi sitä.

17.3 Vierailu yrityksessä

Moniakselisen valmistuksen kurssin aikana käydään tutustumiskäynnillä yhdessä konepajassa, joka käyttää moniakselisia työstökeskuksia. Yleensä opintojen aikana suoritettut yritysvierailut ovat saaneet opiskelijoilta positiivisen vastaanoton, koska yrityksissä pääsee näkemään sitä oikeaa toimintaa ja oikeita ympäristöjä, joissa koneita ja laitteita käytetään. Konepajojen siisteys on myös yleensä niin hyvä, että se hämmästyttää opiskelijoita ja se muuttaa usein opiskelijoiden käsitystä alan töistä.

Vierailun tarkoitus on myös antaa opiskelijoille käsitys siitä, mikä heitä teollisuudessa odottaa. Yrityksen edustajan toimiessa esittelijänä hän yleensä myös kertoo yrityksen tuotannosta ja toiminnasta. Yleensä esille tulevat myös uusiin työntekijöihin kohdistuvat odotukset ja tässä tapauksessa opiskelijoita kiinnostaa vaatimukset insinööreille. Nämä keskustelut jäävät yleensä opiskelijoiden mieleen ja usein vaikuttavat heidän tavoitteisiinsa.

18 YHTEEVETO

18.1 Tavoite

Tavoitteena oli luoda moniakselisen valmistuksen koulutusrunko insinööriopiskelijoille. Tämä tavoite työn aikana saavutettiin. Yhden kurssin tai yhden tutkinnon aikana kenestäkään ei kuitenkaan tule moniakselisen valmistuksen ammattilaista mutta tavoitteena on antaa perusosaaminen, jonka pohjalle huippuosaaminen voidaan rakentaa. Ammattilaiseksi tullaan kuitenkin vasta työelämässä.

18.2 Tulokset

Tuloksia on vaikea arvioida ennen ensimmäistäkään aineiston avulla suoritettua koulutusta. Aineisto ei kaikilta osin suoraan sovellu käytettäväksi koulutusmateriaalina mutta sen pohjalta koulutusmateriaalin luonti on mahdollista. Työn tekijä on kuitenkin tyytyväinen työn tuotokseen.

18.3 Kehitettävää

Menetelmätekniikan hallinta on jatkuvasti laajentuva käsite, sillä koneet, välineet ja ohjelmat kehittyvät jatkuvasti ja näistä uusia menetelmiä olisi pystyttävä hyödyntämään nopeasti ja tehokkaasti. Tämä ei ole helppo tehtävä kenellekään, ei edes pitkään alalla töitä tehneelle henkilölle. Koulutuksen ja koulutuksessa käytettävien materiaalien ja aineistojen olisi pysyttävä kehityksen perässä, jotta insinööriopiskelijoilla olisi käytettävissään uusimmat tiedot, kun he siirtyvät työelämään. Tämä on siis jatkuvan kehittämisen kenttä.

LÄHTEET

- Majuri M. P. 2003. Pirkanmaan pk – konepajojen kehitystarvekartoitus, Tampereen teknillinen yliopisto, ISBN 952-15-1063-3
- Hirsjärvi S, Remes P & Sajavaara P, P. 2000. Tutki ja kirjoita. Vantaa: Tammi
- Eskola J & Suoranta J, P. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino
- Reunanen T (toim.) P. 2011. Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus, Tekes
- Pursiainen L. P. 2010. Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa, Lappeenrannan tekninen yliopisto
- <http://www.tamk.fi>
- <http://www.edufix.fi>
- <http://www.gearsolutions.fi>
- <http://www.mwmachinery.com>
- <http://www.okuma.com>
- <http://www.mmsonline.com>
- <http://www.lyndexnikken.com/>
- <http://www.exapro.com/>
- <http://www.directindustry.com/>
- <http://www.wagstaffat.com/>
- <http://www.nmine.com/>
- <http://cape.sdsmt.edu/>
- <http://www.romatex.pl/>
- <http://www.wadonet.de/>
- <http://www.techspex.com/>
- <http://www.kurtworkholding.com/>
- <http://www.onecnc.net/>
- <http://suomenteratuonti.fi/>
- <http://img.directindustry.com/>
- <http://www.valuatlas.fi>

LIITTEET

Liite 1: Kysymyslomake

Liite 2: Vastaukset

KYSYMYSLOMAKE

TAMK

Ylempi AMK

Mika Heikkilä

mika.a.heikkila@tampere.fi

p.0408618684

Tuotantoinsinöörien moniakselisen valmistuksen taidot

Moniakselinen valmistus tarkoittaa tässä kyselyssä sitä, että valmistustekniikassa käytetään työstökoneita, jossa on enemmän liikkuvia akseleita kuin perinteisesti on totuttu (3- akselinen jyrsinkone tai 2- akselinen sorvi). Näin ollen moniakselisiksi työstökoneiksi voidaan laskea esimerkiksi 5- akselinen koneistuskeskus tai pyörivillä työkaluilla varustettu CNC- sorvi.

