

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Konetekniikan koulutus

Miika Karjunen

UUDEN FMS-KIINNITINTORNIN KÄYTTÖÖNOTON HYÖTYJEN JA  
HAITTOJEN KARTOITUS

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2021



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Kesäkuu 2021**  
**Konetekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä  
Miika Karjunen

Nimeke  
Uuden FMS-kiinnitintornin käyttöönoton hyötyjen ja haittojen kartoitus

Toimeksiantaja  
Joensuun CNC-Machining Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää uuden kuusisivuisen FMS-kiinnitintornin käyttöönoton hyödyt ja haitat Joensuun CNC-Machining Oy:n tuotannossa. Tutkielmassa analysoitiin kolmea metsäkoneteollisuuden tuotetta. Tavoitteena oli kartoittaa, voidaanko tuotteiden valmistaminen siirtää uudelle kiinnitintornille sekä millaisia hyötyjä mahdollisista muutoksista saavutetaan. Työssä tutkittiin myös kiinnitintornin edellytyksiä saavuttaa täyden tornin käyttöaste.


Lähtötilanteessa selvitettiin nykyisen kiinnitintornin tuomat rajoitukset. Uuden kiinnitintornin käyttöönoton mahdollisuuksia analysoitiin Solidworks-ohjelmalla. Tornista mallinnettiin raakamalli, joka vastasi kiinnitintornin todellista mitoitusta. Analysoitavista tuotteista luotiin todellinen kiinnitinkokoonpano, ja näin saatiin selville tuotteiden mahdollinen valmistettavuus.

Opinnäytetyö päätuloksena on, että uuden kiinnitintornin käyttöönotolle on perusteet. Uuden kiinnitintornin ansiosta koneistuksen kapasiteettia voidaan nostaa kolmanneksella ja tuotteiden läpimenoaika paranee. Analyysien perusteella tuotteet A, B ja C on mahdollista siirtää uudelle kiinnitintornille. Lisäksi yrityksellä on mahdollista opinnäytetyön tulosten perusteella kartoittaa uudelle kiinnitintornille soveltuvat uudet tuotteet, jolla mahdollistetaan tornin täysi tuotantokapasiteetti.

Kieli  
suomi

Sivuja 41  
Liitteet 4  
Liitesivumäärä 4

Asiasanat  
menetelmäkehitys, 3D-suunnittelu, FMS-järjestelmä, kiinnitintorni, läpimenoaika

 <b>Karelia</b> UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	<b>THESIS</b> <b>June 2021</b> <b>Degree Programme in Mechanical Engineering</b>  Tikkariinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600 (switchboard)
Author Miika Karjunen	
Title Mapping the Advantages and Disadvantages of Introducing a New FMS Anchorage Tower  Commissioned by Joensuun CNC-Machining Oy	
Abstract  The purpose of the thesis was to find out the advantages and disadvantages of a new six-sided FMS fastener tower produced by CNC-Machining Oy in Joensuu. Three products of the forest machine industry were analyzed in this thesis. The aim was to find out whether the production of the products could be transferred to a new fastener tower and what kind of benefits would be achieved from the possible changes. The work also investigates whether the machining tower reaches the full utilization rate of the tower.  In the original situation, the limitations imposed by the machining tower were clarified. Solidworks software was used to analyze the feasibility of the introduced new fastener tower. A raw model was modeled of the tower that corresponded to the actual dimensioning of the fastener tower. As a result of this thesis a real fastening configuration was created and the possible manufacturability of the products was determined.  The main result of the thesis is that there are grounds for the implementation of a new fastener tower. With this new fastener tower, machining capacity can be increased by a third and product delivery times are improved. Based on the analyzes, it is possible to transfer products A, B and C to a new fastener tower. In addition, based on the results of the thesis, it is possible for the company to map new products suitable for the fastener tower, which enables the entire production capacity of the tower.	
Language Finnish	Pages 41 Appendices 4 Pages of Appendices 4
Keywords method development, 3D-desing, Flexible Manufacturing System, machining tower, lead-time	

## Sisältö

1	Johdanto .....	5
1.1	Opinnäytetyön tavoite .....	5
1.2	Joensuun CNC-Machining Oy .....	6
2	Tietoperusta: Joustava valmistusjärjestelmä (FMS).....	7
2.1	Joustava tuotanto .....	7
2.2	Joustavat yksiköt .....	8
2.3	Joustavien järjestelmien kehitystyö.....	10
2.4	Joustavan valmistusjärjestelmän edut .....	11
2.5	FMS-järjestelmän osakokonaisuudet.....	12
2.5.1	Tuotantosolu .....	12
2.5.2	Paletti.....	12
2.5.3	Koneistustorni .....	14
2.5.4	Nollapistekiinnitin .....	15
2.5.5	FMS-koneistuskiinnitin .....	16
2.6	Menetelmäkehitys.....	17
2.6.1	Menetelmäsuunnittelu.....	18
2.6.2	3D-avusteinen suunnitteluprosessi .....	18
3	Kartoitustyö: FMS-kiinnitintorni .....	19
3.1	Koneistustornin lähtötilanne.....	22
3.2	Nykytila .....	23
3.3	Karkeasuunnittelu .....	25
3.3.1	Tuotteiden analysointi.....	26
3.3.2	Täysi kapasiteetti .....	28
4	Tulokset .....	29
4.1	Käyttöaste.....	31
4.2	Läpimenoaika .....	32
4.3	Tuotteet A, B ja C .....	33
4.4	Tuotteet D, E ja F.....	36
4.5	Täysi kapasiteetti .....	38
5	Yhteenveto.....	39
	Lähteet.....	41

### Liitteet

- Liite 1 Tutkittavat tuotteet A ja B.  
Liite 2 Tutkittava tuote C ja nollapistepaletti.

### Taulukot

- Taulukko 1. Tuotteiden A, B ja C lähtötilanne.  
Taulukko 2. FMS-hyllystöhissin toimintakerrat tuotteille A, B ja C.  
Taulukko 3. Tuotteiden A, B ja C laskennallisen läpimenoajan tulos sarjakoolle 48.

# 1 Johdanto

Opinnäytetyöprosessini käynnistyi työelämälähtöisesti yhteistyössä Joensuun CNC-Machining Oy – yrityksen kanssa. Yrityksellä oli tarve kehittää entisestään menetelmäsuunnittelun avulla FMS-solun käyttöastetta, ja opinnäytetyön tavoitteet luotiin kohdeyritykseltä saadun kehitystarpeen mukaisesti.

## 1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyöni perustuu joustavaan valmistusjärjestelmään ja on osa FMS-järjestelmän jatkuvaa kehittämistä. Tavoitteena on luoda perusta FMS kehitystyölle. Opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia kohdeyrityksen mahdollisuutta ottaa käyttöön uusi FMS-kiinnitintorni osaksi FMS-järjestelmää. Tutkittava kiinnitintorni on malliltaan kuusisivuinen ja poikkeaa yrityksen aiemmista kiinnitintorneista muun muassa geometriansa takia. Tornin geometria muodostui lopulliseen muotoonsa opinnäytetyön aikana. Työssä selvitetään myös, millaisia mahdollisuuksia uusi FMS-kiinnitintorni luo yritykselle. Päämääränä on kartoittaa sekä tornimallin hyödyt että haitat yrityksen tuotannossa. Päätös uuden kiinnitintornin käyttöönotosta tarkoittaisi laajahkon kehitysprojektin aloittamista yrityksen sisällä, ja tämä sisältäisi myös kokonaisvaltaisen kiinnitintornin suunnittelutyön.

Opinnäytetyö on selvitystyö, joten opinnäytetyö ei sisällä viimeisteltyä 3D-suunnittelutyötä. Kartoitus vaatii kuitenkin karkean 3D-mallin kiinnitintornista Solidworks-2021 ohjelmalla tehtynä, sekä analysoitavien tuotteiden 3D-mallit tuotuna tornimallin kokoonpanotiedostoon, jotta voidaan analysoida tarkemmin kiinnitintornin toimivuutta yrityksen tuotannossa.

Tuloksia analysoidaan kolmelle erilaiselle metsäkoneteollisuuden tuotteelle, ja opinnäytetyössä tutkitaan, voidaanko kyseisten tuotteiden valmistaminen siirtää uudelle tornille parantaen koneistuksen tehokkuutta (liite 1 ja 2).

Opinnäytetyössä otetaan lyhyesti kantaa myös siihen, voidaanko kiinnitintornissa valmistaa tutkittavien kappaleiden lisäksi myös saman tuoteperheen tuotteita. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään, onko uudessa kiinnitintornissa mahdollista koneistaa kaikilla kuudella sivulla kuutta erilaista tuotetta. Nykyisen mallin kiinnitintornilla voidaan valmistaa neljää tuotetta.

Opinnäytetyön lopputuloksena kohdeyrityksellä on selvillä uuden FMS-tornimallin hyödyt ja haitat tuotannossa ja tieto siitä, kannattaako kehitysprojektiä aloittaa. Kehitysprojektille on jo riittävät perusteet, jos opinnäytetyön lopputuloksena todetaan tutkittavien kolmen tuotteen valmistusmenetelmän siirto kannattavaksi. Kartoituksessa havaitut muut positiiviset asiat koettaisiin tässä tapauksessa hyödyllisenä jatkokehitystä ajatellen.

## **1.2 Joensuun CNC-Machining Oy**

Joensuun CNC-Machining Oy on teollisuudessa toimiva sopimustoimittaja, joka valmistaa osakomponentteja ja -kokonaisuuksia teollisuuden eri tarpeisiin. Yritys on perustettu vuonna 2007 ja tarjoaa asiakkailleen monipuolisia palveluita. Tuotteiden 3D-suunnittelu, sekä valmistuksen- ja valmistettavuuden suunnittelu kuuluvat yrityksen vahvuuksiin. Yritys on erikoistunut myös kiinnitinsuunnitteluun: kaikki tuotannossa olevat kiinnittimet ovat yrityksen omaa tuotantoa. Yrityksen koneistuspalveluihin lukeutuvat muun muassa moniakselikoneistus 5-akselikoneistukseen asti sekä jyrsintä ja sorvaus. Yrityksen mittauspalvelut luovat laadukkaiden tuotteiden edellytykset. Esimerkiksi Mitutoyo CRYSTA-Apex 59168-koordinaattimittauskoneella on mahdollista todentaa geometrysten toleranssien tuomat vaatimukset. (Joensuun CNC-Machining Oy 2021, 2–6.)

Yrityksellä on käytössä nykyaikainen FMS-järjestelmä. Järjestelmä on käyttöön otettu vuonna 2018, ja järjestelmään on liitetty kaksi Mazak HCN6800-koneistuskeskusta. Järjestelmä sisältää 162 materiaalivarastopaikkaa sekä 34 koneistuspalettipaikkaa. Järjestelmän etuina ovat muun muassa automaattinen

tuotannonohjaus, nollapistekiinnitykset, liittymä Zoller-mittalaitteeseen sekä ERP-järjestelmään. (Joensuun CNC-Machining Oy 2021, 6–7.)

Tehostaakseen tuotantoa yritys on aloittanut FMS-järjestelmän laajennuksen vuonna 2021. Laajennus tuo mukanaan mm. kolmannen Mazak HCN6800-koneistuskeskuksen sekä kolmannen latauspaikan. Lisäksi järjestelmän korkea-varaston kapasiteettia kasvatetaan niin, että koneistuspalettimäärä lisääntyy 34 paikasta 46 paikkaan. (Holopainen 2020, 31.)

## **2 Tietoperusta: Joustava valmistusjärjestelmä (FMS)**

Tietoperusta (luku 2) avaa joustavaa valmistusjärjestelmää menetelmäkirjallisuuden tietoihin perustuen. Osiossa tarkastellaan joustavaa tuotantoa, sekä perustellaan sitä, miksi joustavia järjestelmiä kannattaa kehittää. Osio kertoo myös joustavan valmistusjärjestelmän tuomista mahdollisuuksista ja vahvuuksista. Lisäksi luvussa on poimintoja joustavan valmistusjärjestelmän sisältämistä pienemmistä osakokonaisuuksista, jotka liittyvät tämän työn aiheeseen. Myös menetelmäkehityksen rooli tämän opinnäytetyön osalta on merkittävä.

### **2.1 Joustava tuotanto**

Joustava valmistusjärjestelmä on pitkälle automatisoitu joustava järjestelmä, jota kutsutaan nimellä FMS. Järjestelmän lyhenne muodostuu sanoista Flexible Manufacturing Systems. FMS kykenee pitämään yllä keskeytymätöntä tuotantoa. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 154.) Tämän joustavan tuotannon edellytyksenä on, että FMS-järjestelmän on pystyttävä valmistamaan erilaisia tuotteita, niin geometrinen muotojen suhteen kuin tilausmäärienkin osalta. Näin pystytään varmistamaan se, että erilaisia tuotteita voidaan valmistaa vain tarvetta vastaava määrä. (Pikkarainen 1999, 135.)

