

CAD/CAM-ohjelmiston hankinta

Konetekniikka

Juho Kiljain

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kiljain, Juho	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2020
	Sivumäärä 51	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi CAD/CAM-ohjelmiston hankinta		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kivistö, Hannu & Peuranen, Harri		
Toimeksiantaja(t) Oy SKF Ab		
<p>Tiivistelmä</p> <p>CAD/CAM-ohjelmistot ovat nykyään kriittinen osa tietokoneohjattuja valmistusjärjestelmiä. Näillä ohjelmistoilla luodaan 3D CAD-mallin geometriaa hyödyntäen NC-koneen ohjauksen ymmärtämää koodia lastuavaa työstöä varten. Tämän avulla NC-ohjelmointiprosessia saadaan tehostettua ja asetusajat minimoitua tuotannossa.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Oy SKF Ab:n Muuramen toimipisteen toiminnassa CAD/CAM-ohjelmistolla saavutettavia hyötyjä NC-ohjelmoinnissa ja uusien tuotteiden valmistusprosessissa. Uusien tuotteiden tuotannon aloittamista pyrittiin nopeuttamaan ja näiden läpimenoaikoja pienentämään CAD/CAM-ohjelmiston avulla. Lisäksi ohjelmalla pyrittiin saamaan varmuutta tuotteiden tarjouslaskentaan. Työn tavoitteena oli löytää yhteensopiva CAD/CAM-ohjelmisto yrityksen konekannan ja suunnitteluohjelmistojen välille. Tutkimuksessa selvitettiin myös ohjelmiston käyttöönoton vaikutuksia yrityksen toimintatapoihin sekä CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönottoon liittyviä haasteita. Lisäksi tutkittiin kuinka ohjelmistolle asetetut tavoitteet toteutuvat yrityksen toiminnassa.</p> <p>Tutkimus toteutettiin toimintatutkimuksena hyödyntäen kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Tutkimuksen aikana kartoitettiin yrityksen nyky- ja tavoitetilä kustannusten suhteen sekä muodostettiin laaja kokonaiskuva CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönoton vaikutuksista toimintatapoihin ja NC-koneiden ohjelmointiaikoihin. Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimeksiantajalle ehdotus yrityksen toimintaan sopivasta CAD/CAM-ohjelmistosta. Lopputuloksena saatiin kartoitettua kannattavat ohjelmiston hyödyntämis-kohteet tuotannossa, jotka mahdollistavat valmistusprosessin tehostumisen. Toiminnan tehostuminen ei riipu pelkästään CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönotosta, vaan ohjelmiston vaatimista toimintatapamuutoksista.</p>		
Avainsanat (asiasanat) CAD, CAM, Koneistus, Sorvaus, Jyrsintä, Suunnittelu		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Kiljain, Juho	Type of publication Bachelor's thesis	Date March 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 51	Permission for web publication: x
Title of publication Purchase of CAD/CAM software		
Degree programme Degree Programme in Mechanical Engineering		
Supervisor(s) Kivistö, Hannu & Peuranen, Harri		
Assigned by Oy SKF Ab		
Abstract <p>CAD/CAM software is nowadays a critical part of computer-controlled manufacturing systems. This programming softwares creates NC code from the 3D CAD model. This allows streamlining the NC programming process and set-up times reduce in production. The software also makes it possible to utilize 3D CAD models more efficiently in the manufacturing process.</p> <p>The purpose of the thesis was to determine the benefits of using CAD / CAM software in the NC programming and the manufacturing process of new products in the operation of the SKF Muurame factory. The aim was to accelerate the production of new products and reduce their lead times with CAD/CAM software. In addition, the aim was to provide reliability in the pricing of products using the program. The aim of the thesis was to find compatible CAD/CAM software for the company's machines and design softwares. The study also explored the impact of software introduction on company operations and the challenges in the introduction of CAD/CAM software.</p> <p>The thesis was conducted as action research using quantitative and qualitative research methods. The study mapped the cost of the current state of the business and provide an overall view on the implementation of CAD/CAM system in NC programming. A result of this thesis was a proposal for CAD/CAM software which is suitable for the operation of the company. The study identified targets for utilising CAD/CAM programming in the production, that allow for a more efficient manufacturing process. Performance enhancement does not only depend on the introduction of CAD/CAM software, but also on the changes in the operating mode required by the software.</p>		
Keywords/tags (subjects) CAD, CAM, Machining, Turning, Milling, Design		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tavoitteet ja tarkoitus	4
1.2	SKF Group	5
1.3	Oy SKF Ab Muurame.....	5
2	Tutkimusasetelma	6
2.1	Toimintatutkimus	6
2.2	Hyötykustannusanalyysi.....	7
3	3D- mallista valmiiksi tuotteeksi	7
3.1	Numeerinen ohjaus	7
3.2	ISO-koodi	8
3.3	NC-ohjelmointi	9
	3.3.1 Käsinojelmointi	11
	3.3.2 Ohjelmointi kyselevällä ohjauksella	11
	3.3.3 Tietokoneavusteinen ohjelmointi	12
3.4	CAD	13
3.5	CAM	14
3.6	STEP	15
	3.6.1 STEP-NC-standardi ISO 10303-238	16
3.7	CAD/CAM.....	17
	3.7.1 Työstöradat.....	18
	3.7.2 ISO 13399-standardia noudattava työkalukirjasto.....	18
	3.7.3 Ohjelman simulointi	19
	3.7.4 Postprosessorit	20
4	CAD/CAM:in hyödyntäminen NC-ohjelmoinnissa	20
4.1	CAD/CAM-ohjelmiston hyödyt	21
4.2	Referenssikäynnit ja tiedustelut.....	22
4.3	NC-koneiden ja kappaleiden analysointi	23
	4.3.1 Mazak Nexus 5000-II	23
	4.3.2 DMG MORI NTX 2000	24

	2
4.4	Henkilöstöressurit toimintatapa muutoksessa..... 25
4.5	Ohjelmointitiedon vaatimukset sidosryhmille 27
4.6	CAD/CAM:in haasteet tuotannossa 28
4.7	CAD/CAM-ohjelmiston vaatimukset 30
4.7.1	Käyttäjäystävällisyys 30
4.7.2	Lisäosat ja laajennettavuus 31
4.7.3	Yhteensopivuus 31
4.7.4	Tuki- ja koulutuspalvelut 32
5	CAD/CAM-ohjelmiston valinta 32
5.1	Mastercam..... 32
5.2	Inventor CAM 33
5.3	SurfCAM..... 33
5.4	GibbsCAM 33
5.5	NX CAM..... 34
5.6	CAM- ohjelmistoverailu 34
5.7	Kehityksen yleinen suunta..... 35
5.8	CAD/CAM-ohjelmoinnin taloudelliset vaikutukset 36
6	Johtopäätökset..... 39
7	Pohdinta..... 41
Lähteet 44
Liitteet 48
	Liite 1. Mazak- työstökeskuksella valmistettava komponentti. 48
	Liite 2. DMG Mori- monitoimisorvilla valmistettava komponentti. 49
	Liite 3. Hyötykustannusanalyysi 50
	Liite 4. Monikappaletyöstö Mazak- työstökeskuksella..... 51

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki G-koodi ohjelmasta.	9
Kuvio 2. Assosiatiivinen tiedonkulkuketju suunnittelun ja tuotannon välillä.	10
Kuvio 3. Ohjelmointitapojen sopivuus alueet. (Lähdeniemi 2003, 42.)	12
Kuvio 4. Inventor-ohjelmistolla mallinnettu 3D CAD-malli.	13
Kuvio 5. CAM-ohjelmoinnin lohkokaavio.	15
Kuvio 6. AP238-standardin osakokonaisuudet. (Sääski 2007.)	17
Kuvio 7. Mastercamilla luodut työstöradat.	18
Kuvio 8. Mastercamin konesimulointi.	20
Kuvio 9. Mazak-työstökeskus.	24
Kuvio 10. DMG Mori-monitoimisorvi.	25
Kuvio 11. Toimintatavan muutos valmistusprosessissa.	26
Kuvio 12. Hyötykustannusanalyysi testatuista ohjelmistoista.	35
Kuvio 13. Tuotteen hintaan vaikuttavat tekijät. (Lähdeniemi 2003, 84.).....	36
Kuvio 14. Takaisinmaksuajan kaava. (Lähdeniemi 2003, 89.)	37
Kuvio 15. Investointilaskelma nykytilanteessa.	38
Kuvio 16. Investointilaskelma tulevaisuudesta.	39

1 Johdanto

1.1 Tavoitteet ja tarkoitus

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oy SKF Ab:n Muuramen yksikköön. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia CAD/CAM-ohjelmiston hyötyjä ja haasteita tuotannossa ja löytää potentiaaliset CAD/CAM-ohjelmiston hyödyntämiskohteet yrityksen valmistusprosessissa. Opinnäytetyössä pyrittiin kartoittamaan CAD/CAM-ohjelmiston hyödyt valmistusprosessin tehostamiseksi ja uusien tuotteiden läpimenoaikojen lyhentämiseksi. Lisäksi tavoitteena on luoda varmuutta koneistettavien tuotteiden hinnoitteluun asiakkaan 3D-mallin perusteella. Opinnäytetyön tarkoituksena on pienentää kynnystä hankkia uusia tuotteita tuotantoon paikkaamaan mahdollisia tuotannon vajauksia. Toimeksiantajalla ei ennestään ole käytössä CAM-ohjelmistoa NC-ohjelmointia varten. NC-koneiden ohjelmointi on tehty manuaalisesti ohjelmoimalla ja tämä on koettu riskialttiiksi ja kankeaksi toimintatavaksi. Näiden parannuskohteiden pohjalta syntyi tarve toimeksiannolle, jossa valmistusprosessiin saataisiin joustavuutta ja tehokkuutta CAD/CAM-ohjelmiston avulla.

CAD/CAM-ohjelmiston avulla koneistusohjelmat voidaan tehdä suoraan 3D CAD-mallia hyödyntäen ja kääntää ohjelmalla luodut työstöradat NC-koneen ymmärtämälle kielelle. 3D-pohjaisella ohjelmoinnilla pyritään vastaamaan tuotannon muutoksiin nopeammin sekä kasvattamaan innovatiivisuutta tuotannossa. CAD/CAM-ohjelmaan konekohtaisten työkalukirjastojen luonnilla tuetaan laadunvalvontaa, koska työkalujen hallinnasta ja kunnon seurannasta tulee järjestelmällisempää. CAD/CAM-ohjelmointiin liittyvää teoriaa on käsitelty tämän työn luvussa kolme.

Opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamiseksi tehtiin avoimia haastatteluita työntekijöille, testattiin CAD/CAM-ohjelmistoja demoversioiden avulla sekä kerättiin tietoa alan tieteellisistä julkaisuista. Tavoitteena haastatteluissa oli kartoittaa nykyiset valmistusprosessin haasteet sekä kerätä ideoita toimintatavan muutokselle. CAM-ohjelmistojen vertailulla saatiin kartoitettua eri ohjelmistojen ominaisuuksista heikoudet ja vahvuudet käyttökokemuksen perusteella. Alan julkaisuita tutkimalla saatiin

selvitettyä tietoa muiden yritysten CAD/CAM- ohjelmiston hankintaan vaikuttavista tekijöistä ja samalla kartoitettua viimeisimpiä teknologioita NC- ohjelmointiin liittyen.

1.2 SKF Group

Oy SKF Ab on globaali teollisuusyritys, joka tuottaa teknologiaratkaisuja asiakkailleen. SKF on perustettu vuonna 1907 Ruotsissa ja yrityksen pääkonttori sijaitsee Göteborgissa. SKF:n tuotteita ovat laakerit, tiivisteet, mekatroniikka, voitelujärjestelmät sekä näihin liittyvät lisäpalvelut kuten kunnonvalvonta. SKF:llä on 94 tuotantolaitosta ja 15 teknologiakeskittymää ympäri maailmaa ja nämä työllistää yli 44 000 työntekijää. Laajan jälleenmyyjäverkoston avulla SKF on laajentanut toimintansa 130 eri maahan. Vuonna 2018 yrityksen liikevaihto oli noin 87 miljardia kruunua eli noin 8,3 miljardia euroa. (Annual Report 2018 2019, 2-12.)

1.3 Oy SKF Ab Muurame

Oy SKF Ab Muuramen Lubrication Systems -yksikkö kuuluu yhdeksi osaksi SKF LBU (Lubrication Business Unit) -osastoa, joka perustettiin yrityskauppojen seurauksena vuonna 2010. SKF LBU- yksiköt ovat keskittyneet voitelujärjestelmiin ja -ratkaisuihin, joita yksiköt tuottavat eri teollisuuden tarpeisiin. Voiteluratkaisuita on monelle eri teollisuuden alalle kuten esimerkiksi metalliteollisuuteen, rautatie- ja elintarvikealalle, maatalouteen sekä tuulivoimaloihin. Muuramen Lubrication Systems -yksikön tuotteita on mm. keskus- ja kiertovoitelujärjestelmät teollisuuden, ajoneuvojen ja työkooneiden tarpeisiin. Muuramen yksikkö keskittyy voitelujärjestelmien maailmanlaajuiseen kehitys- ja tutkimustyöhön, myyntiin, valmistukseen sekä jakeluun. Muuramen yksikössä työskentelee noin 100 työntekijää.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Toimintatutkimus

Tässä opinnäytetyössä käytetään tutkimusotteena toimintatutkimusta. Opinnäytetyössä hyödynnettiin kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen tutkimusmenetelmiä sekä kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä tulosten arvioinnissa. Toimintatutkimuksen teorian ja käytännön avulla pyrittiin tuomaan ratkaisu yrityksen kehittämiseksi.

Toimintatutkimuksella pyritään paikallistamaan ongelmia ja löytämään parempia toimintatapoja näiden tilalle. Ongelmat voivat olla teknisiä, sosiaalisia, eettisiä tai ammatillisia. Tärkeimpänä tässä on ottaa käytännössä työskentelevät ihmiset eli tutkittavat kohteet aktiiviseksi osaksi tutkimusta. (Menetelmäopetuksen tietovarasto 2006.)

Toimintatutkimus luokitellaan laadulliseksi eli kvalitatiiviseksi tutkimukseksi. Toimintatutkimukselle ei ole määrätty omia tiedonkeruu- ja tiedonanalyysimenetelmiä, ja näin ollen se voi sisältää myös kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä. Varsinkin kun halutaan tietoa muutosten vaikutuksista, on hyvä käyttää kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä. Toimintatutkimuksen tavoitteena on löytää ratkaisu ongelmaan ja tämän perusteella tehdä muutoksia toimintatapoihin. Tämän perusteella voidaankin sanoa, että toimintatutkimus alkaa siitä mihin kvalitatiivinen tutkimus päättyy. (Kananen 2009, 22-23.)

Salonen kertoo kirjassaan, että toimintatutkimuksessa tutkija on samanaikaisesti tutkija sekä työn kehittäjä. Tutkimuksellisessa osuudessa tutkija noudattaa tarkemmin tutkimuksen tekemisen sääntöjä toimintatutkimuksessa kuin toiminnallisessa työssä. (Salonen 2013.) Toimintatutkimuksen sisältö ja mahdollinen kohde voi olla käytännössä mikä tahansa oikeaan elämään liittyvä piirre. Tarve tutkimuksen aloittamiseen voi tulla aiempien tutkimuksen johtopäätöksenä, mutta yleensä aloite tutkimukselle tulee sitä edustavan järjestön tai yrityksen kautta. (Menetelmäopetuksen tietovarasto 2006.)