Tällä kyselylomakkeella on tarkoitus selvittää yritysten asettamia osaamistavoitteita moniakselisestä valmistuksesta tuotantotekniikan insinööreille, jotka heillä pitäisi olla hallinnassa koulutuksen päätyttyä. Kysymyksissä siis viitataan valmistuviin insinööreihin, jos muuta ei kysymyksessä mainita. Tämän kyselylomakkeen avulla kerätyt tiedot kootaan yhteen ja niistä tehdään tutkimusaineisto. Tätä aineistoa käytetään apuna, kun laaditaan seuraavaksi voimaan tulevat insinöörikoulutuksen opetussuunnitelmat.

Yksittäisen yrityksen vastaukset eivät näy ilmi kerätystä aineistosta.

Tarvittaessa ottaa yhteyttä Mika Heikkilään.

Yleiset kysymykset

1. Yrityksenne työntekijämäärä, kun toimihenkilöitä ei huomioida?

1-9

10-25

26-50

yli 50-100

yli 100

2. Millä osaamisalueella ovat mielestänne suurimmat puutteet valmistuvilla insinööreillä?
3. Mikä yksittäinen osaamisalue valmistustekniikassa on mielestänne tärkein uuden insinöörin koulutuksessa?
4. Onko insinööreillä riittävä osaamisen valmistuksen perusteista (jyrsintä, sorvaus, työkalut jne.)? Perustele
5. Määritelmäasteikolla 1 – 5 (1 = tyydyttävä, 5 = kiitettävä) uusien insinöörien seuraavat perustaidot:
 - piirustustenluku_____
 - matematiikan taidot_____
 - suunnittelutaidot____
 - mittaustekniikka____
 - yhteistyötaidot____
6. Kuinka laajasti insinöörin koulutuksessa pitäisi toteuttaa valmistustekniikan ja suunnittelun koulutusta? Perustele
7. Millaisia valmistukseen liittyviä tehtäviä insinöörit teidän yrityksessä tekevät?

Moniakselisen valmistuksen kysymykset

1. Numeroi insinööriopiskelijan osaamisen kannalta asiat tärkeysjärjestyksessä siten, että tärkein on 1 ja vähiten tärkein on 7
____ moniakselisen työstökoneen käyttö

___ CAD (tietokoneavusteinen suunnittelu) / CAM (tietokoneavusteinen valmistus) – järjestelmän hallinta

___ menetelmäsuunnittelun hallinta (menetelmäsuunnittelulla tarkoitetaan uusien työmenetelmien kehittämistä tai vanhojen menetelmien parantamista ja sen katsotaan sisältävän ainakin seuraavia tehtäviä: NC- ohjelmointi, kiinnittin-suunnittelu, tk- hankinnat ja tuotannon ohjaus tai suunnittelu)

___ moniakselisen valmistuksen merkityksen ymmärtäminen

___ moniakselisen valmistuksen kustannuslaskenta

___ valmistustekniikan yleinen hallinta, esim. jyräinti

___ moniakselisen valmistuksen kokonaisuuden hallinta

2. Kuinka tärkeänä pidätte moniakselista koulutusta insinööreille? Perustelee
3. Mitä osa-alueita tulisi ehdottomasti ottaa mukaan moniakseliseen koulutukseen?
4. Mikä näistä mainitsemistasi asioista on tärkein ja miksi?
5. Kumpaan osa-alueeseen moniakselisessä koulutuksessa tulisi panostaa, CAD/CAM- osaamiseen vai valmistuksen hallintaan? Perustelee
6. Kumpi on moniakselisessä koulutuksessa tärkeämmässä roolissa, CAD vai CAM? Perustelee
7. Laita alla olevat asiat **koulutuksen** kannalta tärkeysjärjestykseen siten, että tärkein on 1 ja vähiten tärkein on 7?