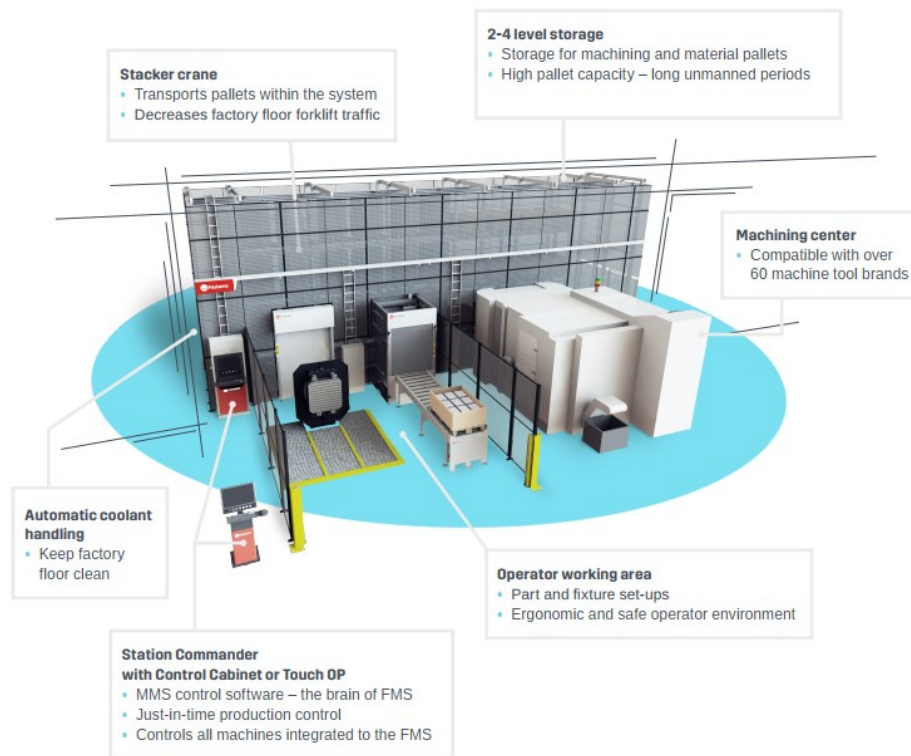
Yleensä joustavan tuotannon esteenä ovat FMS-järjestelmässä olevat toimimat-  
tomat kiinnittimet, jolloin joustavuuden rajat tulevat vastaan ja vain rajoitettuja  
työkappaleita on mahdollista valmistaa. Laadukas FMS-järjestelmä vastaa tä-  
hän tarpeeseen, sillä järjestelmässä nimenomaan kaikkien osien ja toimintojen  
on oltava joustavia. Joustavan valmistusjärjestelmän tarkoituksena on luoda  
edellytykset keskeyttämättömälle tuotannolle. (Metalliteollisuuden keskusliitto  
1989, 3.)

## **2.2 Joustavat yksiköt**

Joustava valmistusjärjestelmä (esimerkiksi kuva 1) pitää sisällään useampia yk-  
siköitä, joiden perusteella järjestelmä rakennetaan käyttötarkoitukseensa sopi-  
vaksi. FMS lyhenne muodostuu sanoista Flexible Manufacturing Systems, mikä  
tarkoittaa täysin automatisoitua usean työstökoneen järjestelmää. Osaksi FMS-  
järjestelmää luokitellaan myös yksiköt Flexible Manufacturing Unit (FMU) sekä  
Flexible Transfer Line (FTL). (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997,  
154,159.)

Automatisoidut FMS-järjestelmät sisältävät kappaleiden vaihto- ja purkupaikat,  
palettienvaihtoasemat sekä suuren varastointijärjestelmän, jossa säilytetään  
esimerkiksi paletteja ja kiinnitintarvikkeita. Kaikkia näitä toimintoja ohjataan eril-  
lisellä ohjausjärjestelmällä. Ohjausjärjestelmällä ohjataan palettien siirtoja ja  
työjonoa sekä hallitaan NC-ohjelmia. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997,  
161; Pikkarainen 1999, 135.) Kuva 1 havainnollistaa FMS-järjestelmän kokonai-  
suudessaan.





Kuva 1. FMS-järjestelmä (Kuva: Fastems 2021).

FMS-järjestelmään kuuluvia yksiköitä:

1. **FMU** tarkoittaa joustavaa, täysautomatoitua valmistusyksikköä yhden NC-työstökoneen osalta. Järjestelmään voidaan liittää joko sorvausyksikkö **FTU** (Flexible Turning Unit) tai koneistuskeskus **MCU** (Machining Center Unit). Automatoituja kohteita voivat olla esimerkiksi palettijärjestelmä, jolloin järjestelmän paletin vaihdot ja varastoinnit toteutetaan automaattisesti. Paletin siirto tapahtuu joko hyllystöhissillä, kiskovaunulla tai palettiradalla. FMU-järjestelmä on kyvykäs miehittämättömään tuotantoon. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 155–157.)
2. **FTL** (Flexible Transfer Line eli transferlinja) on joustava valmistuslinja, jossa työkappaleet kulkevat paleteissa työpisteestä toiselle. Työpisteet voivat olla konekohtaisia, jolloin kaikilla koneilla on erilaiset valmistusvai-

heet. Näin työkappale voi kulkea jyrksinnästä avarrukseen ja siirtyä viimeisenä vaiheena poraukseen. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 159.)

- 3. FMS** (Flexible Manufacturing Systems eli joustava automatisoitu järjestelmä) sisältää useamman NC-ohjatun koneistuskeskuksen. Koska järjestelmässä työkappaleiden valmistus on täysin automatisoitu, työstökoneen käyttäjän on helppo ohjelmoida työkappaleen reitti valmistettavuudeltaan optimaaliseksi. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 154, 161.)

### **2.3 Joustavien järjestelmien kehitystyö**

FMS-järjestelmien kyvykkyys toimia tuotannon apuna on osoitettu viimeisten vuosikymmenien aikana. Työpanosta ei voi maksimoida määrättömästi, mutta teknologisella kehityksellä ei ole rajoja. Järjestelmiä on helppo laajentaa sekä tarvittaessa muuttaa käyttötarkoitukseensa sopiviksi esimerkiksi lisäämällä tai vaihtamalla koneita FMS-järjestelmän sisällä. (Ahokas ym. 2013, 7.)

Ahokkaan ym. (2013, 12) mukaan teknologia kehittyy nopeasti, joten kehitystyössä on tarkasteltava sekä lyhyen että pitkän aikavälin tavoitteita ja kehittämistarpeita. Joustavaan tuotannon automaatioon kannattaa investoida, sillä kun kehitetään tuotantoa, kehitetään yhtä aikaa tuottavuutta ja kilpailukykyä. Samalla luodaan edellytyksiä menestyä markkinoilla. Järjestelmällinen kilpailukykyyn ylläpitäminen koostuu mm. joustavasta toiminnasta, laadukkaista tuotteista ja hyvästä toimitusvarmuudesta. (Ahokas ym. 2013, 12–13.)

## 2.4 Joustavan valmistusjärjestelmän edut

Joustavan valmistusjärjestelmän päämääränä on kappaleiden mahdollisimman pitkälle prosessoitu ja automatisoitu sekä jouheva valmistus ilman ylimääräisiä välivaiheita. Tavoitteena on saada kappale mahdollisimman valmiiksi yhdellä kiinnityksellä. (Pikkarainen 1999, 134.)

”Joustavan automaation etuina ovat miehittämättömät tuotantojaksot, tehokkaampi tilankäyttö, miehittämättömien jaksojen tuoma lisäkapasiteetti, lyhyemmät läpäisyajat, parempi laaduntuotto-kyky, tehtaan tai verstaan selkeämpi ohjattavuus sekä uudet tehokkaat työstöprosessit.”  
-(Ahokas ym. 2013, 12.)

Koska joustava järjestelmä on kehittynyt vuosien saatossa kehitystyön tuloksena entistä monipuolisemmaksi, on työelämässä kertynyt kokemusta ja tutkittua tietoa järjestelmän tuomista, mitattavista ja todistettavissa olevista eduista. Tuotannon ja kilpailukyvyn lisäksi automatisointi voi vaikuttaa positiivisesti yrityksen maineeseen, asiakaskantaan ja työolosuhteisiin. Lisäksi FMS-järjestelmän etuihin luokitellaan valmistettavuuden monipuolisuus, sillä järjestelmällä on mahdollista valmistaa joustavasti toistuvia piensarjoja tai yksittäisiä kappaleita sekä valmistuksessa olevien tuotteiden tuoteperheen osia. (Ahokas ym. 2013, 12–13.)

Metalliteollisuuden keskusliiton (1989, 3) esittelemän tutkimuksen mukaan yritykset, jotka ovat siirtyneet joustavaan järjestelmään, ovat hyötäneet muutoksista esimerkiksi koneiden määrän vähentymisellä, tuottavuuden lisääntymisellä, työvoiman kustannusten vähenemisellä sekä parantuneella käyttösuhteella. Vaikka kyseinen tutkimus on tehty jo 30 vuotta sitten, järjestelmän käyttöönoton edut ovat esimerkiksi Ahokkaan ym. (2013,13) luettelemana samankaltaisia. Kun Metalliteollisuuden keskusliiton esittelemässä tutkimuksessa (1989, 3) investointi maksaa itsensä takaisin keskimäärin 2.8 vuodessa, Ahokkaan ym. (2018, 13) mukaan se on tyypillisesti 2–4 vuotta.

## **2.5 FMS-järjestelmän osakokonaisuudet**

Joustava valmistusjärjestelmä sisältää useita pienempiä osakokonaisuuksia, jotka toimivat FMS-järjestelmän sisällä. FMS-järjestelmässä kaikki toiminnot toteutuvat aina tuotantosolussa. Työkappaleiden lataus- ja purkutyöt tapahtuvat järjestelmän latausasemassa sijaitsevassa paletissa tai koneistustornissa. FMS-järjestelmissä paletin tai kiinnitintornin kiinnitykseen on mahdollista hyödyntää nollapistekiinnitintekniikkaa. Tässä luvussa käsitellään edellä mainitut osakokonaisuudet.

### **2.5.1 Tuotantosolu**

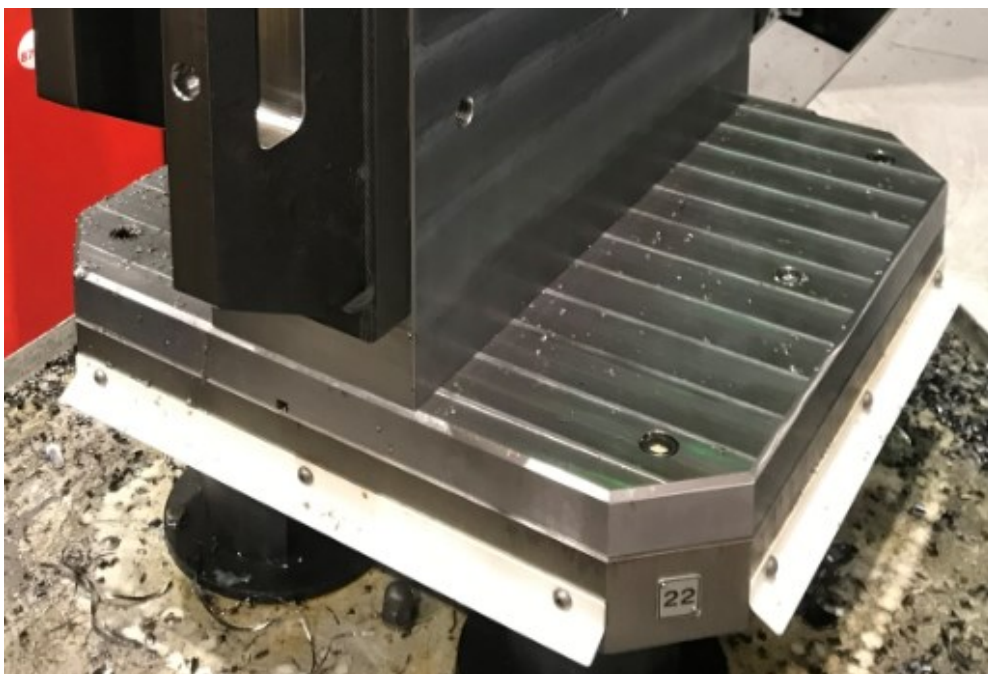
Tuotantosolut ovat yleensä itsenäisiä tuotantoyksiköitä. Myös joustava valmistusjärjestelmä on itsenäinen tuotantoyksikkö. Solu muodostaa itsessään yhden tuotannon kuormitustilan. Kuormitustilalla tarkoitetaan joustavan valmistusjärjestelmän solua, yksittäisen työstökoneen ympäristöä tai mahdollisesti kokoonpanoa varten rakennettua tilaa. Solusta tilataan tarvittavat tuotteet ja toimitetaan tarvittavana ajankohtana. Toiminta on rakennettava niin, että yhden henkilön poissaolo ei pysäytä tuotantoa. Tarkoituksena on, että ennen kuin joustavaa valmistusjärjestelmää ollaan ottamassa käyttöön, olisi hyvä huomioida aikaisemmat solutuotannot. (Pikkarainen 1999, 134.)

### **2.5.2 Paletti**

Paletilla tarkoitetaan työstökoneen alustaa, johon voidaan kiinnittää koneistuskeskuksen työkappale tai vaihtoehtoisesti koneistuskiinnitin, jolloin työkappale valmistetaan koneistuskiinnittimessä kiinnitettynä. Koneistuspaletin tarkkuus toistettavaa työtä tehdessä on  $\pm 0.02$  (mm) -  $\pm 0.01$  (mm). Kolmas mahdollinen vaihtoehto on kiinnittää paletin päälle erillinen levy, jonka päälle kiinnitetään muun muassa koneistuskiinnitin. Tämän kiinnitysratkaisun etuna on muunneltavuus, jolloin levyn yläpintaan on mahdollista koneistaa paikoittavia pintoja nollapistekiinnitysperiaatteella. Näin alkuperäiseen koneistuspalettiin ei tarvitse

tehdä muutoksia ja työkappaleen paikoitustarkkuus säilyy. (Aunio 1989, 128–129.)

Peruslevy voidaan asentaa kuvan kaksi edellyttämällä tavalla. Peruslevyssä voi olla myös kiinnitysreiät kiinnitintornin asentamista varten, kuten kuvassa 2 huomataan.



Kuva 2. Työpisteellä sijaitseva FMS-Paletti, johon on asennettu peruslevy (Kuva: Miika Karjunen).

Paletteja käytetään työkappaleiden kiinnittämisen lisäksi työkappaleen siirrossa ja varastoinnissa sekä työkappaleen työvaiheen tunnistuksessa. Palettia käytetään myös automatisoidun työkappaleen vaihdon toteutukseen, esimerkiksi teollisuusrobotilla varustetussa solussa. Paletilta vaaditaan erinomaista paikoitustarkkuutta. Lisäksi paletin on oltava helppo käsitellä ja tarpeeksi tukeva.

Nykyaikana paletteja myös liikutellaan työstökoneiden hyllystöhissiä hyödyntäen, jolloin paletilta vaaditaan laadukkaita lukitus- ja paikoituselimiä. Hyllystöhissin haarukka tarttuu paletin lukitus- ja paikoituselimiin, jolloin mahdollistetaan paletin liikuteltavuus. (Lehtimäki 2020, 45–46.) Nykyaikaiset FMS-järjestelmät

sisältävät varastointijärjestelmän, jolloin paletteja voidaan varastoida hyllystöhissien avulla odottamaan seuraavia työvaiheita. Näin on mahdollista liittää useita paletteja FMS-järjestelmän käyttöön.