2.2 Hyötykustannusanalyysi

Hyötykustannusanalyysi on kvantitatiivinen työkalu mittaamaan numeroarvosanoiksi muutettuja ohjelman ominaisuuksia. Hyötykustannusanalyysillä saadaan selvitettyä parhain mahdollinen ratkaisu useampia näkökulmia huomioon ottaen. Kun ohjelmistoa arvoidessa otetaan huomioon paljon ominaisuuksia häviää helposti arviointiprosessin kokonaiskuva. Hyötykustannusanalyysi mittaa ominaisuuksia kahdella asteikolla ominaisuuden painoarvolla sekä kunkin ominaisuuden arvosanalla. Painoarvon huomiointi arvioinnissa tuo hajontaa yhteispisteisiin, joka helpottaa tulosten tulkintaa. (Routio 2007.)

3 3D- mallista valmiiksi tuotteeksi

Tämä kappale käsittelee teoriaa, jolla pyritään automatisoimaan suunnittelu- ja valmistusprosesseja. CAD/CAM (Computer-aided Design ja Computer-aided Manufacturing) on yksi tähän liittyvä teknologia. Tämä hyödyntää digitaalista tietokoneella luotua tietoa tuotesuunnittelusta ja tuotannosta. CAD-ohjelmistot hyödyntää tietokonetta tuotesuunnitteluun kun taas CAM-ohjelmistot hyödyntää sitä valmistuksen suunnitteluun. CAD/CAM sisältää kombinaation CAD- ja CAM-ominaisuuksista. (Groover 2014, 714.)

3.1 Numeerinen ohjaus

CNC (Computerized Numerical Control) tai NC (Numerical Control) tarkoittaa työstökoneen tai vastaavan ohjaamista koodein, jotka koneen ohjaus muuttaa liikkeeksi logiikka ohjauksen, servo- ohjattujen moottoreiden ja liukujohteiden avulla. Liukujohteiden liikettä säätelee tyypillisesti sähköinen servomoottori, joka pyörittää kuularuuvia ohjelman vaatiman määrän verran. Servomoottorin pyörimistä ohjataan servo-ohjaimen avulla, joka vastaanottaa moottorin nykyisen asemasijainnin ja vertaa tätä ohjelmassa haluttuun asematietoon. Tällä perusteella servo- ohjain ohjaa servomoottorin pyörimistä. (Radhakrishnan 2008, 342.)

Työkappaleen valmistuksen suorittamiseksi työstöradan aloituskohdan ja lopetuspisteen koordinaattitiedot ovat ohjelmoitava NC-ohjelmaan. NC-ohjelmaan on myös ohjelmoitava tiedot esimerkiksi karan pyörimisnopeudesta ja pyörimissuunnasta, leikkuunesteen käytöstä sekä syöttönopeudesta. Työstökoneen CNC-ohjaus lukee tehtyä NC-ohjelmaa ja siirtää johteiden päällä makaavaa teräkelkkaa ohjelmoituihin asemiin ohjelmassa vaaditulla syöttönopeudella. (Radhakrishnan 2008, 343.) NC-ohjausta hyödynnetään lähes kaikentyypisissä työstökoneissa kuten sorveissa, koneistuskeskukilla ja hioma- sekä jyrsinkoneissa. (Vesämäki 2014, 11.)

3.2 ISO-koodi

Perinteistä ISO-koodia kutsutaan puhekielessä nimellä G-koodi. Koodilla kerrotaan mm. syöttö- ja pikaliikkeet, pyöritykset ja ympyränkaarien interpoloinnin. Koneen ohjaukselle annettava käsky muodostuu osoitteesta G ja tämän jälkeisestä numerosta. Esimerkiksi G01 on suoraviivainen syöttöliike ja G03 ympyränkaariliike vastapäivään. G-koodit ovat vakiintuneet eri koneenohjauksille tärkeimpien koodien osalta eli sama sana tarkoittaa samaa asiaa eri koneenohjauksille. Ohjauskohtaisia eroavaisuuksia voi olla tästä huolimatta harvemmin käytetyissä G-koodeissa. (Vesämäki 2014, 66.)

G-koodit ovat jaoteltu ryhmiin, ja kustakin ryhmästä voi kerrallaan olla vain yksi G-koodi käytössä. Yleensä koneen ohjaukset antavat ohjelmoida kaksi tai useamman G-koodin samalle riville edellytyksenä, että nämä eivät kuulu samaan ryhmään. G- ja M-koodit ovat käytössä niin kauan kunnes toinen koodi kumoaa tämän. (Vesämäki 2014, 66.)

Aputoimintoja NC-työstökoneissa ohjataan M-koodien avulla. Näitä toimintoja ovat mm. lastuamisnesteen ohjaus, karan pyöriminen sekä ohjelman pysäytys. M-koodi muodostuu samalla periaatteella kuin G-koodit eli osoitteesta M ja tämän jälkeisestä numerosta. M-koodeissa on yleensä eroja eri konetyyppien välillä. Tyypillisiä M-kodeja ovat M03 eli karan käynnistäminen myötä päivään sekä M08 eli lastuamisneste päälle. (Vesämäki 2014, 66-67.)

```
N10 G30 G17 X+0 Y+100 Z-10;  
N20 G31 G90 X+100 Y+0 Z+0;  
N30 (TAPPIJYRSIN D30)  
N40 T7 G17 S480;  
N50 G00 G90 X+90 Y+50 Z+5 M3;  
N60 G01 Z-4 F100 M8;  
N70 Z+5 M5;  
N80 G00 Z+300;  
N90 (TAPPIJYRSIN D40)  
N100 T3 G17 S400;  
N110 G00 G90 X+15 Y+45 Z+5 M3;  
N120 G01 Z-4 F100 M8;  
N130 Z+5 M5;  
N140 G00 Z+300;  
N150 (TAPPIJYRSIN D12)  
N160 T7 G17 S500;  
N170 G00 G90 X+45.725 Y+70 Z+5 M3;  
N180 G01 Z-4 F100 M8;  
N190 X+73.725;  
N200 Z+5 M5;  
N210 G00 Z+300;  
N220 G00 G90 X+55 Y+30 Z+5 M3;  
N230 G01 Z-4 F100 M8;  
N240 Y+53;  
N250 Z+5 M5;  
N260 G00 Z+300;
```

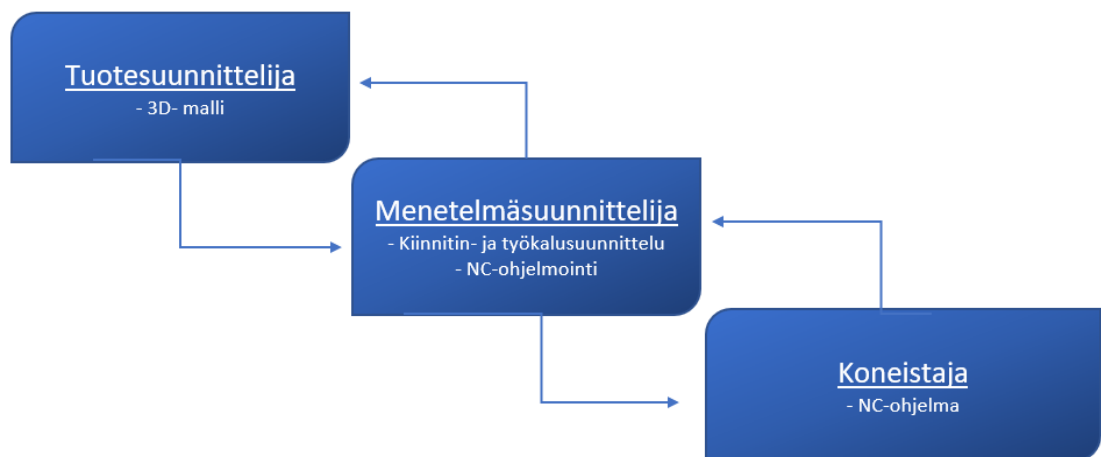
Kuvio 1. Esimerkki G-koodi ohjelmasta.

Työstökonevalmistajat käyttävät nykyään paljon myös omia NC-ohjelmointikieliään. Esimerkiksi Mazak käyttää pääsääntöisesti koneiden ohjelmoinnissa omaa Mazatrol-ohjauksen ymmärtämää kieltä, joka poikkeaa paljon perinteisestä G-koodista. G-koodia käyttävien NC-koneiden ohjelmointikieli on kuitenkin samankaltaista koneen ohjauksen valmistajasta riippumatta.

3.3 NC-ohjelmointi

NC-ohjelmoinnilla tarkoitetaan koodikielen luomista työpiirustuksen tai 3D-mallin pohjalta NC-työstökoneen ymmärtämään muotoon. NC-ohjelma sisältää eri konekäskyjä, joka ohjaa työstökonetta ja tämän toimintoja. Ohjelman sisältämien käskyjen mukaisesti NC-työstökone työstää halutun kappaleen. (Vesämäki 2014, 60.)

Ohjelmointi voi tapahtua offline- tai online-ohjelmointina. Ero näillä on, että offline-ohjelmointi tapahtuu etäohjelmointina CAD/CAM-työasemalla ja online-ohjelmointi tapahtuu NC-koneen näytöllä manuaalisesti. Offline-ohjelmoinnilla saadaan nostettua koneiden käyttöastetta, kun offline-ohjelmoinnin ansiosta ohjelmointi työ NC-koneella on lähinnä ohjelman tarkastamista. Parhaimmassa tapauksessa offline-ohjelmoinnilla saadaan luotua kuvassa 2 näkyvillä oleva assosiatiivinen suunnitteluketju tuote- ja menetelmäsuunnittelun sekä koneistajien välille. Tuotesuunnittelu antaa 3D-mallin valmistettavasta tuotteesta menetelmäsuunnittelijalle. Tämä laatii 3D-mallin perusteella NC-ohjelman ja siirtää sen koneistajien testattavaksi. Koneistaja voi tämän jälkeen palauttaa ohjelman tuote- tai menetelmäsuunnittelijalle korjattavaksi ja korjauksien jälkeen menetelmäsuunnittelija viimeistelee NC-ohjelman. (Lähdeniemi 2003, 45.) Useasti yrityksissä myös koneistajat ohjelmoivat NC-koneita, koska heillä on paras tietämys valmistusmenetelmistä.



Kuvio 2. Assosiatiivinen tiedonkulkuketju suunnittelun ja tuotannon välillä.

Ohjelmointitavat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- Käsinohjelmointi
- Ohjelmointi kyselevällä ohjauksella (Siemens, Mazatrol ym.)
- Tietokoneavusteinen ohjelmointi (CAD/CAM) (Vesämäki 2014, 60.)

3.3.1 Käsinohjelmointi

Käsinohjelmoinnissa ohjelmoija tekee riveittäin G-koodia käyttäen alhaisen tason koodikieltä. Ohjelmoija itse laskee koordinaatit työstöradoille sekä lastuamisparametrit. Käsinohjelmointi on aikaa vievää, työläs sekä riskialtis ohjelmointitapa johtuen näppäilyvirheistä ohjelmointivaiheessa. Tämä ohjelmointitapa toimii parhaiten yksinkertaisille kappaleille. (Groover 2014, 175-177.) Käsinohjelmointi on vanhin ja perinteisin tapa tuottaa NC-koodia, jota käytetään nykyäänkin paljon pienissä yrityksissä. (Vesamäki 2014, 60.)

3.3.2 Ohjelmointi kyselevällä ohjauksella

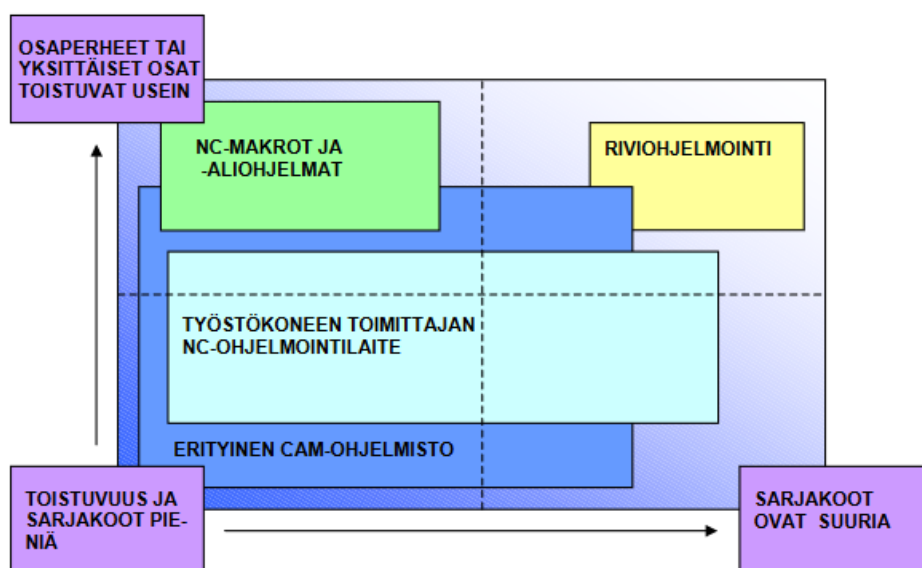
Käsinohjelmoinnista kehittyneempi tapa tuottaa NC-koodia on ohjelmoida työstökoneita kyselevällä ohjauksella, jota puhekielessä kutsutaan makro-ohjelmoinniksi. Tässä ohjelmointi tapahtuu hyödyntäen ohjauksen älykkyyttä ja koneen ohjauksella olevia makroja, jolle ilmoitetaan muuttujien avulla arvot ja mitat. Koneen ohjaukselle määritetään halutut muodot ja koneen ohjaus osaa itse laskea tarvittavat parametrit ja työstöradan koordinaatit. (Vesamäki 2014, 61.)

Ohjelmointi vuorovaikutteisella ohjelmoinnilla on helposti opittavissa ja ohjelma saadaan aikaiseksi nopeasti. (Vesamäki 2014, 61.) Tämän ohjelmointityylin etuna on, että makro-ohjelmia käytetään pääohjelmassa aliohjelmana, jolloin ohjelma pysyy lyhyenä ja ohjelmointi on nopeaa. Jos työstettävässä kappaleessa on yksinkertaisia paljon toistuvia muotoja voi ohjelmointi makrojen avulla olla jopa nopeampaa kuin CAM-ohjelmoinnilla tehtynä. Tehokkaimmillaan NC- koneen pääohjelma kutsuu vain makroilla tehtyjä aliohjelmia, jossa määritellään kappaleiden nollapisteet ja muuttuja arvot. Tämä sopii hyvin esimerkiksi monikappale työstöön, jossa yhdellä asetuksella tehdään useampaa samanlaista kappaletta. Tietyillä konetyypeillä makro-ohjelmointia hyödynnetään joka tapauksessa työstökoneen omiin toimintoihin esimerkiksi paletin- ja työkalujenvaihtoon sekä mittausohjelmien tekoon. Näiden toimintojen käyttäminen on hankalaa ilman makro-ohjelmoinnin muuttujia. (Makro-ohjelmointi 2016.)

3.3.3 Tietokoneavusteinen ohjelmointi

Eräs tärkeimmistä 3D-geometrian hyödyntämiskohteista teollisuudessa on tietokoneavusteinen ohjelmointi eli CAD/CAM-ohjelmointi. Ohjelmointi tässä tapahtuu vuorovaikutteisesti tietokoneella. Ohjelmoija ei tarvitse luoda kappaleen geometriaa, vaan voi hyödyntää suunnitteluohjelmalla luotuja geometrisiä muotoja ja tämän perusteella määritellä työstettävän kappaleen työstöradat. Tietokone kääntää määritellyt työstöradat koneen ymmärtämäksi NC-ohjelmaksi, joka sarjaliitännän tai etäyhteyden kautta siirretään koneen ohjaukselle. Koneen ohjaukselle siirrettyä ohjelmaa voi muokata vielä käsinohjelmoinnin menetelmillä. (Vesamäki 2014, 61.) CAD/CAM-ohjelmoinnin lisäarvo muihin ohjelmointitapoihin riippuu paljon valmistettävien tuotteiden luonteesta, monimutkaisuudesta, toistuvuudesta sekä sarjakoosta. (Lähdeniemi 2003, 42.)

