



CAM-ohjelmistojen kartoitus

Tomi Kortesmaa TKN19SB

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tomi Kortesmaa

CAM-ohjelmistojen kartoitus

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2023, 39 sivua. 2 liitettä

Tekniikan ala. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

CAM-ohjelmistot ovat keskeinen osa nykyaikaista tietokoneintegroitua tuotantoa, joilla luodaan NC koodia hyödyntäen 3D CAD-mallia. Kehittyneillä CAM-ohjelmistoilla pystytään luomaan NC-koodia entistä monimutkaisimmille kappaleille tehokkaammin ja nopeammin kuin ennen. Nämä järjestelmät mahdollistavat tuottavuuden kasvun, lyhentävät läpimenoaikoja sekä lisäävät merkittävästi NC-koodin laatua ja luotettavuutta.

Opinnäytetyö tehtiin Valtran voimansiirtotehtaalle Suolahteen. Tavoitteena opinnäytetyössä oli antaa toimeksiantajalle tukea päätöksiin ohjelmointiympäristön tulevaisuuden suuntaviivoista, jotka koskettavat NC-ohjelmoinnin resursoinnin tehostamista sekä investointipäätöksiä ohjelmointiympäristön kehittämiseen. Tarkoituksena oli kartoittaa nykyisen ohjelmointiympäristön asettamat vaatimukset CAM-ohjelmistoille sekä tarkastella näiden järjestelmien hankintaprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa selvitettiin CAM-ohjelmistojen käyttöönottoon liittyviä seikkoja sekä huomioita, jotta Valtralla olisi matalampi kynnyks integroida tietokoneavusteisia suunnittelu-järjestelmiä ohjelmointiympäristöönsä.

Opinnäytetyö toteutettiin toimintatutkimuksena hyödyntäen avoimia haastatteluita, tutkimiskäyn-
tejä sekä esittelytilaisuuksia, joiden avulla muodostui kattava kokonaiskuva CAD/CAM ohjelmoin-
tiympäristössä vaikuttavista tekijöistä sekä modernien suunnitteluohjelmistojen ominaisuuksista.
Työssä selvitettiin käytössä olevien CAD/CAM järjestelmien laajentamismahdollisuuksia työstökes-
kuksien CAM-ohjelmointiin sekä tarkasteltiin uuden ohjelmiston soveltuvuutta toimeksiantajan
asettamiin vaatimuksiin. Toimeksianto työlle syntyi tuotanto- ja ohjelmointiympäristössä tapahtu-
vien muutoksien johdosta, joihin ei nykyisillä toimintamalleilla pystytä vastaamaan riittävällä te-
hokkuudella.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi järjestelmävertailun perusteella ehdotus käyttöön otetta-
vasta CAM-ohjelmistosta, joka vastaa ohjelmointiympäristön asettamia vaatimuksia sekä antaa tu-
keaa investointipäätökselle. Esitettyjen jatkokehitysehdotuksien perusteella toimeksiantaja voi ke-
hittää ja selkeyttää NC-ohjelmointia sekä lisätä varmuutta tuotteiden valmistuksessa.

Avainsanat (asiasanat)

CAD/CAM, Jyrsintä, Koneistus, NC-ohjelmointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Tomi Kortesmaa

Finding suitable CAM-software

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2023, 39 pages. 2 attachments

Engineering and technology. Degree Programme in Mechanical engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

CAM software is an essential part of modern computer-integrated manufacturing, which creates NC-code based on 3D CAD-model. Advanced CAM software enables the creation of NC code for even more complex parts more efficiently and faster than ever before. These systems enable productivity growth, shorten lead times, and significantly increase the quality and reliability of NC code.

This thesis was conducted at Valtra's transmission- and powertrain manufacturing plant in Suolahti. The objective of this thesis was to subsidize decision-making concerning future guidelines of the programming environment, which involves optimizing the resourcing of NC programming and making investment decisions for the development of the programming environment. The aim was to identify the requirements set by the current programming environment for CAM software and to examine the factors that affect the procurement process of these systems. The study explored the factors related to the implementation of CAM software and made observations to reduce the barriers to integrate computer-aided design systems into Valtra's programming environment.

The thesis was conducted as action research using open interviews, site visits, and presentations to form a comprehensive understanding of the factors affecting the CAD/CAM programming environment and the features of modern design software. The study explored the possibilities for expanding the use of current CAD/CAM systems to CAM programming of machining centers and examined the suitability of a new software to meet given requirements. The commission for the thesis formed due to the changes in the production- and programming environment, which cannot be met with sufficient efficiency with current operational models.

As a result of the CAM-system comparison conducted in the thesis, a proposal was developed for a CAM software to be implemented that meets the requirements of the programming environment and supports investment decision-making. Based on the proposed further development suggestions, Valtra can improve and clarify NC programming and increase operational reliability in the manufacturing process.

Keywords/tags (subjects)

CAD/CAM, Milling, Machining, NC-programming

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	AGCO konserni	4
1.2	Valtra Inc	4
1.3	Eettisyys.....	4
2	Tutkimusasetelma	5
2.1	Aineistonkeruu	6
2.2	Tutkimuskysymykset ja rajaukset	6
2.3	Benchmarking.....	7
3	Tietokoneavusteinen suunnittelu ja valmistus.....	8
3.1	CAD.....	8
3.2	CAM.....	9
3.2.1	Postprosessori.....	12
3.3	CAD / CAM.....	12
3.3.1	STEP tuotetietoperhe	13
3.3.2	ISO 10303-238:2007 eli "STEP-NC"	13
4	NC-ohjelmointi	14
4.1	Numeerinen ohjaus.....	15
4.2	G-koodi	15
4.3	Ohjelmointimenetelmät.....	17
4.3.1	Manuaalinen	18
4.3.2	Ohjelmointi kysyvällä ohjauksella.....	18
4.3.3	CAD/CAM ohjelmointi	19
4.4	NC-ohjelmien versiohallinta.....	20
4.4.1	FM-järjestelmien ohjelmanhallinta	20
4.5	NC-ohjelman optimointi.....	22
5	Cam järjestelmän hankinta	23
5.1	Esitutkimus	23
5.2	Järjestelmävertailu	24
5.3	Ohjelmiston käyttöönotto.....	26
5.4	Muutoksen vaikutukset.....	27
6	Nykytila	27
6.1	Valintakriteerit	28

7 Ohjelmisto valinnat	30
7.1 Mastercam	31
7.2 Creocam	31
7.3 Esprit.....	31
8 Johtopäätökset.....	32
9 Pohdinta.....	34
Lähteet	37
Liitteet	39
Liite 1. Exapt lohkokaavio.....	39
Liite 2. Esprit lohkokaavio	40

Kuviot

Kuvio 1. Solidworks ohjelmistolla luotu 3D-malli (3dchimera).....	9
Kuvio 2. Lohkokaavio ohjelmointiprosessin toiminnoista (Kiljain 2020, 15)	10
Kuvio 3. Invertor HSM CAM-järjestelmä (Autodesk, 2014)	11
Kuvio 4. AP238-standardin CC-luokat (Sääski ym. 2007, 16).....	14
Kuvio 5. G-koodin lauserakenne (Zhuming & Xiaoqin 2020, 400)	16
Kuvio 6. G-koodi esimerkki (Deans 2018)	17
Kuvio 7. Keskitetty NC-ohjelmahallinta (Perttilä & Salmensuu n.d).....	21
Kuvio 8. Hajautettu NC-ohjelmahallinta (Perttilä & Salmensuu n.d).....	22
Kuvio 9. Pisteytysmenetelmä järjestelmävertailussa (Perttilä & Salmensuu n.d).....	25
Kuvio 10. Muutosprosessin osa-alueet (Lähdeniemi 2003, 73).....	27
Kuvio 11. Kiinnittimet.....	29
Kuvio 12. Pisteytysmenetelmän tulos.....	32

1 Johdanto

Tietokoneiden integrointi tuotteiden valmistusketjuihin on muuttanut useiden toimialojen toimintamallit pysyvästi. Valmistavan teollisuuden näkökulmasta tietokoneavusteisten suunnittelujärjestelmien implementointi alentaa kynnystä valmistaa uusia ja monimutkaisia kappaleita tehokkaasti. Näiden järjestelmien käyttö mahdollistaa omalta osaltaan yrityksen osallistumisen uusille markkinoille tai toimialoille. Tuotannon joustavuus sekä automaatioaste nousevat merkittävästi verrattuna vanhoihin toimintamalleihin, mikä lisää kilpailukykyä ja liiketoimintaa. CAD/CAM järjestelmillä on huomattava merkitys tuotteiden laadun parantumisessa. Edellä mainitun takia valmistus- ja reklamaatiokustannukset vähenevät sekä materiaalin hukka osuus pienenee, jolla on positiivinen vaikutus myös ympäristön näkökulmasta.

Opinnäytetyö tehtiin Valtran voimansiirtotehtaalle Suolahteen. Työn tarkoituksena oli kartoittaa olemassa olevien CAD/CAM järjestelmien käytön laajentamismahdollisuuksia työstökeskusten CAM-ohjelmointiin sekä tarkasteltiin kokonaan uuden CAM-ohjelmiston soveltuvuutta voimansiirtotehtaan tarpeisiin. Toimeksiantajan uudet työstökoneinvestoinnit aiheuttavat merkittäviä muutoksia ohjelmointiympäristössä sekä tuotantokappaleiden volyymissä ja variaatioiden määrässä. Aiemmin muutokset NC-koodiin ovat olleet kohtuullisen pieniä sekä yksinkertaisia, jotka on pystytty hoitamaan manuaalisilla muutoksilla sekä nykyisillä ohjelmointiresursseilla. Uusien tuotteiden lisääminen tuotantoon kuitenkin merkitsee CAM-ohjelmointityön lisääntymistä. Tavoitetilassa pystyttäisiin tasoittamaan ohjelmointityön kuormitusta luomalla ohjelmien perusrunko sekä kiinnitusratkaisut NC-ohjelmoijien kesken ja hienosäätö tapahtuisi työstökoneiden operaattoreiden kesken.

Työn pääasiallisena tavoitteena oli antaa tukea ja ehdotus toimeksiantajan päätökseen ohjelmointiympäristön tulevaisuuden suuntaviivoista vastaamalla asetettuihin tutkimuskysymyksiin toimintatutkimuksen keinoin. Tavoitteisiin lukeutui myös nykyisen ohjelmointi ympäristön kartoittaminen sekä ohjelmointiympäristön vaatimuksien selvittäminen, joiden avulla pyritään lisäämään varmuutta oikeista investointi päätöksistä.

1.1 AGCO konserni

AGCO on maailman johtava maatalouskoneidenvalmistaja, jonka pääkonttori sijaitsee Georgian osavaltiossa Yhdysvalloissa. Challenger, Fendt, Massey-Ferguson sekä Valtra ovat konsernin tunnetuimpia brändejä. Yrityksen historia alkaa 1900-luvun alusta, josta lähtien se on kasvanut nykyiseen asemaan mm. lukuisten yritysostojen kautta. AGCO konserni nykyisellä nimellään on perustettu kesäkuussa 1990 (Annual Report 2021).

AGCO konsernin liikevaihto vuonna 2021 oli 11,14 miljardia dollaria. Hieman yli puolet liikevaihdosta muodostui Euroopan ja Lähi-Idän maista. Traktorit olivat myydyin tuote 57 % osuudella liikevaihdosta. AGCO rantautui Suomeen vuonna 2004 ostettuaan Valtran traktoriliiketoiminnan sekä Sisu Dieselin moottoritehtaat Nokian Linnavuoressa (Annual Report 2021).

1.2 Valtra Inc

Valtralla on johtava markkina-asema traktoreiden valmistajana Pohjoismaissa ja on yksi Latinalaisen-Amerikan suosituimmista merkeistä. Valtra koneita myydään yli 75 maassa, jotka tunnetaan helppokäyttöisyydestä, luotettavuudesta ja monipuolisuudesta. Traktorit valmistetaan vastaamaan yksittäisen asiakkaan tarpeita, kestävämmän vaativia ilmastoja ja takaamaan paras suorituskyky rankoissa työolosuhteissa. Maatalouden lisäksi Valtran traktoreita käytetään kunnallistöissä sekä lentokenttien kunnossapitotehtävissä.

Valtran Suomen tuotantolaitos sijaitsee Keski-Suomessa, Suolahdessa työllistäen 800 henkilöä. Tehdasalue koostuu kokoonpano- ja vaihteistotehtaasta sekä varaosa- ja huoltokeskuksesta. Alueella sijaitsee myös Valtran johto sekä asiakaspalvelukeskus.

1.3 Eettisyys

Lähtökohtana opinnäytetyölle on noudattaa hyvän tutkimustyön periaatteita ja kirjoittaa eettisesti kestävä sekä vastuullinen työ. Opinnäytetyössä laadittua tietoperustaa varten on paneuduttu kirjallisuus- ja internetlähteisiin. Lähdeluettelolla ja tekstiviitteillä pyritään lisäämään työn eettistä luotettavuutta sekä parannetaan jäljitettävyyttä alkuperäisiin teksteihin ja julkaisuihin.

Opinnäytetyön aikana on tehty avoimia haastatteluja sekä järjestetty esitystilaisuuksia. Näihin osallistuneille henkilöille on informoitu aineistonkeruun tarkoituksesta ja käyttöön liittyvistä seikoista sekä erikseen kysytty lupaa, voiko näiden henkilöiden sanomisia käyttää lähdemateriaalina työn edetessä. Haastatteluiden sekä esitystilaisuuksien pohjalta saatu aineisto käsitellään anonyymisti ja yksityisyydensuojaa kunnioittaen. Opinnäytetyön tutkimusprosessissa sekä tuloksien esittämisessä on noudatettu avoimuutta ja läpinäkyvyyttä, jolloin tutkimukseen osallistuneet näkevät suoraan mihin aineistoa on käytetty.

Opinnäytetyössä käsitellään CAM-ohjelmistojen hankintaa ja käyttöä, joihin voidaan liittää eettisiä kysymyksiä. Ohjelmistot on otettava käyttöön ja hankittava laillisesti sekä noudattaen valmistajan käyttöehtoja. Edellä mainittujen seikkojen laiminlyönti voi johtaa esimerkiksi tekijänoikeus- tai sopimusrikkomuksiin, mikä ei ole eettisesti kestävä. Tärkeässä roolissa on myös hankintasopimuksissa määriteltyjen seikkojen noudattaminen kaikkien osapuolien välillä. Tietoturva-asioiden huomioimista ohjelmistojen käytössä voidaan tarkastella eettisestä näkökulmasta. On täten varmistettava, että ohjelmisto on turvallinen käyttää sekä huomioitava että, henkilökohtaiset ja luottamukselliset tiedot pysyvät suojattuina.