### **2.5.3 Koneistustorni**

Koneistustorni on kiinnitin, joka voidaan liittää työstökoneen palettiin tai nollapisteikiinnitinjärjestelmälle. Kuvassa 3 vasemmalla on kuvattuna koneistustorni, jota kutsutaan myös nimellä palettitorni.

Palettitorni sisältää aina reikämatriisijärjestelmän, joiden perusteella määritellään työkappaleiden sijainti koneistustornissa. Reikämatriisijärjestelmä sisältää kierrereiät ja kierrereikien alkuosassa olevat tarkat ohjausreiät. Ohjausreiässä käytetään tyypillisesti toleranssia H7. Reikämatriisijako on yleensä tasajaolla mitoitettu, ja reikävälin sijainnin on oltava tarkasti mitoitettu, millä mahdollistetaan palettitorniin liitettävien kiinnittimien riittävä paikoitustarkkuus.

Kuvan 3 palettitorni koostuu kahdesta osasta, jotka ovat kiinnitinosa ja pohjaosa. Kiinnitinosa sisältää kaikki sivut, jotka ovat tarkoitettu työkappaleiden kiinnittämiseen. Pohjaosan ansiosta kiinnitintorni on yhteensopiva useiden koneistuskeskusten palettien kanssa. Yhteensopivuuden mahdollistaa tasajaolla oleva reikämatriisi ja kiinnitintorni paikoitetaan tarkasti palettijärjestelmälle pohjaosassa olevien ohjaintappien johdosta. Ohjausholkeissa käytetään yleensä toleranssia g6. Kuvassa 3 oikealla on kuvattuna myös esikoneistettu kiinnitintorni. (Lehtimäki 2020, 48.)



Kuva 3. Koneistutornit (Kuva: Lehtimäki 2020, 48).

#### 2.5.4 Nollapistekiinnitin

Nollapistekiinnittimiä käytetään, kun halutaan asemoida jokin levy aina samaan kohtaan työstökoneen nollapisteeseen nähden. Nollapistekiinnitin asennetaan koneistuskeskuksen palettijärjestelmälle ja tämän päälle asennetaan kiinnitettävä levy. Nollapistekiinnitystekniikan paikoitustarkkuudeksi luvataan jopa  $\leq 0,005$  mm. Valmistajakohtaiset tarkkuudet ilmoitetaan valmistajan toimesta. Nollapistekiinnitysjärjestelmät toimivat mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, tai sähköisesti. Myös yhdistelmällä toimivia järjestelmiä on saatavilla. (Reunanen 2011, 31–32.)

Nollapistekiinnitin sisältää vähintään kaksi kappaletta ohjaussyintereitä, jonka mukaan kiinnitettävä peruslevy asemoidaan. Peruslevy sisältää ohjaustapit, joiden paikoitustarkkuus on oltava nollapistekiinnittimen mukainen. Näin nollapistekiinnittimiä hyödynnettäessä, asennettavan peruslevyn paikka säilyy aina muuttumattomana, vaikka työtehtävä olisi toistuvaa. (Reunanen 2011, 31–32.) Peruslevynä on mahdollista käyttää mm. koneistuskiinnitintä ja myös koneistustorni on mahdollista asemoida nollapistekiinnitinjärjestelmälle (kuva 3).

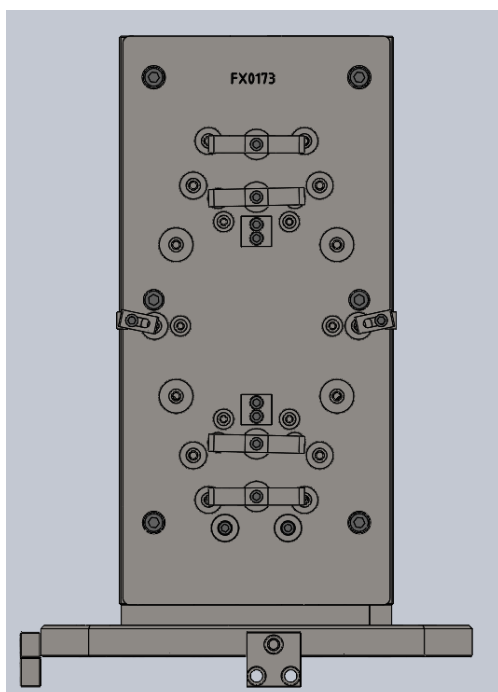


Kuva 3. Markkinoilta on saatavilla useita nollapistekiinnitys ratkaisuja. (Kuva: Gerardi SPA 2021, 9.5).

### 2.5.5 FMS-koneistuskiinnitin

Koneistuskiinnittimen tehtävä on paikoittaa koneistettava työkappale oikeaan asentoon. Kiinnittimen on paikoitettava riittävällä tarkkuudella koneistuskeskuk- sen ja työkalun nollapisteen kanssa. Näin voidaan taata, että myös kiinnittimeen asennettava työkappale asemoituu riittävän tarkasti loppukoneistusta varten. (Metalliteollisuuden keskusliitto 1989, 7.) Kuvassa 4 havainnollistetaan FMS-koneistustorniin liitetty koneistuskiinnitin, joka on asemoitu tarkasti sille tarkoite- tulle paikalle.





Kuva 4. FMS-koneistuskiinnitin koneistustornissa. (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).

Koneistuskiinnittimet on mahdollista asentaa myös suoraan paletille, jolloin kiinnittimet on hyvä suunnitella siten, että työkappaleiden kiinnitys on toteutettavissa paletin jokaiselle sivulle. Näin kiinnittämisen tuloksena työkappaleita valmistuu useita samanaikaisesti. Yleensä koneistuskiinnittimet suunnitellaan yhdelle työkappaleelle, mutta laadukkaalla kiinnitinsuunnittelulla mahdollistetaan kiinnittimen hyödyntäminen myös muihin osakokonaisuuksiin. Tällöin samalla kiinnittimellä voidaan koneistaa esimerkiksi valmistettavaan tuotteeseen liittyvät osat kokonaisuudessaan. (Aaltonen 1997, 234–235.)

## 2.6 Menetelmäkehitys

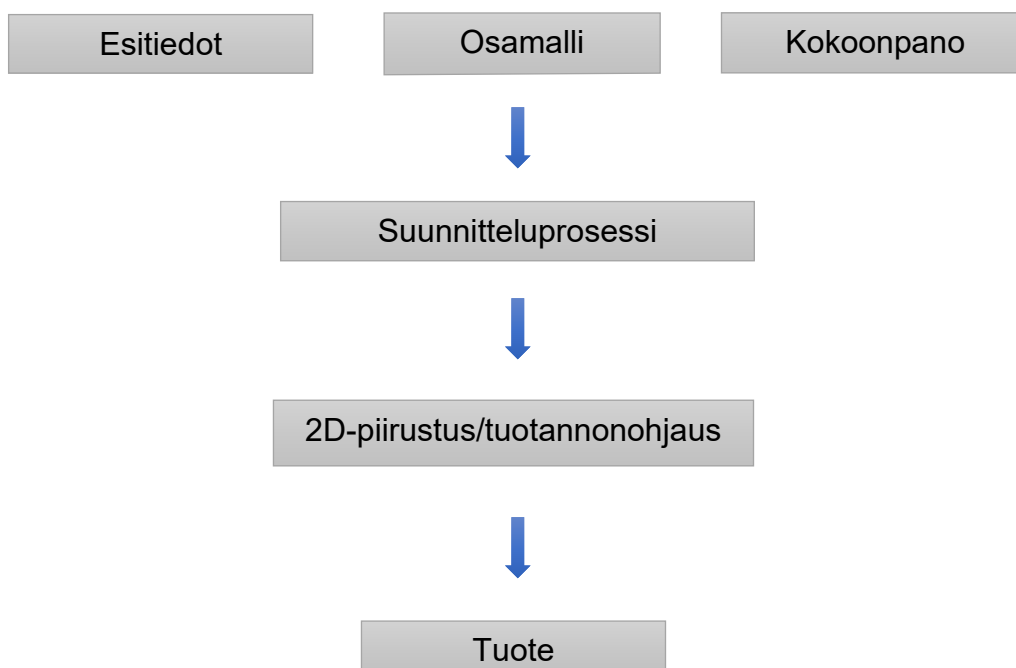
Menetelmäkehityksen rooli FMS-järjestelmässä on merkittävä kappaleiden valmistettavuutta suunniteltaessa sekä tuotteita valmistaessa. Menetelmäsuunnittelun sisältämän suunnittelutyön sekä erilaisten kiinnittimien ja kiinnitysjärjestelmien suunnittelun ansioista voidaan kehittää valmistuksen tuottavuutta ja valmistusprosessia kokonaisuudessaan. 3D-suunnittelu on tänä päivänä yksi olennainen osa menetelmäkehitystä.

### 2.6.1 Menetelmäsuunnittelu

Menetelmäsuunnittelu sisältää työnkulun työvälineiden suunnittelutyön lisäksi myös huomattavan määrän muita yksittäisiä sekä suurempia kokonaisuuksia, joilla vaikutetaan yrityksen kokonaistuottavuuteen merkittävästi. Menetelmäsuunnittelu laajalti katsottuna muistuttaa Haverilan ym. (2005, 488–490) mukaan tuotantojärjestelmän suunnittelua. Menetelmäsuunnitteluun kuuluu esimerkiksi suunnittelu, työpaikan ja työtavan suunnittelu, koneiden käyttötavan valinta, työryhmän työskentely sekä tuotantovälineiden valinta. Laadukkaalla työmenetelmien suunnittelulla vaikutetaan yrityksen kokonaistehokkuuteen ja tehokkaat työmenetelmät mahdollistavat tuotteen edullisen, nopean ja laadukkaan valmistamisen. Jotta työmenetelmien suunnittelusta saadaan kaikki hyöty irti, kannattaa uusien tuotteiden suunnittelutyö aloittaa tarpeeksi ajoissa ennen uuden tuotteen valmistuksen aloittamista. Näin luodaan menetelmäkehitykselle parhaat lähtökohdat ja yksilöllisille tuotteille mahdollistetaan tehokas valmistusprosessi. (Haverila ym. 2005, 488–490.) Lisäksi menetelmäsuunnittelun avulla kehitetään tuotannon työkaluja ja työstömenetelmiä jatkuvasti sekä luodaan tuotannossa oleville tuotteille laadukas ja nopea sisäänajo- ja valmistusprosessi. (Joensuun CNC-Machining Oy 2021)

### 2.6.2 3D-avusteinen suunnitteluprosessi

3D-mallinnuksen suunnitteluprosessi sisältää suunnittelutyötä, joka perustuu esitietoihin, kappaleiden osamalleihin ja kokoonpanoihin. Laadukkaiden esitietojen jälkeen suunnittelijan on helppo mallintaa yksi osamalli tai tarvittava määrä erilaisia osamalleja, joista luodaan kokoonpanotiedosto 3D-suunnitteluohjelmalla. Ilman laadukkaita esitietoja ei suunnittelijalla muodostu tarpeeksi laajaa kokonaiskuvaa tulevasta suunnitelmasta. Nämä kolme edellä mainittua osakokonaisuutta muodostavat kokonaisen suunnitteluprosessin. Osamalleista ja kokoonpanosta valmistetaan 2D-piirustukset ja näistä kirjoitetaan tiedot tuotannonohjausta varten. Lopputuloksena muodostuu valmis tuote. (Tuhola 2008, 54–55.) Kuvassa 5 on nähtävillä suunnitteluprosessi, jonka avulla on mahdollisuus päästä laadukkaaseen lopputulokseen tuotteen suunnittelun osalta.



Kuva 5. Suunnitteluprosessi (Tuhola 2008, 54).

3D-ohjelmien kokoonpanotiedostojen avulla saavutetaan suunnittelutyössä parhaat hyödyt. Tällöin komponenteista on rakentunut yksi kokonainen tuote tai tuotteeseen kuuluva osa-alue. 3D-kokoonpanoissa voidaan tarkastella kokonaisia koneita, koneen osakokonaisuuksia, mekanismeja, sekä näiden yhdistelmiä. Lisäksi kokoonpano antaa mahdollisuuden tutkia tuotteiden rakenteellisia ominaisuuksia lujuustarkastelun avulla. (Tuhola 2008, 98–99.) Myös menetelmäkehityksessä kokoonpanolla on suuri rooli.

### 3 Kartoitustyö: FMS-kiinnitintorni

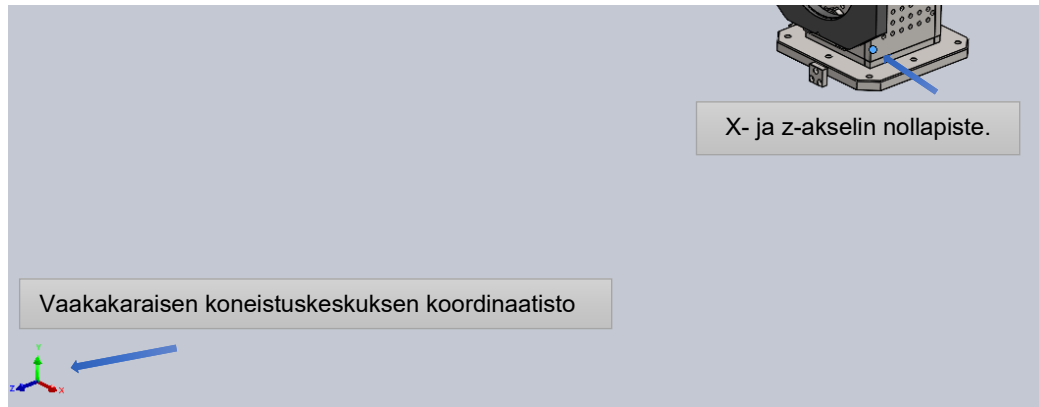
Opinnäytetyön työvaiheessa (luku 3) viitataan oman tutkimustyön lisäksi käytännön kokemuksista periytyviin tietoihin, jotka ovat muodostuneet FMS-järjestelmän parissa työskentelevien henkilöiden kuulemisella. Opinnäytetyössä on viitattu myös yritykseltä saatuihin tietoihin: osaamiseen, josta Joensuun CNC-Machining Oy:ssä on kokemusta yli kymmenen vuoden edestä.