Kuva 3 osoittaa NC-koneiden CAM-ohjelmoinnin olevan tuotannossa merkittävässä roolissa, kun pyritään joustavaan ja asiakasräätälöityyn tuotantoon. Sarjakoot ovat yleensä näissä tapauksissa pieniä tai tuotetaan vain yksittäiskappaleita, jolloin NC-ohjelma saattaa olla käytössä vain kerran. Tämän seurauksena pienen sarjakoon tuotteet pyritään NC-ohjelmoimaan tulevaisuudessa mahdollisimman automaattisesti ja tehokkaasti. (Lähdeniemi 2003, 43.)

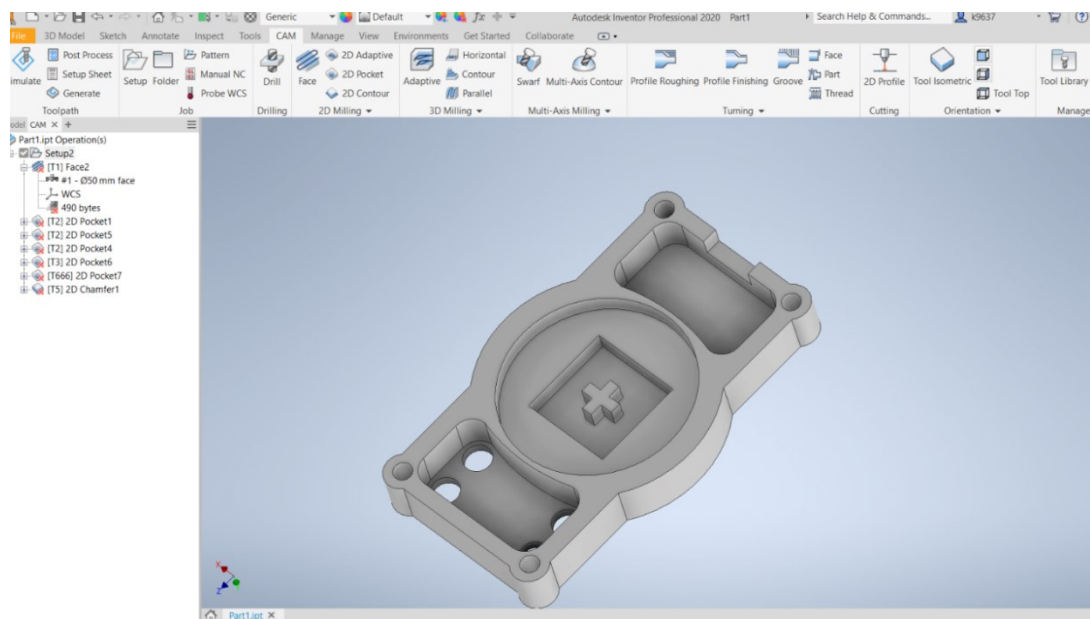


Kuvio 3. Ohjelmointitapojen sopivuus alueet. (Lähdeniemi 2003, 42.)

3.4 CAD

CAD (Computer-aided Desing) on prosessi, jossa hyödynnetään tietokonetta ja piirustus ohjelmaa. Tällä saadaan suunniteltua tuotteista virtuaalisia kolmiulotteisia malleja (3D) ja kaksiulotteisia (2D) piirustuksia. Tietokoneen hyödyntäminen tuotesuunnittelussa mahdollistaa ideoiden nopeamman mallintamisen, eri vaihtoehtojen tutkimisen ja tarkkojen prototyyppien valmistamisen. (Bryden 2014, 16.) Tietokoneavusteinen suunnittelu on ihmisen ja koneen yhdistämistä tuotteen valmistuksen ja suunnittelun optimoimiseksi. (Mäntylä 1995.)

CAD-malli on lopputuotteesta laadittu 3D-malli, jonka muotoja käytetään valmistustoiminnan pohjana. CAD-malliin luodut geometriat, pinnat ja reunat määritellään referenssiksi tuotemalliin, jonka perusteella valmistustoiminnot valmistavat tuotteen. (Radhakrishnan 2008, 455-456.) Tietokoneavusteinen suunnittelu mahdollistaa tuotesuunnittelijalle nähdä kuinka mallinnetut komponentit asettuvat mallinnettuun 3D-malliin ja näin luoda realistisia kuvia ja simulaatioita suunnitellusta tuotteesta. (Bryden 2014, 17.) Nykyään CAD-ohjelmien jälleenmyyjät tarjoavat myös täysin integroituja CAD/CAM-järjestelmiä, johon sisältyy CAD- sekä CAM-ominaisuudet. (The Basics of CAD & CAM 2003.)



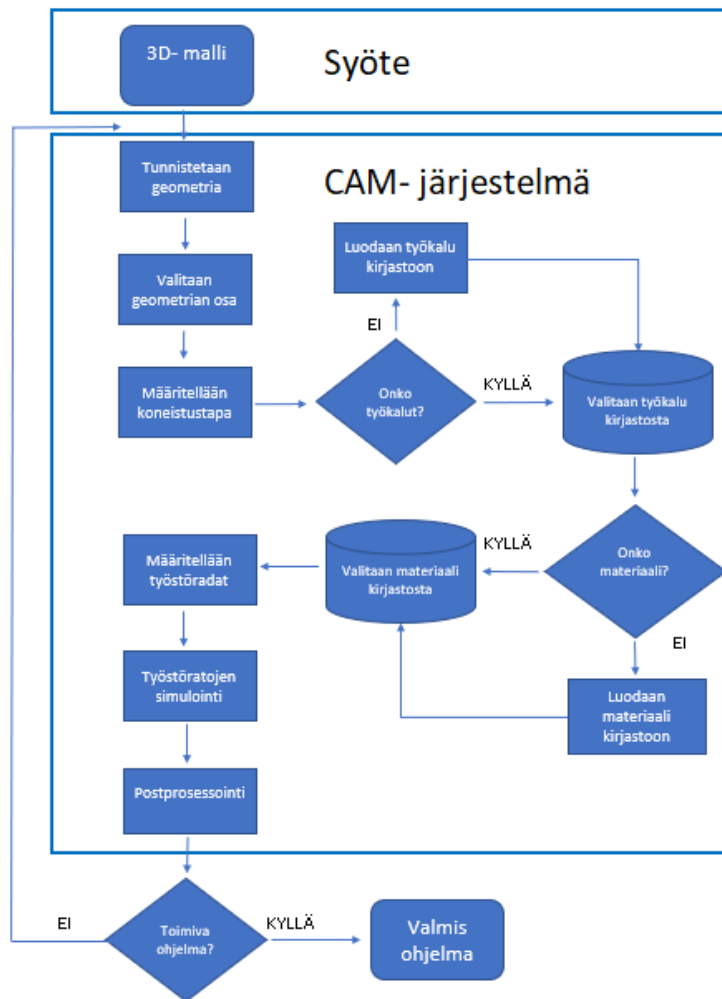
Kuvio 4. Inventor-ohjelmistolla mallinnettu 3D CAD-malli.

3.5 CAM

CAM (Computer-aided Manufacturing) tarkoittaa tietokoneen tehokasta hyödyntämistä tuotteiden valmistuksen suunnittelussa ja ohjauksessa. CAM-tekniikalla voidaan yhdistää valmistusmenetelmät, NC-ohjelmointi sekä tuotesuunnittelu. (Groover 2014, 724.) CAM-järjestelmä käyttää CAD-ohjelmalla luotua tietoa NC-koodin luomiseen. CAM-ohjelman avulla käyttäjä voi määrittellä CAD-mallin geometriasta työstettävät muodot ja näin luoda työstöratoja halutulla tavalla. (The Basics of CAD & CAM 2003.)

CAM-järjestelmät voidaan luokitella perustyyppin mukaan prosessi- tai geometriakeskeisiin järjestelmiin. Prosessikeskeiset CAM-järjestelmät ovat suunnattu enemmän valmistustekniikkaan, joka sisältää koneistustoimintojen sekä työkalujen tehokkaamman käytön. Geometriaan pohjautuvat CAM-järjestelmät nojautuvat enemmän valmistustekniikoiden geometriisiin näkökohtiin pitäen sisällään monimutkaisempia geometrioita ja haasteellisempia CAD-malleja. (The Basics of CAD & CAM 2003.)

CAM-ohjelma voi olla yrityksessä käytössä erillisenä ohjelmana tai CAM-ohjelmisto voi olla integroituna lisäosana CAD-ohjelmistossa. (What's CAD/CAM used for? N.d.) Jos tietokoneohjelma sisältää nämä molemmat toiminnot, kutsutaan tätä CAD/CAM-ohjelmaksi. Tämä nimitys kertoo kahden ohjelman integroitumisesta yhteen ohjelmistoon. (Groover 2014, 11.)



Kuvio 5. CAM-ohjelmoinnin lohkokaavio.

3.6 STEP

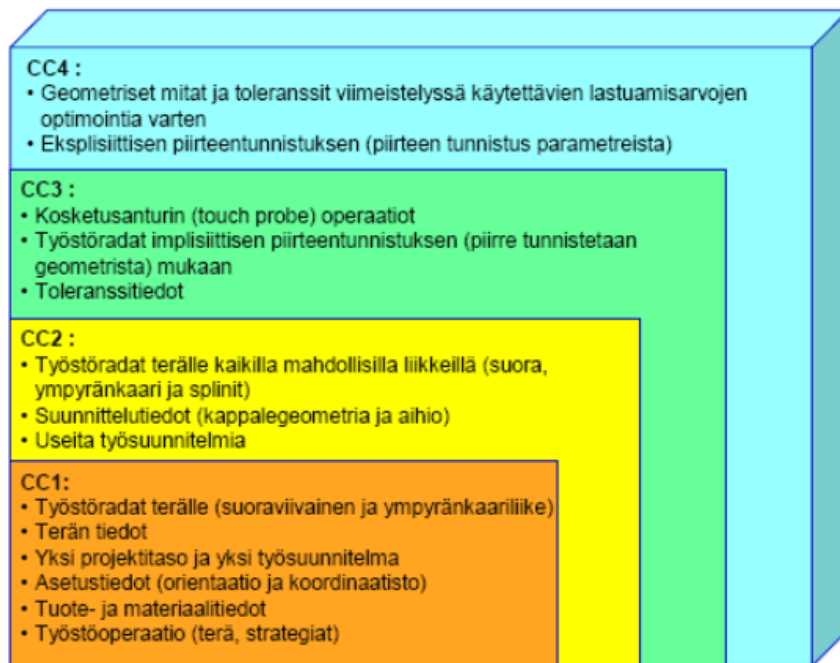
Yksi käytetyimmistä tuotetiedon tallentamiseen, päivittämiseen ja siirtoon on STEP (STandard for the Exchange of Product data) -standardi ISO 10303-203. STEP-standardi koskee tuotetietojen esittämistä ja pohjautuu tuotemalliajatteluun. Tämä standardi on hyödyllinen apu CAD:in, CAM:in ja CAPP:in (Computer-aided Process Planning) integroimiseen. STEP-standardi sisällyttää suunnittelutiedon lisäksi toiminnallisia ominaisuuksia tuotteesta ja tämän elinkaaresta. STEP voidaan pitää standardina, joka määrittelee toimialakohtaiset standardit. Tätä standardia hyödynnetään mm. eri CAD-järjestelmien tiedonsiirron yhdenmukaistamiseen, joka on tärkeässä osassa nykyaikaisessa valmistusketjussa. Eri sovellusaloille on kehitetty sovelluskohtaisia STEP-

standardeja erityisvaatimusten seurauksena. Yksi näistä standardeista on työstökoneiden ohjelmointiin liittyvää määrittelyä koskeva STEP-NC-standardi ISO 10303-238. (Sääski 2007, 8-10.)

3.6.1 STEP-NC-standardi ISO 10303-238

STEP-NC ISO10303-238-standardi on myöhemmin tunnettu myös AP238-standardi nimellä ja kehittynyt seurauksena yrityksestä korvata ISO-koodistandardi (ISO 6983) nykyaikaisella assosiatiivisella ohjelmointikielellä. AP238-standardin perusajatus on valmistuksessa tarvittavan CAD- ja CAM-datan yhdistäminen yhdeksi tuotemalliksi mahdollisimman yleiseen muotoon, jolloin postprosessointia NC-ohjausta varten ei tarvita. Jos työstökoneet ymmärtäisivät valmistajakohtaisen koodin sijaan yleistä NC-koodia helpottuisi ohjelmointi oleellisesti. Tätä kehitystä hidastavat konevalmistajat, joilla monella on oma ohjelmointikieli, jota he hyödyntävät ohjelmoinnissa. STEP-NC perustuu siihen, että 3D-mallista tunnistetaan koneistettavat piirteet. (Sääski 2007, 10-13.)

AP238 sisältää kuvassa 6 esitetyt osakokonaisuudet, jotta tämä on helpompi hahmottaa. Konevalmistajat sekä CAM-toimittajat voivat sanoa, että ohjelmisto tukee STEP-NC:tä CC2 tasolla. Tämä tarkoittaa, että ohjelmalla pystytään tuottamaan useita työsuunnitelmia ja pystytään tuottamaan kaikki terälle tarvittavat työstöradat (ympyränkaari, splini ja suoraliike). CC4 taso on näistä laajin ja kattaa koko standardin.



Kuvio 6. AP238-standardin osakokonaisuudet. (Sääski 2007.)

3.7 CAD/CAM

CAD/CAM-ohjelmistolla suunnittelu- ja valmistusprosessi pyritään automatisoimaan yhdeksi kokonaisuudeksi. (Groover 2016, 711.) CAD- ja CAM-ohjelmat ovat pääpiirteittäin erityyppisiä, koska CAD-ohjelma on painottunut kappaleen suunnitteluominaisuuksiin ja CAM-ohjelma painottunut valmistusteknologiaan ominaisuuksiin. (The Basics of CAD & CAM 2003.)

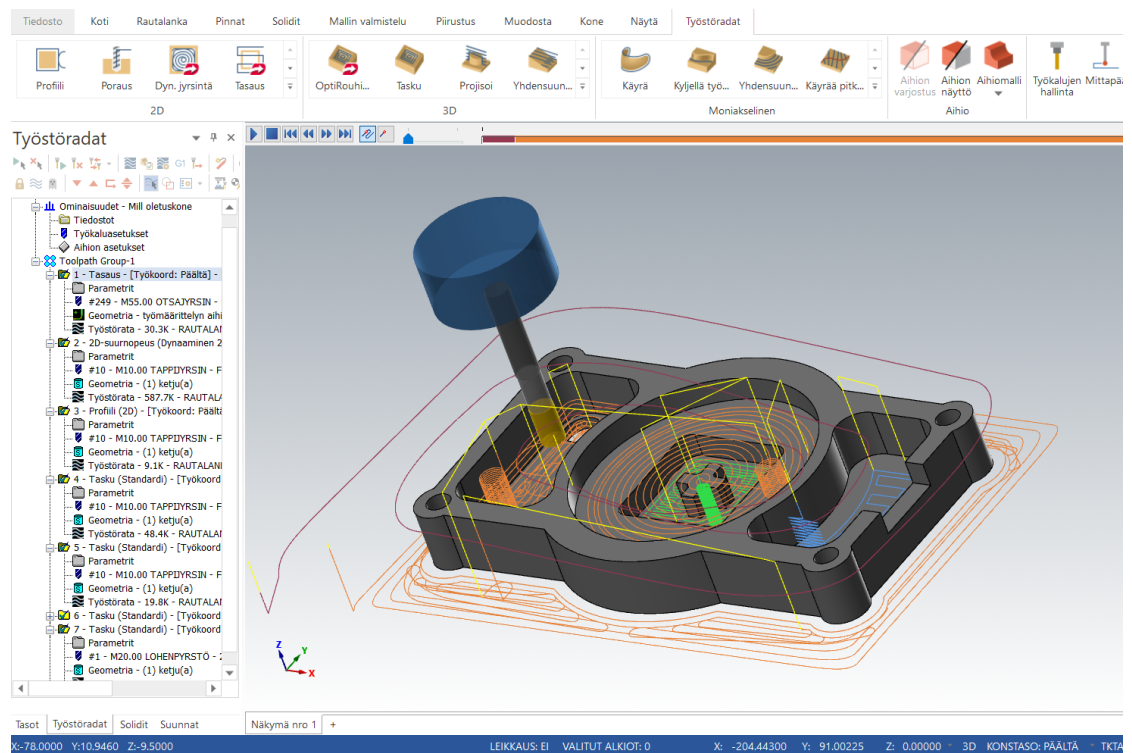
CAD/CAM-järjestelmä yhdistää CAD- ja CAM-ohjelman, postproessorit, tietokoneen sekä tiedonsiirto-ohjelmat. (Pikkarainen 1993, 147.) Hyödyntämällä CAD/CAM-tekniikkaa mahdollistaa tämä luomaan suoran yhteyden tuotteen suunnittelun ja valmistustekniikoiden välille. CAD/CAM-ohjelmiston tarkoituksena ei ole automatisoida vain tiettyjä suunnitteluvaiheita ja tiettyjä valmistusvaiheita, vaan automatisoida myös siirtyminen suunnittelusta valmistukseen. (Groover 2014, 726.)