2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tutkimusotteeksi valikoitui toimintatutkimus, koska toimeksianto perustuu käytännön haasteisiin ja pidemmän aikavälin tavoite on parantaa tai muuttaa ammattikäytäntöjä. Kuuselan (2005, 9) mukaan toimintatutkimuksen yhteydessä voidaan keskustella teorian ja käytännön läheisestä yhteydestä, mikä on ollut perinteisessä tutkimuksessa haasteena, sillä tutkimustulokset siirtyvät huonosti käytännön maailmaan (Kuusela 2005, 9).

Toimintatutkimus voi sisältää laadullisen tutkimuksen erilaisia tiedonkeruu- ja analyysimenetelmiä, sillä toimintatutkimukselle ei ole kehitetty omia edellä mainittuja menetelmiä. Toimintatutkimuksessa voidaan käyttää myös kvantitatiivisen tutkimuksen osia, joka on perusteltua silloin, kun halutaan varmistua muutoksen vaikutuksista. (Kananen 2009, 22.). Opinnäytetyön suorittamiseksi tiedonkeruussa käytettiin hyväksi kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmiä sekä kvantitatiivisen tutkimuksen työkalua mittaamaan ohjelmien ominaisuuksia. Tämän perusteella Kananen (2009, 22) esittämä toimintatutkimuksen tunnusmerkistö täyttyy.

Kanasen (2009, 10) mukaan toimintatutkimus kohdistuu yksittäisiin tapauksiin, joten tutkimustulokset pitävät paikkansa vain kyseisessä tutkimusongelmassa. Ohjelmointiympäristö ja toimintakulttuuri yritysten välillä voi olla hyvinkin erilainen, näin ollen tutkimustulokset eivät ole yleistettävissä laajemmin moniin tapauksiin. Toimintatutkimus ei pyri yleistämiseen perinteisen tutkimuksen tavoin (Kananen 2009, 10).

Toimintatutkimus on aiheuttanut keskustelua ja saanut kritiikkiä osakseen, koska poiketen perinteisestä akateemisesta tutkimuksesta siihen sisältyy tutkijan moniulotteinen ja usein ristiriitainenkin rooli tutkimustilanteissa. Toimintatutkimuksen objektiivisuus sekä suhde tavanomaisiin kehittämishankkeisiin on aiheuttanut kiistakysymyksiä (Jyrkämä n.d).

2.1 Aineistonkeruu

Opinnäytetyön aihepiirin kokonaisvaltaisen ymmärryksen muodostamiseksi kerättiin kattava tietoperusta. Lähdeaineiston kerääminen alkoi tiedontarpeen määrittelyllä tutkimuskysymyksiä hyödyntäen, joka rajoitti tiedonhakuja. Tämän johdosta lähdekriittisyyttä oli helpompaa noudattaa, näin saatiin tutkittua relevantteja kotimaisia sekä kansainvälisiä tietolähteitä. Tietoperusta lopulta kasattiin hyödyntämällä tieteellisiä tutkimuksia, teoksia- ja tiedotteita, joiden avulla pyrittiin muodostamaan laaja sekä monipuolinen näkökulma opinnäytetyön aiheen viitekehykseen.

Opinnäytetyön suorittamiseksi tehtiin avoimia haastatteluja toimeksiantajan NC-ohjelmoinnista vastaavien henkilöiden kanssa. Haastatteluiden perusteella saatiin hahmoteltua opinnäytetyön vaatimukset, tavoitetila sekä rajaukset. Yhteistyössä toimeksiantajan insinöörien kanssa arvioitiin eri valmistajien CAM-ohjelmistojen soveltuvuutta Valtran tarpeisiin tutustumalla valmistajien markkinointimateriaaliin sekä järjestämällä ohjelmistojen esittelytilaisuuksia. Opinnäytetyön aikana tarjoutui myös mahdollisuus tutustua Agco Powerin Linnavuoren moottoritehtaan ohjelmointiympäristöön, josta saatiin ideoita myös Valtran tuotantoon.

2.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään CAD/CAM järjestelmiä ja niiden soveltuvuutta toimeksiantajan ohjelmointiympäristöön. Näin ollen erillinen postprosessoidun NC-koodin simulointi / tarkis-

tus ohjelma ja kyseisen ohjelmiston ympäristövaatimukset jätettiin opinnäytetyössä tarkastelematta. Opinnäytetyön ulkopuolelle jää täten myös tietokoneohjelmistojen tietoturvaan liittyvät asiakokonaisuudet. Opinnäytteen teoriaosuudessa on pyritty kiinnittämään huomiota lastuavaan työstöön sarjatuotannon näkökulmasta, sillä toimeksiantajan tuotanto ei sisällä yksittäiskappaleita tai pienerätuotannon elementtejä.

Opinnäytetyön keskeisimmiksi tutkimuskysymyksiksi muodostuivat:

1. Laajennetaanko olemassa olevien suunnitteluohjelmistojen käyttöä työstökeskuksien CAM ohjelmointiin vai hankintaanko markkinoilta uusi järjestelmä?
2. Mitä vaatimuksia toimeksiantajan ohjelmointiympäristö asettaa CAM-ohjelmistoille?
3. Mitkä tekijät vaikuttavat CAM-ohjelmiston hankintaan sekä implementointiin toimeksiantajan ohjelmointiympäristöön?

2.3 Benchmarking

Tuominen (2021) määrittelee benchmarkingin jatkuvaksi prosessiksi, jossa identifioidaan, sovelletaan ja pyritään ymmärtämään markkinajohtajien sekä kilpailijoiden käytäntöjä, mittaamalla ja vertaamalla tuotteita, palveluita tai prosesseja oman organisaation suorituksen parantamiseksi. (Tuominen 2021, 9-11). Benchmarkingia käytetään ohjaamaan yrityksen kehitystoimia keskeisiin ongelmiin, jonka yhteydessä saadaan parempi ymmärrys omista ydintoiminnoista. Benchmarking helpottaa myös kehitystavoitteiden asettamista, ulkoisien ja hyvin toimivien esimerkkien perusteella sekä mahdollistaa systemaattisen kehitysprosessin (Tuominen 2021, 76).

Benchmarking toiminta voidaan jakaa Tuomisen (2021, 37) mukaan kolmeen kategoriaan:

- Strateginen
- Suorituskyky
- Prosessi

Strategisen benchmarkingin idea on analysoida maailman johtavia yrityksiä oman toimialan ulkopuolelta, määrittääkseen mahdollisuuksia ja tilaisuuksia strategiaan muutoksiin ydinliiketoiminnan prosesseissa. Suorituskykyinen benchmarking keskittyy omien tuotteiden suorituskyvyn vertailuun oman toimialan johtajien ja suorien kilpailijoiden yritysten tuotteisiin, lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Tämän perusteella saadaan selville markkinoiden parhaan ja oman tuotteen suoritusky-

vyn erot, ja missä suorituskykykriteereissä nämä erot syntyvät. Pelkästään tieto suorituskyvyn mittauksen tuloksista ei muuta oman organisaation toimintaa, minkä johdosta täytyy analysoida juurisyytä näissä suorituskykyjen eroissa, joka on prosessi-benchmarkingin lähtökohta. (Tuominen 2021, 37-40.)

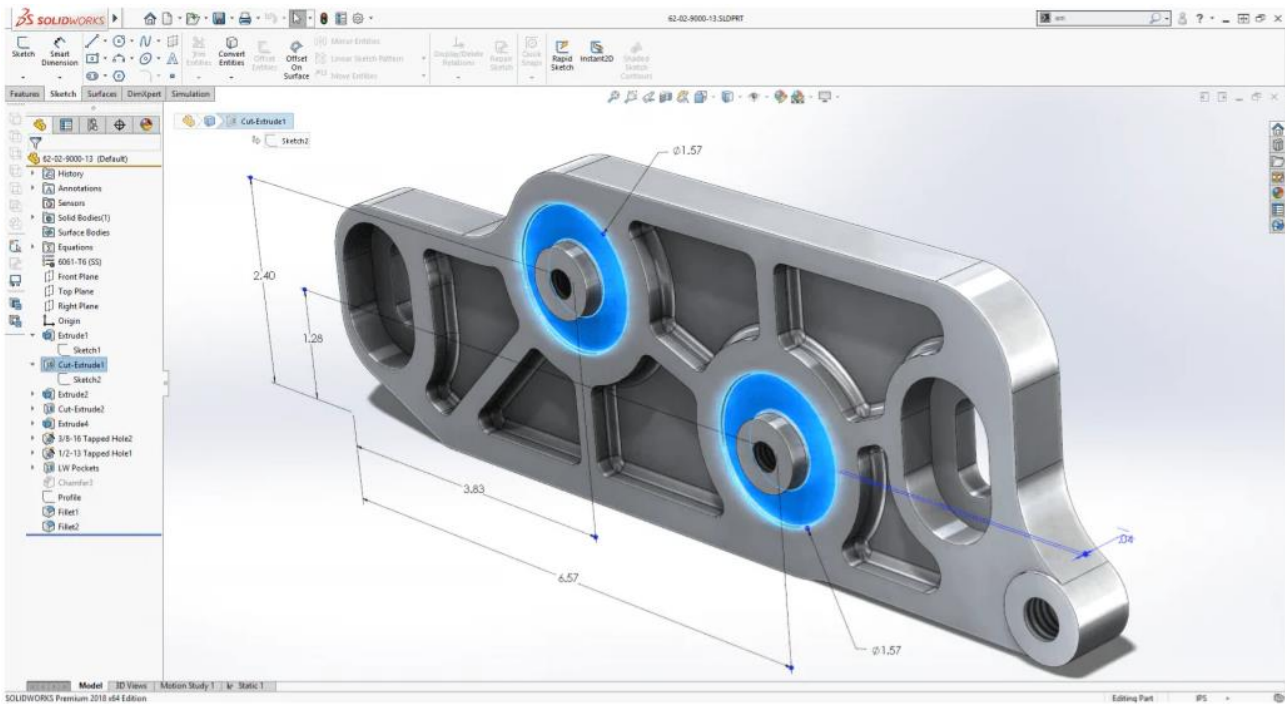
3 Tietokoneavusteinen suunnittelu ja valmistus

3.1 CAD

Määriteltäessä tuotteen kaupallista menestystä, tuotesuunnittelun laatu on yksi tärkeimpiä tekijöitä. Suunnitteluun käytetään CAD (computer-aided design)-järjestelmää, jossa hyödynnetään tietokoneohjelmistoa luomaan, muokkaamaan sekä analysoimaan tuotetta. CAD-järjestelmä korvaa manuaalisen käsin suunnittelun automatisoidulla prosessilla. Teknisten dokumenttien luonti voidaan myös automatisoida samalla järjestelmällä esim. työpiirrokset. CAD-ohjelmistoissa on simulointi toiminto, jonka avulla voidaan arvioida tuotteen käyttäytymistä eri kuormitustilanteissa. (Groover 2015, 715-716;Autodesk n.d).

CAD-järjestelmillä voidaan luoda 2D ja 3D malleja. Nykyaikaisia ohjelmistoja käytetään kuitenkin pääsääntöisesti niiden 3D mallinnus ominaisuuksien takia, koska niiden pohjalta luodaan työpiirrokset sekä myöhemmin CNC-ohjelma (Jianbin 2018, 14). Ohjelmistoja löytyy paljon erilaisilla ominaisuuksilla ja lisäosilla. Keskeistä kaikille CAD-järjestelmille on kuitenkin geometrinen mallinnus ominaisuus, jossa ohjelmisto luo matemaattisen kuvauksen tuotteen geometriasta. Muun muassa rautalanka (wireframe)-, pinta- ja piirremallinnus ovat geometrisen mallinnuksen metodeja (Groover 2015, 717;Jianbin 2018, 28).

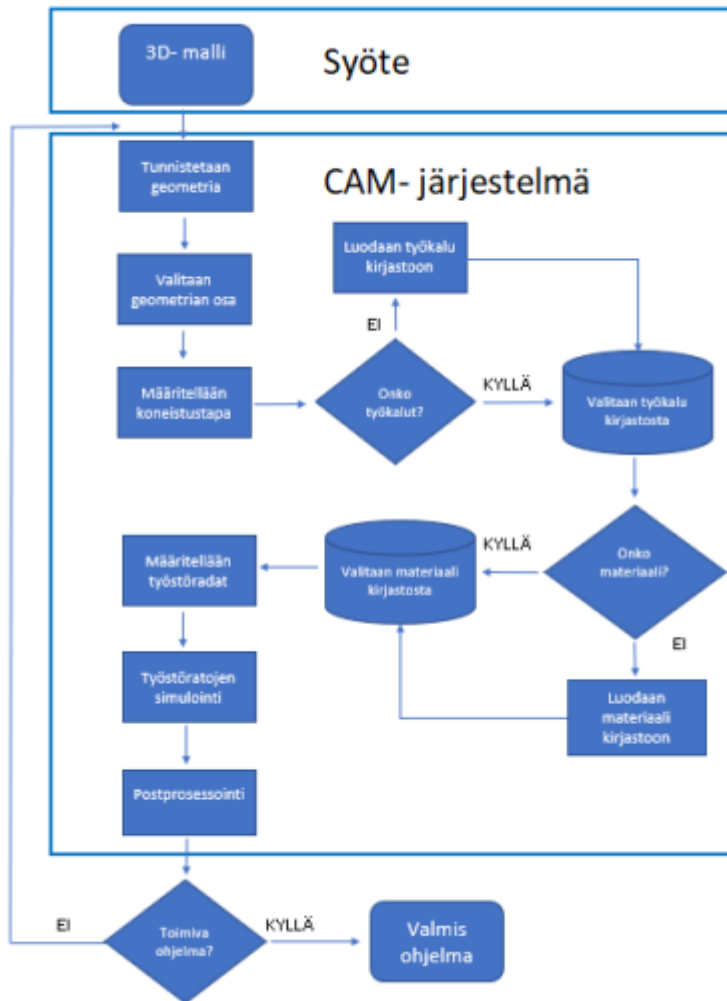
Valmis tuotteen 3D malli (kts. Kuvio 1) voi sisältää erittäin suuria määriä dataa, jonka vuoksi CAD-ohjelmistoihin on sisäänrakennettuna product data management (tuotetiedonhallinta)-moduuli. Tähän moduuliin tallennetaan mallin geometriset tiedot, rakenteeseen liittyvää tietoa sekä muuta dokumentaatiota, jotta käyttäjän ja keskustietokannan välillä olisi suora linkki (Groover 2015, 717).