Opinnäytetyössä tutkitaan tarkemmin kolmea metsäkoneteollisuuden tarpeisiin valmistettavaa osaa A, B ja C (liite 1 ja 2) sekä kyseisten tuotteiden tuoteperheeseen kuuluvia osia (D, E ja F). Tuotteiden geometriset muodot ovat massiivisia suhteutettuna yrityksen nykyisten kiinnitintornien geometriaan. Liian suuret geometriat rajoittavat paletin käyttösuhdetta, minkä vuoksi on tärkeää selvittää, voiko FMS-järjestelmän kapasiteettikäyttöastetta tehostaa menetelmäsuunnittelutyön avulla.

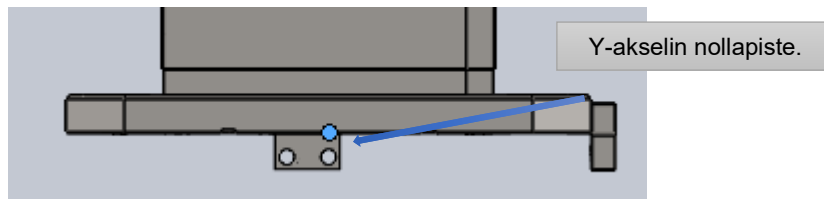
Paletin täysi käyttösuhde edellyttää, että jokaisella kiinnitintornin sivulla mahdollistetaan yhden tuotteen valmistaminen. Kiinnitintornin käyttötarkoitus luodaan aluksi vain opinnäytetyössä tutkittaville osille. Tarkoituksena on, että uuden tornin käyttöönotto vapauttaisi resursseja yrityksen muiden kiinnitintornien käyttöön.

Käytin työssäni Solidworks-2021 ohjelmaa, jonka avulla tutkin tuotteiden nykytilaa analysoimalla yrityksen järjestelmästä löytyviä tuotteiden 3D-asetustiedostoja. Tiedostot sisälsivät paletin aluslevyn, koneistustornin, koneistuskiinnittimet sekä kaikki kiinnitinelementit. Kiinnitintornissa oleviin koneistuskiinnittimiin oli liitettyä tutkittavat kappaleet ja tuloksena oli käytännön asetusta kuvaava täydellinen 3D-kuvanto.

FMS-järjestelmän työstökoneet ovat vaakakaraisia koneistuskeskuksia, joten 3D-asetustiedostot on asemoitu vaakakaraisen koneistuskeskuksen koordinaatiston mukaisesti. Kuvassa 6 nähdään, että vaakakaraisen työstökeskuksen nollapiste on määritelty x- ja z-akselin suunnassa tornin keskellä. Kuvassa 7 on näkyvillä y-akselin nollapiste, joka sijaitsee paletin aluslevyn alapinnassa.



Kuva 6. Tuotteen A 3D-asetustiedosto asemoituna vaakakaraisen työstökeskuksen koordinaatiston mukaisesti (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).



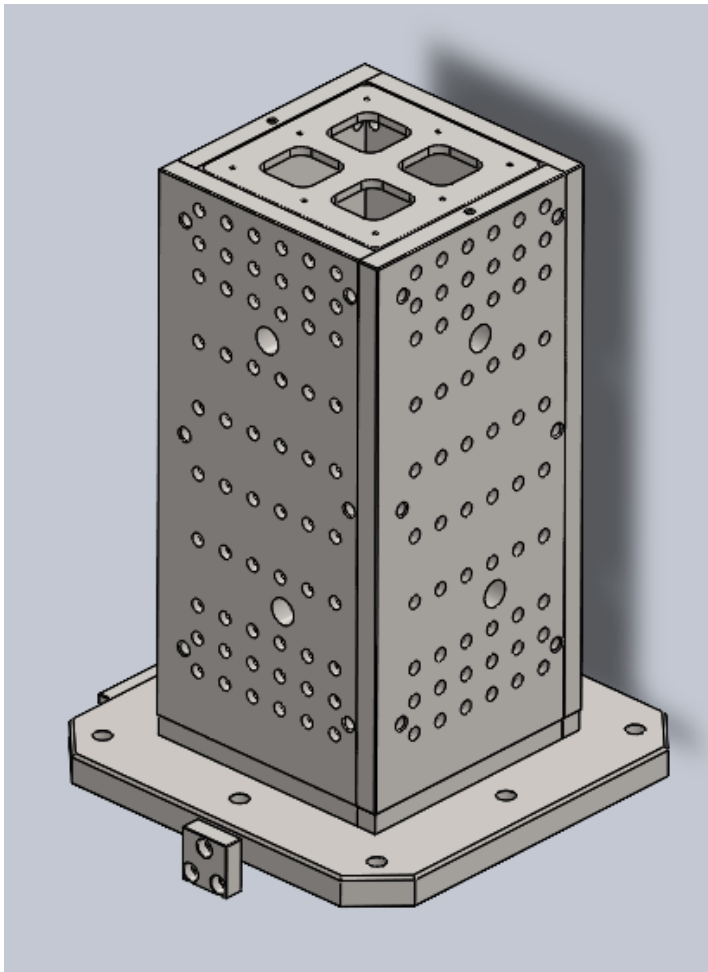
Kuva 7. Y-akselin nollapiste (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).

3D-visualisoinnin jälkeen vertasin kappaleiden valmistusprosessia FMS-solussa suoraan käytännössä. FMS-järjestelmän työstökoneille oli tehty työstöradat 3D-asetustiedostoon perustuen ja selvityksen jälkeen oli tiedossa tuotteen todenmukainen valmistusprosessi. 3D-suunnittelu, CAM-ohjelmointi sekä näiden työvaiheiden jälkeen tapahtuva sisäänajo oli toiminut hyvin kyseisessä valmistusprosessissa ja uuden kiinnitintornin valmistus aiotaan toteuttaa vastaavalla tavalla.

Tuotannosta saadun tiedon perusteella oli mahdollista selvittää uudelta kiinnitintornilta vaadittavat ominaisuudet, sekä visio siitä, millainen kiinnitintornin geometria tulisi olla, jotta FMS-järjestelmän kehitystyölle olisi vaadittuja perusteita. Tarvittavien ominaisuuksien perusteella tein työssäni uuden kiinnitintornin esisuunnitelun Solidworks 2021-ohjelmalla ja kartoitin tulevan kiinnitintornin geometrian mahdollisimman todenmukaiseksi ja tutkin tuotteiden A, B, C avulla uuden kiinnitintornin hyötyjä ja haittoja.

### 3.1 Koneistustornin lähtötilanne

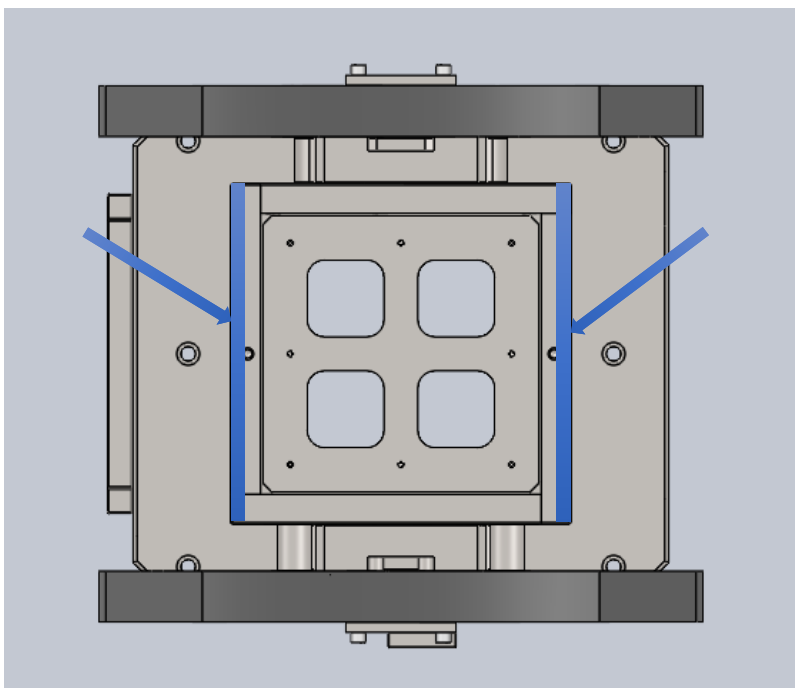
Yrityksellä on käytössä tällä hetkellä kaksi geometrialtaan erilaista neljän sivun kiinnitintornia, joita käytetään säännöllisesti tuotannossa erilaisten tuotteiden koneistamiseen. Lisäksi yrityksellä on useita, vain tiettyä työtä varten suunniteltuja kiinnitintorneja. Kuvassa 8 on opinnäytetyön lähtötilanteen arvioinnissa käytetty neljän sivun kiinnitintorni. Tämän tornin geometrian pohjalta kehitän uuden kiinnitintornin geometriaa vastaamaan kehittämistyön tavoitteita. Samalla tulen vertaamaan opinnäytetyön tuloksia neljä- ja kuusisivuisen kiinnitintornin välillä, jotta nähdään, minkä verran uusi kiinnitintorni parantaa paletin käyttösuhdetta, eli tuotavuutta ja tehokkuutta.



Kuva 8. Neljän sivun koneistustorni (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).

### 3.2 Nykytila

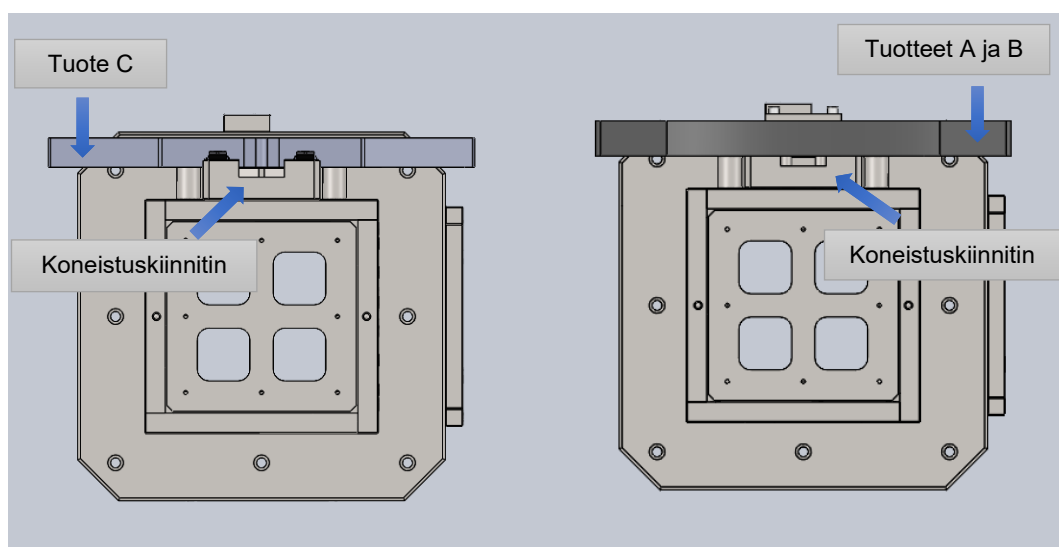
Nykytilassa tuotteita A, B ja C koneistetaan neljän sivun kiinnitintornilla (kuva 8). Kappaleet kiinnitetään kiinnitintornin sivujen keskelle, jotta päästään mahdollisimman tukevaan kiinnitykseen koneistuksia ajatellen. Kappaleita valmistuu nykyisellä menetelmällä vain kaksi kappaletta kerralla, koska tuotteiden ulkomitat tulevat huomattavan määrän yli kiinnitintornin sivuista. Tuotteet ylittävät tornin leveyden vähintään 170 mm molemmista suunnista. Näin ollen tornin kaksi sivua jäävät täysin käyttämättä tilan puutteen sekä kolaririskin vuoksi, ja paletin käyttösuhte on vain puolet tavoitellusta täyden kiinnitintornin kapasiteetista (kuva 9). Kahden kappaleen valmistus kiinnitintornissa tarkoittaa myös, että kappaleiden lataus- ja purku on tehtävä kahteen kertaan.



Kuva 9. Kiinnitintornin käyttämätön kapasiteetti ylhäältä kuvattuna. (Kuva: Joensuu CNC-Machining Oy).

Tavoitteiden mukaisen uuden kiinnitintornin osalta pyrkimyksenä on parantaa käyttösuhdetta kolmanneksella nykytilaan verrattuna. Tämä toteutetaan suunnitelmalla uusi kiinnitintorni niin, että sen geometria mahdollistaa kolmen tuotteen lataus- ja purkutyön samalla kertaa paletin vaihtoasemassa.

Lähtötilanteessa kappaleiden A, B ja C kiinnitykset oli toteutettu kahdella koneistuskiinnittimellä, jotka oli kiinnitetty tarkoilla M12h7-olakepulteilla koneistustorniin niille tarkoitetuille paikoille. Kuvassa 10 vasemmalla nähdään tuotteen C kiinnitysratkaisu. Tuotteelle C oli valmistettu omat tuotekohtaiset koneistuskiinnittimet. Tuotteille A ja B soveltuivat identtiset koneistuskiinnittimet, ja kiinnitysratkaisu on nähtävillä kuvassa 10 oikealla. Samoista koneistuskiinnittimistä johtuen tuotteiden A ja B sijainti pysyi muuttumattomana paletin nollapisteeseen nähden, vaikka asetusta vaihdettaisiin tuotteiden välillä.



Kuva 10. Tuotteiden A, B ja C kiinnitysratkaisu lähtötilanteessa (Kuva: Cnc-Machining Oy).

Kappaleet asettuivat koneistuskiinnittimiin hyvin ja tuotteiden kiristys oli toteutettu kiinnittimissä valmiina olevilla OK-Vise-matalakiinnittimillä. Työohjeet koneistuskiinnittimien ja työkappaleiden asentamiseen löytyivät yrityksen tietojärjestelmästä ja olivat helposti saatavilla FMS-järjestelmästä sähköisenä versiona kaikille työpisteillä työskenteleville henkilöille.

