

Juho Leskelä

CNC-KONEISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

CNC-KONEISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Juho Leskelä
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Juho Leskelä

Opinnäytetyön nimi: CNC-koneistusprosessin kehittäminen

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Development of CNC machining process

Työn ohjaaja: Juha-Matti Virpi

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: syksy 2023

Sivumäärä: 54 + 4 liitettä

Opinnäytetyö toteutettiin JOT Automation Oy:n toimeksiannosta. Työssä tutkittiin, miten yrityksen omaa konepajatoimintaa tulisi kehittää. Työn tavoitteena oli löytää kehityskohteita CNC-koneistusprosessista ja esittää millä toimenpiteillä tuottavuutta saataisiin parannettua. Työssä etsittiin vastausta kysymykseen: Onko kannattavaa investoida uuteen CNC-työstökeskukseen vai voiko nykyisiä toimintoja kehittämällä saavuttaa merkittävää tuottavuusparannusta. Työn kannalta oleellisena tavoitteena oli myös selvittää, minkälainen CNC-työstökeskus teknisiltä ominaisuuksiltaan soveltuisi yrityksen tarpeisiin ja mitä mahdollisia hyötyjä se toisi.

Työssä hyödynnettiin Lean-ajattelua, jonka avulla koneistusprosessin arvoketjusta pyrittiin tunnistamaan hukkaa aiheuttavat toiminnot ja poistamaan ne tai etsimään ratkaisuja, joilla toimintoihin käytettyä aikaa voitaisiin lyhentää. Työ toteutettiin seuraamalla konepajan päivittäistä työskentelyä Gemba-kävelyn avulla ja tutustumalla konepajan konekantaan ja käytössä oleviin työkaluihin. Tämän lisäksi selvitettiin, minkälaisia koneistamalla valmistettavia osia JOT Automationin valmistamissa laitteissa esiintyy. Käytössä olevan CNC-jyrsinkoneen teknisten ominaisuuksien aiheuttaman hukkan ja yrityksen tarpeiden pohjalta selvitettiin, minkälainen CNC-työstökeskus olisi yrityksen tarpeisiin sopiva ja mikä olisi investoinnin kustannusarvio. Lopuksi esitettiin toimenpiteitä CNC-koneistusprosessin kehittämiseksi.

Toiminnoissa havaittiin hukkaa erityisesti ohjelmoinnissa ja sisäiseen asetusaikaan vaikuttavissa toiminnoissa. Tuloksina esitettiin, ettei työstökeskukseen investointi ole kannattavaa ja havaitun hukkan vähentämiseksi toimintoja tulisi kehittää. Uusi työstökeskus poistaisi kyllä käytössä olevasta CNC-jyrsinkoneesta aiheutuvaa hukkaa, mutta ei takaisi tuottavuusparannusta konepajan kompetenssin ollessa liian alhaisella tasolla. Tehokkaampana tapana nähtiin henkilökunnan kouluttaminen ja osaamistason nosto. Toimenpiteiksi esitettiin CAM-ohjelmiston uusimista ja siirtymistä käsin ohjelmoinnista CAM-ohjelmointiin. Toisena toimenpiteenä esitettiin kappaleen tarpeettoman irrottamisen ja uudelleenkiinnittämisen vähentämistä, jolla saadaan vähennettyä sisäistä asetusaikaa. Edellä mainitut toimenpiteet pienentävät myös laatuongelmien riskiä.

Asiasanat: CAM, CNC, koneistus, Lean, prosessi, tuotanto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation Engineering

Author: Juho Leskelä
Title of thesis: Development of CNC machining process
Supervisor: Juha-Matti Virpi
Term and year when the thesis was submitted: fall 2023
Number of pages: 54 + 4 appendices

This thesis was commissioned by JOT Automation Oy. The work focused on developing the company's own machine shop operations. The goal of the work was to find development targets in the CNC machining process and to find solutions on how the process should be improved to increase productivity. The most important question to find an answer was: Is it profitable to invest in a new CNC machining center or can productivity improvement be achieved by focusing on developing current processes? In terms of the work, it was also essential to find out what kind of CNC machining center would suit the company's needs and what possible benefits it would bring.

Lean thinking was used to define waste occurring in value chain of CNC machining process and removing the waste or aiming to minimize the effect. The work was carried out with the help of Gemba walk which focused on following the daily working of the machine shop. Also, the machinery and tools in use were familiarized with. In addition, it was found out what kind of machined parts can be found from machines manufactured by JOT Automation. Based on the waste caused by the CNC machine in use and the company's needs, it was determined what kind of CNC machining center would be suitable for the needs and what the cost estimate would be. In the end, measures were presented for developing the process.

Most waste was found in programming and in functions related to internal setup. As a result, it was presented that investing in a new CNC machining center is not profitable and measures should focus on developing the process itself. CNC machining center would cut waste which is caused by technical properties of the current milling machine, but impact would be unsure due to lack of competence. Training staff and therefore raising the level of competence has a greater impact on productivity. As measures, it was proposed that it should be invested in new CAM software and also to switch from handwriting programs to CAM programming. Another measure introduced was to lower the level of unnecessary re-clamping of parts which decreases the time used for internal setups. The measures mentioned above also reduce risks for possible quality problems.