Kuvio 1. Solidworks ohjelmistolla luotu 3D-malli (3dchimera)

3.2 CAM

CAM (computer-aided manufacturing) järjestelmä käyttää CAD järjestelmässä luotua tietoa muodostaakseen CNC koneiden ymmärtämää G-koodia. CAM järjestelmässä käyttäjä voi määrittää 3D geometriasta työstettävät muodot, voidaan luoda ja simuloida työstöratoja sekä asettaa työstöparametrejä työkaluille. Järjestelmä tarkistaa geometrian valmistettavuuteen vaikuttavien virheiden varalta esim. työalueen ylitykset. (Arabe 2003;Velling 2021). Kuviossa 2 on havainnollistettu CAM-järjestelmän vaiheita NC-ohjelman luomiseen.



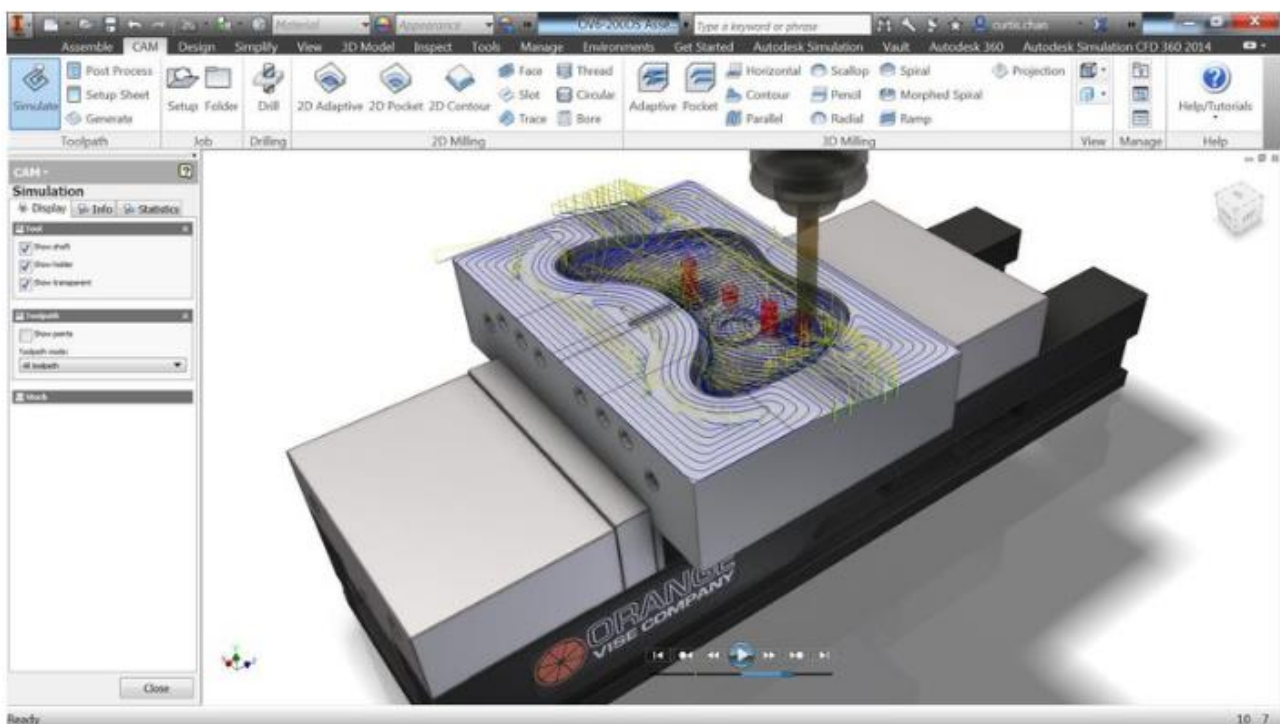
Kuvio 2. Lohkokaavio ohjelmointiprosessin toiminnoista (Kiljain 2020, 15)

CAM-järjestelmät voidaan jakaa prosessi- ja geometriakeskeisiin järjestelmiin, joilla molemmilla on omat heikkoudet ja vahvuudet. Prosessikeskeinen CAM-järjestelmä käsittää erilaisten työkalujen ja koneistustekniikoiden tehokkaamman käytön sekä hyödyntää edistyneitä työkalunvaihtoa. Nämä järjestelmät suuntautuvat enemmän valmistustekniikkaan ja käyttö on perusteltua, kun tuotteen geometria on kohtuullisen yksinkertainen ja halutaan parantaa kokonaistehokkuutta alentamalla koneistusaikaa (Arabe 2003).

Geometria keskeiset CAM-järjestelmät pystyvät hallitsemaan monimutkaisia muotoja ja työstö-
toja, mutta omaavat yleisesti yksinkertaisemmat prosessiominaisuudet. Näitä järjestelmiä tulisi
käyttää tuotteissa, joissa monimutkainen geometria tuottaa enemmän haasteita kuin prosessin

optimointi, koska tyypillisesti näitä tuotteita tehdään kappalemäärällisesti vähän kuten esim. muotit ja erikoistyökalut (Arabe 2003).

Kuviossa 3 on havainnollistettu Autodesk järjestelmätoimittajan CAM-ohjelmistoa. Siniset ja keltaiset viivat kuvaavat työstörotoja kyseisen profiilin jyrskintään. Ohjelmistojen tärkeä ominaisuus on mallintaa työkaluja ja kiinnittimiä, näiden avulla voidaan tarkastella turvaetäisyyksiä terän ja leukojen välillä tai suunnitella monikappalekiinnittimiä. Joiltakin kiinnitin- tai työkaluvalmistajilta löytyy tuotteistaan valmiita 3D-malleja, jotka voidaan tuoda CAM-ohjelmistoon. Tämä nopeuttaa ohjelmointityön esivalmisteluihin kuluva. Työstökonevalmistajat tarjoavat myös 3D-malleja kokonaisista koneistaan. Useat suunnitteluohjelmistojen valmistajat tekevät yhteistyötä pilvipalveluiden kanssa, joiden tietokannoissa on johtavien työkaluvalmistajien dataa sekä komponentteja työkalujen rakentamiseen. Näitä pilvipalveluja hyödyntämällä voidaan CAM-ohjelmistoihin rakentaa työkalukirjastoja sekä luoda kokoonpanoja käytettävistä työkaluista.



Kuvio 3. Invertor HSM CAM-järjestelmä (Autodesk, 2014)

3.2.1 Postprosessori

Postprosessori luo linkin CAM-järjestelmän sekä NC-koneiden välille. Postprosessoria voidaan ajatella kääntäjänä, joka lukee CAM-järjestelmän tuottamaa CL (cutter location)-dataa, eli työkalun paikkatietoa sekä valmistukseen tarvittavia ohjeita ja luo tämän perusteella asianmukaista NC-koneiden ymmärtämää G-koodia riippuen koneiden yhdistelmästä ja ohjauksen asetuksista. Huomioitavaa on, etteivät NC-koneet pysty lukemaan CL-dataa, jolloin postprosessorin tarve on välttämätön (Adivarekar & Liou 2012, 58-60). Näin ollen postprosessorin joustavuus ja kyvykyys tuottaa tarkasti määriteltyä NC-koodia on yksi kriittisimpiä CAM-ohjelmoinnin elementtejä.

Edellä mainittu CL-data koostuu työkalun paikkatiedosta sekä suunnasta kappaleen koordinaattiakselihin nähden. Useimmat CAM-järjestelmät luovat CL-dataa ISO-formaatissa, jossa CL-data esitetään X,Y,Z,I,J,K muodossa. Työkalun paikkatietoon viittaa X,Y,Z merkit ja I,J,K kuvaavat suuntakosineita. ISO-formaatissa kaikki CL-data tallennetaan yhteen ASCII muotoiseen CLSF-(Cutter Location Source File) tiedostoksi (Adivarekar & Liou 2012, 58-60).

Postprosessori on kriittisimpiä osia ohjelmointijärjestelmässä virheettömän NC-koodin luomisessa, koska se on asiakaskohtaisesti tuotettu ja joudutaan kirjoittamaan jokaiselle erilaiselle ohjaukselle, mikä tulisi toteuttaa yhteistyössä asiakkaan sekä ohjelmointijärjestelmän toimittajan kanssa. Mahdollista on myös käyttää kolmannen osapuolen ammattitaitoa postprosessorin hankinnassa, mikäli yrityksellä ei ole resursseja kirjoittaa postprosessoreita itse (Perttilä & Salmensuu n.d). Erilaisien ohjauksien lisäksi koneissa voi olla myös lisäosia tai muita ominaisuuksia jonka takia postprosessorin NC-koodin tulee olla erilaista. Postprosessorin muokkaamista asiakkaan tarpeisiin kutsutaan räätälöinniksi (Mastercam n.d).

3.3 CAD / CAM

CAD/CAM järjestelmissä liitetään yhteen tuotteen suunnittelu, NC-ohjelmointi ja tuotanto yhden tietokoneohjelmiston avulla. Tarkoituksena on automatisoida tiettyjä suunnittelun ja valmistuksen vaiheita sekä erityisesti siirtymä CAD-järjestelmästä CAM-järjestelmään luomalla suora linkki näiden kahden ohjelmiston välille (Groover 2015, 726). CAD/CAM järjestelmissä voidaan suunnittelu-dataa siirtää CAM-järjestelmään ilman käänkövirheitä tai muita ongelmia. Järjestelmien välinen

liitännäisyys tarkoittaa, että muutokset CAD-datassa päivittyvät automaattisesti CAM-järjestelmän työstöratoihin (Arabe 2003).

CAD/CAM järjestelmän avulla voidaan huomata suunnitteluvirheet hyvin aikaisessa vaiheessa esim. FEM-laskennan keinoin. Tämä vähentää tarvittavien prototyyppien määrää ja alentaa suunnittelukustannuksia. Ohjelmistoissa pystytään käsittelemään kappaleen optimoimiseen liittyviä asioita esim. painon säästö, josta hyöttyy myös valmistusteknologiat (Mercer 2000, 11).

3.3.1 STEP tuotetietoperhe

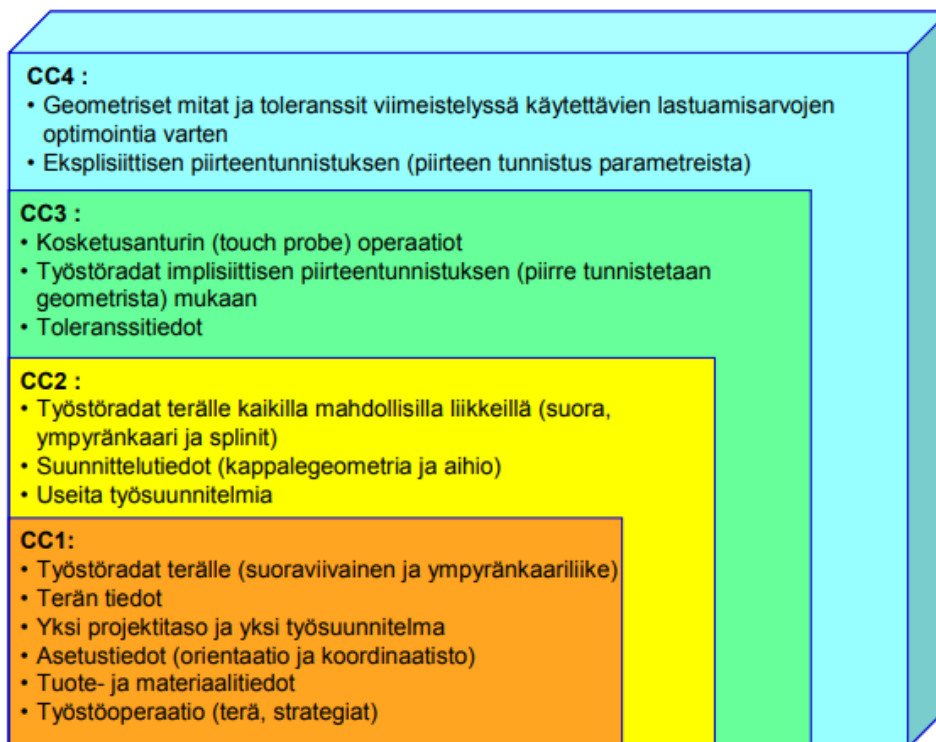
Modernien valmistusketjujen tärkeimpiä osia on suunnittelutiedon siirtyminen ohjelmistojen ja sovelluksien välillä ilman manuaalisia työvaiheita. Ratkaisu tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD), työsuunnittelun (CAPP) ja tietokoneavusteisen valmistuksen (CAM) yhdistämiseen eli CAD/CAM integraatioon on STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)-standardi (Sääski ym. 2007, 10-11).

STEP-standardin perusidea on siirtää tietoa standardoidussa muodossa läpi koko tuotantoketjun. Standardin kehittämisen lähtökohtana oli ajatus, että kyseistä standardia voitaisiin soveltaa minkä tahansa tuotteen elinkaaren hallinnassa. STEP kattaa perinteisen suunnittelutiedon ohella dokumentaatiota tuotteen toiminnallisia ominaisuuksia sekä elinkaaritiedoista (Sääski ym. 2007, 10-11). Standardi on laaja kokonaisuus, jota voidaan ajatella VTT:n loppuraportin (2007, 10-11) mukaan metastandardina, joka määrittelee perustan toimiala- tai sovellusaluekohtaisille ratkaisuille. Käytännössä STEP-standardia on hyödynnetty erilaisten CAD-ohjelmistojen välisen tietoliikenteen yhdenmukaistamisessa sekä tuotetiedon tallentamiseen ja päivittämiseen (Sääski ym. 2007, 10-11).

3.3.2 ISO 10303-238:2007 eli "STEP-NC"

STEP-standardin eri sovellusaloille kehitetään omia standardeja, jotka huomioivat kunkin toimialan erityisvaatimukset. Keväällä 2007 kansainvälinen standardointielin julkaisi työstökoneiden ohjelmointia koskevan standardin, ISO 10303-238 (jatkossa AP238), eli niin sanotun STEP-NC:n. AP238 yhdistää CAD ja CAM datan yhdeksi tuotemalliksi, jossa yhdistyvät kappaleen geometria, työsuunnitelma ja käytettävissä oleva valmistusteknologia (Sääski ym. 2007, 12-15).