Koska olemassa oleva kiinnitysjärjestelmä on jo valmiiksi laadukas, uuden kiinnitintornin esisuunnitteluvaiheessa huomioin vanhojen koneistuskiinnittimien sopivuuden uudelle kiinnitintornille. Näin pystytään hyödyntämään hyväksi todettua kiinnitysjärjestelmää uudessa tornissa ja ylimääräistä työaikaa ei kulu koneistuskiinnittimien suunnitteluun, valmistukseen, eikä sisäänajoprosessiin.



Tuotteiden CAM-ohjelmoinnit on suunniteltu niin, että samalla koneistusohjelmalla valmistetaan kaikki kiinnitintornissa olevat tuotteet lisäämällä vain parametriohtelma tornin käännölle työstöohjelman väliin. Tällä tarkoitetaan työstökoneen parametrikoodia, joka kääntää FMS-paletin 180 astetta koneen koneistusasemassa ja käännön seurauksena työstökone aloittaa alkuperäisen ohjelman alusta ja koneistaa toisen kappaleen valmiiksi.

Vertailin tuotteiden valmistusmääriä tuotannonohjausjärjestelmästä saadun tiedon perusteella ja tutkin kappaleiden valmistusaikoja. Valmistusaika sisälsi lataus- ja purkutyön, FMS-järjestelmän hissien työskentelyajan sekä koneistustyön. Taulukossa 1 on nähtävillä tuotteiden A, B ja C lähtötilanne.

Kiinnitintornin täysi kapasiteetti on kaksi tuotetta ja tuotteiden lataustyön osuus oli 2.5 minuuttia yhtä tuotetta kohden. Lataustyövaiheen jälkeen FMS-järjestelmä kuljetti tuotteet latausasemasta koneistusasemalle ja aikaa kului noin yksi minuutti. Tuotteiden koneistustyövaihe kulutti aikaa kymmenen minuuttia. Koneistuksen jälkeen järjestelmä kuljetti tuotteet takaisin lataus- ja purkuasemalle odottamaan tuotteiden purkutyövaihetta. Purkutyö sisälsi tuotteiden viimeistelyn, joten purkuajan osuus oli hieman lataustyövaihetta pidempi. Purkuajaksi muodostui neljä minuuttia yhtä tuotetta kohden.

Työstökone FMS	Kappale määrät (kpl)	Sarja (kpl)	Kappaleen vaihto aika (min)	Lastuamisaika (min)	Purkuaika (min)	Paletti aika latausasemasta koneistusasemalle (min)
Vanha kiinnitintorni	2	48	5	10	8	1

Taulukko 1. Tuotteiden A, B ja C lähtötilanne.

### 3.3 Karkeasuunnittelu

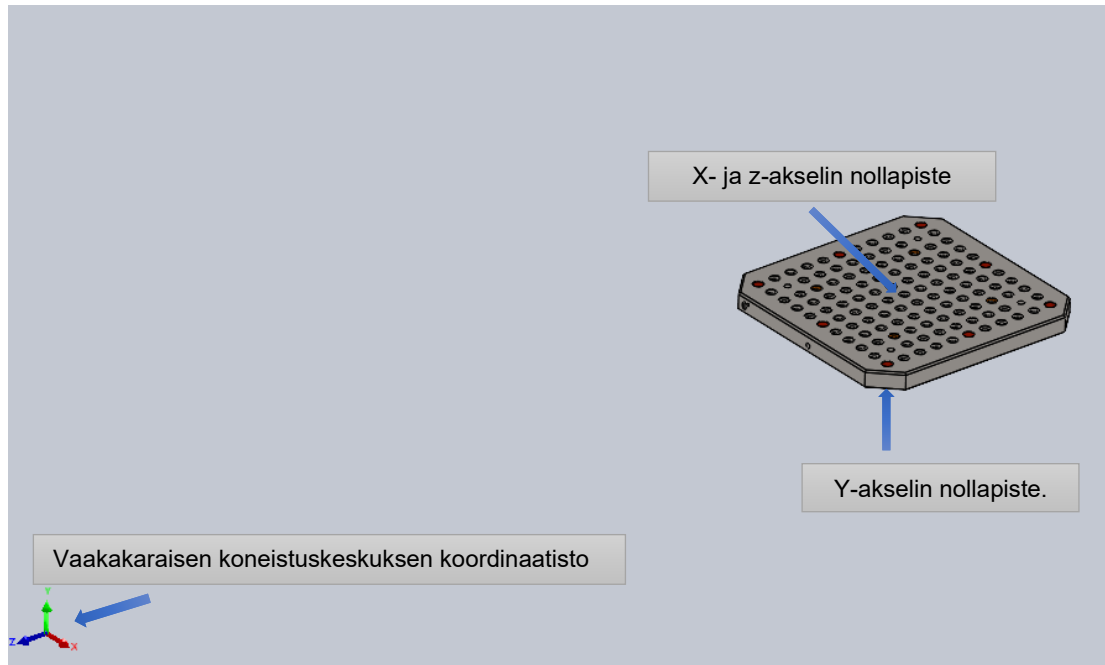
Osio 3.3 sisältää uuden FMS-kiinnitintornin CAD-suunnittelu vaiheen. Prosessissa kuvataan uuden kiinnitintornin suunnittelua ja tornin valmistettavuutta. Luovassa tutkitaan myös tuotteiden A, B ja C valmistettavuutta ja kiinnitintornin mahdollisuutta saavuttaa täyden kapasiteetin käyttöaste.

### 3.3.1 Tuotteiden analysointi

Kartoitin uuden tornimallin hyödyllisyyttä piirtämällä CAD-ohjelmalla karkean 3D-sketchin uudesta kiinnitintornista. Työvaiheen tarkoituksena oli käyttää 3D-suunnittelua kehitystyön apuvälineenä ja todeta tulevan koneistustornin geometrian toimivuus sallituissa rajoissa.

Työn aloitusvaiheessa oli jo tiedossa uuden tornimallin alustava geometria. Ensimmäinen 3D-luonnos muodostui kolmesivuisesta sketsistä. 3D-mallin päämitat suunnittelin FMS-paletin mittoja hyödyntäen: Sketsin oli mahduttava paletin sisäpuolelle. Kolmesivuisen koneistustornin geometria oli jo muodostunut yrityksen aikaisempien vuosien pohjalta ja tämän seurauksena lähdin kehittämään koneistustornin visioita pidemmälle.

Ensimmäisen karkean 3D-mallin valmistumisen jälkeen loin uuden kokoonpanotiedoston kiinnitintornille. Kokoonpanotiedoston pääkomponentiksi etsin yrityksen tietojärjestelmästä valmiin 3D-mallin FMS-paletille kiinnitettävästä aluslevystä. Paletin aluslevy oli liitettävä vaakakaraisen työstökeskuksen koordinaatistosta katsottuna keskelle, jossa y-rajana on aluslevyn alapinnassa ja x sekä z ovat paletin keskellä (kuva 11). Aluslevylle oli helpompaa toteuttaa suunnitelmaa ja sain helpommin selville, missä geometrian rajoissa uuden tornin mittojen on pysyttävä, jotta uuden tornin toimivuus olisi mahdollista käytännön tilanteissa. Kuvassa 11 on nähtävillä vaakakaraisen koneistuskeskuksen koordinaatisto sekä paletin aluslevy origon keskelle liitettynä.



Kuva 11. Koordinaatisto ja paletin aluslevy (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).

Paletin aluslevyn asentamisen jälkeen liitin uuden kiinnitintornin 3D-tiedoston paletin aluslevyn päälle. Liittäminen tapahtui niin, että tornin alapinta oli liitettävä paletin aluslevyn yläpinnan kanssa samaan tasoon ja x sekä z- suunta oli oltava paletin keskellä. Työni kannalta tämä työvaihe oli merkittävä, koska oikein liitetty kiinnitintorni loi mahdollisuuden tutkia kiinnitintornin toimivuutta työstökooneen sallimissa rajoissa. Näin oli myös mahdollista selvittää, voidaanko tuotteita A, B, ja C valmistaa kyseisessä tornissa.

Liitoksien jälkeen etsin tutkittavien tuotteiden A, B ja C 3D-mallit tietojärjestelmästä ja liitin ne tekemääni kiinnitintornin kokoonpanoon. Tässä vaiheessa hahmottui kiinnitintornin tuleva geometria: tornin geometriaa oli levitettävä niin, että jokaiselle tornin sivulle oli mahdollista työkappale. Kappaleiden massiivinen geometria loi haasteita löytää oikeanlainen muotoilu kiinnitintornille.

Kiinnitintornille muodostui lopulta kuusikulmainen geometria esisuunnittelun tuloksena. Kuusikulmaisessa mallissa oli mahdollista mahduttaa tutkittavat tuotteet kokoonpanotiedostoon sallituissa rajoissa valmistuksen näkökulmasta.

Kartoituksessa oli otettava huomioon FMS-paletin x-suuntainen raja, jonka sisällä tornin oli mahduttava pyörimään. Pyörintahalkaisija oli toteuduttava, vaikka torniin oli liitettynä yrityksen standardilevyllä olevat koneistuskiinnittimet, tutkittavien tuotteiden yksilölliset koneistuskiinnittimet sekä tutkittavat tuotteet. Uuden kiinnitintornin käyttöönotto ei olisi mahdollista, jos geometriaa ei voida toteuttaa työstökoneen vaatimissa rajoissa.

### **3.3.2 Täysi kapasiteetti**

Karkean 3D-suunnittelun tuloksena sain muodostettua kuusikulmaisen kiinnitintornin. Tornin geometria antoi mahdollisuuden tutkia, voidaanko koneistuskiinnitin liittää kiinnitintornin kaikille kuudelle sivulle saavuttaen täyden kapasiteetin käyttö. FMS-järjestelmän toiminta perustuu koneistuskiinnittimien tuomaan hyötyyn ja näin ollen koneistuskiinnittimien on käytävä myös kuusisivuiseen kiinnitintorniin. Tuotetta A, B ja C tutkiessani sain selville, että koneistuskiinnitin voidaan liittää kolmelle sivulle.

Tutkiessani täyttä käyttöastetta selvitin CAD-ohjelman avulla mahdollisuutta muuttaa tornin geometriaa niin, että torniin pystytään liittämään koneistuskiinnitin kuudelle sivulle ja tornin geometria pysyisi sallituissa rajoissa muutoksista huolimatta. Tämä työvaihe toteutui tuomalla 3D-mallit kiinnittimistä kokoonpanotiedostoon ja levittämällä hieman tornin geometriaa toimivammaksi.

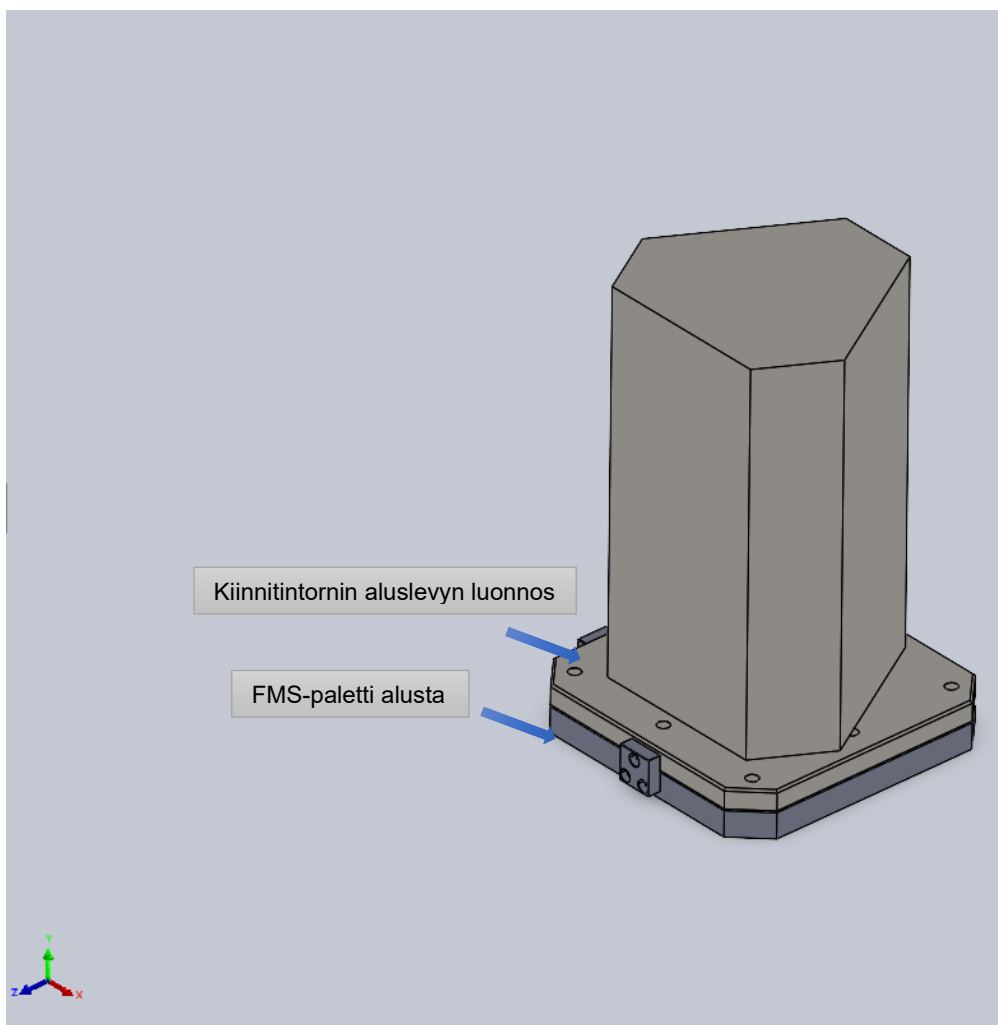
Geometrian muutoksen jälkeen kiinnitintorniin oli mahdollista liittää koneistuskiinnittimet kiinnitintornin kaikille kuudelle sivulle, mutta tietyin rajoituksin: FMS-järjestelmässä olevalle paletille on annettu valmistajan toimesta toimintakohtaiset rajat, jonka sisällä koneen kaikki toiminta tapahtuu. Toimintarajan ylittäessä sallitun arvon, voi paletin toiminta estyä tai palettiin kiinnitettyt osat voivat törmätä työstökoneessa kiinteinä oleviin seinämiin.