CAD/CAM-järjestelmän etuja ovat yleensä käyttäjäystävällinen käyttöliittymä sekä nopeampi tiedonsiirtyminen CAD- ja CAM-ohjelmien välillä. (The Basics of CAD & CAM 2003.) CAD/CAM-ohjelmassa CAD-mallin geometria luo parametrisen suhteen mallin

ja työstöratojen välille. Jos CAD-malli muuttuu, kaikki tähän liittyvät valmistusparametrit päivittyvät parametrinen suhteen vuoksi. (Radhakrishnan 2008, 455-456.)

3.7.1 Työstöradat

NC-koneen koneistusliikkeiden ja työkalun vaihtojen välisiä liikekokonaisuuksia kutsutaan työstöradoiksi. Työstörata alkaa työkalunvaihtopisteestä ja loppuu seuraavaan työkalun vaihtoon. Työstöradat ovat NC-ohjelman osia, jotka sisältää kytkentä- ja matkainformaatiot koneistustoimintojen suorittamiseksi. Työstöradat määrittelevät koneistustoimintojen lähtöpisteen, lähtö- ja työtason sekä koneistettavan profiilin muodon. (Pikkarainen 1993, 19-22.)



Kuvio 7. Mastercamilla luodut työstöradat.

3.7.2 ISO 13399-standardia noudattava työkalukirjasto

ISO 13399-standardi on suunniteltu antamaan teollisuudelle yhteisen kielen työkalutietojen esittämiseksi digitaalisessa muodossa. Tämä standardi tarjoaa keinot työkalu-

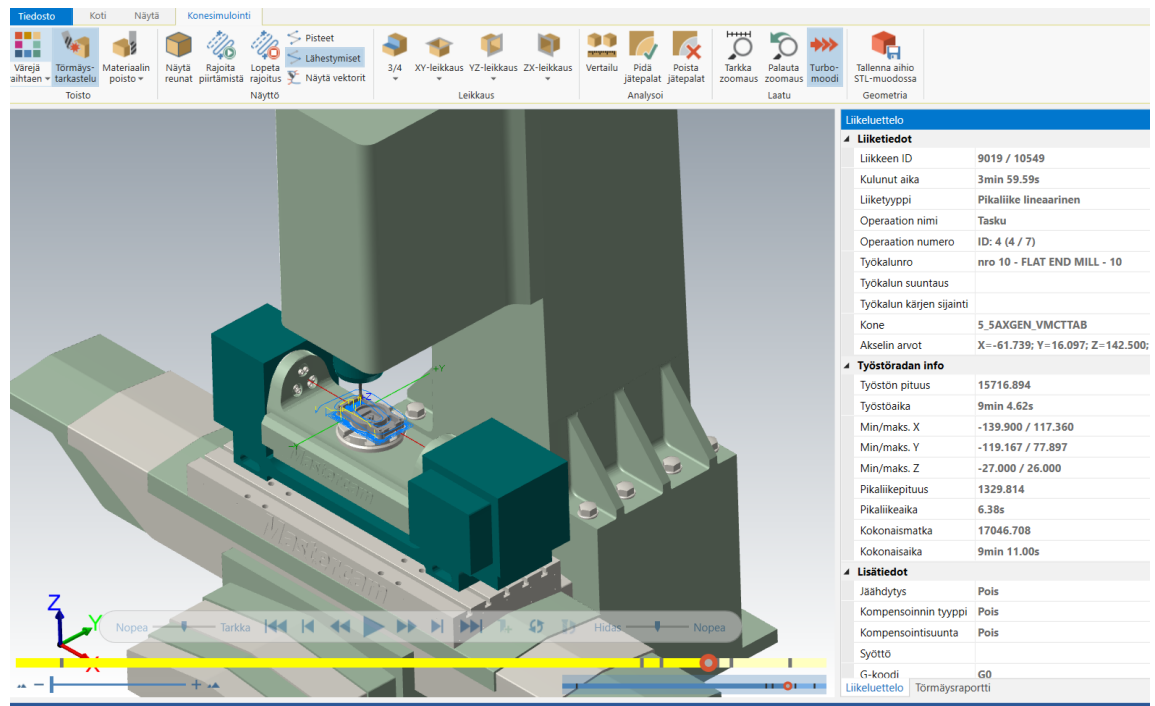
jen sähköisen tietorakenteen luontiin. Sähköistä tietorakennetta hyödynnetään työkalujen tietojen kuvaamiseen ja esittämiseen. Tämän tarkoituksena on helpottaa työkalujen käsittelyä, käyttöä sekä hallintaa. Työkalutiedot ovat työkalun ja tämän käyttökohteiden ominaisuuksia ja mittoja, jotka vaikuttavat valmistusstrategisiin päätöksiin ja valmistustoiminnan suorittamiseen. (ISO 13399-1:2006.)

Edistyneimmät CAM-järjestelmät tarjoavat ISO 13399 mukaisia online-tietokantoja työkalukirjastoihinsa, jotka sisältävät ajan tasalla olevat työkalutiedot näiden valmistajilta. Tämän tavoitteena on tehdä työkalukirjaston luonnista ja siellä olevien terätietojen valinnasta mahdollisimman tehokas prosessi. Kaikki nämä kehitykset pohjautuvat kykyyn jakaa digitaalisia leikkaustyökalutietoja. Tämä on suurin syy miksi leikkaustyökalujen valmistajat ja sovelluskehittäjät ovat laatineet standardeja, jotka määrittävät yhteisen muodon tietokoneella hyödynnettäviin leikkaustyökalutiedoille. (Standard tool classification for better data communication 2016.)

3.7.3 Ohjelman simulointi

Tietokoneella ohjelman simuloinnissa verrataan työkalujen työstöratoja kappaleen geometriisiin muotoihin. Samalla voidaan tarkastella työkalun soveltuvuutta sekä liikkeitä työstön aikana. Simuloinnin perusteella voidaan ohjelmaa korjata ennen kuin ohjelmaa edes siirtää työstökoneelle. Systemaattisella työskentelyllä voidaan monimutkaisissakin kappaleissa keskittyä pieneen osa-alueeseen ja tarkastaa jokainen työstövaihe samalla kertaa. Työstöratoihin voidaan lisätä tai poistaa liikkeitä, vaihtaa työstöstrategioita sekä optimoida työstöparametrejä. Simuloinnilla vältetään turhat työkalujen törmäykset ja ohjelmointivirheet. (Pikkarainen 1999, 144.)

Kuvassa 8 on näyttökuva Mastercam-ohjelmiston konesimuloinnista, josta nähdään mm. työstöön kuluva aika, työkalut, liikeakseleiden arvot ja työstönopeudet. Konesimulointi antaa myös törmäysraportin mahdollisista ohjelman havaitsemista törmäyksistä tai liikeratojen ylityksestä. Tämä ominaisuus tehostaa asetusten tekoa koneella, kun esimerkiksi kappaleiden kiinnitykset ja aihiot voidaan suunnitella ennen tuotannon aloittamista tarkemmin.



Kuvio 8. Mastercamin konesimulointi.

3.7.4 Postprosessorit

Postprosessori on tietokoneohjelmistossa oleva ominaisuus, jonka tehtävänä on muuttaa tietokoneohjelmistolla luotu data NC-työstökoneiden ymmärtämään muotoon. Tämä ominaisuus muodostaa konekohtaisia NC-ohjelmia yleisessä muodossa olevasta datasta. Postprosessori on kriittinen osa virheettömän ohjelman luontia. Postprosessoreiden pyrkimyksinä on se, ettei ohjelmaa tarvitsisi muokata manuaalisesti työstökoneelle siirron jälkeen. Usein konepajoissa hyödynnetään konetyyppikohtaisia postprosessoreita. Tämän avulla eri merkkiset tai eri ohjauksella olevat koneet ohjelmoidaan aina saman käsikirjan mukaisesti ja koneiden ohjelmointi on helppo oppia. (Pikkarainen 1993, 115-116.)

4 CAD/CAM:in hyödyntäminen NC-ohjelmoinnissa

CAD/CAM-ohjelmiston hankinta on tärkeä liiketoimintapäätös ja se hyvä tehdä huolellisesti. Asianmukaisella arviointiprosessilla pyritään välttämään epäsovivan

ohjelmiston investointi. (CAD/CAM Selection to fit the shop 2017.) Tässä kappaleessa on kartoitettu koneiden ohjelmointiin ja ohjelmiston valintaan vaikuttavia tekijöitä koneiden, kappaleiden ja henkilöstön näkökulmasta.

4.1 CAD/CAM-ohjelmiston hyödyt

CAD/CAM-järjestelmät tarjoavat yritykselle suurta apua suunnittelussa ja valmistuksessa. Yritykset ovat tulleet nykypäivänä riippuvaiseksi näistä järjestelmistä tehokkaan tuotannon aikaansaamiseksi. Monimutkaisille kappaleille ohjelmointi tapahtuu nopeammin, koska koordinaattien laskutoimituksia ei tarvitse tehdä. Käyttäjä voi visuaalisesti nähdä kappaleen muodot ja mitat, kun yleensä CAM-ohjelmoinnissa hyödynnetään jo olemassa olevaa 3D-mallia. (Mercer 2000, 2) NC-ohjelmien laatu paranee CAM-ohjelmoinnin ansiosta, kun näppäilyvirheille herkkä manuaalinen ohjelmointityö vähenee valmistusprosessissa. (Pikkarainen 1999, 145.)

Ohjelmistolla saadaan vähennettyä työkalukustannuksia työstöarvojen optimoinnin ja dynaamisten työstöratojen luonnin avulla. Näiden avulla minimoidaan ylimääräinen työkalujen kuluminen ja saadaan pidennettyä työkalujen käyttöikä. Työstökoneiden käyttöastetta saadaan nostettua hyödyntämällä CAM-ohjelman offline-ohjelmointiominaisuuksia eli ohjelmat seuraaville kappaleille voidaan valmistella koneen työstämisen ohessa. Korkeamman käyttöasteen seurauksena tuotteiden läpimenoaika lyhenee ja keskeneräisen tuotannon määrä laskee tuotannossa. Tämän tyyppiset ominaisuudet ovat yhä kriittisemmässä osassa, kun osien geometria, materiaalit ja pintakäsittelyt muuttuvat haasteellisemmiksi. (CAD/CAM Selection to fit the shop 2017.) CAD/CAM-ohjelmiston simulointiominaisuudella kappaleelle voidaan suorittaa työstöajan laskenta ja testata eri mahdollisuuksia työajan lyhentämiseksi. (Pikkarainen 1999, 145.)

Työstösimuloinnin hyödyntämisestä sarjatuotantokappaleille on saavutettu hyviä tuloksia varsinkin koneille, joita käytetään ympärivuorokautisesti. Koneen ohjelmat ja kappaleiden kiinnittimet saadaan testattua hyvissä ajoin ennen tuotannon aloittamista. Suuren kappaleen kiinnittäminen koneeseen voi kestää useammankin päivän, jolloin simuloinnilla voidaan tehdä törmäystarkasteluita ennakkoon ja koneistustyö onnistuisi virheettömästi ensimmäisellä kerralla. Tässä samalla voidaan tarkastella

työkalujen sopivuutta työstöön ja mahdolliset työkaluhankinnat tehtyä ajoissa. Tehokkaasti toimiva CAM-ohjelmisto vähentää simuloinnin määrää työstökoneella ja näin vähentää asetusaikeiden pituutta. (Kokemuksia asetusaikeiden minimoinnista NC-ohjelmien simuloinnilla 2016.)

4.2 Referenssikäynnit ja tiedustelut

Puhelin keskustelun perusteella Pohjois-Pohjanmaalla toimiva alihankinta konepaja kertoi käyttävänsä NC-jyrsinkoneille SurfCAM-ohjelmistoa, koska se on helppokäyttöinen ja nopeasti opittavissa. Painavana syynä myös ohjelmiston investoinnille oli ollut paikallinen ammattiopisto, jossa käytetään samaa ohjelmistoa opetustarkoituksiin. Näin uuden työntekijän on helpompi perehtyä työhönsä kun jo valmiiksi hallitsee ohjelmiston käytön. NX CAM oli heillä käytössä työstökeskuksella työstettävillä monimutkaisilla kappaleilla. Tämän ohjelmiston he olivat kokeneet monipuoliseksi haasteellisille kappaleille, mutta ohjelmointi yksinkertaisille kappaleille on kankeaa. Yrityksellä oli myös GibbsCAM-ohjelmisto käytössä sorvien ohjelmointiin.

Mastercam maahantuoja Zenex Oy:n Matti Seppälä kertoi käyttöönotto vaiheeseen olevan kriittisin osa CAM-ohjelmiston hankintaa ajatellen. Tässä vaiheessa mitataan ohjelmistolla tulevaisuudessa saavutettavat hyödyt, kun käyttäjät koulutetaan ja sitoutetaan uuteen ohjelmistoon ja toimintatapaan. Heikosti organisoitu käyttöönotto vaihe vie helposti pohjan pois investoinnin tuottavuudelta minkä tahansa laitteen tai ohjelmiston osalta. (Seppälä 2020.)

Camaster Oy:n Ilkka Heinäaho kävi esittelemässä Mastercam-ohjelmistoa Muuramessa 25.2.2020. Heinäahon mukaan Mastercam-ohjelmisto on tutkitusti markkinajohtajan asemassa Suomessa. Tuki- ja ylläpitopalveluiden osalta Mastercam tarjoaa kattavimmat ja laajimmat palvelut Suomessa. Heinäaho aloitti kertomalla CAM-ohjelmiston hyödyistä yleisesti. CAM-ohjelmiston tarjoamia hyötyjä on mm. ohjelmointi- ja asetusaikeiden lyheneminen, työstöajan tarkka laskeminen tarjousvaiheessa ja dynaamisten työstöratojen ansiosta vähentyvät työkalukustannukset. Heinäahon mukaan Mastercam pystyy avaamaan lähes kaikkia CAD-ohjelmien

formaatteja. Muutamia CAD-ohjelmien formaatteja Mastercam ei osaa avata ohjelmassa ilman maksullista lisäosaa. Nykyään konepajoissa NC-ohjelmointi perustuu yhä enemmän 3D-mallin geometriaan, joka lisää CAM-ohjelmiston tarvetta. Mastercam-ohjelmisto koostuu eri tasoista lisäohjelmista, joita voidaan hankkia asiakkaan tarpeiden mukaan. (Heinäaho 2020.)

4.3 NC-koneiden ja kappaleiden analysointi

Toimeksiantajalla on tuotannossa kaksi Mazak Nexus 5000-II-työstökeskusta ja yksi DMG MORI NTX 2000-monitoimisorvi. Kappaleiden analysointiin käytettiin hyödyksi dataa viimeaikaisimmista koneistustöistä ja laadituista NC-ohjelmista.