G-koodia on erityisen hankalaa siirtää kahden erilaisen NC-ohjauksen välillä, sillä nykyisin lähes kaikkien ohjaustoimittajien ohjaukset vaativat omat erikoispostprosessorit. STEP-NC teknologian avulla on mahdollista generoida tuotemalleja useilla eri CAD/CAM ohjelmistoilla, jotka olisivat avattavissa monilla NC-koneilla ohjauksesta riippumatta. AP 238 on jaettu neljään sisäkkäiseen toisiaan täydentäviin osajoukkoihin eli CC (confirmation class)-luokkiin, joiden tarkoitus on helpottaa ohjausvalmistajien sekä CAD/CAM toimittajien implementointia. CC1 kattaa pienemmät osakokonaisuudet ja CC4 kattaa standardin kokonaisuudessaan, näiden luokkien perusteella CAD/CAM ohjelmistotoimittaja voi sanoa tuotteensa tukevan STEP-NC:tä esim. tasolla CC3 (Sääski ym. 2007, 12-15). Kuviossa 4 nähdään minkälaisia vaatimuksia CAD/CAM ohjelmiston on täytettävä kussakin CC-luokassa.



Kuvio 4. AP238-standardin CC-luokat (Sääski ym. 2007, 16)

4 NC-ohjelmointi

Tässä kappaleessa luodaan katsaus NC-ohjelmointiympäristössä vaikuttaviin tekijöihin. Kirjallisuuslähteiden avulla tarkastellaan NC-koodin rakennetta, ohjelmointimenetelmiä sekä pohditaan NC-koodin ominaisuuksia ja versionhallintaa.

NC-työstökoneessa työkalun liikkeet sekä koneen toimintojen ohjaus tapahtuu automaattisesti. Koneessa on ohjausyksikkö joka toimii tietyn ohjelman mukaisesti. NC-ohjelman sisältää kaiken ohjausyksikön tarvitseman tiedon halutun kappaleen valmistamiseksi. (Vesämäki 2014, 10). NC-ohjelma on digitaalinen tiedosto, jota numeerisesti ohjattu kone pystyy lukemaan, tulkitsemaan ja toimimaan siihen koodatun informaation perusteella. NC-ohjelma on tyypillisesti ASCII-tekstiä sisältävä tiedosto (Pikkarainen 1999, 74).

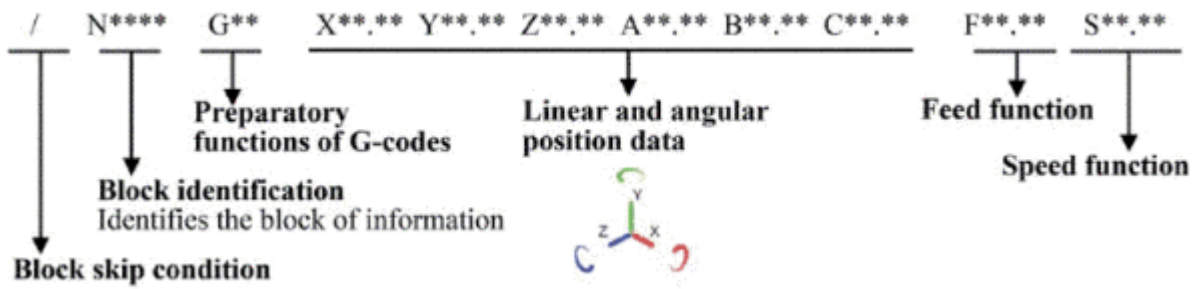
4.1 Numeerinen ohjaus

CNC (computerized numerical control) tai NC (numerical control) tarkoittaa koneen ohjaamista numeerisella koodilla, joka sisältää ohjeita koneelle liikkeen ja parametrien hallitsemiseen kuten, syöttö- ja pyörimisnopeudet sekä koordinaatti- ja paikkatiedot. Sorvit sekä hionta- ja jyrsinkoneet ovat tyypillisiä, muttei ainoita käyttökohteita esimerkiksi ohutlevytöissä voidaan käyttää numeerisesti ohjattuja leikkureita (Zhuming & Xiaoqin 2020, 378).

CNC koneen liikeakseleita ohjaavat servomoottorit, jotka pyörittävät kuularuuvia ohjelman vaatiman verran, näin saadaan liukujohteiden päällä oleva kelkka liikkumaan. Servomoottorien pyörimistä ohjataan servo-ohjaimilla, jotka jatkuvasti mittaavat kelkan asemaa ja vertaavat tätä paikkatietoa ohjelmassa annettuun asemaan. Servo-ohjain voidaan sijoittaa joko servomoottoriin tai liukujohteiden päällä olevaan kelkkaan, jossa se mittaa kelkan siirtymää matkaa tai nykyistä paikkatietoa (Radhakrishnan ym 2008, 343). Ohjauskäskyt ovat sähköisiä pulsseja, joiden lukumäärä tietylle akselille kertoo tarvittavan liikkeen määrän. Pulssien taajuus määrittää liikkeen nopeuden (Zhuming & Xiaoqin 2020, 380).

4.2 G-koodi

CNC-ohjelmointikielenä käytetään G-koodia, joka on standardoitu usean eri organisaation toimesta. Yhdysvalloissa käytössä on RS274-D standardi, laajalti käytetään myös ISO 6983 standardia. Yhteistä kaikille G-koodi standardeille on, että käytetään samanlaista lauserakennetta (kts. Kuvio 5) sekä sanoja työkalun liikuttamiseen ja työstöarvojen spesifioimiseen (Zhuming & Xiaoqin 2020, 401).



Kuvio 5. G-koodin lauserakenne (Zhuming & Xiaoqin 2020, 400)

NC-ohjelman voidaan ajatella koostuvan lauseista, joita työstökone lukee ja toteuttaa numerojärjestyksessä. Jokaisessa lauseessa on yksi tai useampi sana. Sanat pitävät sisällään kirjainosan eli osoitteen sekä numero-osan, jonka lisääminen muuttaa sanan toimintakoodiksi (käskyksi) joka ohjaa tarkasti koneen toimintaa (Maaranen 2004, 264). Kuviossa 6 on esimerkki yksinkertaisesta G-koodista.

M-koodit käynnistävät ja pysäyttävät NC-työstökoneen toimintoja esim. M08 lastuamisneste päälle ja M05 karan pysäytys. Nämä voidaan mieltää aputoiminnoiksi. G-koodeilla valitaan työstökoneelle toimintatapa, joilla ohjataan terän liikettä esim. G00 pikaliike ja G03 ympyrän kaari vastapäivään. CNC-ohjelmissa näkee myös T ja N alkuisia osoitteita, jotka viittaavat tiettyyn työkaluun sekä lausenumeroihin. Huomioitavaa on, että useimmat käskyt ovat itsepidättyviä, eli pysyvät voimassa niin kauan, kunnes toinen käsky kumoaa sen. (Maaranen 2004, 266).

Block	Description	Purpose	
%	Start of program.	Start Program	
O0001 (PROJECT1)	Program number (Program Name).		
(T1 0.25 END MILL)	Tool description for operator.		
N1 G17 G20 G40 G49 G80 G90	Safety block to ensure machine is in safe mode.	Change Tool Move To Position	
N2 T1 M6	Load Tool #1.		
N3 S9200 M3	Spindle Speed 9200 RPM, On CW.		
N4 G54	Use Fixture Offset #1.		
N5 M8	Coolant On.		
N6 G00 X-0.025 Y-0.275	Rapid above part.		
N7 G43 Z1. H1	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset #1.		
N8 Z0.1	Rapid to feed plane.		
N9 G01 Z-0.1 F18.	Line move to cutting depth at 18 IPM.		
N10 G41 Y0.1 D1 F36.	CDC Left, Lead in line, Dia. Offset #1, 36 IPM.	Machine Contour	
N11 Y2.025	Line move.		
N12 X2.025	Line move.		
N13 Y-0.025	Line move.		
N14 X-0.025	Line move.		
N15 G40 X-0.4	Turn CDC off with lead-out move.		
N16 G00 Z1.	Rapid to safe plane.		
N17 M5	Spindle Off.		Change Tool
N18 M9	Coolant Off.		
(T2 0.25 DRILL)	Tool description for operator.		
N19 T2 M6	Load Tool #2.	Move To Position	
N20 S3820 M3	Spindle Speed 3820 RPM, On CW.		
N21 M8	Coolant On.		
N22 X1. Y1.	Rapid above hole.		
N23 G43 Z1. H2	Rapid to safe plane, use Tool Length Offset 2.		
N24 Z0.25	Rapid to feed plane.		
N25 G98 G81 Z-0.325 R0.1 F12.	Drill hole (canned) cycle, Depth Z-.325, F12.		Drill Hole
N26 G80	Cancel drill cycle.		
N27 Z1.	Rapid to safe plane.		
N28 M5	Spindle Off.	End Program	
N29 M9	Coolant Off.		
N30 G91 G28 Z0	Return to machine Home position in Z.		
N31 G91 G28 X0 Y0	Return to machine Home position in XY.		
N32 G90	Reset to absolute positioning mode (for safety).		
N33 M30	Reset program to beginning.		
%	End Program.		

Kuvio 6. G-koodi esimerkki (Deans 2018)

4.3 Ohjelmointimenetelmät

G-koodia voidaan tuottaa usealla eri tavalla. Ohjelmointimenetelmän valinta riippuu monista asioista kuten esimerkiksi käytettävissä olevasta konekannasta, tuotteen geometriasta tai ohjelmoija-kohtaisesta osaamisesta. Seuraavissa kappaleissa esitellään yleisimpien ohjelmointimenetelmien pääpiirteitä.

Tyypillisimmät ohjelmointi tavat ovat manuaalinen NC-ohjelmointi, kyselevällä ohjauksella ohjelmointi sekä CAD/CAM ohjelmointi. (Zhuming & Xiaoqin 2020, 394).

4.3.1 Manuaalinen

Manuaalisessa ohjelmoinnissa NC-ohjelma luodaan laskemalla työpiirroksen mittaluvuista ja käytettävän työkalun tiedoista liikeradan koordinaatteja. Manuaalista ohjelmointia käyttämällä saadaan ohjelmat optimaalisiksi työstöaikojen, ymmärrettävyyden sekä keskeytyksistä jatkamisen suhteen (Pikkarainen 1999, 75). Manuaalinen ohjelmointi on kuitenkin hidasta sekä laskutoimituksia on suoritettava runsaasti hieman monimutkaisemmille kappaleille. Ohjelman tarkistaminen on työlästä sekä ohjelmointiprosessi on altis virheille (Vesämäki 2014, 61).

Manuaalista ohjelmointia voidaan käyttää yksinkertaisille kappaleille ja työstömenetelmille. Ohjelmointi on helppoa esim. poraukselle. Myös sorvauksessa ja jyrsinnässä voidaan käyttää manuaalista ohjelmointia, kun käytössä vain 1 tai 2 akselia. On perusteltua käyttää tietokoneavusteisia ohjelmointimenetelmiä, kun kappaleet sisältävät monimutkaisia kolmiulotteisia työstöratoja sekä työstökoneessa on käytössä useampi akseli (Groover 2015, 177).

4.3.2 Ohjelmointi kysyvällä ohjauksella

CAD/CAM järjestelmillä ohjelmointi vaatii investointeja ohjelmistoon, laitteistoon sekä koulutukseen. MDI (manual data input)-ohjelmointi on yksi keino yksinkertaistaa ohjelmointiprosessia, jossa käyttäjä kirjoittaa geometriatietoja ja liikekäskyjä suoraan NC-koneen näytöllä. Tätä ohjelmointimenetelmää pidetään pienemmän konepajan ensi askeleena kohti modernimpaa CNC-tekniikkaa, koska investointikulut ovat pienet. Käyttäjältä ei vaadita korkeaa ohjelmointi tietämystä, riittää osaaminen työstöprosessista ja kyky lukea työpiirroksia asianmukaisesti. (Groover 2015, 183-184).

MDI-ohjelmoinnista voidaan käyttää termiä ohjelmointi kyselevällä ohjauksella, versto-ohjelmointi tai makro-ohjelmointi. Käyttöliittymä operaattorin ja ohjelmiston välillä tapahtuu valikko tyyppisellä alustalla, jossa käyttäjä vastaa järjestelmän antamiin kysymyksiin geometriasta sekä koneistuskäskyistä. Nykyisissä MDI-järjestelmissä on graafiset ominaisuudet, joiden avulla käyttäjä pystyy tarkastelemaan luotuja työstöratoja. (Groovers 2015, 184).

Tässä ohjelmointimenetelmässä on tyypillistä käyttää aliohjelmiä eli makroja. NC-ohjelmissa usein toistuu samoja geometrisiä piirteitä, joten NC-ohjelmien perustaksi on mahdollista luoda muuttuja-aliohjelmien kirjasto siten, että pääohjelma voidaan toteuttaa pelkästään kutsumalla aliohjelmiä. Esimerkiksi saman reikäryhmän aliohjelmalla voidaan koneistaa kierteitettäviä tai kalvittavia reikiä. Aliohjelmien käytöllä saavutetaan varsin hyvä virheettömyyden taso, koska aliohjelmien toimivuus on testattu jo ennestään, vaikka pääohjelma olisikin uusi. Uuden pääohjelman kirjoittaminen ja tarkastaminen on nopeaa koodin selkeyden ja lyhyen pituuden takia (Perttilä & Salmensuu n.d).

4.3.3 CAD/CAM ohjelmointi

CAD/CAM ohjelmoinnilla voidaan tehdä hyvin monimutkaisia ohjelmia, joita ei voitaisi tehdä MDI- tai käsin ohjelmoinnin keinoin. Järjestelmä laskee automaattisesti työkalujen liikeradat, tarjoaa uudelleen käytettävän kirjaston toiminnallisuuksista tai rutiini toimenpiteistä sekä voi luoda yleisomallisia ohjelmia, jotka sopivat moniin eri koneisiin. CAD/CAM ohjelmointi ympäristössä voidaan hyväksytyt ohjelmat siirtää automaattisesti työstökoneille. Nykyaikainen järjestelmä on käyttäjäystävällinen, koska ohjelmia voidaan luoda interaktiivisesti ja käyttäjät voivat saada palautetta ohjelmoinnin eri vaiheissa (Zhuming & Xiaoqin 2020, 396).