Uuden kiinnitintornin kohdalla analysointi perustui x-suuntaisen toimintarajan tutkimiseen. X-suunnan katsotaan tarkoittavan myös FMS-paletin maksimaalista pyörintähalkaisijaa paletin origosta mitattuna. Toimintakohtaisen rajan vuoksi selvitin kiinnitintornin pyörimissäteen CAD-ohjelmassa kaikille tuotteille A, B ja C uudelleen. Tuotteen B kohdalla geometria loi haasteita toimintakohtaisen rajan sisällä toimimiselle, minkä vuoksi tornimallin geometriaa ei ollut enää suotuisaa suurentaa.

## 4 Tulokset

Työni tavoitteena oli kartoittaa uuden kiinnitintornin käyttöönoton hyödyt ja haitat. Tutkimuksen perusteella löytyi useita etuja ja jonkin verran haasteita kuusisivuisen kiinnitintornin käyttöönotolle. Kartoitustyön onnistumisen vaatimuksena oli muodostaa 3D-suunnittelun tuloksena kokoonpanotiedosto, joka vastaa geometrialtaan tulevaa FMS-järjestelmään liitettävää kiinnitintornia. Ilman esisuunnitteluvaihetta olisi ollut mahdotonta tutkia kiinnitintornin etuja ja haasteita. Kuvassa 12 nähdään esisuunniteltu kuusisivuinen kiinnitintorni, joka on kiinnitetty FMS-järjestelmän paletti alustan päälle. Kuvassa on myös nähtävillä hahmotelma uudeltaisesta kiinnitintornin aluslevystä, joka lopullisessa suunnittelutyössä suunniteltaisiin vain kyseisen kiinnitintornin käyttöön. Esisuunnitteluvaiheen ansioista oli mahdollista selvittää seuraavia asioita:

1. Soveltuuko uusi kiinnitintorni kohdeyrityksen FMS-järjestelmälle?
2. Kehittääkö uusi kiinnitintorni käyttöastetta ja läpimenoaikaa?
3. Onko kiinnitintornilla mahdollista valmistaa kolmea samanlaista tuotetta kerralla sekä mahdollistetaanko kiinnitintornilla tuotteiden A, B, C, D, E ja F valmistaminen?
4. Voidaanko uudessa kiinnitintornissa hyödyntää jo ennestään kohdeyrityksen käytössä olevia koneistuskiinnittimiä?
5. Mahdollistetaanko kiinnitintornin täysi kapasiteetti kuuden sivun osalta?



Kuva 12. Esisuunnittelun tuloksena muodostunut kuuden sivun kiinnitintornin luonnos FMS-järjestelmän palettialustalle kiinnitettynä (Kuva: Miika Karjunen).

Esisuunnittelun tulokset on tallennettu yrityksen järjestelmään ja tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa. Karkeasuunnitteluvaiheen pyrin toteuttamaan niin, että sekä 2D että 3D-tiedostoja pystytään hyödyntämään myös mahdollisessa toteutusvaiheessa.

#### 4.1 Käyttöaste

Lähtötilanteessa tuotteita A, B ja C valmistettiin neljäsisivuisella kiinnitintornilla. Tuotteita oli mahdollista valmistaa kaksi kappaletta kerralla. Käyttöasteena tämä oli 50 % tavoitellusta täydestä käyttöasteesta. Uudella kuusisivuisella kiinnitintornilla tuotteita A, B ja C käytetään kolmella sivulla ja tuotteita on mahdollista valmistaa kolme kappaletta.

Uuden kiinnitintornin käyttöönotto kehittää FMS-solun käyttöastetta 33 prosenttia, mahdollistaen kolmen kappaleen valmistamisen samanaikaisesti kahden kappaleen sijasta. Näin myös palettiaika kasvaa, ja tällöin työstökone on kattavammin työstökäytössä.

Taulukossa 2 eritellään uuden kiinnitintornin tuomat hyödyt FMS-hyllystöhissin käyntikerroille 48 kappaleen sarjakoossa. 48 kappaleen sarjassa FMS-paletti käy tuotteiden vaihtoasemassaan noin 16 kertaa, vähentäen käyntikertoja kahdeksan käynnin verran lähtötilanteeseen verrattuna. Näin saadaan pienennettyä FMS-hyllystöhissin kuormitusta. Tuloksena nähdään myös, että jos käyttösuhdetta voidaan nostaa 33 prosentilla kahdesta kappaleesta kolmeen kappaleeseen, hyllystöhissin kuormitus pienenesi myös 33 prosenttia tuotesarjaa kohden.

Työstökone (FMS)	Kappale määrät (kpl)	Sarja (kpl)	FMS-hyllystöhissin toiminta (krt/sarja)
Neljän sivun kiinnitintorni	2	48	24
Kuuden sivun kiinnitintorni	3	48	16

Taulukko 2. FMS-hyllystöhissin toimintakerrat tuotteille A, B ja C.

## 4.2 Läpimenoaika

Selvitin uuden kiinnitintornin vaikutukset tuotteiden A, B ja C läpimenoaikaan Microsoft Excel ohjelmalla (Taulukko 3). Taulukossa vertaillaan läpimenoaikoja vanhan neljäisivuisen- ja uuden kuusisivuisen kiinnitintornin välillä neljänkymmenen kahdeksan kappaleen sarjalle. Mitattuja suureita ovat:

$N = \text{kappalemäärä}$

$Sk = \text{sarjakoko}$

$Lt = \text{latausaika}$

$Pat = \text{palettiaika latausasemasta koneistusasemalle}$

$Ltt = \text{lastuamisaika}$

$Pt = \text{purku aika}$

Neljän sivun kiinnitintornilla yhden tuotteen (A, B, C) keskimääräinen lataustyö kuluttaa työaika 2.5 (min.) ja purkutyöhön kuluva aika on 4 (min.). Purkutyöaika sisältää tuotteen viimeistelyn. Palettiaika latausasemasta koneistusasemalle on 1 (min.) ja yhden tuotteen keskiarvoinen koneistusaika on 10 (min.). Kiinnitintornissa valmistetaan kaksi kappaletta. Laskujen tuloksena nykyisellä neljäisivuisella kiinnitintornilla valmistettuna 48 kappaleen tilauksen läpimenoajaksi muodostuu yhteensä 840 (min.).

Uuden kiinnitintornin osalta laskuissa käytetään samoja tehollisia työaikoja ja kaava pysyy samana, mutta tuotteiden määrät muuttuvat kolmeen kappaleeseen kahden sijasta. 48 kappaleen tilauksen läpimenoaika uudella kiinnitintornilla valmistettuna on 824 (min.).

Laskujen kaavat ovat:

$$\frac{sk}{n1} * (lt * n1 + pt * n1 + lat * n1 + 2 * pat) - \frac{sk}{n2} * (lt * n2 + lt * n2 + lat * n2 + 2 * pat)$$

Kaava 1

$$\frac{48}{2} * (2.5 * 2 + 4 * 2 + 10 * 2 + 2 * 1) - \frac{48}{3} * (2.5 * 3 + 4 * 3 + 10 * 3 + 2 * 1) = 16 \text{ min}$$

Kaava 2



Tuloksista voidaan päätellä, että uuden kiinnitintornin käyttöönotolla saadaan 48 kappaleen sarjakoolle 16 (min.) parannusta aikaisempiin läpimenoaikoihin verrattuna. Tehollinen läpimenoaika paranee 2 prosenttia (taulukko 3). Vuositasolla parannus on merkittävä, koska esimerkiksi 16 \* 48 kappaleen valmistusmäärillä saadaan läpimenoaikaan parannusta jo 256 minuuttia. Suurin läpimenoaikaan vaikuttava tekijä on FMS-hyllystöhissin toimintakertojen väheneminen 24:sta kerrasta 16:sta kertaan. Tällöin pienennetään FMS-hyllystöhissin kuormitusta sekä voitetaan ajassa, joka kuluu paletin kuljettamisesta latausasemasta koneistus- asemalle. Taulukossa 3 on Microsoft Excelillä varmennetut tulokset.

Työstökone (FMS)	Kappale määrät (kpl)	Sarja (kpl)	Kappaleen vaihto aika (min)	Lastuamisaika (min)	Purkuaika (min)	Palettiaika latausasemasta koneistus- asemalle (min)
Neljän sivun kiinnitintorni	2	48		2,5	10	4
Kuuden sivun kiinnitintorni	3	48		2,5	10	4
	Tulokset 50 kpl (min)	Tulokset 50kpl (h)				
Neljän sivun kiinnitintorni	840	14,0				
Kuuden sivun kiinnitintorni	824	13,7				
	<b>Tehollinen läpimenoaika paranee (min)</b>					
	16					
	2 %					

Taulukko 3. Tuotteiden A, B ja C laskennallisen läpimenoajan tulos sarjakoolle 48.

### 4.3 Tuotteet A, B ja C

Esisuunnitteluvaiheessa CAD-ohjelman avulla tornin raakaversio suunniteltiin niin, että kiinnitintornin varsinaisessa suunnittelutyössä olisi mahdollista hyödyntää yrityksen hyväksi todettuja ratkaisuja, eli osia, joita on käytetty myös muissakin yrityksen kiinnitintorneissa. Näin yrityksen valmiit koneistuskiinnittimet, kiinnitinelementit sekä valmistukseen liittyvät komponentit sopivat myös uudelle kiinnitintornille. Myöskään työaika ei kulu ylimääräiseen toissijaiseen suunnittelu- ja valmistustyöhön.

Työstökoneen koneistusohjelmia tehdessä on huomioitava tornin kuusikulmainen geometria. Tornin kaikille sivuille on määritettävä parametrikoodi erikseen ja lisättävä se työstökoneen ohjelman loppuun, näin tornilla mahdollistetaan täy-

den kapasiteetin koneistukset. Parametrikoodin ansioista työstökoneen on mahdollista kääntää palettia koneistusasemassaan. Lähtötilanteeseen verrattuna tilanne poikkeaa huomattavasti, koska uuden kiinnitintornin kääntökulmat eivät ole kaikilta sivuilta yhtä suuria.

Selvitin opinnäytetyön aikana yrityksen FMS-järjestelmän parissa työskentelevien henkilöiden kanssa tuotteiden A, B ja C valmistettavuutta. Selvityksessä oli huomioitava FMS-järjestelmään liitetyn MAZAK HCN-6800-koneistuskeskuksen toimintakohtaiset rajat, jotka ovat 1050 (mm) x-akselin suuntaan ja y-akselin suuntaan 900 (mm). Opinnäytetyön aiemmissa luvuissa on kerrottu FMS-paletin toimintakohtaisesta rajasta, mutta tuotteiden koneistusohjelmien mahdollistamiseksi oli tutkittava myös koneistuskeskuksen toimintakohtaisia rajoja. FMS-koneistuskeskuksien koneistusalueet ovat nähtävillä kuvassa 13.

#### FMS-koneet

	Mazak HCN 6800 II	Mazak HCN 6800
Valmistusvuosi	2014	2018
Konetyyppi	Koneistuskeskus	Koneistuskeskus
Ohjaus	Mazatrol Matrix Z	Mazatrol Smooth
Akseleiden lukumäärä	3+1	3+1
Koneistusalue (mm)	X 1050, Y 900, Z 980	X 1050, Y 900, Z 980
Palettikoko (mm)	630 × 630	630 × 630
Työkalupaikkojen määrä	80	160
Ohjelmointi	GibbsCAM/MasterCAM	GibbsCAM/MasterCAM
Paletin enimmäispaino (kg)	1 500	1 500
Vahvuudet	Joustavat eräkoot	Joustavat eräkoot
Erikoisuudet	Kytkeä FMS-järjestelmään, pyöröpyötä 0,001 asteen jaolla	Kytkeä FMS-järjestelmään, pyöröpyötä 0,001 asteen jaolla

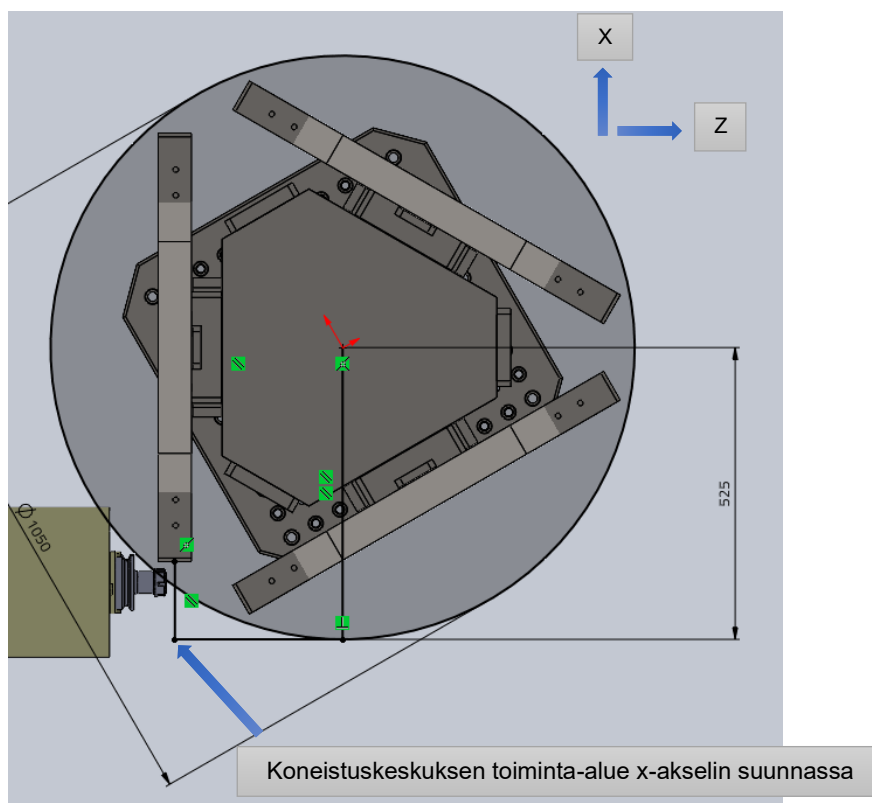
Koneistusalueet



Kuva 13. Uuden kiinnitintornin on sovellettava FMS-koneistuskeskuksille (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy 2021, 7).