___ moniakselisen valmistuksen ymmärtäminen

___ tuotesuunnittelu

___ työstöratujen valmistus moniakselisille työstökoneille

___ työnjohdolliset tehtävät moniakselisessä työympäristössä

___ tarjouslaskenta moniakselisesti valmistettaville tuotteille

___ työkappaleiden kiinnitinsuunnittelu

___ moniakselisen työstökoneen käyttö

8. Mitä työkappaleiden kiinnitinsuunnittelun koulutuksessa pitäisi huomioida?
9. Moniakselisia työstökoneita on useilla eri valmistajilla. Ne eroavat toisistaan usein rakenteellisesti sekä tarkoitukseltaan että toiminnaltaan. Onko tärkeätä käydä koulutuksessa läpi jotain tiettyjä konetyyppejä ja niiden toimintoja vai se, että insinööri hallitsee moniakselisen valmistuksen jollain työstökoneella?
Perustele
10. Onko insinöörin osattava lukea moniakselisen työstökoneen ohjelmointikieltä?
Perustele
11. Kuinka tärkeää insinöörien on hallita työkalut, joita työstökoneilla käytetään?
Perustele
12. Menetelmäsuunnittelu on laaja kokonaisuus. Mitkä siihen liittyvistä taidoista insinöörien pitäisi hallita?
13. Seuraavaksi voitte vapaasti esittää näkemyksiä ja mielipiteitä insinöörinkoulutuksesta.
14. Olisiko teillä tai jollain henkilöllä teidän yrityksessä halua / mahdollisuutta kouluttaa insinööreille moniakselista valmistusta?

Yleiset kysymykset

Yleisiä kysymyksiä kysyttiin, jotta koulutuksen suunnittelussa voitaisiin huomioida insinöörien perustaidoissa mahdollisesti havaittuja osaamispuutteita.

8. Yrityksen työntekijämäärää kysyttiin, jotta nähdään onko sillä vaikutusta vastauksiin.

1-9 ->0, 10-25 ->2, 26-50 ->3, 50-100 ->0, yli 100 ->2

9. Millä osaamisalueella ovat mielestänne suurimmat puutteet valmistuvilla insinööreillä?

- ei ole kokemusta koneistamisesta
- menetelmäsuunnittelussa
- käytännön CAD/CAM osaaminen
- käsityötaidot ovat puutteelliset
- motivaatiossa

10. Mikä yksittäinen osaamisalue valmistustekniikassa on mielestänne tärkein uuden insinöörin koulutuksessa?

- valmistustekniikan tunteminen yleensä
- monipuolisuus
- koneenrakennus
- menetelmäsuunnittelu
- työnohjaus (lean)
- raaka-aine tuntemus

11. Onko insinööreillä riittävä osaamisen valmistuksen perusteista (jyrsintä, sorvaus, työkalut jne.)?

- ei ole
- käytännön kokemus puuttuu useilta

12. Määritellä asteikolla 1 – 5 (1 = tyydyttävä, 5 = kiitettävä) uusien insinöörien seuraavat perustaidot (vastaukset ovat numeroitu vastausten keskiarvon perusteella):

- piirustustenluku -> 3
- matematiikan taidot -> 4
- suunnittelutaidot -> 2
- mittaustekniikka -> 3
- yhteistyötaidot -> 4

13. Kuinka laajasti insinöörin koulutuksessa pitäisi toteuttaa valmistustekniikan ja suunnittelun koulutusta?
- valmistustekniikka on tärkeämpi, sillä muuten suunnitelmista tulee liian ”kalliita”
 - valmistustekniikan koulutukseen pitäisi panostaa nykyistä enemmän
 - molempia pitää osata sillä ne liittyvät toisiinsa oleellisesti
 - työstökoneen valinnan perusteet eli oikea kone oikeaan paikkaan
14. Millaisia valmistukseen liittyviä tehtäviä insinöörit teidän yrityksessä tekevät?
- tuotannon suunnittelua
 - ohjelmointi
 - myyntitehtävä
 - valusuunnittelu
 - lohkosuunnittelu

Moniakselisen valmistuksen kysymykset

Painoarvo koulutuksen suunnittelussa oli näillä kysymyksillä, koska nämä ovat suoraan opinnäytetyön aiheeseen liittyviä kysymyksiä.