CAD/CAM ohjelma valitsee automaattisesti optimaalisen työkalun ja työstöarvot kappaleen materiaalista riippuen, joka helpottaa ohjelmoijan työtä. Luotua ohjelmaa voidaan simuloida virheiden varalta sekä pystytään varmistamaan sen tarkkuutta. Koneistukseen kuluva aikaa ja kustannuksia voidaan arvioida CAD/CAM ohjelmalla, jonka pohjalta voidaan karkeasti hinnoitella tuotetta (Groover 2015, 180).

Tietokone ohjelmistojen integrointi ohjelmointiprosessiin tuo mukanaan useita etuja muun muassa (Radhakrishnan ym. 2008, 342):

- Muistikapasiteetin lisäys suurien ohjelmatiedostojen tallentamiseen
- Ohjelmistojen muokkaaminen helppoa
- NC koneiden käytön luotettavuuden huomattava parantuminen

4.4 NC-ohjelmien versiohallinta

Nykyaikaisessa CNC-koneita hyödyntävässä tuotantotiloissa on käytössä huomattava määrä eri NC-ohjelmia ja näiden eri versioita. Järkevästi toteutettu NC-ohjelmanhallinta kattaa kaikki ohjelmaan kohdistuvat muutokset sen käyttöön aikana sekä pitää sisällään järjestelmällisen nimeämisen, versiohallinnan ja varmuuskopioinnin. NC-ohjelmien hallintajärjestelmällä voidaan automatisoida ohjelmanhallintaan liittyviä toimenpiteitä. (Perttilä & Salmensuu n.d).

Uusia ohjelmaversioita voi syntyä, kun ohjelmaa korjataan, kehitetään tai koneistusgeometriaan tehdään muutoksia. Tärkeintä versionhallinnassa on, ettei käytössä olevaa ohjelman tuotantoversiota pystytä sekoittamaan muihin versioihin esim. testaus- tai kehitysversioon. Sekaannuksien välttämiseksi tulisi NC-ohjelmien säilytyspaikassa olla vain tuotantokelpoisia hyväksytyjä versioita. Versionhallinta voidaan toteuttaa DNC- tai verkkojärjestelmissä sekä yksittäisillä NC-koneilla (Perttilä & Salmensuu n.d).

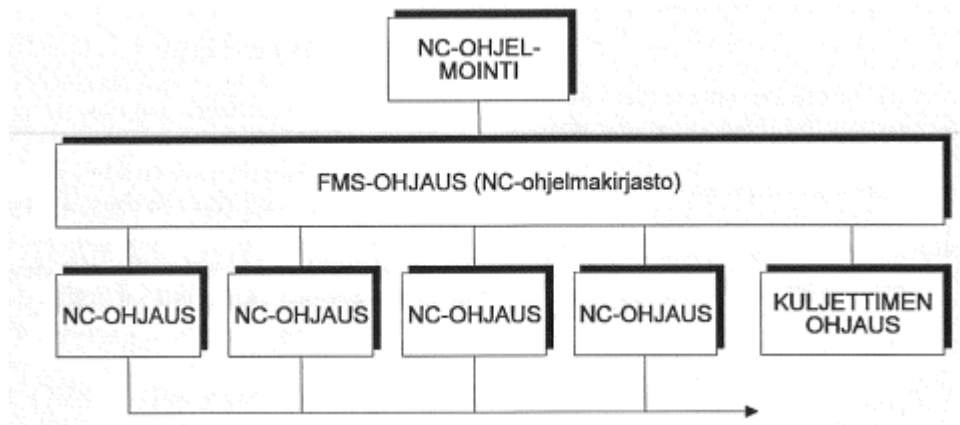
Usein uusi versio ohjelmasta syntyy muutoksien johdosta. Erityisesti vakiotuotannossa käytettäviin ohjelmiin tehtäviä muutoksia ennen tulisi harkita onko ohjelman muutos tarpeellinen, kuka vastaa ja tekee muutoksen sekä kuinka varmistutaan, että uusi versio korvaa vanhan. Ohjelmien muutokset ovat kuitenkin tyypillisiä eikä niiden tekemistä tule liikaa rajoittaa, jotta muutokset ovat tehtävissä joustavasti. NC-ohjelmien hallintajärjestelmä pystyy tukemaan ohjelmien versiohallintaa seuraavilla tavoilla (Perttilä & Salmensuu n.d):

- Ohjelman muutos hyväksyttävä vastaavalla henkilöllä
- Testaamattomat ohjelmat säilytetään erikseen
- Dokumentointi muutoksista on helposti toteutettavissa
- Vain yksi versio kustakin ohjelmasta on hyväksytty tuotantokäyttöön

4.4.1 FM-järjestelmien ohjelmanhallinta

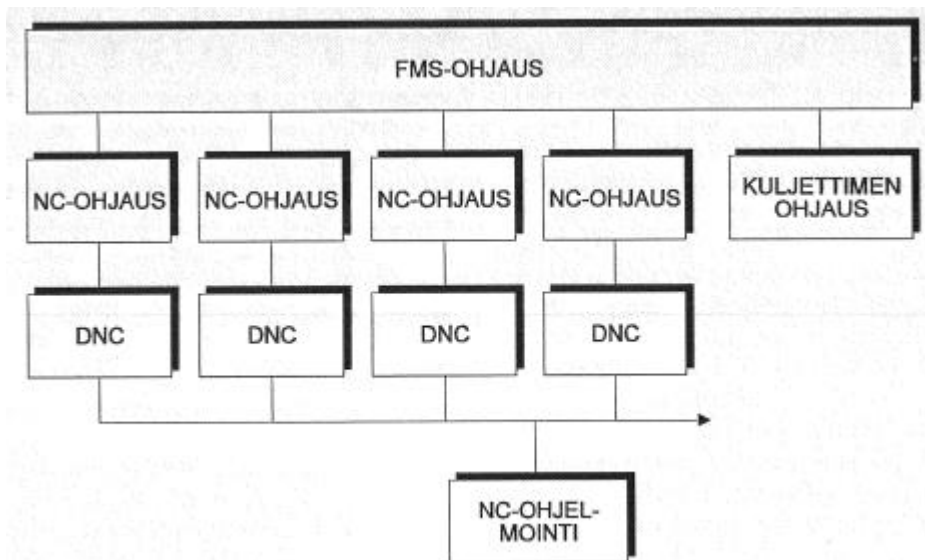
FM-järjestelmissä NC-ohjelmahallinta voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Keskitetyssä ohjelmanhallinnassa käytetään kaikkien työstökoneiden ohjelmien hallintaan yhteistä ohjelmakirjastoa, kun taas hajautetussa toimintamallissa tallennetaan kunkin työstökoneen ohjelma kyseisen koneen läheisyydessä olevaan mikrotietokoneeseen (Perttilä & Salmensuu n.d).

Keskitetty NC-ohjelmahallinta toteutetaan FM-järjestelmän keskusohjauksen avulla, jossa ohjelmat tallennetaan ja ylläpidetään. DNC-liitäntä FM-järjestelmän ja työstökoneen ohjauksen välillä mahdollistaa ohjelmien automaattisen latauksen. Työstökoneen muistiin voidaan tallentaa kaikki tuotantokäyttöön hyväksytyt ohjelmat tai ainoastaan koneessa oleva ja sitä seuraavan paletin ohjelma. FMS-ohjauksen editorissa on mahdollista muokata ohjelmia (Perttilä & Salmensuu n.d). Kuviossa 7 on havainnollistettu keskitetyn NC-ohjelmanhallinnan periaatetta.



Kuvio 7. Keskitetty NC-ohjelmahallinta (Perttilä & Salmensuu n.d).

Hajautetussa vaihtoehdossa ohjelmia hallitaan työstökonekohtaisilla mikrotietokoneilla, jotka toimivat ohjelmakirjastona sekä niissä voidaan editoida ohjelmia. Hajautetussa ohjelmanhallinnassa työstökoneen muistissa on ainoastaan koneistuksessa olevan paletin ohjelma ja seuraavan paletin ohjelma, kun paletti vaihtuu, kutsutaan mikrotietokoneen massamuistista uutta palettia vastaava ohjelma ja vanha poistetaan. Passiivisessa käyttöliittymässä ohjelmointilaitteelta ladataan tiedot NC-ohjaukseen, kun aktiivisessa käyttöliittymässä ohjelmat ladataan mikrotietokoneeseen DNC-yhteyden avulla. (Perttilä & Salmensuu n.d). Kuviossa 8 nähdään hajautetun ohjelmistohallinnan toimintaperiaate.



Kuvio 8. Hajautettu NC-ohjelmahallinta (Perttilä & Salmensuu n.d)

4.5 NC-ohjelman optimointi

Koneistustyön yksi tärkeimpiä kehityskohteita on koneistusajan minimointi. NC-ohjelmien analysointiohjelmistoilla on mahdollista tunnistaa ohjelman kehitystarpeet, jotta osataan kohdistaa menetelmäkehitys avaintyökaluihin sekä ohjelman oikeisiin osa-alueisiin (Perttilä & Salmensuu n.d). NC-ohjelman optimointi lyhentää koneistusvaiheen läpimenoaikaa. Ohjelman optimoimiseksi on tarkasteltava ohjelmallisia sekä koneen asetusvaiheen muutoksia (Smid 2010, 257). Tyypillisesti nämä toimet säästävät ajallisesti vähän, mutta erityisesti suurille eräkoille ja sarjatuotannolle NC-ohjelmien optimointiin panostaminen kannattaa, Smid (2010, 257) painottaa.

NC-ohjelman optimoinnissa auttaa nykyisien cam-järjestelmien työstöradan optimointi ominaisuus, joka mahdollistaa paremman pinnanlaadun, optimaalisten syöttönopeuksien käytön sekä pienentää ohjelmatiedostoa huomattavasti. Mercerin (2000, 16) mukaan myös teräpalojen käyttöikä pitenee. Ohjelmisto analysoi materiaalin poistonopeutta, jonka perusteella se laskee ja valitsee parhaimman syöttönopeuden, luoden työstöradat tehokkaasti ja tarkasti annettuun toleranssi-alueeseen (Mercer 2000, 16-17).

Optimoinnin osalta on myös keskiössä, että ohjelmanrunko on luotu asianmukaisesti. Pikkarainen (1999, 74) listaa yleisiä hyvän NC-ohjelman ominaisuuksia seuraavasti:

- Helposti luettavissa ja muokattavissa
- Moduulirakenteinen
- Mahdollisimman tehokas
- Pystyttävä tuottamaan laadukas ja virheetön kappale

5 Cam järjestelmän hankinta

CAM-ohjelmiston hankinta on merkittävä päätös yrityksen johdolta, joka koskettaa useita sidosryhmiä. Tässä kappaleessa luodaan katsaus minkälaisia asioita tulisi ottaa huomioon näiden ohjelmistojen hankinnassa. Tarkastelussa on investointipäätöstä edeltäviä sekä seuraavia toimia. Pääasiallisena lähteenä on käytetty Perttilän ja Salmensuun laatimaa teknistä tiedotetta metalliteollisuuden keskusliitolle, MET:ille.

CAM laitteisto- ja ohjelmistoinvestointi on rahallisesti kohtuullisen pieni verrattuna työstökoneinvestointeihin, joiden ohjelmointiin järjestelmää käytetään. CAM-järjestelmän merkitys työstökoneiden tuottavuuteen on kuitenkin erittäin suuri, jonka takia investointipäätös tulisi nähdä rahallista arvoaan huomattavasti merkittävämpänä investointina. CAM-järjestelmän hankinnasta haastavaa tekee taloudellisten vaikutusten arviointi perinteisiin koneinvestointeihin verrattuna sekä järjestelmän käyttöönotto vaatii sitoutumista ja työaikaa useilta eri henkilöiltä (Perttilä & Salmensuu n.d).

5.1 Esitutkimus

CAM-järjestelmän hankinta tulisi aloittaa esitutkimuksella, jossa lisätään käyttäjien sekä hankkijoiden tietämystä järjestelmätarjonnasta esimerkiksi toimittajan järjestämän demonstraation kautta. Esitutkimusvaiheessa määritellään yrityksen perusvaatimukset, karkealla tarjouspyynnöllä voidaan karsia järjestelmätoimittajat jotka eivät näitä vaatimuksia pysty täyttämään. Perusvaatimukset ovat tyypillisesti yrityskohtaisia ja voivat vaihdella esimerkiksi konekannasta, tuotantovolyyymista tai työstömenetelmistä riippuen. NC-ohjelmointiympäristön määrittämisellä saadaan yleensä riittävä kuva tulevan CAM-ohjelmiston toiminnallisista vaatimuksista sekä myös auttaa tulevaisuudessa tarkemman tarjouspyynnön laatimisessa. Perttilä ja Salmensuu katsovat ohjelmointi ympäristön määrittämisen käsittävän seuraavat toimet (Perttilä & Salmensuu n.d).

- NC-ohjelmointiprosessin kuvaus sekä liitynnät muihin toimintoihin
- NC-ohjelmointitoiminnon tekninen kuvaaminen
- Perusrakenteen kuvaaminen tehtaan tietojärjestelmästä

CAM-järjestelmän hankinnan tärkeimpiä sovelluskohteita voidaan määritellä analysoimalla valmistus- ja suunnittelutoimintoja. NC-ohjelmoinnin tunnuslukuja seuraamalla saadaan pohjatietoa investointilaskelmiin sekä saadaan parempi käsitys NC-ohjelmointitoiminnasta, jotta osataan kiinnittää huomio CAM-ohjelmistojen oleellisiin osiin. Tunnusluvut on mahdollista selvittää tuote- tai tuoteperhekohtaisesti. Pienempien kokonaisuuksien tunnuslukuja saadaan työstötapa- tai konekohtaisesti (Perttilä & Salmensuu n.d). NC-ohjelmoinnin tunnusluvuksi Perttilä ja Salmensuu mainitsevat:

- Kokonaisohjelmointiaika
- Käytetty ohjelmointiaika / työstötapa
- Käytetty ohjelmointiaika / työstökone
- Geometrian luontiin kuluva aika kokonaisohjelmointiajasta
- Uusien tai korjattavien ohjelmien lukumäärä
- Muutosten hallinnointi / muutosten helppous

CAM-järjestelmäprojektille tulee asettaa mitattavat tavoitteet. Esitutkimuksessa kartoitettua tietoa voidaan hyödyntää määrällisten tavoitteiden asettamisessa, joita ovat mm. ajallinen säästö tai NC-ohjelmantehokkuus. Laadullisten tavoitteiden taloudellista vaikutusta voi olla haastavaa mitata kuten esim. joustavuuden lisäys. Tärkeää olisi kuitenkin laatia selkeä luettelo CAM-ohjelmistolle asetetuista tavoitteista (Perttilä & Salmensuu n.d).