Tuloksista selvisi, että tuotteille A, B ja C on mahdollista ohjelmoida CAM-työstöradat ja tuotteet on mahdollista valmistaa uudella kiinnitintornilla kiinnitetynä. Parametrikoodin lukuarvo tuotteita A, B ja C valmistettaessa on 120 astetta: edellyttäen, että ensimmäisellä tornin sivulla sijaitseva tuote koneistetaan parametrikoodilla 0. Positiivisena asiana kartoituksessa selvisi, että koneistus-

keskuksen toiminta-alue ulottui kauemmaksi kuin FMS-paletin toimintakohtainen raja. Kuva 14 kertoo tuotteen B hyvän valmistettavuuden. Tuotteen B geometria oli tutkittavista tuotteista suurin.



Kuva 14. Tuotteen B valmistettavuus (Kuva: Miika Karjunen).

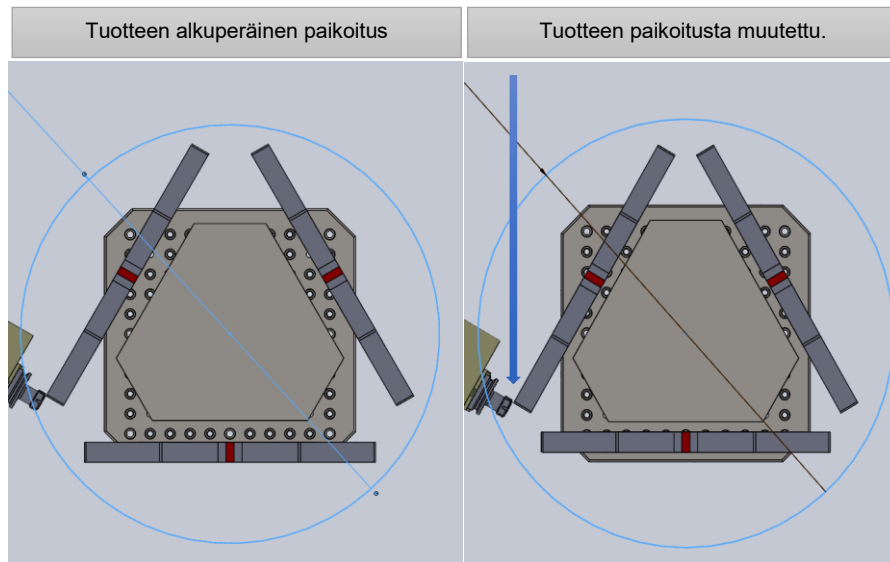
Tornin suunnittelun- ja valmistuksen näkökulmasta uuden tornin kehitystyö on kartoituksen perusteella mahdollista toteuttaa. Tämän kiinnitintornin käyttöönotto mahdollistaa tuotteiden A, B ja C valmistamisen ja tuo todistetusti etua yritykselle tuottavuuden kasvamisen (33 %) avulla.

#### 4.4 Tuotteet D, E ja F

CAD-ohjelman perusteella tuoteperheen osat D, E ja F ovat myös mahdollista valmistaa uudella kiinnitintornilla. Tutkimuksessa selvisi, että tuotteet ovat kokoluokaltaan samansuuruisia tuotteiden A, B ja C kanssa ja FMS-järjestelmän pyörimishalkaisijan puolesta tuotteet pysyvät toiminnallisissa rajoissa.

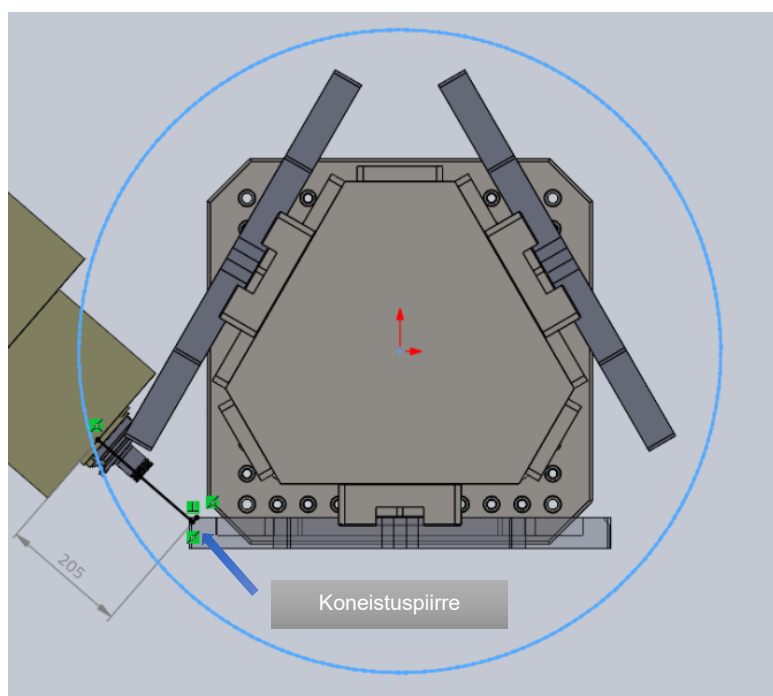
Tuoteperheen tuotteiden koneistuspiirteiden osalta havaittiin kuitenkin eroavaisuuksia, joten muutokset vaativat menetelmäsuunnittelun osalta tarkempaa tarkastelua. Koneistuspiirteiden osalta suurimpina muutoksina oli tuotteiden sivujen koneistus valmistuspiirustuksen vaatimuksen mukaisesti.

Kuvassa 15 vasemmalla on havainnollistettu tuotteen D geometria alkuperäisen valmistettavuus suunnitelman mukaisesti. Valmistettavuuden osalta tuotteen geometria on haastava ja haasteellisuuden vuoksi analysoin työssäni myös mahdollisia ratkaisuja. Kuvassa 15 oikealla on havainnointi mahdollisesta ratkaisusta. Ratkaisu on suunniteltu niin, että tuotteen koneistuskiinnintä muokataan matalammaksi, jonka johdosta tuotteen sijainti muuttuu paletin nollapisteeseen nähden, tuoden pelivaraa koneistukselle.



kuva 15. Tuotteen D analysointi (Kuva: Miika Karjunen).

Tuotteen E kohdalla ongelmaksi muodostui ylimääräinen koneistuspiirre. Koneistus piirrettä ei voida valmistaa nykyisellä työkalukapasiteetilla. Uuden kiinnittintornin tapauksessa tämä oli ongelma ja tulee rajoittamaan uuden kiinnittintornin käyttöä niiltä osin, joissa koneistukset tapahtuvat tornin käännöllä. Kuvassa 16 on havainnollistettu, että tuotetta E ei ole mahdollista valmistaa valmistuspiirustuksen edellyttämällä tavalla.

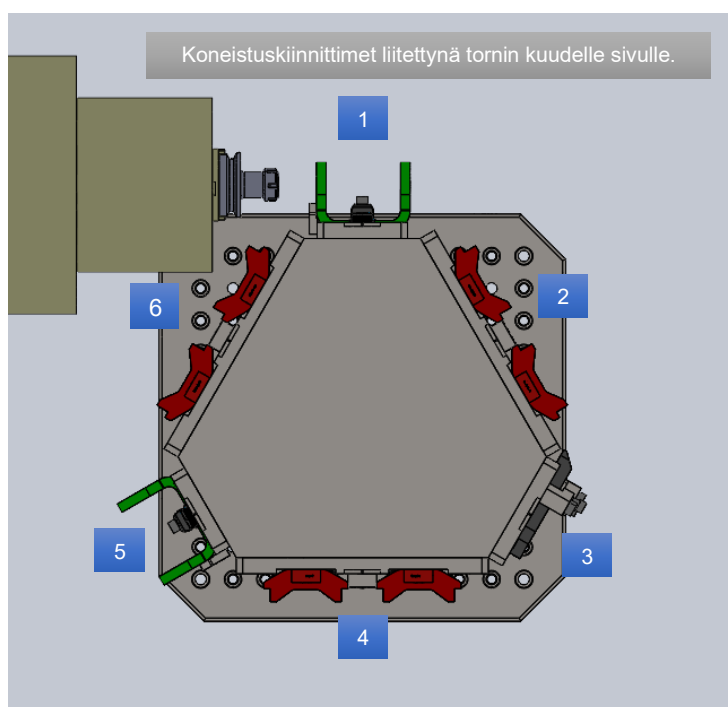


kuva 16. Tuotteen E analysointi (Kuva: Miika Karjunen).

#### 4.5 Täysi kapasiteetti

Opinnäytetyöprosessissa selvisi, että kuusisivuisella kiinnitintornilla olisi mahdollista koneistaa kuudella sivulla tietyin rajoituksin. Koneistettaessa pieniä tuotteita edestäpäin z-akselin suuntaisesti, esimerkiksi jyrsintä- ja poraustyökiertoja käyttäen, ongelmia ei muodostuisi. Näin ollen yrityksellä olisi mahdollista kartoittaa edestäpäin koneistettavat tuotteet, joiden avulla on mahdollista parantaa FMS-solun käyttöastetta sekä kasvattaa palettiaikaa. Kiinnitintornin täyden kapasiteetin avulla FMS-järjestelmän miehittämättömän tuotannon osuutta on mahdollista hyödyntää laajemmin.

Kiinnitintorni mahdollistaisi myös tornin käännöllä olevat koneistukset (kuva 17), mutta prosessi vaatisi enemmän resursseja ja toisi mahdollisia lisäkustannuksia suunnittelu- ja ohjelmointi sekä valmistustyölle. Tilanne lienee ratkottavissa tiettyjen tuotteiden osalta esimerkiksi hankkimalla pidempiä työkalupitimiä koneistusta varten työstökoneen sallimissa rajoissa, jolloin välttyttäisiin mahdollisilta kolaroinneilta. Myös koneistuskiinnittimien muutokset voisivat olla ratkaisuna ongelmiin.



Kuva 17. Kiinnitintornin täysi kapasiteetti, jossa kuvattuna tornin käännöllä toteutettava valmistusprosessi (Kuva: Miika Karjunen).

## 5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tuloksena saatiin vastaus siihen, kuinka mahdollinen FMS-kehitystyö vaikuttaisi yrityksen liiketoimintaan. Tuloksien perusteella uuden kiinnitintornin käyttöönotto kehittäisi FMS-solun käyttöastetta 33 prosenttia ja uudella kiinnitintornilla on mahdollista saada parannusta läpimenoaikoihin. Kiinnitintornin valmistus on toteutettavissa ja kiinnitintornilla mahdollistetaan tuotteiden A, B, C valmistaminen. Kiinnitintornilla saavutetaan tietyissä tilanteissa myös kiinnitintornin 100 prosentin kapasiteetti. Uuden kiinnitintornin haittoiksi luokitellaan tuotteiden valmistettavuuden rajoitukset suuremman kokoluokan kappaleissa, tällöin ongelmaksi muodostuvat työstökoneen toiminnalliset rajat sekä FMS-paletin toimintakohtainen halkaisija. Tuoteperheen tuotteen E koneistuspiirrettä ei voida toteuttaa nykyisellä kapasiteetilla.

Jos saavutettujen tuloksien perusteella yritys tekee tulevaisuudessa päätöksen kehitysprojektin aloittamisesta, yrityksellä on opinnäytetyön kautta paljon erilaisia jatkokehitysmahdollisuuksia. Tutkittavia asioita voisi olla esimerkiksi:

- Soveltuuko uusi kiinnitintorni yrityksen ensisijaiseksi kiinnitintorniksi?
- Voidaanko tuotteiden A, B ja C kaikki tuoteperheen osat, koneistaa uudella kiinnitintornilla?
- Kuinka monta FMS-järjestelmän tuotetta on mahdollista siirtää uudelle kiinnitintornille valmistettavaksi?
- Onko FMS-työstökoneen hankinnalle perusteita, jolloin mahdollistetaan suuremman kokoluokan kappaleiden koneistukset?
- Voidaanko uusi kiinnitintorni siirtää tulevaisuudessa nollapistepaletille (liite 2)?

Nollapistepaletilla tarkoitetaan mahdollisuutta siirtää kiinnitintorni kokonaisuena varastoon, jolloin saadaan vapaa paletti paikka FMS-järjestelmälle tarpeen vaatiessa. Nollapistepaletin ansiosta kiinnitintorni on mahdollista siirtää nopeasti takaisin sille tarkoitettulle paikalle.