4.3.1 Mazak Nexus 5000-II

Työstökeskuksen ominaisuuksia:

- Maksimi työkappaleen halkaisija 800 mm
- Maksimi työkappaleen korkeus 1000 mm
- Poikkiliike pituus X- ja Y-akselille 730 mm korkeusliike Z-akselille 740 mm
- Maksimi karan pyörimisnopeus 18 000 rpm
- Ohjaus: Mazatrol Matrix Nexus 2

Tällä työstökeskuksella työstettävissä kappaleissa on hyvin paljon samankaltaisia ulkomuotoja, porauksia sekä toistuvia reikäpiirejä. Yksi tyyppinen työstökoneella valmistettava kappale löytyy kuvattuna liitteestä 1. Kappaleet ovat painoltaan 0,1-20 kg ja materiaaliltaan pääosin alumiinia. Suurin osa näistä kappaleista onnistuu valmistaa käyttämällä kolmea työstökoneen liikeakseleista ja osassa kappaleissa hyödynnetään neljättä liikeakselia vinojen porausten aikaansaamiseksi. Mazak-työstökeskuksilla paletin vaihdot ovat automatisoitu, jolloin työstökeskus voi työstää myös miehittämättömänä. Työstö tapahtuu useimmiten monikappaletyöstönä (Liite 4.), jolloin kappaleet kiinnitetään pääsääntöisesti kiinnitys torniin, johon voidaan kiinnittää 5-50 kappaletta. Ohjelmat on laadittu Mazakin Matrix Nexus 2-ohjauksella kyselevällä ohjelmointi tyyllillä, joka on yksinkertaisille kappaleille tehokas ohjelmointitapa. Näihin ohjelmiin on lisätty G-koodilla myös aliohjelmia pääohjelman

sisälle. Lisättyjä aliohjelmia on esimerkiksi kappaleen päiväysleima. Uusia ohjelmia laaditaan näille koneille 2-5 kpl kuukaudessa.



Kuvio 9. Mazak-työstökeskus.

4.3.2 DMG MORI NTX 2000

Monitoimisorvin ominaisuuksia:

- Maksimi sorvaushalkaisija 660 mm
- Maksimi sorvauspituus 1 540 mm
- Maksimi sorvaus-jyrsintä karan pyörimisnopeus 12 000 rpm
- Maksimi tangon halkaisija tangonsyöttölaitteelle 80 mm
- Ohjaus: Fanuc F31iB5

Kappaleet ovat olleet suhteellisen yksinkertaisia pyörähdyssymmetrisia kappaleita, joihin on jyrsitty ja porattu vaaka- ja pysty akselin suuntaisia reikiä ja upotuksia. Yksi

tyypillinen monitoimisorvilla valmistettu kappale on näkyvillä liitteessä 2. Painoltaan kappaleet ovat 1-10 kg ja materiaaliltaan pääosin alumiinia. Työstössä hyödynnetään viittä liikeakselia sekä pää- ja vastakaraa. Koneistuksen aikana saadaan hyödynnettyä alarevolveria sorvaukseen ja yläpuolista sorvaus-jyrsinkaraa haasteellisempiin muotoihin. Tässä on myös mahdollisuus käyttää työstön aikana tangonsyöttöautomaattia, miehittämättömän koneajan kasvattamiseksi. Ohjauksena koneessa toimii Fanuc F31iB5, joka mahdollistaa ohjelman luomisen ohjatusti näytöllä ja simuloinnin valmiille ohjelmalle. Uusia ohjelmia on luotu monitoimisorville muutamia kuukaudessa, jotka ovat olleet enemmän proto osia tuotekehityksestä kuin asiakkaan tuotteita.



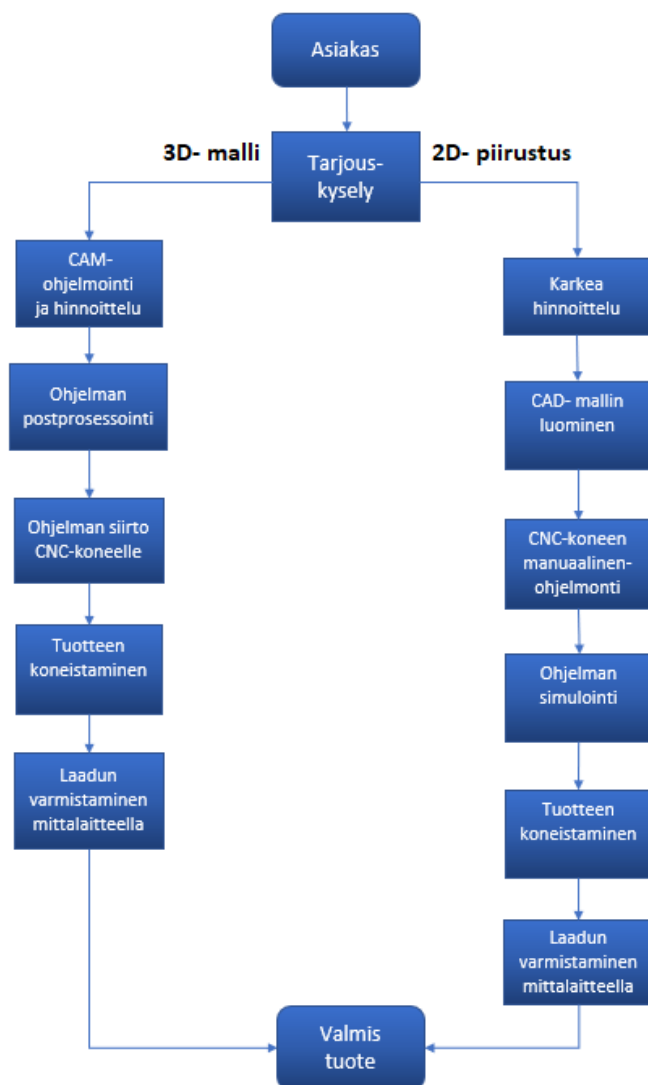
Kuvio 10. DMG Mori-monitoimisorvi.

4.4 Henkilöstöressurit toimintatapa muutoksessa

CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönotto vaatii alkutilanteessa yhden työntekijän työpanoksen, jotta voidaan taata ohjelman täydellinen toiminta. Käyttöönnotossa työllistäviä asioita ovat työkalukirjaston luominen ohjelmaan. Tällä tarkoitetaan

jokaisen NC-koneilla käytössä olevan työkalun läpikäymistä kirjaamalla tämän parametrit CAM-järjestelmään. Toinen resurssija vievä asia käyttöönotossa on postprosessoreiden räätälöinti halutuille työstökoneille.

CAD/CAM-ohjelmointiin siirryttäessä vaaditaan sopeutumiskykyä uuden ohjelmiston sekä uusien toimintatapojen kanssa. Muutosprosessi on valmisteltava erittäin huolellisesti, jolloin kynnyks uuteen toimintatapaan olisi mahdollisimman minimaalinen. Heikko organisaation osallistuminen ja huono viestintä muutosprosessista aiheuttaa riskejä uuden toimintatavan käyttöönotossa. (Sääksvuori 2002, 89.)



Kuvio 11. Toimintatavan muutos valmistusprosessissa.

CAD/CAM-ohjelmointijärjestelmän tehokas hyödyntäminen valmistusprosessissa edellyttää muutosta toimintatavoissa koneistajien ja tuotannosta vastaavien toimihenkilöiden keskuudessa. Tarpeet työntekijöiden työnkuvan muutoksille on hyvä käydä läpi muutosprosessissa tehokkaan valmistusprosessin aikaan saamiseksi. Koulutuksen merkitystä on korostettava muutosprosessissa ja kartoitettava kenen tulee osata CAM-ohjelmointia. CAM-ohjelmoinnin kouluttaminen mahdollisimman monelle toimihenkilölle ja koneistajalle takaa sen, että tuotteiden hinnoittelu ja NC-koneiden ohjelmointi onnistuu useammalta työntekijältä. CAM-ohjelmiston kouluttaminen koneistajille on hyvinkin perusteltua, koska tämä lisää heidän työn monipuolisuutta ja ohjelmointiosaamista.

CAM-ohjelmalla saadaan tehostettua NC-ohjelmointia, mutta ohjelmoijan ja tuotesuunnittelijan tulee ymmärtää NC-ohjelmoinnin vaatimukset. Koneistajien kanssa käydyissä keskusteluissa nousi esiin asioita, jotka heidän kannalta on otettava huomioon CAM-ohjelmoinnissa. NC-ohjelmien tekijällä tulee olla laaja tietämys tarvittavista koneista, menetelmistä ja työkaluista. NC-ohjelmat tulisi laatia niin, että se olisi kaikista tehokkain tapa työstää kappale käytettävissä olevilla työstökoneilla. Yleensä tämä tietämys on parhaimmalla tasolla CNC-koulutuksen suorittaneilla koneistajilla. Koneistajat tuntevat parhaiten työstökoneet, työkalujen ja työstöjärjestyksien vaikutukset, lastuavantyöstön parametrien vaikutukset sekä työstökoneiden kyvykkyyden.

4.5 Ohjelmointitiedon vaatimukset sidosryhmille

Valmistusteknisten tarpeiden huomioiminen on kriittisessä roolissa tuotesuunnittelussa ja 3D-mallien luonnissa. Pääsääntöisesti CAM-ohjelmat käsittelee CAD-ohjelmalla luotua 3D-mallia yhtenä kappaleena eli geometriana. CAM-ohjelmoinnissa 3D-mallin geometrisia muutostöitä pyritään välttämään, koska tällä estetään mahdollisten virheiden syntyminen mallin muokkaamisessa. (Lähdeniemi 2003, 22.)

Tämä vaatii sovitusta suunnittelusääntöjen noudattamista ja yhtenäisiä toimintatapoja suunnitteluprosessissa. Sujuvan ohjelmoinnin aikaansaamiseksi geometrian täytyy olla täysin virheetön. Useasti geometria mallinnetaan uudestaan NC-

ohjelmointia varten. Virheet geometriassa lisää ohjelmointiaikaa ja uudelleen mallintamisen seurauksena kustannukset ja virhelähteiden määrä kasvaa suunnitteluprosessissa. (Lähdeniemi 2003, 22.)

Tuotteessa esiintyviin toleranssien esittämistavan huomioon ottaminen suunnittelu- vaiheessa on toinen merkittävä asia. Valmistusprosessia silmällä pitäen koneistettavat tuotteet tulisi mallintaa toleranssialueen puoleen väliin, jolloin CAM-ohjelmoinnissa saataisiin tehokkaasti hyödynnettyä sähköisessä muodossa olevaa geometriaa. Tässä osakseen risteää toleroinnin tarkoitus ja tavoite. Toleroinnin tavoitteena on tavoitellun mitan ja muodon aikaan saaminen mahdollisimman pienillä kustannuksilla. (Laakko 1998, 130.)

Toleroinnin tiedonsiirto-ongelmaan 3D- mallinnuksen kannalta ratkaisuvaihtoehtoja on neljä (Laakko 1998, 136.):

- Suunnittelusta tuotantoon lähetetään geometria, joka on luotu nimellismittaan ja tuotanto muuttaa geometrian käsin toleranssin sisälle.
- Suunnittelusta lähetetään valmistukseen geometria, joka on luotu nimellismittaan. NC-ohjelmoinnissa tehdään geometrian muunnos automaattisesti. (Suodatus toleranssitiedoista esim. tekstitiedosta)
- CAD-järjestelmä siirtää tosimitaisen geometrian ja tuotanto hyödyntää CAM-ohjelmoinnissa suoraan geometriaa.
- CAD- ja CAM-ohjelmointijärjestelmät käyttää samaa esitystapaa. (Integroitu järjestelmä)

4.6 CAD/CAM:in haasteet tuotannossa

CAD/CAM-ohjelmoinnissa löytyy myös haasteita, jotka on hyvä käydä läpi ennen ohjelmiston investointia. Tehokkaan CAM-ohjelmointiprosessin edellytyksenä on oikein mallinnettu 3D-malli, joka vaatii suunnittelusääntöjen noudattamista. Tämä haaste koskee varsinkin asiakkailta tulevia 3D-malleja yritysten suunnittelusääntöjen ja ajatusmaailman vaihtelun vuoksi. Toimintojen automatisointi ja assosiativisuus

toimintojen välillä kasvattaa vaatimuksia geometrian suunnittelijalle. Suunnittelijan on varattava enemmän aikaa CAD-mallin mitoittamiseen liittyvään suunnitteluun sekä tämän tarkastamiseen. CAD-mallin geometria voi olla virheellinen vaikka se on matemaattisesti täysin oikein mallinnettu. Virheellisen CAD-mallin hyödyntäminen NC-ohjelmoinnissa saattaa johtaa virheellisiin muotoihin koneistettavassa kappaleessa. Koneistettaessa kappaleita ilman 3D-muotoja CAD/CAM-ohjelmoinnilla ei välttämättä saavuteta juurikaan suurta hyötyä. (Lähdeniemi 2003, 36.)

Usein eri ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa käytetään neutraaleja tiedostoformaatteja kuten esimerkiksi STL-, SAT- ja STEP-formaatteja. Tämä johtuu siitä, että yrityksen asiakkailta tai alihankkijoilta ei ole välttämättä tiedostokääntäjiä yrityksen käytössä olevien järjestelmien välille. Suoran tiedostokääntäjän puute aiheuttaa 3D-mallin määrittelytiedon katoamisen. Määrittelytiedon katoamisen seurauksena suunnittelussa ja valmistuksessa ei pystytä tehokkaasti toteuttamaan valmistuksen vaatimia muutoksia 3D-malliin. Syitä neutraalien tiedonsiirtoformaattien käytölle on kääntäjäinvestoinnin kannattamattomuus asiakkaalle tai alihankkijalle. Mahdollisesti syynä voi olla myös, ettei järjestelmien välille ole saatavilla toimivaa tiedostokääntäjää. Harvoin uusia tuotteita valmistavien tai pieniä sarjoja tekevien yritysten ajallinen säästö tiedostokääntäjän avulla jäävät yleensä hyvin pieneksi. (Lähdeniemi 2003, 46-47.)

Lähdeniemi toteaa tutkimuksessaan, että saman CAD-ohjelmiston pelkkä versio muutos sai aikaan geometriavirheitä mallissa. Versioita testattiin avaamalla vanhalla versiolla piirretty malli uudessa versiossa. Tämä ongelman voi poistaa hyödyntämällä uuden version mukana tulevaa tiedostokääntäjää, mutta tiedonpuute mallinnusversiosta tai käytetyistä tiedostokääntäjistä saa aikaan epätietoisuutta CAM-ohjelmoinnissa. (Lähdeniemi 2003, 76.) CAM-ohjelmoinnissa geometrialta vaaditaan tarkkoja vaatimuksia ja jos 3D-mallit eivät suoraan ole täysin käyttökelpoisia tai vaatii muokkausta altistaa tämä valmistusvirheille tuotannon aikana. Huomioon on otettava, kääntyykö kaikki eri CAD-ohjelmalla luodut piirteet ja geometriat oikein eri ohjelmistojen ja tiedostokääntäjien välillä.

NC-koneissa on ominaisuuksia, joita CAM-järjestelmä ei välttämättä pysty normaalein käskyin hyödyntämään ja vaatii postprosessoreiden räätälöintiä. Yleisiä postprosessoreita on saatavilla eri konetyypille, mutta nämä postprossessorit ei aina toimi parhaimmalla tavalla ja ohjelmaa joutuu käsin muokkaamaan postprosessoinnin jälkeen. Postprosessoreiden räätälöinti vaatii tiivistä yhteistyötä yrityksen, ohjelman toimittajan sekä postprossessorin koodaajan välillä. Tämä prosessi vaatii myös yrityksen resursseja, sillä postprosessoitua NC-koodia pitää testata ja tämän perusteella antaa palautetta postprossessorin valmistajalle. Vaikka yrityksellä on kaksi identtistä työstökoneita se ei tarkoita, että näille voidaan käyttää samaa postprossessoria johtuen koneella olevista lisäoptioista.