Huolella tehdyn esitutkimuksen lopputulemana tehdään tarkempia tarjouspyyntöjä valituille järjestelmätoimittajille. Tarjouspyynnöstä on tultava toimittajalle selkeästi ilmi oleelliset asiat CAM-ohjelmiston vaatimuksista ja toimintaympäristöstä sekä yleiset asiat esim. toteutusaikataulut.

5.2 Järjestelmävertailu

Esitutkimus vaiheen jälkeen valitaan taloudellisesti ja teknisesti sopivimmat järjestelmävaihtoehdot tarkempaan testaukseen. Järjestelmien vertailua keskenään voidaan suorittaa soveltuvuustestillä, jonka tarkoituksena on selvittää kuinka ohjelmistot suoriutuvat yrityksen tyypillisistä sekä vaikeammista ohjelmointitöistä. Huomionarvoista on teknisten ominaisuuksien lisäksi tarkastella

järjestelmän yleistä vaikutelmaa sekä käyttäjävastavuutta. Tärkeää testausvaiheessa on myös erotella järjestelmästä ja käyttäjästä johtuvat virheet toisistaan (Perttilä & Salmensuu n.d).

Riittävän ohjelmistovertailun sekä taloudellisten vaikutusten selvityksen jälkeen täytyy valita hankittava järjestelmä. Päätöksen tueksi on olemassa useita erilaisia työkaluja, joita voidaan hyödyntää kuten hyötykustannusanalyysi tai monikriteerinen päätösanalyysimenetelmä. Perttilä ja Salmensuu esittelevät (n.d) järjestelmävertailuun tarkoitetun pisteytysmenetelmän, joka perustuu asetettujen vaatimusten ja ehdolle valittujen ohjelmistojen vastaavien ominaisuuksien keskinäiseen vertailuun. Pisteytysmenetelmässä tehdään useampia helpompia päätöksiä yhden vaikeamman sijaan, sillä tässä menetelmässä verrataan järjestelmällisesti jokaista määriteltyä ominaisuutta keskenään ja tärkeämpi ominaisuus merkitään painoarvomatriisiin, sen sijaan että tutkitaan järjestelmien useita ominaisuuksia ja asetetaan ne tärkeys järjestykseen yhdellä päätöksellä. (Perttilä & Salmensuu n.d). Kuvio 9 osoittaa kuinka ilman painokertoimia tehty järjestelmävertailu päättyisi tasapeliin, mutta kääntyy ”Cam-2” järjestelmälle suotuisaksi, kun vertailussa käytetään painotettuja arvosanoja.

	Painokerroin esiintymissuhde								Arvosanat 1-5		Painotetut arvosanat			
	A	B	C	D	E	F	G	H	CAM-1	CAM-2	CAM-1	CAM-2		
A Automaatioaste	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0,22	3	4	0,67	0,89
B Työstöratojen kelpoisuus	X	B	B	B	B	F	G	B	B	0,14	3	3	0,42	0,42
C Virheiden korjaamisen helppous	X	X	C	D	C	F	G	C	C	0,08	4	2	0,33	0,17
D Arvio ohjelmatuesta	X	X	X	D	D	F	G	D	D	0,11	2	4	0,22	0,44
E Käyttöliittymä	X	X	X	X	E	F	G	H	E	0,03	4	2	0,11	0,06
F Toimittaja	X	X	X	X	X	F	F	F	F	0,19	3	4	0,58	0,78
G Liityntä muihin järjestelmiin	X	X	X	X	X	X	G	G	G	0,17	3	3	0,50	0,50
H Oppimisen helppous	X	X	X	X	X	X	X	H	H	0,06	3	3	0,17	0,17
										1,00	25	25	3,00	3,42

Kuvio 9. Pisteytysmenetelmä järjestelmävertailussa (Perttilä & Salmensuu n.d)

CAM-järjestelmän kustannustarkastelussa tulee huomioida alkuinvestoinnin lisäksi käyttöönotto-kustannuksia esim. koulutuksen muodossa sekä pidemmällä aikajänteellä syntyy kehityskustannuksia. Järjestelmähankintasopimuksella voidaan varautua toimituksen jälkeen mahdollisesti havaittaviin ohjelmiston puutteisiin tai virheisiin. Kyseiseen sopimukseen määritellään järjestelmän käyttöönottoon sekä takuuseen liittyviä seikkoja (Perttilä & Salmensuu n.d).

5.3 Ohjelmiston käyttöönotto

Uuden CAM-ohjelmointijärjestelmän käyttöönotto tulisi suorittaa mahdollisuuksien mukaan vaiheissa esim. ohjaus- tai koneityyppi kerrallaan. Tällöin havaitut käyttöönottoon liittyvät ongelmat eivät pysäytä tuotantoa joka koneelta tai osastolta. (Perttilä & Salmensuu n.d). Mercerin (2000) tekemässä tutkimuksessa käsitellään onnistuneeseen CAM-järjestelmän hankintaan ja käyttöönottoon liittyviä tekijöitä, joita avataan tässä kappaleessa.

Käyttäjystävällisyydellä on merkittävä rooli CAM-järjestelmissä. Käyttöliittymän tulisi olla suoraviivainen ja selkeä, joka mahdollistaa käyttäjän suorittaa työtehtäviä nopeasti. Ohjelmiston toimintojen tulee löytyä vähäisellä haulla, jolloin ohjelmointityön toistettavuus sekä tuottavuus nousevat merkittävästi. Käyttäjystävällisyyttä voidaan parantaa, kun ohjelmisto sallii valikoiden, työkalukirjastojen sekä hakemistojen muokkaamisen, jolloin käyttäjä voi personoida ohjelmistosta haluamansa näköisen. Mikäli ohjelmisto on hankala käyttää ei käyttäjä tai ohjelmisto saavuta täyttä potentiaalia tuottavuuden näkökulmasta (Mercer 2000, 15-23).

Mercer (2000, 27) toteaa että, CAM-järjestelmäinvestoinnin yksi suurimpia kulueriä on koulutuksen tarve. Perttilä ja Salmensuu (n.d) perustelevat syitä korkeille koulutuskustannuksille järjestelmien laajuudella, joiden perusteellinen oppiminen vie aikaa. Perttilän ja Salmensuun (n.d) mielestä koulutus on toteutettava pidempänä ajanjaksona kuin yhdellä kertaa käyttöönoton yhteydessä, mikä lisää kustannuksia. Koulutuksen kustannukset riippuvat myös laajalti yrityksen nykyisestä NC-ohjelmoinnin tilasta sekä henkilöstön IT-taidoista, jonka vuoksi on perusteltua suunnitella koulutuksen sisältö huolellisesti myös koulutettavien henkilöiden tarpeiden mukaan. Huomioitava on myös järjestelmän ylläpitoon liittyvät koulutukset, joihin voi ilmetä tarvetta esim. järjestelemäpäivityksien yhteydessä. (Perttilä & Salmensuu n.d).

Ohjelmistotoimittajan tukipalvelut ovat tärkeässä roolissa etenkin ongelmatilanteissa. Useimpien CAM-ohjelmistojen mukana tulee ohjekirjastoja ja hakemistoja. Toimittajien apua voidaan hyödyntää myös internet yhteyden välityksellä esim. tutoriaali videoiden muodossa. (Mercer 2000, 24).

5.4 Muutoksen vaikutukset

Uusien suunnittelujärjestelmien tehokas käyttäminen edellyttää henkilöstöltä muutosta tutuissa toimintamalleissa. Sopeutumiskykyä vaaditaan siis uuteen järjestelmään, että yrityksen sisäisiin uusiin toimintatapoihin. Yritysjohdon on varmistettava, että erilaiset seuranta- ja ohjausjärjestelmät mahdollistavat uuden toimintamallin mukaiset toimenpiteet. Lähdeniemi (2003) korostaa diplomityössään organisaation puutteellisen kommunikaation ja osallistumisen aiheuttavan suurimmat riskit muutosprosessissa, joten näihin on kiinnettävä huomiota myös yritysjohto tasolla, jotta kynnyks uuden järjestelmän käyttöönotossa olisi mahdollisimman pieni (Lähdeniemi 2003, 69).

Lähdeniemien mukaan on tärkeää varata riittävästi aikaa järjestelmän rakentamiseen ja suunnitteluun sekä erityisesti mukana tulee olla edustusta organisaation osista, joiden toimintaan muutosprosessi vaikuttaa eniten. Edellä mainittujen seikkojen laiminlyönti lisää muutosvastarinnan todennäköisyyttä sekä on mahdollista, että unohdetaan projektin onnistumisen kannalta olennainen osa-alue. Yritykset, jotka ovat käyneet vastaavia muutosprosesseja, nostavat esiin työntekijöiden roolien tarkastelun merkityksen. (Lähdeniemi 2003, 70). Kuvio 10 havainnollistaa muutosprosessiin liittyviä vaiheita sekä niissä käsiteltäviä teemoja.



Kuvio 10. Muutosprosessin osa-alueet (Lähdeniemi 2003, 73)

6 Nykytila

Toimeksiantajalla on käytössä kaksi CAM-ohjelmointi järjestelmää. Työstökeskuksien ohjelmointiin käytetään nykyisin Exapt ohjelmistoa ja monitoimisorvien ohjelmointi suoritetaan Esprit CAM-

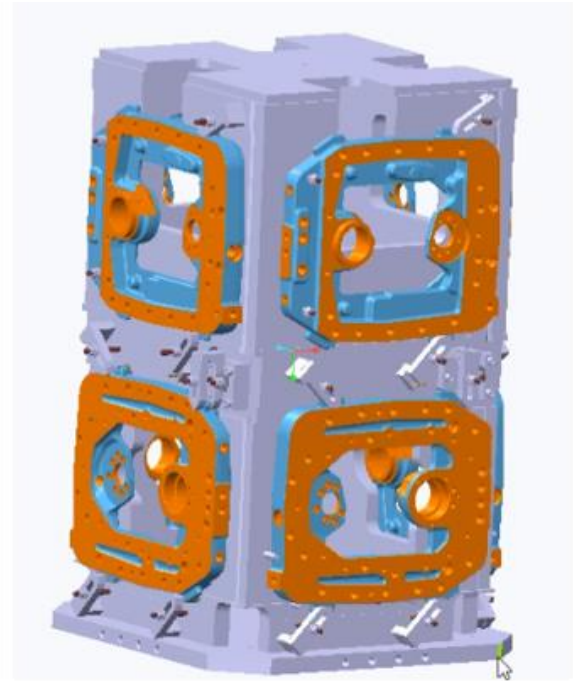
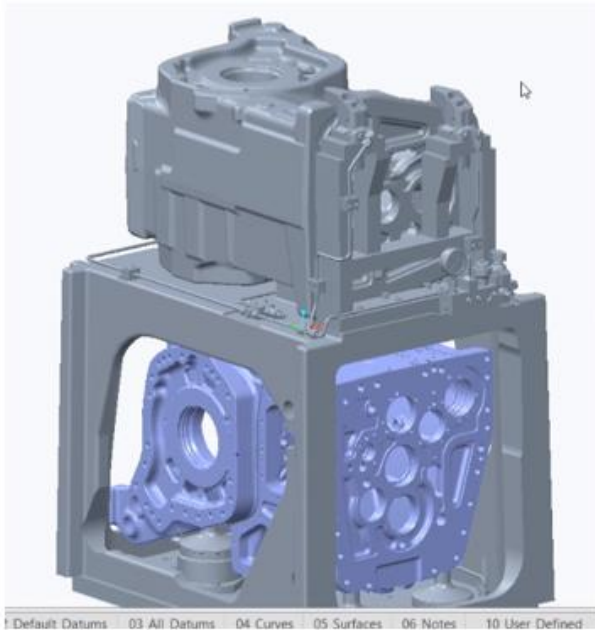
järjestelmällä. Toimeksiantaja kokee Exapt järjestelmän hyvin joustavaksi, jonka takia se soveltuu hyvin sarjatuotantoon, mutta tehokas käyttö vaatii korkeaa ammattitaitoa. Esprit puolestaan nähdään käyttäjäystävällisempänä ja interaktiivisena alustana, mutta sisältää hieman enemmän manuaalista työtä etenkin kun, monitoimisorvin ohjelman aikana käytetään apukaraa. Tällöin ohjelmaan on manuaalisesti lisättävä työvaiheiden järjestely sekä luotava odotuskäskyt ohjelman synkronointia varten.

CAM-järjestelmien kartoitus aloitettiin kuvaamalla lohkokaavio tyyppisesti (Liite 1 ja 2) näiden järjestelmien ohjelmointiprosessi, josta saatiin tietoa, minkä muiden järjestelmien kanssa CAM ohjelmisto ”keskustelee” sekä saatiin selkeä kuvaus ohjelmointiympäristöstä. Liitäntä CAD järjestelmään todettiin olevan keskiössä, tiedonsiirto CAM-ohjelmistoon tapahtuu STEP (Standard for the Exchange of Product data) formaatissa.

6.1 Valintakriteerit

Nykytilanteen kuvauksen yhteydessä määriteltiin myös tulevan ohjelmiston valintakriteerejä, jotka jaettiin välttämättömiin vaatimuksiin sekä toivomuksiin, joista katsotaan olevan hyötyä mutteivat ole määrääviä tekijöitä valintoja tehdessä.

Yksi tärkeimpiä valintakriteerejä on soveltuvuus sarjatuotantoon. Tämä tarkoittaa, että postprocessorin on taivuttava luomaan tietty ohjelmarakenne, joka on räätälöity toimeksiantajan sarjatuotantona tehtäviin kappaleisiin, joissa hyödynnetään monikappalekiinnitystä. Kiinnitin ratkaisut esitetään kuviossa 11. Tietyllä ohjelmarakenteella on vaikutusta myös NC-ohjelmien hallinnassa. Toimeksiantajan FMS-järjestelmien ohjaukset lukevat ohjelmista ns. otsikkotiedot, joiden perusteella ohjaus tietää onko kyseessä pää- vai aliohjelma. Ohjelmien tallennuspaikka riippuu otsikko- ja työkalutiedoista.