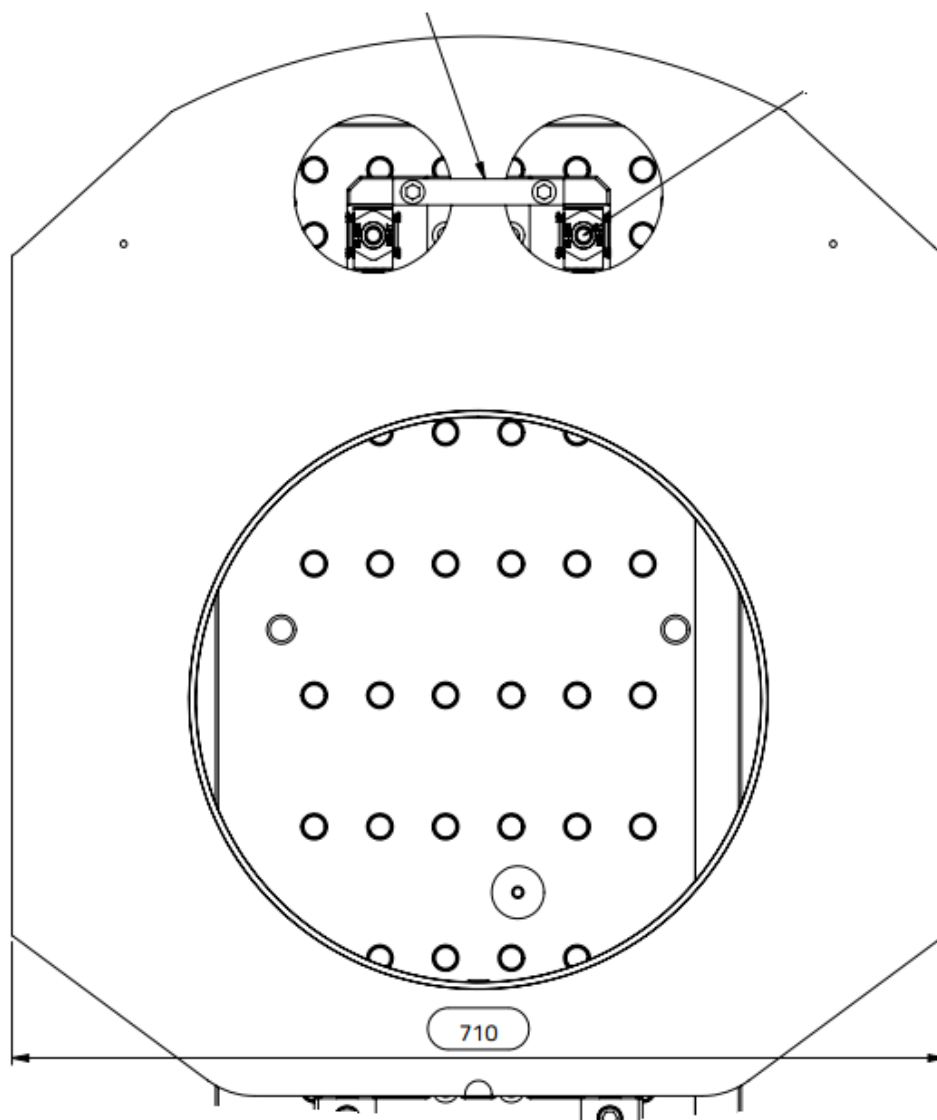
Toimin opinnäytetyön aikana yrityksessä menetelmäsuunnittelijana ja koen kartoituksessa selvitettyjen etujen näkökulmasta, että uusi kiinnitintorni tuo yritykselle enemmän hyötyjä ja kyseistä tornia voidaan edelleen jatkokehittää. Toimenpiteet vaativat kuitenkin resursseja suunnittelulta sekä valmistukselta. Jatkokehityksen kannalta tulee myös tarkastella tarkemmin kustannuksia etuihin nähden.

Opinnäytetyössä saavutetuista tuloksista on hyvä jatkaa uuden kiinnitintornin varsinaiseen suunnittelu- ja kehitystyöhön jatkossa, minkä toteutan myös mielelläni. Haluan kiittää Joensuun CNC-Machining Oy:ta, että sain mahdollisuuden toteuttaa opinnäytetyönä tämän uuden kiinnitintornin hyötyjen ja haittojen kartoituksen ja siihen liittyvien tuotteiden A, B ja C valmistettavuuden kehittämisen. Yrityksen laatu- ja kehityspäälliköltä Juuso Herraselta sain laadukasta ohjausta prosessin aikana. Opinnäytetyön ansiosta myös oma asiantuntijuuteni menetelmäsuunnittelijana vahvistui edelleen.

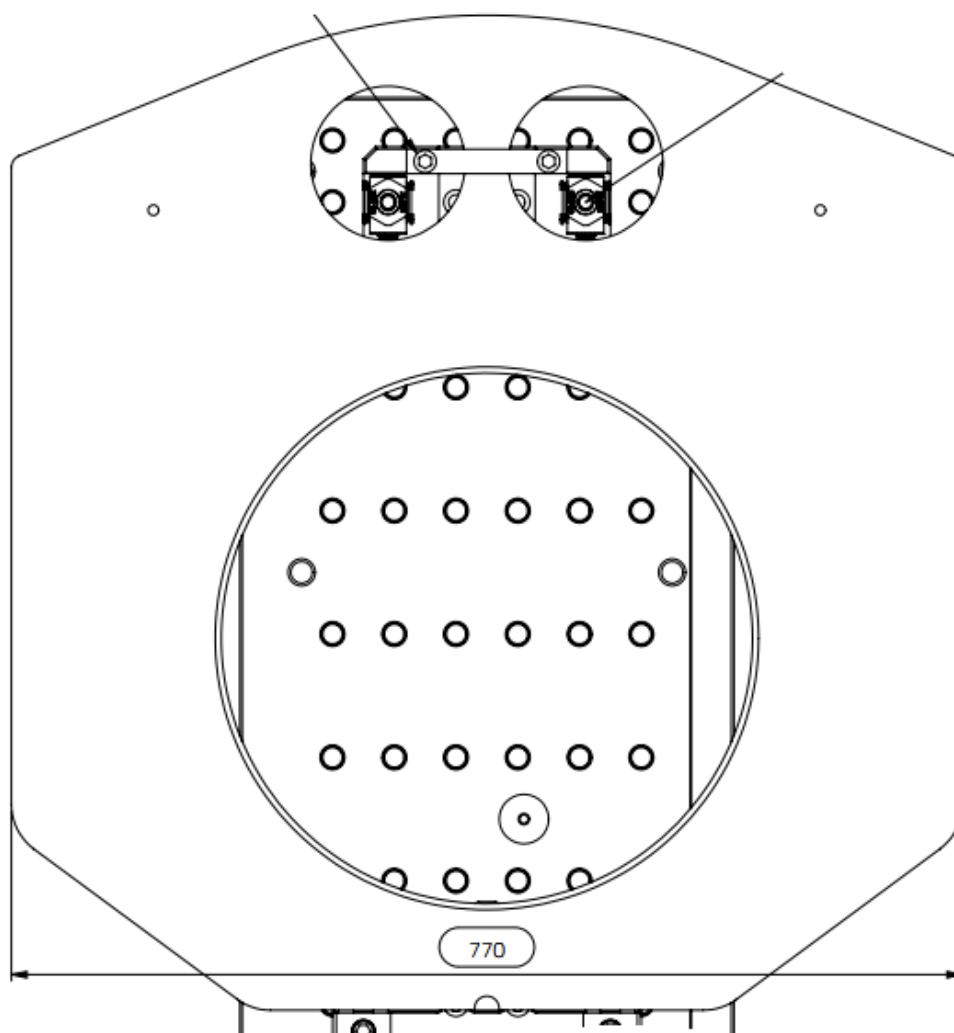


## Lähteet

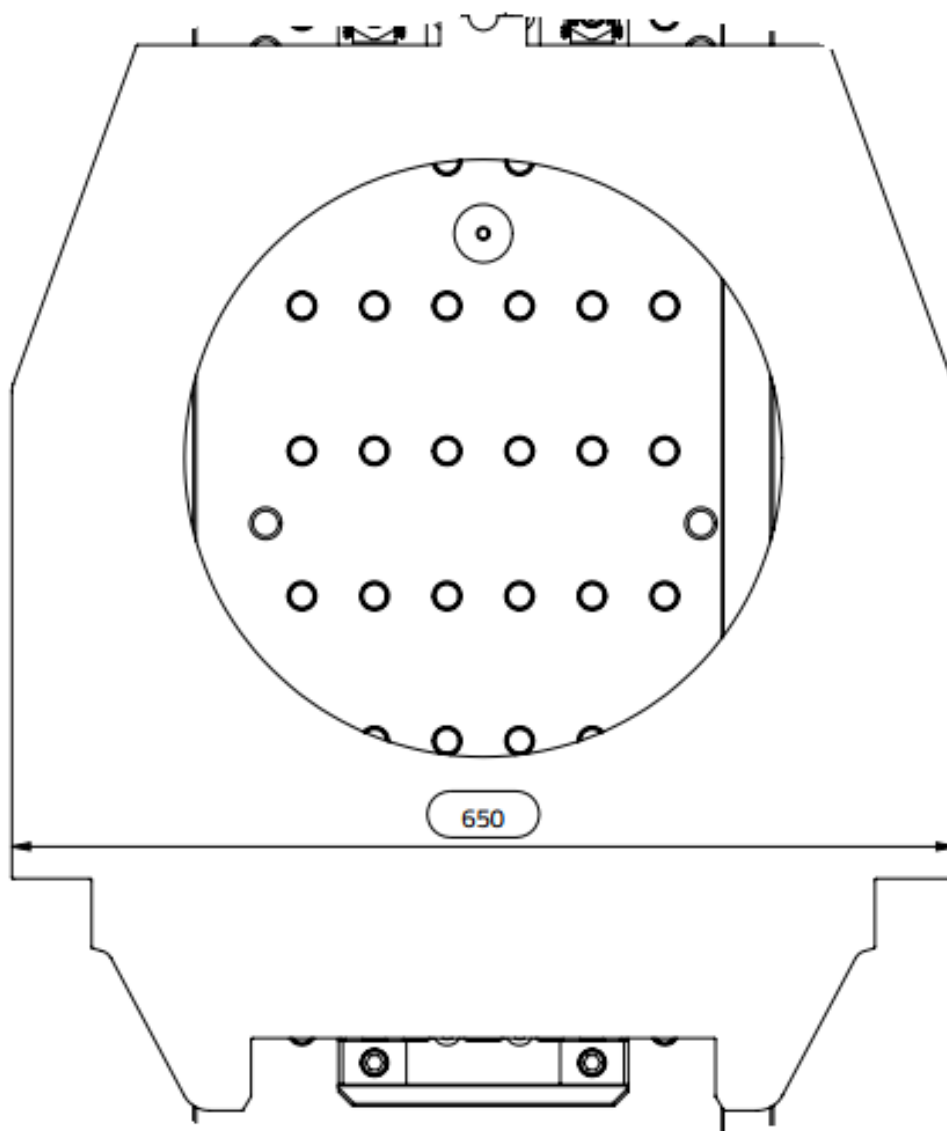
- Aaltonen, K., Andersson, P & Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.
- Ahokas, J., Auer, J., Hyvönen, J., Naskali, E., Nenonen, M., Niemi, J., Peltonen, K., Rantalainen, J., Somppi, A., Tammisto, M & Välikoski, A. 2013. Fastems FMS: täydellä teholla. Tampere: Fastems 2013.
- Aunio, M., Kettunen, E., Kääriä, H., Niinimäki, M. & Riski, P. 1989. Työvälinesuunnittelu. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Fastems. 2021. Manufacturing made easier. [https://www.fastems.com/wp-content/uploads/2019/01/FMS-ONE\\_TechBrochure\\_A4\\_EN\\_WEB.pdf](https://www.fastems.com/wp-content/uploads/2019/01/FMS-ONE_TechBrochure_A4_EN_WEB.pdf). 29.3.2021.
- Gerardi spa. 2021. Zero point. <http://www.gerardispa.com/products/workholding/zero-point/>. 29.3.2021.
- Haverila, J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacs Oy.
- Holopainen, T. 2020. Liiketoimintasuunnitelma Joensuun CNC-Machining Oy:lle. Opinnäytetyö Marraskuu 2020. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/348858/Holopainen\\_Tanja\\_2020\\_11\\_26.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/348858/Holopainen_Tanja_2020_11_26.pdf?sequence=2). 25.4.21.
- Joensuun CNC-Machining Oy. 2021. Kokonaisuus on täsmälleen osiensa summa. <https://www.cnc-machining.fi/konekanta/>. 29.3.2021.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantjärjestelmät. Porvoo: WSOY.
- Lehtimäki, A. 2020. Lastuavan työstön kiinnittimet ja paletit. Tampere: CRANO Oy.
- Metalliteollisuuden keskusliitto, 1989. Tekninen tiedotus 16/89. Työkappaleiden kiinnittäminen FM-järjestelmässä. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus OY.
- Pikkarainen, E. 1999. NC-tekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Reunanen, T. 2011. Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu paanostus. <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522161925.pdf>. 29.3.2021.
- Tuhola, E & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

**Liitteet**

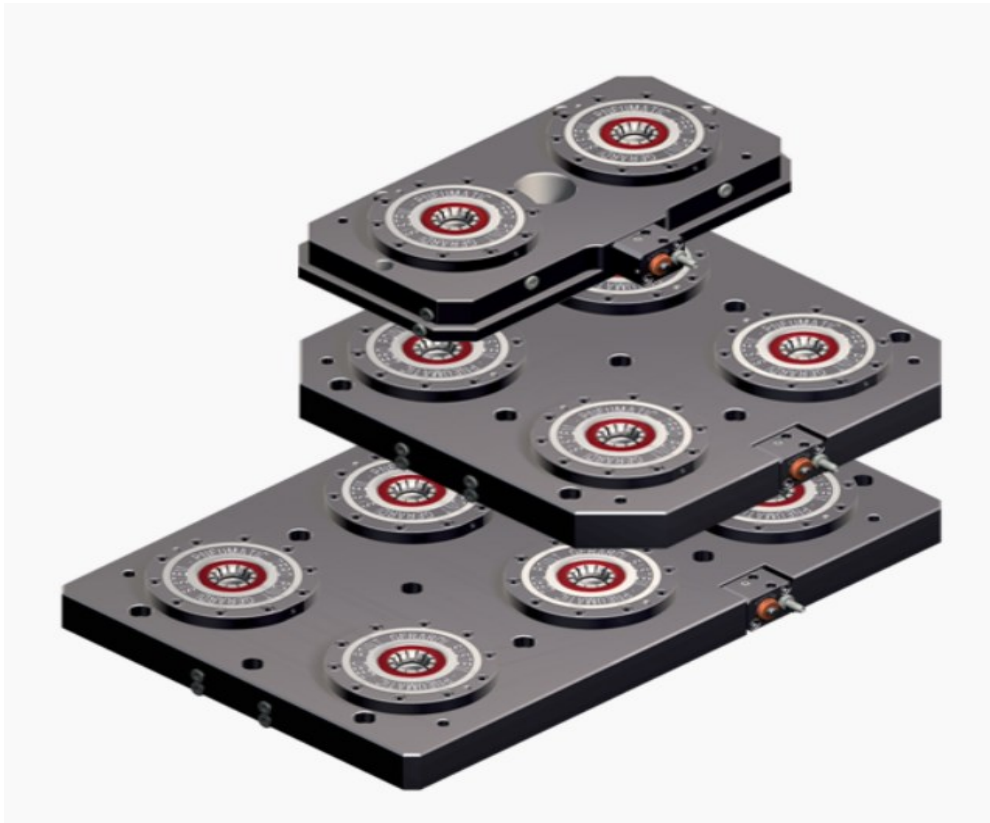
Tuote A (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).



Tuote B (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).



Tuote C (Kuva: Joensuun CNC-Machining Oy).



Gerardin valmistama nollapistepaletti. (Kuva: Gerardi SPA).