15. Numeroi insinööriopiskelijan osaamisen kannalta asiat tärkeysjärjestyksessä siten, että tärkein on 1 ja vähiten tärkein on 7. Vastausten numerointi on asetettu keskiarvon perusteella.
- moniakselisen työstökoneen käyttö -> 7
 - CAD (tietokoneavusteinen suunnittelu) / CAM (tietokoneavusteinen valmistus) – järjestelmän hallinta -> 5
 - menetelmäsuunnittelun -> 2
 - moniakselisen valmistuksen merkityksen ymmärtäminen -> 4
 - moniakselisen valmistuksen kustannuslaskenta -> 6
 - valmistustekniikan yleinen hallinta, esim. jysintä -> 1
 - moniakselisen valmistuksen kokonaisuuden hallinta -> 3
16. Kuinka tärkeänä pidätte moniakselista koulutusta insinööreille?
- perusteet hyvä tietää
 - jos menee töihin moniakseliseen ympäristöön, niin koulutus on tärkeää
 - ei ole erityisen tärkeä, oleellisempi on hyvät perustaidot koneistamisesta
17. Mitä osa-alueita tulisi ehdottomasti ottaa mukaan moniakseliseen koulutukseen?
- työkappaleiden kiinnitys
 - työkalut ja lastuamisarvot

- CAM
- mallinnus moniakselisille työstökoneille
- tekniikan mahdollisuudet
- omatoimisuus

18. Mikä näistä mainitsemistasi asioista on tärkein ja miksi?

- työkappaleiden kiinnitys
- kaikki, sillä ne liittyvät toisiinsa
- työkalut

19. Kumpaan osa-alueeseen moniakselisessä koulutuksessa tulisi panostaa, CAD/CAM- osaamiseen vai valmistuksen hallintaan?

- valmistuksen hallinta sai hieman enemmän kannatusta

20. Kumpi on moniakselisessä koulutuksessa tärkeämmässä roolissa, CAD vai CAM?

- CAD:diä pidettiin tärkeämpänä, sillä jos mallin ollessa oikein suunniteltu, työstörajojen valmistus on helpompaa ja taloudellisempaa
- työstökoneiden käyttäjät tekevät työstöradat, ei insinöörit

21. Laita alla olevat asiat **koulutuksen** kannalta tärkeysjärjestykseen siten, että tärkein on 1 ja vähiten tärkein on 7?

- moniakselisen valmistuksen ymmärtäminen -> 1
- tuotesuunnittelu -> 4
- työstörajojen valmistus moniakselisille työstökoneille -> 3
- työnjohdolliset tehtävät moniakselisessä työympäristössä -> 6
- tarjouslaskenta moniakselisesti valmistettaville tuotteille -> 5
- työkappaleiden kiinnitinsuunnittelu -> 2
- moniakselisen työstökoneen käyttö -> 7

22. Mitä työkappaleiden kiinnitinsuunnittelun koulutuksessa pitäisi huomioida?

- voidaan koneistaa monelta suunnalta samalla kiinnityksellä
- lastuamisvoimien huomiointi
- yksinkertaiseksi, kiinnitysten lukumäärä ihannetapauksissa on 1
- laatu-aika-raha

23. Moniakselisia työstökoneita on useilla eri valmistajilla. Ne eroavat toisistaan usein rakenteellisesti sekä tarkoitukseltaan että toiminnaltaan. Onko tärkeätä käydä koulutuksessa läpi jotain tiettyjä konetyyppejä ja niiden toimintoja vai se, että insinööri hallitsee moniakselisen valmistuksen jollain työstökoneella?

- koulutuksessa on huomioitava useita konetyyppejä, ei vain yhtä
- osaamista on oltava laajasti eikä vain jostain tietystä koneesta

24. Onko insinöörin osattava lukea moniakselisen työstökoneen ohjelmointikieltä?
- perusteet riittävät
25. Kuinka tärkeää insinöörien on hallita työkalut, joita työstökoneilla käytetään?
- oleellinen asia
 - erittäin tärkeää
 - huomioitava jo suunnitteluvaiheessa
26. Menetelmäsuunnittelu on laaja kokonaisuus. Mitkä siihen liittyvistä taidoista insinöörien pitäisi hallita?
- kiinnitinsuunnittelu
 - työkalut
 - kokonaisuus on tärkeää
 - työstökoneiden ominaisuuksien hallinta
27. Seuraavaksi voitte vapaasti esittää näkemyksiä ja mielipiteitä insinöörikoulutuksesta.
- valmistustekniikkaan painotusta
 - työharjoittelu osaksi koulutusta