Kuvio 11. Kiinnittimet

Monikappalekiinnityksen käyttö edellyttää omaa nollapistettä kullekin kappaleelle kiinnittimessä. Kuvion 11 oikeanpuoleisessa kiinnittimessä kappaletta tarvitsee työstää kolmesta suunnasta, jolloin nollapistet on nimetty G54_1 - G57_1, jossa alaindeksi tarkoittaa haluttua kappaletta. Vasemmanpuoleisen kiinnittimen kappaletta koneistetaan yhdeltä suunnalta kerrallaan, joka tarkoittaa, että ohjelma on nollapisteiden suhteen hieman yksinkertaisempi. Nollapisteistä on kerätty aliohjelmakirjasto, jota kutsutaan pöydän käännoissä sekä työkalun vaihtojen yhteydessä. Postprocessorin räätälöintiä tarvitaan, jotta nämä vaatimukset sarjatuotannolle täyttyvät. Tämänkaltaisen otsikkotiedoilla sekä aliohjelmilla toteutettu ohjelmarakenne on koettu selkeäksi lattiatasolla. Operaattorin on helppoa jatkaa ohjelmaa oikeasta kohdasta tuotantokatkoksen jälkeen, joka vähentää riskiä kolaroida työstökoneita.

Monikappalekiinnityksen myötä ohjelmointiaikaa on mahdollista nopeuttaa huomattavasti, mikäli CAM-järjestelmästä löytyy ominaisuus, jolla voidaan kopioida yhden kappaleen NC-koodi muihin kappaleisiin. NC-koodin osan kopiointi ominaisuus katsottiin välttämättömäksi kriteeriksi.

Postproessorin kyvykkyys vastata sarjatuotannon asettamiin ohjelmallisiin vaatimuksiin sekä ohjelmarakenteen ymmärtämisen ja oppimisen helppous lattiatasolla nostettiin tärkeimpien vaatimusten joukkoon. Uuden järjestelmän postproessorit ovat näin ollen tärkeässä asemassa, joten vaatimukseen lisättiin myös tukipalvelu postproessoreiden ylläpitoon ja päivityksiin, jota arvioitiin ohjelmistotoimittajan tukiorganisaation laajuuden perusteella.

Ohjelmistotoimittajien kanssa käydyissä järjestelmien esittelytilaisuuksissa arvioitiin ja tiedusteltiin myös ohjelmiston koulutukseen liittyviä mahdollisuuksia. Koulutustilaisuudet ovat tärkeässä roolissa, jotta toimeksiantajan henkilökunta pystyy käyttämään järjestelmiä tehokkaasti sekä omaksumaan uuden järjestelmän käyttöön nopeammin. Tämän kriteerin arvioinnin luotettavuutta lisää myös se, että toimeksiantajalla on jo kokemusta tiettyjen tutkimukseen valittujen järjestelmätoimittajien koulutustilaisuuksista.

Kummassakin nykyisestä CAM-järjestelmässä löytyy työkalunvaihdon optimointi ominaisuus, joiden tarkoitus on optimoida NC-koodia maksimoimalla työstöaikaa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tietyt koneistusgeometriat voidaan niputtaa yhteen esim. rouhintatyökierrot ja reikäryhmien poraus, jolloin ohjelma suorittaa kaikki tietyt piirteet ennen työkalunvaihtoa, jonka jälkeen siirrytään seuraavaan piirteeseen / työkalunvaihtoon. Kyseinen ominaisuus voidaan mieltää ohjelman suorittamaksi työvaiheiden järjestelyksi, jota joudutaan aika ajoin muokkaamaan manuaalisesti.

7 Ohjelmisto valinnat

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti tarkempaan testaukseen valikoituneet ohjelmistot. Mastercam ohjelmiston lähempi tarkastelu perustuu sen lähes markkinajohtaja asemaan ja laajaan tukiverkoston Suomessa sekä se on käytössä useissa kotimaisissa koulutuslaitoksissa mm. Jyväskylän ammattikorkeakoulussa.

Toimeksiantaja käyttää 3D-suunnitteluohjelmana on PTC Creo järjestelmää, josta on käytetty pelkästään CAD ominaisuuksia. Järjestelmästä löytyy myös Creocam, joka otettiin tähän työhön tarkasteluun ajatuksella, että laajennetaan PTC Creo:n käyttöä myös CAM ohjelmointiin työstökeskuksille. Opinnäytetyön aikana ilmeni, että toimeksiantajalla on lisenssi käyttää Creo:n CAM ominaisuuksia, joka toisi säästöä hankintakustannuksissa.

Kolmanneksi ohjelmistoksi valikoitui jo käytössä oleva Esprit cam- ohjelmisto, jota nykyisin käytetään vain monitoimisorvien ohjelmointiin. Järjestelmä otettiin tarkasteluun idealla soveltuisiko Esprit cam myös työstökeskusten ohjelmointiin.

7.1 Mastercam

Mastercam on CAD/CAM ohjelmisto, joka tarjoaa tehokkaat ja dynaamiset ohjelmointiratkaisut erilaisille työstökoneille. Mastercamilla voidaan ohjelmoida moniakselista jyrsintää sekä monitoimisorveja 2D- ja 3D-työstöradoista. Mastercam sisältää täydet 3D CAD mallinnukseen tarvittavat ominaisuudet, jotka on optimoitu CAM-työskentelyn tukemiseen. Mastercam tuoteperheen lisäosista saadaan tukea lastuavan työstön toimintoihin. Asiakas voi valita tarvitsemiinsa kokonaisuuksiin muun muassa konesimulointi ominaisuuksia, apua CNC-ohjelmien editointiin ja hallintaan tai tiedonsiirtoratkaisuihin (Camtek n.d).

7.2 Creocam

Creocamin avulla voidaan ohjelmoida moniakselisia jyrsimiä ja sorveja. Järjestelmä kattaa ominaisuudet prismaattiseen ja monitasoiseen jyrsintään. Ohjelmiston kehittäjä yrityksen PTC:n mukaan Creocam sisältää kattavat kyvykkyydet edistyneisiin koneistus-strategioihin sekä tukee monitoimikoneiden synkronointia (PTC n.d). Ohjelmistoon on saatavilla ”high-speed milling” lisäosia, jotka sisältävät mm. adaptiivisen syötön, jatkuvan kuormituksen skannauksen rouhinta työkiertoissa sekä kattavat työkalut reikien tekemiseen. Creo ohjelmistokokonaisuuteen voidaan myös valita lisäosia jotka tukevat koneistustyötä kuten esimerkiksi mittakoneiden ohjelmointiin tarkoitettu ratkaisu (PTC n.d).

7.3 Esprit

Esprit cam tarjoaa ohjelmointityökaluja mm. 2-5 akseliseen jyrsintään, moniakselisiin sorveihin ja B-akselilla varustettuihin työstökoneisiin. Ohjelmisto sisältää laajan valikoiman koneistustyökierroja, työkalunhallintaa sekä ”CAD to CAM” sovitteosan, joka lukee kappalemallin ilman tarvetta editointiin tai geometrian uudelleen rakennukseen. Esprit cam ohjelmiston postprosessorit ovat Crontek Oy:n (n.d) mukaan tehdas-sertifioituja ja saatavilla lukuisille johtaville työstökonevalmistajille. Ohjelmistoon on saatavilla myös kirjasto esimääriteltyjä postprosessoreita (Crontek n.d).

8 Johtopäätökset

Järjestelmävertailuun päätyivät edellisessä kappaleessa esitellyt kolme CAM-järjestelmää. Vertailutyökaluksi valikoitui Perttilän ja Salmensuun esittelemä pisteytysmenetelmä. Järjestelmätoimittajien kattavien esittelytilaisuuksien perusteella voitiin arvioida kunkin järjestelmän soveltuvuutta toimeksiantajan vaatimuksiin nähden. Painoarvomatriisin täyttämässä oli mukana henkilöstöä jotka vastaavat monitoimisorvien sekä työstökeskuksien NC-ohjelmoinnista, näin ollen saatiin useampia näkökulmia arvioitavan järjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista, jotka kirjattiin painoarvomatriisiin.

Ominaisuus / Vaatimus	Painoarvomatriisi							Esiintymis suhde
	A	B	C	D	E	F	G	
A Soveltuvuus sarjatuotantoon	A	A	A	A	A	A	A	0,25 A
B Liitettävyys muihin järjestelmiin	-	B	C	D	E	F	G	0,04 B
C Postprosessorin tukipalvelu	-	-	C	C	E	C	G	0,14 C
D Oppimisen helppous	-	-	-	D	E	D	G	0,11 D
E Koneistusprosessin hallinta	-	-	-	-	E	E	G	0,18 E
F Ohjelmiston koulutus mahdollisuudet	-	-	-	-	-	F	G	0,07 F
G Ohjelman osion kopiointi	-	-	-	-	-	-	G	0,21 G
yht								1,00

	MasterCam		CreoCAM		Esprit	
	Arvosana	P.arvosana	Arvosana	P.arvosana	Arvosana	P.arvosana
	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	4	0,14	5	0,18	5	0,18
	3	0,43	2	0,29	3,5	0,50
	4	0,43	4	0,43	4,5	0,48
	5	0,89	4	0,71	5	0,89
	5	0,36	5	0,36	5	0,36
	4	0,86	4,5	0,96	5	1,07
Yht	25,00	3,11	24,50	2,93	28,00	3,48

Kuvio 12. Pisteytysmenetelmän tulos

Opinnäytetyön aikana arvioitujen kriteerien perusteella pisteytysmenetelmä puoltaa Esprit järjestelmän käytön laajentamista monitoimisorvien ohjelmoinnista työstökeskuksille. Huomioitava on, ettei tutkimuksen aikana saatu riittävästi tietoa työhön valikoitujen toimittajien postprosessorien ominaisuuksista ja kyvykkyydestä luoda haluttua ohjelmarakennetta, jotta arviointia sarjatuotantoon soveltuvuudesta olisi voitu tehdä riittäväällä luotettavuudella.

Suomen Terätuonti Oy:n edustajan järjestämässä Esprit camin esittelytilaisuudessa ohjelmoitiin mallikappaleita, joiden työstöradat ja kiinnittimet vastaavat Valtran tuotannossa olevia kappaleita

sekä käytiin keskustelua ohjelmiston muista ominaisuuksista. Erilaisista tukipalveluista sekä ohjelmiston laajennusmahdollisuuksista käytiin myös keskustelua. Esprit järjestelmästä löytyy valmiina työstökonemalleja, jotka ovat käytössä toimeksiantajan tuotannossa sekä on mahdollista hyödyntää jo olemassa olevia kiinnitinmalleja. Näin saadaan esivalmisteluihin kuluva työmäärää alennettua. Espritin ohjelmistosta on jo toimeksiantajalla kokemusta ja ohjelmisto on todettu käyttäjäystävälliseksi, mikä nopeuttaa käytön omaksumista ja täten myös koulutukseen liittyviä kustannuksia. Alhaisempia koulutuskustannuksia merkitsee myös ettei, ohjelmiston koulutusta tarvitse aloittaa täysin uusille käyttäjille (Esittelytilaisuus, 2023).

Tiettyjen ohjelmiston osien kopiointi todettiin olevan nopeaa ja yksinkertaista. Kappaleita voidaan lisätä monikappalekiinnittimeen vaivattomasti haluttuun pisteeseen, jolloin ohjelmisto ymmärtää päivittää työstöradat näihin lisättyihin kappaleisiin, mikä nopeuttaa ohjelmointiprosessia. Tässä yhteydessä nousee esiin myös erilaiset NC-koodin optimointikeinot läpimenoajan lyhentämiseksi. Esprit camissa ohjelmoija voi valita minkä parametrin mukaan ohjelma optimoidaan esim. työkalunvaihtojen tai pöydänkääntöjen mukaan. Ohjelmiston laajentamiseen monitoimisorveilta työstökeskuksille ei myöskään nähty ongelmaa (Esittelytilaisuus, 2023). Espritin käyttö monitoimisorveilla on aiemmin sisältänyt hieman manuaalisia työvaiheita, kuten todettiin kappaleessa 6. Tämä manuaalinen työ jää kokonaan pois sillä, työstökeskuksilla ei käytetä apukaraa, joten ohjelmointi on mahdollista tehdä alusta loppuun automaattisesti.

Edellä mainittujen seikkojen perusteella päätettiin lähettää Esprit järjestelmätoimittajalle tuotannossa olevien kappaleiden valu- ja geometriatiedot. Tuotantokappaleista täytyy lähettää myös esimerkki NC-ohjelmia, josta toimittaja voi analysoida postprosessorin vaatimat erityistoimenpiteet. Mikäli toimeksiantaja näkee parhaaksi niin tiedot voidaan lähettää kaikille tässä tutkimuksessa esitetytilaisuuden pitäneille yrityksille, tämä vaatii ohjelmointi henkilöstöltä kuitenkin resursseja.

Huomioitavaa on, että lopullinen hankintapäätös tehdään kuitenkin ohjelmistotoimittajien tarjouksien sekä postprosessoreiden ominaisuuksien perusteella. Mikäli tässä opinnäytetyössä tarkastelussa olleiden järjestelmien tarjoukset päätetään hylätä syystä tai toisesta, voi toimeksiantaja käyttää pisteytysmenetelmää valitsemilleen järjestelmille toisella tarjouskierroksella.

9 Pohdinta

Opinnäytetyössä kartoitettiin käytössä olevien CAD/CAM järjestelmien laajentamismahdollisuuksia työstökeskuksien CAM-ohjelmointiin. Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös uuden järjestelmän soveltuvuutta Valtran voimansiirtotehtaan tarpeisiin sekä CAM-ohjelmiston hankintaprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Työssä on esitetty toimeksiantajalle toimenpiteitä, kuinka jatkaa CAM-ohjelmiston hankintaprosessia tarjouskyselyyn asti sekä huomioitavia seikkoja käyttöönottoon liittyen. Tässä kappaleessa esitetään jatkokehitys mahdollisuuksia ja huomioita ohjelmointiympäristön tehostamiseksi sekä arvioidaan opinnäytetyön luotettavuutta.