CAD/CAM-ohjelmoinnissa suurimmat riskit saadaan eliminoitua jo ohjelmointivaiheessa ohjelmistossa olevalla simulointiominaisuudella, mutta törmäyksen riski on aina läsnä tästä huolimatta. CAM-ohjelmiston simulointiin ei täysin voi luottaa, koska tämä ei perustu CNC-koneen todelliseen tilaan vaan CAM-ohjelman käsittelemään tietoon. CNC-koneen työkalun mittauksessa tai kappaleen nollapisteen määrittelyssä tapahtunut virhe voi tästä huolimatta johtaa törmäykseen vaikka tämä ohjelman olisikin CAM-ohjelmassa simuloitu ennen koneelle siirtämistä. (Konekuriiri 2013.)

4.7 CAD/CAM-ohjelmiston vaatimukset

CAD/CAM-ohjelmistolta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jonka perusteella voidaan valita yrityksen tarpeita vastaava ohjelma. Tässä kappaleessa käsitellään asioita, joita Tim Mercer on tutkimuksessaan kokenut tärkeiksi asioiksi CAD/CAM-ohjelmiston investoinnin kannalta.

4.7.1 Käyttäjystävällisyys

Käyttäjystävällisyydellä kuvataan palvelun tai ohjelmiston helppokäyttöisyyttä tietyn tavoitteen saavuttamiseksi. Jos ohjelman käyttäjä kokee CAD/CAM-ohjelman hankalakäyttöiseksi rajoittaa tämä paljon työntehokkuutta. Hankalakäyttöisellä ohjelmalla jää paljon resursseja käyttämättä, kun ohjelman ominaisuuksia ei osata hyödyntää tehokkaimmalla tavalla. Käyttöliittymä CAM-ohjelmassa on hyvä olla pelkistetty, jolloin

kaikki yleisimmät komennot ovat selkeästi näkyvissä. Samankaltaiset toiminnot ovat hyvä ryhmitellä esim. työstötavan perusteella ja liittää niihin komentoa kuvaava symboli. (Mercer 2000, 15-16.)

Ohjelman räätälöityvyydellä on myös keskeinen vaikutus ohjelman käytettävyyteen ja sitä mukaan myös tuottavuuteen ja tehokkuuteen. Mikäli ohjelman valikoita, työkalukirjastoja sekä käyttöliittymää voidaan räätälöidä enemmän käyttäjien mukaiseksi, pystyy käyttäjät optimoimaan tehokkuuttaan paremmin. (Mercer 2000, 22.)

4.7.2 Lisäosat ja laajennettavuus

Ohjelmiston lisäosilla tarkoitetaan tietokoneohjelmaan liitännäisiä ohjelmistoja, jotka lisää tarvittaessa tietyn toiminnon ohjelmistoon. CAD/CAM-ohjelmistoissa näitä lisäosia voi olla esim. sorvaus-, jyrsintä- tai mittalaitteohjelmisto. Lisäosilla saadaan muokattua ohjelmisto paremmin vastaamaan yrityksen toimintatapaa ja tarpeita. Asiakas voi tarpeen tullen itse hankkia tarvitsemansa lisäosan, ja maksaa vain tarvitsemistaan ominaisuuksista. Lisäosien täydentäminen jälkeinpäin mahdollistaa ohjelman laajentamisen yrityksen kasvun mukana. (Mercer 2000, 16-17.)

4.7.3 Yhteensopivuus

Yhteensopivuudella tarkoitetaan kuinka eri ohjelmistot ja toiminnot kommunikoivat keskenään ja kuinka toisella ohjelmalla luotua tiedostoa voi käsitellä toisella ohjelmalla. Ohjelmistoilta vaaditaan kykyä lukea eri tiedostomuotoja ja myös muokata tätä tarvittaessa. Tällä vältytään turhilta suunnittelukustannuksilta, koska samoja tiedostoja ja kuvia ei tarvitse tehdä useampaan kertaan. (Mercer 2000, 19.)

Ohjelman postprosessorit ovat kriittisessä osassa yhteensopivuudessa. Postprosessorit toimivat linkkinä CAM-ohjelman ja työstökoneiden välillä ja siksi tämä on tärkeä ottaa huomioon myös CAM-ohjelman valinnassa. On tärkeä, että CAM-ohjelma pystyisi tarjoamaan sopivat postprosessorit tai ainakin kehittämään niitä asiakkaan tarpeita vastaaviksi. Epäsopivalla postprosessorilla koneista ei saada parasta mahdollista hyötyä irti. (CAD/CAM Selection to fit the shop. 2017.)

4.7.4 Tuki- ja koulutuspalvelut

Tuki on ratkaisevan tärkeä CAM-ohjelmistolle. Useammat ohjelmat tarjoavat paikallisen tuen, mutta tässäkin on vaihteluja vasteajan ja tehokkuuden mukaan. Paikallisen tuen avulla ohjelmiston tarjoaja oppii tuntemaan asiakkansa ja tämän käyttämät ohjelmat hyvin. Nopean ja asiakaslähtöisen tuen kautta opitaan löytämään tyypillisimmät ongelmat nopeasti ja antamaan nopeasti vastauksia haasteisiin ohjelmoinnissa. (CAD/CAM Selection to fit the shop 2017.)

Helposti saatavilla olevat aputoiminnot, keskustelufoorumit, käyttöohjeet sekä onlinevideot kasvattavat työn tehokkuutta, koska ohjelmoija voi nopeasti hakea tietoa ja ratkaista ongelmatilanteet itsenäisesti. (Mercer 2000, 15-16.) Ohjelmistomyyjien tarjoama koulutus auttaa uusia käyttäjiä työssään ja vauhdittaa kokeneempia käyttäjiä hyödyntämään ohjelmaa monipuolisemmin. Nykyään tarjotaan monipuolisia onlinekursseja, joiden ansiosta ohjelmoijat voivat omaan tahtiin parantaa ohjelmointitaitoja. (CAD/CAM Selection to fit the shop 2017.)

5 CAD/CAM-ohjelmiston valinta

Tarkempaan testaukseen valittiin GibbsCAM-, SurfCAM- ja NX CAM-ohjelmistot saatujen tiedustelutiedon perusteella. Mastercam-ohjelmisto valittiin testausvaiheeseen, koska Jyväskylän ammattikorkeakoulu käyttää opetuksessaan samaa ohjelmistoa. InventorCAM-ohjelmiston testaukseen päättymisen perusteena oli autodeskin tunnetut suunnitteluohjelmistot, joita on käytössä monessa konepajassa.

5.1 Mastercam

Mastercam tarjoaa ohjelmointiratkaisut niin 2D- kuin 3D-radoista moniakseliseen jysintään ja monitoimisorvien NC-ohjelmointiin. Mastercam sisältää myös CAM-ohjelmointia tukevan 3D CAD-ominaisuuden. Mastercam on kehittänyt dynaamista liikettä hyödyntäviä työstöratoja, jotka vähentävät työkalun kulumista ja pienentää työstöaikaa. Dynaamisessa liikkeessä pyritään käyttämään työkalun koko pituutta

hyödyksi rouhinnassa ja näin saadaan vähennettyä työkoneeseen kohdistuvia voimia. Mastercamin tuoteperheeseen kuuluu ratkaisuita jyräntään, sorvaukseen sekä monitoimisorvaukseen, joista asiakas voi tarpeidensa mukaan valita sopivat lisäohjelmistot omaan käyttöönsä. (Mastercam 2020.)

5.2 Inventor CAM

Inventor CAM on Autodeskin suunnittelu- ja valmistusohjelmistoihin integroitu CAM-ohjelmisto. Suunnitteluohjelmaan integroitu CAM-ohjelmiston etuna on automaattinen työstöratojen päivittyminen, jos CAD-puolella tehdään muutoksia kappaleeseen. Tällä ohjelmistolla onnistuu kaikki 2.5 akselisesta työstöstä aina 5 akseliseen jyräntään, sorvaukseen sekä näiden yhdistelmiin. (Integrated CAM software for Inventor simplifies CNC programming processes. 2020.)

5.3 SurfCAM

SurfCAM:illa ja edgeCAM:illa on sama omistaja Vero Software, joka kuuluu osaksi suurempaa Hexagon konsernia. Saman omistajasuhteen vuoksi nämä ohjelmistot ovat myös ominaisuuksiltaan ja käyttöliittymältään hyvin samankaltaisia. SurfCAM-ohjelmisto on hyvin visuaalinen sekä ohjelmoinnissa voidaan hyödyntää automaattista työstöratojen luontia sekä automaattista piirteiden tunnistamista. SurfCAM-ohjelmisto koostuu moduuleista, joista asiakas voi tarpeidensa mukaan valita tarvitsemiaan ominaisuuksia. Tällä ohjelmistolla työstöratojen luominen onnistuu rautalankamallista kuin 3D-mallistakin. SurfCAM:illa NC- ohjelmointi jyräsimille onnistuu 2.5 akselisesta työstöstä aina 3-5 akseliseen työstöön saakka ja sorvausominaisuus tukee 2-akselisia sorveista lähtisin sorveihin, joissa on useampia karoja ja revolvereja. (Surfcam CADCAM N.d.)

5.4 GibbsCAM

Bill Gibbs perusti Gibbs Systemsin vuonna 1982 ja samalla hän kehitti yhden maailman ensimmäisistä CAM-järjestelmistä. Nykyään GibbsCAM:in omistaa 3D systems, jolla on

kokemusta alalta yli 30 vuotta. Uudemman sukupolven GibbsCAM tuli markkinoille vuonna 1993 ja tämän älykkään käyttöliittymän ansiosta mullisti CAM-teollisuuden. GibbsCAM tekee yhteistyötä useampien työstökonevalmistajien kanssa mm. DMG Mori, Mazak, Okuma, Matsuura sekä Nakamura. Tiiviin yhteistyön ansiosta ohjelmisto lupaa korkealuokkaiset postproessorit ja työstösovellukset. Tällä integroidulla CAD/CAM-järjestelmällä onnistuu sorvauksen kuin jyrännänkin NC-ohjelmointi. Sanotaankin että GibbsCAM on helppo käyttää ja havainnollinen ohjelma koneiden NC- ohjelmointiin. (Gibbscam faktoja N.d.)

5.5 NX CAM

NX on Siemens PLM Softwaren kehittämä CAD/CAM/CAE-järjestelmä, jolla onnistuu kappaleiden mallintaminen, työstökoneiden ohjelmointi sekä ohjelmien simulointi. NX CAM on yksi integroitu osa suurempaa NX- ohjelmiston kokonaisuutta. NX CAM tarjoaa laajat mahdollisuudet NC-ohjelmointiin 5-akselisista koneistuksista korkeanopeuksisiin työstöihin. NX-ohjelmisto tarjoaa hyvät integrointi mahdollisuudet Teamcenter PDM-järjestelmään. Teamcenterissa voidaan hallita työkaluja, kiinnittimiä ja ladata simulointimalleja. Erittäin paljon käytetty ohjelmisto auto- ja ilmailuteollisuudessa. (Gain efficiency using one comprehensive CAM software 2020.)

5.6 CAM- ohjelmistoverailu

Ennen valintaprosessia on hyvä määritellä ohjelmiston valintakriteerit, joiden perusteella valinta tehdään. Valintakriteerit jaetaan kahteen ryhmään; vaatimukseen ja toivomukseen. Vaatimukseen tulee ohjelmistolle välttämättömät kriteerit ja toivomukseen kriteerit, jotka vaikuttavat valintaan mutta eivät ole välttämättömiä. (Hayden 2004, 58.)

CAM-ohjelmistojen vertailu toteutettiin valmistajien markkinointimateriaalin ja käyttäjäystävällisyyden perusteella. Kuvassa 12 (Liite 3) on arvioitu testattuja ohjelmistojen ominaisuuksia. Arvioitavat kriteerit valittiin tärkeinä pidettyjen ominaisuuksien perusteella. Kaikilla ohjelmistoilla mallinnettiin sama testikappale, johon laadittiin myös työstöratoja, jolloin saatiin arvioitua ohjelmiston CAM- ominaisuuksia. Näiden avulla

saatiin selville eroavaisuudet ohjelmistojen välillä ja varmuutta soveltuvan ohjelmiston valinnalle.

	Ohjelmiston kriteerit	Arvo 1-5		Arvo 1-5		Arvo 1-5		Arvo 1-5		Arvo 1-5		Arvo 1-5	
		Vaikutus	Arvo	MasterCAM	Arvo	Inventor CAM	Arvo	SurfCAM	Arvo	GibbsCAM	Arvo	NX CAM	
VAATIMUKSET	Helppokäyttöisyys	5	5	25	5	25	4	20	3	15	2	10	
	Monipuolisuus	5	5	25	4	20	3	15	4	20	5	25	
	Kyky avata CAD- malleja	5	5	25	4	20	4	20	5	25	5	25	
	Mittapään ohjelmointi	5	4	20	3	15	3	15	3	15	4	20	
	Yhteensopivuus muiden ohjelmistojen kanssa	5	4	20	3	15	3	15	4	20	5	25	
	Työkalukirjaston luonti ja hallinta	4	4	16	3	12	3	12	3	12	3	12	
TOIVOMUKSET	Lisäohjelmien saatavuus	4	5	20	3	12	2	8	3	12	3	12	
	Laajennettavuus	3	5	15	3	9	3	9	3	9	5	15	
	Postprosessoreiden saatavuus koneille	4	5	20	3	12	4	16	4	16	4	16	
	CAD- ominaisuus	2	4	8	5	10	4	8	3	6	2	4	
	Konesimulointi	2	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	
	Työstöarvojen ja työkaluratojen optimointi	3	5	15	4	12	3	9	3	9	3	9	
	Tuki- ja koulutusmateriaali	3	5	15	3	9	3	9	4	12	2	6	
Yhteensä :				232		179		164		179		187	

Kuvio 12. Hyötykustannusanalyysi testatuista ohjelmistoista.

5.7 Kehityksen yleinen suunta

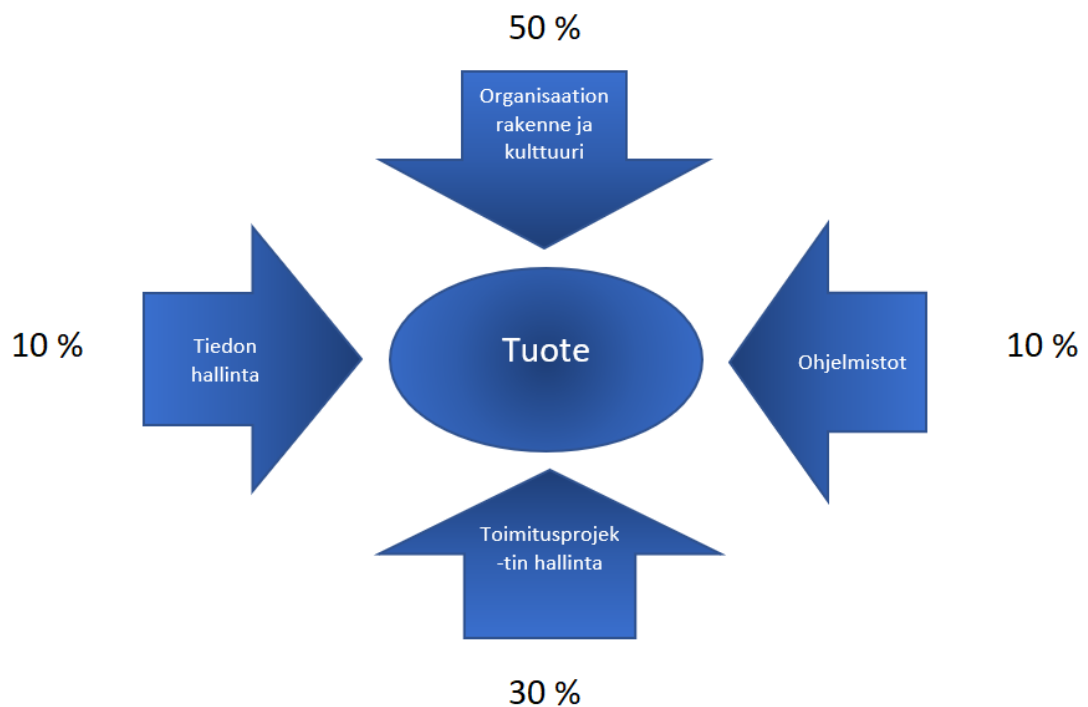
CAD/CAM-tekniikan yleinen kehityksen suunta on huomioon otettava asia ohjelmistoa hankittaessa. Tällä pyritään välttämään vanhentuneen ohjelmiston investointi. Ohjelmistotoimittajat ovat siirtymässä pois kaikille sopivasta ratkaisusta ja nykyään tarjotaan ohjelmistoja, joita voidaan räätälöidä CAD/CAM-työympäristön mukaiseksi ja valita vain tarpeelliset ominaisuudet. Nykyään ohjelmistoihin voidaan liittää tuotannonhallintaan ja työstöstrategian suunnittelua koskevia ohjelmistoja. NC-ohjelmointiympäristöt ovat liittymässä yhä enemmän pilvipalveluiden ansiosta osaksi tuotetiedon ja tuotteen elinkaaren hallintaan. Tällä pyritään integroimaan ihmiset, valmistusprosessit, liiketoimintajärjestelmät sekä informaatio. Pilvipalveluiden ansiosta tiedonsiirto on paljon helpompaa ja useimmat ihmiset voivat työskennellä saman projektin kanssa. (The History – and Future – of CAD/CAM technology 2019.)