Opinnäytetyön aikana avautui mahdollisuus tutustua Agco Power Linnavuoren dieselmoottoareiden tuotantolaitoksen koneistus- ja valmistusprosesseihin yleisesti. Pääasiallisena tarkoituksena oli kuitenkin paneutua käytössä oleviin ohjelmointijärjestelmiin, suunnitelmana oli arvioida moottoritehtaalla käytössä olevaa CAM-ohjelmistoa ja ottaa tämä järjestelmä mukaan opinnäytetyön ohjelmistojen kartoitukseen sekä mahdollisesti käyttöön toimeksiantajan tuotantoon. Linnavuoressa käytyjen keskustelun perusteella päätettiin kuitenkin hylätä tämä CAM-ohjelmisto järjestelmävertailusta. Kyseinen järjestelmä ei vastannut odotuksia ohjelman osion kopiointi mahdollisuudesta sekä useiden koneistus-suuntien määrittäminen postprosessoriin nähtiin ongelmallisena. Yritysvierailun yhteydessä saatiin kuitenkin arvokasta tietoa, kuinka CAM-ohjelmointiympäristöä voidaan kehittää tulevaisuudessa. Agco Powerilla oli käytössä NC-koodiin perustuva simulaatio ohjelma, jota esiteltiin kattavasti samantyyppisillä suurilla valukappaleilla, joita Valtralla on tuotannossa.

On selvää, että CAD/CAM ohjelmointi lisää NC-ohjelman luotettavuutta huomattavasti verrattuna manuaaliseen ohjelmointiin, kuitenkin mahdollisuus törmäykseen on olemassa. Tästä seuraava askel eteenpäin on edellä mainittu työstökoneen todellista liikettä vastaava NC-koodiin perustuva simulaatio. Huomioitava on, että CAM-ohjelmistojen tarjoama työstöratojen simulointi ole NC-koodin simulointia, sillä ne perustuvat CL-dataan. CAM-simulaatio ei huomioi tiettyjä NC-ohjelman komponentteja kuten esim. terän kompensatioita tai makroja. NC-koodin virheettömyys ennen koneelle siirtoa on mahdollista tarkastaa erillisellä NC-koodin konesimulointi ohjelmistolla, joita useimmat ohjelmistotoimittajat tarjoavat. Tämän kaltaisen ohjelmiston käytöllä saadaan todella tarkkoja törmäystarkasteluja, asetus aika NC-koneella lyhenee sekä ohjelmointiympäristöön ja valmistukseen saadaan entisestään lisää varmuutta, minkä avulla voidaan lisätä miehittämätöntä työstöä. NC-koodin simulointi ohjelmiston hankinnasta voisi toimeksiantaja käydä tulevaisuudessa

keskusteluja, mikäli näyttää siltä, että tuottavuus vaatimukset kasvavat tai uuden postproessorin luomassa koodissa huomataan virheitä. Työssä esitelty ohjelmistovertailuun käytetty pisteytysmenetelmä soveltuu myös simulointiohjelmistojen kartoitukseen.

Opinnäytetyön aikana tehdyn yritysvierailun kaltaista benchmark toimintaa olisi voinut hyödyntää työssä enemmänkin, muissakin asioissa kuin ohjelmointiympäristöön liittyen. Uskon, että näin olisi saatu enemmän tietoa sekä varmuutta esimerkiksi järjestelmien käyttöönottoon liittyvissä konkreettisissa käytännön haasteissa ja näiden välttämisessä. Benchmarkingia olisi voitu soveltaa työssä enemmän esimerkiksi haastatteleamalla samankaltaisien suurehkojen valukappaleiden jatkojalostamista harjoittavia yrityksiä.

Minkä tahansa uuden järjestelmän käyttöönotto vaikuttaa yrityksen IT-arkkitehtuuriin. Tietoturvasioiden huomioiminen ja ratkaiseminen korostuu etenkin 3D-suunnittelujärjestelmien käyttöönotossa, sillä geometrian yhteydessä ovat tyypillisesti myös valmistuspiirrokset. Erityisesti tuotekehitys tai patentointi vaiheessa olevat tuotteet voivat sisältää arvokasta immateriaalista tietoa. Mikäli kilpailijat saavat pääsyn edellä mainittuihin tietoihin voi tästä aiheutua tulevaisuudessa mittavaakin vahinkoa yritykselle. CAD/CAM järjestelmän teknisen toimivuuden takaamiseksi edellytetään selkeää vastuunjakoja tietoturva-asioissa ohjelmisto- ja laitteistotoimittajien kanssa, jolloin hankinta- ja ylläpitosopimukseen olisi perusteltua kirjata tietoturvakäytäntöjä sekä vastuualueita. Toimeksiantajan tulee konsultoida IT-henkilöstöä CAD/CAM järjestelmän hankintapäätöksessä valitun ohjelmiston tietoturvan tasosta, sillä tarve suojata tieto- ja automaatiojärjestelmiä sekä niihin kuuluvia verkkoja kasvaa tulevaisuudessa digitalisaation sekä tietokoneavusteisen valmistuksen lisääntymisen ja kehityksen myötä.

Luotettavien ja toimeksiantajaa hyödyttävien tuloksien saaminen oli yksi opinnäytetyön lähtökohdista. Näin ollen tärkeässä roolissa ovat oikeiden aineistonkeruu- ja tutkimusmenetelmien käyttö, joita pohdittiin työn suunnittelu vaiheessa valideetin ja luotettavuuden kautta. Tutkimuksessa käytetyt lähteet ovat asiantuntevia sekä haastatteluissa ja esittelytilaisuuksissa olleet henkilöt omaavat pitkän kokemuksen tältä alalta, mikä lisää hankitun aineiston luotettavuutta. Toimeksiantajan vaatimukset selvitettiin ja arvioitiin kriittisesti yhteistyössä ohjelmointihenkilöstön kanssa, jonka johdosta arviointi kohdistuu oikeisiin ja tärkeisiin seikkoihin. Tutkimuksen validiteettia lisää

luotettavan arviointityökalun käyttö, joka mielestäni on relevantti tutkimusongelmiin vastaamisessa. Tutkimuksen reliabiliteettia eli toistettavuutta olisi voitu hieman lisätä luomalla esittelytilaisuuksiin tietty runko, jonka mukaan edetä. Opinnäytetyön tutkimusaihetta ei kuitenkaan ole tarkeitusta toistaa useita kertoja, joten validiteetin tarkastelulla on suurempi painoarvo kuin toistettavuudella. Yhdeksi päätavoitteiksi asetettiin ohjelmointiympäristön tulevaisuuden suunta- viivojen selkeyttäminen ja mielestäni työ vastaa tätä tavoitetta. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että Esprit cam soveltuu toimeksiantajan ohjelmointi ympäristöön ja täten voidaan tehdä oikeita investointipäätöksiä.

Lähteet

Adivarekar, M. Liou, F. 2012. Developing a general postprocessor for multi-axis CNC-milling centers. Missouri University of Science and Technology. Viitattu 11.2.2023 http://www.cadanda.com/cad_pace_2_57-68.pdf

Annual Report 2021. AGCO corp. Viitattu 9.1.2023. <https://ar2021.AGCOcorp.com/our-company/financial-highlights>

Arabe, K. 22.5.2003. The basics of CAD&CAM. Thomasnet. Viitattu 16.1.2023. https://www.thomasnet.com/insights/imt/2003/05/22/the_basics_of_c_2/

Autodesk. 7.4.2014. Integrated CAM for Autodesk inventor officially here. Viitattu 17.1.2023. <https://adsknews.autodesk.com/en/news/integrated-cam-for-autodesk-inventor-officially-here/>

Autodesk. N.d. What is CAD software. Viitattu 17.1.2023. <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>

Camtek. N.d. Mastercam. Viitattu 23.2.2023: <https://www.camtek.fi/tuotteet/mastercam/>

Crontek. N.d. Esprit cam-ohjelmisto. Viitattu 13.3.2023. <https://www.crontek.fi/espritcham.htm>

Deans, M. 24.5.2018. G-code for CNC programming. Viitattu 17.1.2023. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>

Esittelytilaisuus. Suomen Terästuonti Oy:n edustaja. 27.3.2023

Groover, M. 2015. Automation, Production systems and computer-Integrated Manufacturing. Pearson. 3 painos.

Hexagon. N.d. Edgecam. Viitattu 21.2.2023 <https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-manufacturing-cad-cam-software/Edgecam>

Jianbin, Xue. 2018. Integration of CAD/CAPP/CAM. De Gruyter.

Jyrkämä, J. N.d. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietokanto. Viitattu 12.1.2022. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/toimintatutkimus/>

Kananen, J. 2009. Toimintatutkimus yritysten kehittämisessä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kiljain, J. 2020. CAD/CAM-ohjelmiston hankinta. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kuusela, P. 2005. Realistinen toimintatutkimus? Toimintatutkimus, työorganisaatiot ja realismi. Helsinki: Työturvallisuuskeskus.

Lähdeniemi, H. 2003. Tuotteen suunnitteluketjun tehostaminen 3D-ympäristössä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto.

Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY.

Mastercam. N.d. Postproessori. Viitattu 11.2.2023: https://mastercam.fi/?page_id=3462

Mercer, T. 2000. CAD/CAM selection for small manufacturing companies. University of Wisconsin. Viitattu 31.1.2023. <https://core.ac.uk/download/pdf/5065681.pdf>

Pikkarainen, E. 1999. NC-tekniikan perusteet. Opetushallitus.

Perttilä, J. Salmensuu, S. N.d. Tuottavuuden parantaminen NC-ohjelmointi ympäristöä kehittämällä. Tekninen tiedote. Metalliteollisuuden Keskusliitto.

PTC. N.d. Computer aided manufacturing in creo. Viitattu 13.3.2023. <https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/CAD/Creo-9/204699-CAM-in-Creo-Brochure Plus Interactive.pdf>

Radhakrishnan, P. Subramanyan, S. Raju, V. 2008. CAD/CAM/CIM. New Age International. 3 painos.

Smid, P. 2010. CNC control setup for milling and turning. New York: Industrial Press, Inc.

Sääski, J. Salonen, T. Paro, J. 2007. STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon. Teknologian tutkimuskeskus VTT. Viitattu 23.2.2023: <https://publications.vtt.fi/pdf/workingpapers/2007/W75.pdf>

Tuominen, K. 2021. The path to development: Introducing Benchmarking. Oy Benchmarking Ltd.

Velling, A. 15.4.2021. What is computer-aided manufacturing (CAM). Fractory. Viitattu 16.1.2023. <https://fractory.com/what-is-computer-aided-manufacturing-cam/>

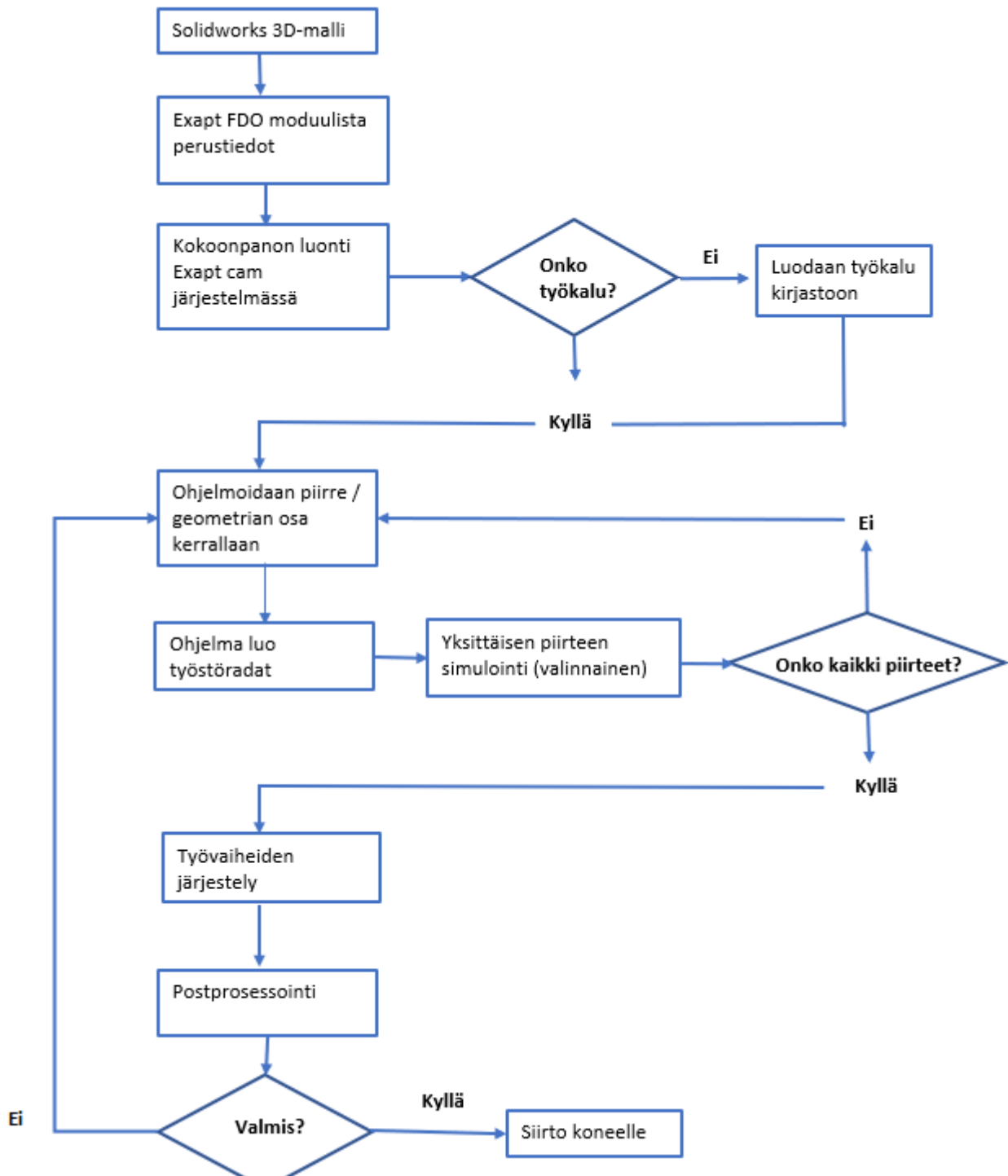
Vesämäki, H. 2014. Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. Teknoliateollisuus ry.

Zhuming, B. Xiaoqin, W. 2020. Computer aided design and manufacturing. John Wiley & sons Ltd.

3Dchimera. Solidworks. Viitattu 17.1.2023. <https://3dchimera.com/products/solidworks>

Liitteet

Liite 1. Exapt lohkokaavio



Liite 2. Esprit lohkokaavio