Keinotekoinen älykkyys ja virtuaalitodellisuus tulee tulevaisuudessa kuulumaan osaksi suunnittelu- ja valmistusohjelmistoja. Tämä tehostaa suunnittelun ja valmistamisen

automatisointia, parantaa laadunvalvontaa ennakoimalla suunnitteluvirheet ja koneoppimisen avulla kappaleiden mittatarkkuus paranee. Tämä myös luo mahdollisuuden mallien luomiseen ilman ihmisen panostusta. Ohjelmistot ovat kehittyneet suuntaan, jossa ohjelmalle annetaan käskyjä esimerkiksi ”tee viiste tähän nurkaan” tai ”koneista tämä pinta näillä työkaluilla”. (The History – and Future – of CAD/CAM technology 2019.)

5.8 CAD/CAM-ohjelmoinnin taloudelliset vaikutukset

Valmistavassa tuotantoyksikössä voittoa saadaan valmistuneista tuotteista. Kilpailukykyiset tuotteet vaatii tiivistä yhteistyötä ja panostusta sidosryhmien välillä. Tiiviin yhteistyön seurauksena tiedonvälitys tehostuu sidosryhmien välillä ja näin liiketoimintaprosessit lähentyvät toisiaan. Yleensä on suuri kynnys investoida uusiin teknologioihin moninkertaisten kustannusten takia verrattuna käytössä oleviin järjestelmiin. Kuvassa 13 on jaoteltu tuotteen hintaan vaikuttavat tekijät karkeasti. Tästä selviää, että ohjelmiston osuus tuotteen hinnassa on pieni, mutta vaikutus voi olla organisaation toiminnassa merkityksellinen. (Lähdeniemi 2003, 84-85.)



Kuvio 13. Tuotteen hintaan vaikuttavat tekijät. (Lähdeniemi 2003, 84.)

Tässä työssä investoinnin kannattavuutta arvioitiin hyödyntämällä takaisinmaksuajan menetelmää, koska investoinnista saatavien säästöjen ja CAM-ohjelmalla saavutettujen hyötyjen arviointia on haastava arvioida. Laskuissa käytetään olettamusta, että säästöt syntyvät ainoastaan ohjelmoinnista. Laskennassa sisäisen koron vaikutus jätetään huomioimatta, koska tavoiteltu takaisinmaksuaika ohjelmalle on lyhyt. Tällä yksinkertaisella menetelmällä saadaan selvyys missä ajassa investoinnilla saavutetut säästöt ylittävät ohjelmiston hankintakustannuksen.

Laskelmissa hyödynnetty kaava:

$$TMA = \frac{A}{B - (C + D)}$$

TMA = takaisinmaksuaika [a]

A = investoinnin kokonaiskustannus [€]

B = on-line-ohjelmoinnin kokonaiskustannukset [€/a]

C = off-line-ohjelmoinnin kokonaiskustannukset [€/a]

D = off-line investoinnin vuosikustannukset [€/a]

Kuvio 14. Takaisinmaksuajan kaava. (Lähdeniemi 2003, 89.)

Kuvassa 15 on laskettu arvioiden perusteella investoinnin kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden kustannuksia ja näillä saavutettavia säästöjä nykytilanteessa. Laskelmissa on käytetty lähtökohtaa, että offline-ohjelmoinnin tekee esimerkiksi työnjohtaja tai menetelmäsuunnittelija. Online-ohjelmoinnin NC-koneella suorittaa koneistaja oman työn ohessa. Laskelmissa on ajatuksena, että online-ohjelmoinnista koituu tuotannon seisakkeja ja investoinnilla saavutetut säästöt saadaan korkeammasta koneiden käyttöasteesta.

Tällä hetkellä uusia ohjelmia laaditaan kuukaudessa yhteensä noin 5 kappaletta. Ohjelmointiajalle keskiarvo koneen näytöllä tapahtuvana online-ohjelmoinnilla on noin 4 tuntia per ohjelma. Online-ohjelmointia vuodessa kertyy 240 tuntia. Arvioitu yrityksen

konetuntihinta on 60 € ja tästä saadaan selville, että pahimmassa tapauksessa online-ohjelmoinnista koituvat tuotannon seisakit maksavat yritykselle 14 400 € vuodessa. Offline-ohjelmoinnilla ohjelmointi suoritettaisiin puolet tehokkaammin eli ohjelmointia kertyy noin 120 tuntia. Tähän ohjelmointi määrään palkkoihin kuluu arviolta vuodessa noin 2400 €. Arvioitu ohjelmiston investoinnin kokonaiskustannus ensimmäisenä vuonna on 19 900 € sisältäen ohjelmiston ylläpitokustannukset vuodeksi. Investoinnin kokonaiskustannus jaetaan tuotannon seisakeista saatavilla säästöillä saadaan takaisinmaksuajaksi 1,4 vuotta.

CAM ja offline- ohjelmointi		Online- ohjelmointi	
5	Ohjelmaa / kk	5	Ohjelmaa / kk
2	Ohjelmointiaika ka / ohjelma (h)	4	Ohjelmointiaika ka / ohjelma (h)
20 €	Ohjelmoijan palkka / h	60 €	Konetuntihinta / h
60	ohjelmaa vuodessa (kpl)	60	ohjelmaa vuodessa (kpl)
120	keskimääräinen ohjelmointiaika/ vuosi (h)	240	keskimääräinen ohjelmointiaika/ vuosi (h)
2 400 €	Ohjelmoijan palkka/ vuosi	14 400 €	Tuotannon seisakit/ vuosi
11 500 €	Ohjelmiston hankinta + postprosessorit		
4 000 €	Käyttöönotto		
2 000 €	Koulutus + koneseisakit koulutuksen ajalla		
Yht.	19 900 €		
TMA	1,4 vuotta		

Kuvio 15. Investointilaskelma nykytilanteessa.

Kuvassa 16 on arvioitu tilannetta, jossa NC-ohjelmia laadittaisiin puolet enemmän verrattuna nykytilanteeseen. Kuvasta voidaan havaita, että mitä paremmin tuotannossa pystytään offline-ohjelmointia hyödyntämään ohjelmointimäärän kasvaessa, sitä kannattavammaksi ohjelmisto investointi tulee. Ohjelmisto investoinnin takaisinmaksuajaksi tässä tilanteessa saadaan 0,8 vuotta. Tämän perusteella voidaan sanoa ohjelmisto investoinnin olevan kannattava, jos laskelmien tilanne toteutuu tuotannossa. Ohjelmisto investoinnille suositeltu takaisinmaksuaika on noin 1,5 vuotta (Lähdeniemi 2003, 89.).

CAM ja offline- ohjelmointi		Online- ohjelmointi	
10	Ohjelmaa / kk	10	Ohjelmaa / kk
2	Ohjelmointiaika ka / ohjelma (h)	4	Ohjelmointiaika ka / ohjelma (h)
20 €	Ohjelmoijan palkka / h	60 €	Konetuntihinta / h
120	ohjelmaa vuodessa (kpl)	120	ohjelmaa vuodessa (kpl)
240	keskimääräinen ohjelmointiaika/ vuosi (h)	480	keskimääräinen ohjelmointiaika/ vuosi (h)
4 800 €	Ohjelmoijan palkka/ vuosi	28 800 €	Tuotannon seisakit/ vuosi
11 500 €	Ohjelmiston hankinta + postprosessorit		
4 000 €	Käyttöönotto		
2 000 €	Koulutus + koneiseisakit koulutuksen ajalla		
Yht.	22 300 €		

TMA 0,8 vuotta

Kuvio 16. Investointilaskelma tulevaisuudesta.

6 Johtopäätökset

Tutkimustulosten yhteenvedon päätettiin CAD/CAM-ohjelmisto jättää investoimatta Mazak-työstökeskuksille ja investoida ohjelmisto tässä vaiheessa vain DMG Mori-monitoimisorville. DMG Mori-monitoimisorvilla huomattiin olevan selkeitä tarpeita luoda varmuutta NC-ohjelmointiin CAD/CAM-ohjelmoinnin avulla. CAD/CAM-ohjelmoinnin avulla NC-koneella yhdenkin isomman törmäyksen välttäminen saattaa kerralla maksaa takaisin ohjelmiston koko hankintahinnan.

Mazak-työstökeskuksilla valmistettavat kappaleet ovat tällä hetkellä olleet muodoltaan suhteellisen yksinkertaisia ja toistuvuutta näillä on ollut varsin paljon tuotannossa. Tässä tapauksessa CAM-ohjelmoinnilla sekä tämän tarjoamalla dynaamisilla työstoradoilla ei saada tarpeeksi suurta hyötyä verrattuna nykyiseen ohjelmointitapaan. Tällä hetkellä uutta ohjelmaa voidaan myös tehdä koneen työstäessä eli CAM-ohjelman tarjoama offline-ohjelmointikaan ei tuo lisäarvoa yrityksen toimintaan. Mazak-työstökoneilla monikappaletyöstö tuo myös haasteen tuotteiden nopeaan hinnoitteluun, koska työstöradat, aihion kiinnitykset ja vaiheistukset täytyy suunnitella tarkemmin. Mazakin ohjauksella ohjelman tekeminen onnistuu jo tällä hetkellä tehokkaasti monikappale työstölle ja yksinkertaisille kappaleille. Haasteensa työstökeskusten CAM-ohjelmoinnille tuo myös Mazakin käyttämä ohjelmointikieli, joka eroaa paljon perinteisestä G-koodista, jota CAM-ohjelma

tuottaa. Jos Mazak-työstökeskuksilla valmistettävien kappaleiden muodot tulevaisuudessa muuttuvat monimutkaisemmiksi investoinnin kannattavuutta työstökeskuksille tulee miettiä uudelleen.

DMG Mori-monitoimisorvilla havaittiin CAM-ohjelmoinnista olevan hyötyä varsinkin työstössä, jossa käytetään useampaa liikeakselia monimutkaisten muotojen aikaansaamiseksi. Tässä monitoimisorvissa on myös mahdollisuus laatia NC-ohjelma kyselevän ohjauksen avulla, mutta tästä loppuu ohjelmointi ja simulointi ominaisuudet nopeasti kesken monimutkaisemmissa kappaleissa. Tämän takia CAD/CAM-ohjelmistosta on tässä hyötyä, koska törmäystarkasteluihin ja työstöratojen luontiin saataisiin varmuutta CAM-ohjelmoinnilla.

Tarkempaan testaukseen valittiin Mastercam, Inventor CAM, SurfCAM, GibbsCAM sekä NX CAM. Näistä ohjelmistoista hankittiin demoversiot, jolla pystyttiin testaamaan ohjelmistoja ja vertaamaan näitä keskenään. Ohjelmistojen vertailuiden perusteella päädyttiin kysymään tarjoukset Mastercam- ja NX CAM-ohjelmistoista, koska nämä tukivat tutkimuksen mukaan parhaiten yrityksen tarpeita.

Camaster Oy:n Ilkka Heinäaho kertoi esimerkiksi, että Mastercam tukee SKF:llä tällä hetkellä käytössä olevaa CAD-ohjelmaa ja Mastercam tarjoaa suoraan DMG Mori-monitoimisorville sopiva ohjelmointikononaisuuden sisältäen esimerkiksi valmiit post-prosessorit. Tutkimuksen aikana kävi ilmi, että NX CAM:in saa hankittua integroituna lisäosana SKF:llä jo käytössä olevaan suunnitteluohjelmistoon. Tämä integrointi tehostaisi tiedonsiirtymistä ja kommunikaatiota ohjelmistojen välillä sekä mahdollisesti tämä olisi myös edullisempi vaihtoehto integroida lisäosa jo käytössä olevaan ohjelmistoon. NX CAM-ohjelmiston myyjän mukaan heiltä löytyy myös paljon valmiita postprosessoreita, joita saadaan hyödynnettyä SKF:llä olevien NC-koneiden ohjelmoinnissa. Ohjelmistojen jälleenmyyjille toimitettiin yrityksen koneistettavista tuotteista esimerkkiedostoja, joiden perusteella he pystyvät tarjoamaan sopivan ohjelmointikononaisuuden. Lopullinen valinta ohjelmistojen välillä tehdään tarjousten perusteella, josta nähdään ohjelmiston tarkemmat ominaisuudet ja kustannukset.

7 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönoton vaikutuksia uusien tuotteiden toimitusketjussa. Yrityksen toiminnasta kartoitettiin CAD/CAM-ohjelmiston mahdolliset hyödyntämiskohteet ja näiden perusteella asetettiin investoitavan ohjelmiston vaatimukset. Pää tavoitteena oli uusien tuotteiden läpimenoajan lyhentäminen hyödyntäen asiakkaan 3D-mallia sekä luoda hinnoittelun perusta uusille koneistettaville tuotteille. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi kartoitettiin ohjelmistoja, jotka tukevat yrityksen käytössä olevia NC-koneita sekä suunnitteluohjelmistoja. Työn perimmäisenä tarkoituksena oli löytää yrityksen toimintaa tukeva CAD/CAM-ohjelmisto.

CAD/CAM-ohjelmiston investointi aluksi vain yhdelle koneelle on varsin perusteltua sujuvan käyttöönoton perusteella. CAD/CAM-ohjelmistoa saataisiin aluksi testattua yhdellä koneella, jolloin saadaan kartoitettua ohjelmiston konkreettiset hyödyt ja ohjelmiston yhteensopivuus tuotantoon pienemmällä investointi kustannuksilla ja riskeillä. Tämän perusteella voitaisiin tulevaisuudessa tehdä päätös investoinnin laajentamisesta muille koneille. Jatkossa käyttöönottoprosessi sujuisi myös tehokkaammin, kun mahdollinen investointi suoritetaan portaittain. Jos ohjelmisto investoidaan heti kaikille koneille käyttöönotosta voi tulla helposti epäselvä ja raskas prosessi. Tämän seurauksena vastarinta ohjelmaa kohtaan voi kasvaa, jolloin ohjelmistosta ei saada välttämättä haluttuja hyötyjä irti. Tärkeä on sitouttaa työntekijät alusta lähtien perustellusti ohjelmiston käyttöön ja panostaa heidän koulutukseen ohjelmistoa kohtaan, jolloin myös työn tuottavuutta saadaan kasvatettua ohjelmiston avulla.

Nykyään valmistusketjua voisi kehittää ja automatisoida entistä enemmän, jos ohjelmistontekijät, suunnittelijat ja konevalmistajat tekisivät tiiviimpää yhteistyötä. Tätä kehitystä hidastaa osakseen konevalmistajat, jotka valmistavat NC-koneet omien kehityskohteiden mukaan hyödyntäen omia standardejaan. Moni konevalmistaja käyttää esimerkiksi omaa ohjaustaan ja omaa ohjelmointikieltään, jotka eivät kommunikoi välttämättä ollenkaan eri konevalmistajan valmistaman NC-koneen tai ohjelmistojen kanssa. Tämä johtuu osakseen standardoinnin hyväksynnän puutteesta. Tämän seurauksena konevalmistajat ja tarkemmin sanottuna näiden ohjausjärjestelmien

valmistajat täytyisi uudistaa ajattelutapaansa enemmän STEP-NC:n mukaiseksi, jolloin tätä standardia saataisiin hyödynnettyä tehokkaammin.

Mielestäni tutkimus onnistui kokonaisuutena hyvin, jonka seurauksena löydettiin yrityksen tarpeisiin sopiva CAD/CAM-ohjelmisto. Tietoa kerättiin alkuun kvalitatiivisilla tutkimusmenetelmillä, joka auttoi ymmärtämään aiheen yksityiskohtia tarkemmin. Avoimilla haastatteluilla pyrittiin yrityksiltä saamaan tietoa heidän ohjelmiston hankintaprosesseistaan ja valintaan vaikuttaneista tekijöistä. Ohjelmiston valintaa arvioitiin kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän avulla, jonka avulla pyrittiin saamaan varmuutta sopivan ohjelmiston investoinnille. Ohjelmisto valinnalle saatiin lisää varmuutta pyytämällä tuote-esittelyitä ja toimittamalla esimerkkiedostoja nykyisistä tuotteista ohjelmistojen jälleenmyyjille.

Laajan tietoperustan ja aineiston avulla saatiin muodostettua hyvä kokonaiskuva siitä mitä asioita on otettava huomioon CAD/CAM-ohjelmiston hankinnassa ja käyttöönotossa. Tämän seurauksena tutkimus eteni tehokkaasti, kun tutkimusta pystyttiin hyvin kohdentamaan näihin konkreettisimpiin asioihin investoinnin kannalta. Haasteellisinta oli saada muilta yrityksiltä tietoa heidän CAM-ohjelmistoista tai ohjelmointiprosesseista, joiden avulla olisi saanut varmuutta ohjelmiston hankintaprosessiin. Ajankäyttö oli tehokasta, jonka ansiosta myöskin opinnäytetyösuunnitelmaan laaditussa aikataulussa pysyttiin. Kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä olisi voinut tutkimuksen aikana hyödyntää vieläkin tehokkaammin, jolloin olisin saanut vieläkin enemmän varmuutta ohjelmiston valinnalle. Investointilaskelmien avulla saatiin hyvin arvioitua investoinnin kustannuksia ensimmäiselle vuodelle, mutta nämä ei ole aivan täysin luotettavia johtuen ohjelmointi aikojen vaihtelusta ja CAD/CAM-ohjelmiston hyötyjen haasteellisesta arvioinnista.

CAD/CAM-ohjelmiston investoinnin myötä toimeksiantajalla on mahdollisuus jatkokehittää koneistusprosessejaan tuottavammaksi hyödyntäen esimerkiksi miehittämätöntä työstöä. CAM-ohjelmilla voidaan laatia myös mittausohjelmia, joita voidaan käyttää miehittämättömän työstön aikana työnaikaiseen laadunvarmistukseen, jolloin NC- kone osaa pysähtyä, kun kappale ei ole toleranssissa.

Ohjelmiston käyttöönoton jälkeen saataisiin yrityksessä käytössä olevat työkalut laitettua nykyaikaisen CAM- ohjelmiston tarjoamaan ISO 13399- standardin mukaiseen työkalukirjastoon, josta löytyy tunnettujen työkaluvalmistajien online-tietokantoja. Työkalukirjaston avulla työkalujen hankinta ja hallinta olisi myöskin tehokkaampaa.

Lähteet

- Annual Report 2018. 2019. Oy SKF Ab. Viitattu: 14.2.2020. <https://investors.skf.com/sites/default/files/pr/201903065678-1.pdf>
- The Basics of CAD & CAM. 2003. Arabe, K. Thomas Net. Viitattu 13.1.2020. https://www.thomasnet.com/insights/imt/2003/05/22/the_basics_of_c_2/?t=archive.
- Bryden, D. 2014. Cad and rapid prototyping for product desing. Lontoo. Laurence king publishing Ltd.
- CAD/CAM Selection to fit the shop. 2017. Felix, C. Production Machining. Viitattu 22.1.2020. <https://www.productionmachining.com/articles/cadcam-selection-to-fit-the-shop>
- Gain efficiency using one comprehensive CAM software. 2020. Siemens Industry Software Inc. Viitattu 2.2.2020. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/cam-software.html>
- Gibbscam faktoja. N.d. Cenic Finland Oy. Viitattu 2.2.2020. <https://www.cenic.fi/tuotteet/gibbscam/gibbscam-faktoja/>
- Groover, Mikell P. 2016. 4 painos. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Harlow: Pearson Limited.
- Groover, Mikell P. 2014. 3 painos. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Harlow: Pearson Limited.
- Hayden, D. 2004. 7 Easy steps to Cnc programming... Book 2: Beyond the beginning.
- Heinäaho, I. 2020. Mastercam jälleenmyyjä. Camaster Oy. Haastattelu. 25.2.2020.
- Integrated CAM software for Inventor simplifies CNC programming processes. 2020. Autodesk Inc. Viitattu 2.2.2020. <https://www.autodesk.com/products/inventor-cam/overview>

ISO 13399-1. 2006. Cutting tool data representation and exchange — Part 1: Overview, fundamental principles and general information model. Geneve: International Organization for Standardization.

Kananen, J. 2009. Toimintatutkimus yrityksen kehittämisessä. Jyväskylän ammatti-
korkeakoulu.

Kokemuksia asetusaikeiden minimoinnista NC-ohjelmien simuloinnilla. 2016. Artikke-
li konepörssin www-sivuilla 9.3.2016. Viitattu 21.2.2020. [https://koneporssi.com/kone-
pajateollisuus/kokemuksia-asetusaikojen-minimoinnista-nc-ohjelmien-simuloinnilla/](https://koneporssi.com/kone-
pajateollisuus/kokemuksia-asetusaikojen-minimoinnista-nc-ohjelmien-simuloinnilla/)

Konekuriiri. 2013. Kolari viisiakselisella koneella – painajainen, jonka välttämiseksi on
tehokkaita työkaluja, 23, 10 Artikkele Makrum Oy:n www-sivuilla. Viitattu 20.2.2020.
https://www.makrum.fi/wp-content/uploads/2014/11/Konekuriiri10_13.pdf

Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD- suunnittelu. Porvoo.

Lähdeniemi, H. 2003. Tuotteen suunnitteluketjun tehostaminen 3D-ympäristössä.
Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 4.2.2020. [https://lut-
pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/35272/nbnfi-fe20031669.pdf?sequence=1&isAl-
lowed=y](https://lut-
pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/35272/nbnfi-fe20031669.pdf?sequence=1&isAl-
lowed=y)

Makro-ohjelmointi. 2016. 3TL2. Viitattu 18.2.2020. [https://3tl2.web-
node.fi/macro/makro-ohjelmointi/](https://3tl2.web-
node.fi/macro/makro-ohjelmointi/)

Mastercam. 2020. Camtek Oy. Viitattu 2.2.2020. [https://www.camtek.fi/tuot-
teet/mastercam/](https://www.camtek.fi/tuot-
teet/mastercam/)

Menetelmäopetuksen tietovarasto. 2006. KvaliMOTV. Saaranen-Kauppinen. Puus-
niekka. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 30.12.2019.
https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_4.html

Mercer, T. 2000. CAD/CAM selection for small manufacturing companies. University
of Wisconsin. Tutkielma. Viitattu 17.12.2019. [https://core.ac.uk/down-
load/pdf/5065681.pdf](https://core.ac.uk/down-
load/pdf/5065681.pdf)

- Mäntylä, S. Shah, J. 1995. Parametric and Feature-Based CAD/CAM. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- Pikkarainen, E. Laurila, A. Pekkola, K. 1993. Tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi. 2., uusittu painos. Painatuskeskus Oy.
- Pikkarainen, E. 1999. NC-tekniikan perusteet. Hakapaino OY.
- Radhakrishnan, P. Subramanyan, S. Raju, V. 2008. CAD/CAM/CIM. New age international limited publishers.
- Routio, P. 2007. Taideteollisen korkeakoulun avoimen yliopiston kurssimateriaali. Aalto yliopisto. Viitattu 6.2.2020. <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/089.htm>
- Salonen, K. 2013. Näkökulmia tutkimukselliseen ja toiminnalliseen opinnäytetyöhön. Turun ammattikorkeakoulu. Suomen yliopistopaino – Juvenes print Oy. Tampere.
- Seppälä, M. 2020. CAD/CAM- ohjelmiston hankinta. Sähköpostiviesti 25.2.2020. Vastanottaja: J Kiljain. Mastercam maahantuoja Zenex Oy:n toimitusjohtajan lähettämä sähköposti JAMKin konetekniikan opiskelijalle.
- Standard tool classification for better data communication. 2016. Modern Machine Shop. Albert, M. Viitattu 10.2.2020. <https://www.mmsonline.com/articles/standard-tool-classification-for-better-data-communication>
- Surfcam CAD/CAM. N.d. Rensi Finland Oy. Viitattu 2.2.2020. <https://www.rensi.fi/tuotteet/ohjelmistot/surfcam/surf-cam/>
- Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedonhallinta – PDM. Jyväskylä: Talentum Media Oy. Gummerus kirjapaino Oy.
- Sääski, J., Salonen, T. & Paro, J. 2007. STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon. Viitattu 28.1.2020. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W75.pdf>
- The Basics of CAD & CAM. 2003. Arabe, K. Thomasnet.com. Viitattu 13.1.2020.

https://www.thomasnet.com/insights/imt/2003/05/22/the_basics_of_c_2/?t=archive.

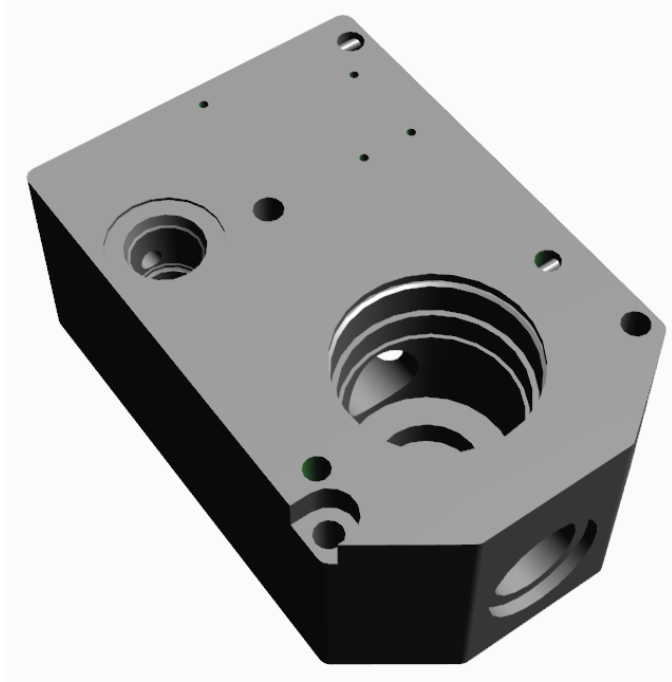
The History – and Future – of CAD/CAM technology. 2019. Thomas Publishing Company. Viitattu 17.2.2020. <https://www.thomasnet.com/insights/the-history-and-future-of-cad-cam-technology/>

Vesämäki, H. 2014. Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. 4 painos.

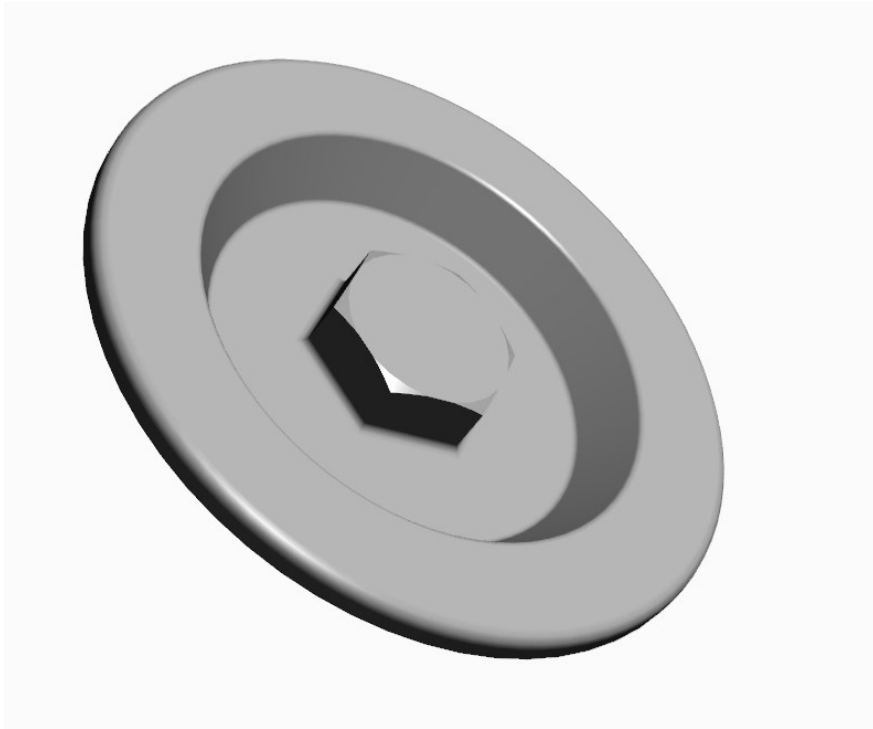
What`s CAD/CAM used for?. N.d. Autodesk. Viitattu 9.1.2020. <https://www.autodesk.co.uk/solutions/cad-cam>

Liitteet

Liite 1. Mazak- työstökeskuksella valmistettava komponentti.



Liite 2. DMG Mori- monitoimisovilla valmistettava komponentti.



Liite 3. Hyötykustannusanalyysi

TOIVOMUKSET		VAATIMUKSET										
Ohjelmiston kriteerit	Vaikutus 1-5	Arvo 1-5		MasterCAM	Arvo 1-5		SurfCAM	Arvo 1-5		NX CAM		
		Inventor CAM	GibbsCAM									
Helppokäyttöisyys	5	5	5	25	5	25	4	20	3	15	2	10
Monipuolisuus	5	5	5	25	4	20	3	15	4	20	5	25
Kyky avata CAD- malleja	5	5	5	25	4	20	4	20	5	25	5	25
Mittapään ohjelmointi	5	4	4	20	3	15	3	15	3	15	4	20
Yhteensopiisuus muiden ohjelmistojen kanssa	5	4	4	20	3	15	3	15	4	20	5	25
Työkalu kirjaston luonti ja hallinta	4	4	4	16	3	12	3	12	3	12	3	12
Lisäohjelmien saatavuus	4	5	5	20	3	12	2	8	3	12	3	12
Laajennettavuus	3	5	5	15	3	9	3	9	3	9	5	15
Postprosessoreiden saatavuus koneille	4	5	5	20	3	12	4	16	4	16	4	16
CAD- ominaisuus	2	4	4	8	5	10	4	8	3	6	2	4
Konesimulointi	2	4	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
Työstöarvojen ja työkalurajojen optimointi	3	5	5	15	4	12	3	9	3	9	3	9
Tuki- ja koulutusmateriaali	3	5	5	15	3	9	3	9	4	12	2	6
Yhteensä :				232		179		164		179		187

Liite 4. Monikappaleyöstö Mazak- työstökeskuksella