Keywords: CAM, CNC, lean, machining, process, production

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	TUOTTEEN ARVONMUODOSTUS	9
2.1	Arvoketju	9
2.2	Arvotoiminnot	10
2.2.1	Perustoiminnot	10
2.2.2	Tukitoiminnot	11
2.3	Toimintotyytit	12
2.4	Arvoketjun määrittely	13
3	LEAN	14
3.1	Hukka	14
3.1.1	Ylituotanto	15
3.1.2	Odottaminen	15
3.1.3	Tarpeeton kuljettaminen	16
3.1.4	Ylikäsittely	16
3.1.5	Tarpeeton varastointi	18
3.1.6	Tarpeeton liike	18
3.1.7	Laatuvirheet	18
3.2	Gemba-kävely	19
4	TYÖN VAIHEET, TAVOITTEET JA RAJAUKSET	22
4.1	Työn vaiheet ja tavoitteet	22
4.2	Rajaukset	23
5	LÄHTÖTILANNE	24
5.1	Konepaja	24
5.2	Prosessikuvaus	27
6	CNC-KONEISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN	30
6.1	Toimintoihin käytetty aika	30
6.1.1	Koneistusprosessiin liittyvä hukka	32
6.1.2	Jyrsinkoneen ominaisuuksista johtuva hukka	33
6.2	Aihiomateriaalien käsittelyn aiheuttama hukka	35
6.3	Yhteenvedo hukasta	36

7	TYÖSTÖKESKUKSEN ESIVALINTA	38
7.1	Työstökeskuksen tekniset vaatimukset	38
7.1.1	Kara	39
7.1.2	Työkalunvaihtaja	40
7.1.3	Akseleiden liikealue ja pöydän kantavuus.....	41
7.2	Esimerkkikone: HAAS VF-2SS.....	41
8	KEHITYSTOIMENPITEET	43
8.1	Hankinnat.....	44
8.2	Toimintojen kehitys.....	45
8.3	Kehitystoimien yhteenveto ja jatkotoimenpiteet.....	46
9	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET	54

SANASTO

1/min	karan pyörimisnopeus, kierrosta minuutissa
CNC	Computerilized numerical control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
ERP-järjestelmä	toiminnanohjausjärjestelmä
HSM	High speed machining, surnopeuskoneistus
lastuvirta	suure, joka kertoo, kuinka paljon materiaalia poistetaan minuutissa, yksikkönä mm ³ /min
PDM-järjestelmä	tuotetiedonhallintajärjestelmä
PET	polyetylenitereftalaatti
tilavuusmalli	3D-tiedostomuoto, jota käytetään CAD- ja CAM-järjestelmissä

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan JOT Automation Oy:n omaa pienimuotoista konepajatoimintaa arvonmuodostusprosessin näkökulmasta ja tutkitaan, millaista lisäarvoa nykyisiä prosesseja kehittämällä ja mahdollisilla investoinneilla konekantaan on mahdollista saavuttaa. Työ on toteutettu keväällä 2023.

JOT Automation on oululainen vuonna 1988 perustettu teknologia-alan yritys, joka valmistaa koonpano- ja testausautomaattoratkaisuja teollisuuden tarpeisiin (JOT Automation). Yrityksellä on myös omaa pienimuotoista konepajatoimintaa, jonka tarkoituksena on tukea muita toimintoja tekemällä muutos- ja korjauskoneistuksia jo hankittuun mekaniikkaan sekä valmistamalla uusia mekaanisia osia, jotka soveltuvat valmistettavaksi nykyisellä konekannalla.

Taustana opinnäytetyölle on yrityksen tarve lyhentää tuotekehitysprojektien läpimenoaikoja. Nykytilanteessa mekaniikasta suurin osa hankitaan alihankkijoilta, jolloin toimitusajat paikoin venyvät pitkiksi ja aiheuttavat viivästyksiä projektin muilla osa-alueilla. Työn tavoitteena on tunnistaa lean-filosofiaa hyödyntäen hukkaa aiheuttavat toiminnot nykyisessä koneistusprosessissa ja tutkia, miten eri tasoiset kehittämistoimenpiteet vaikuttavat prosessin arvonmuodostukseen, minkälaisia investointeja ne vaatisivat ja mitä niistä olisi kannattavinta toteuttaa.

2 TUOTTEEN ARVONMUODOSTUS

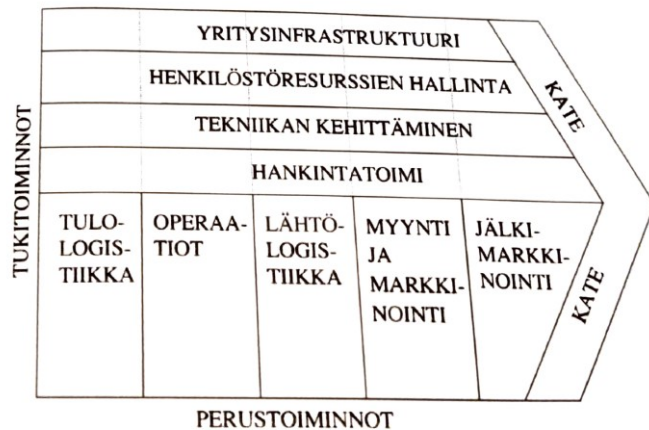
Liiketoiminnassa tuotteen arvon määrittää lopulta aina asiakas. Asiakas vertailee markkinoilla olevia tuotteita tai niitä tuottavia yrityksiä ja valitsee niistä sen, joka tuottaa hänelle eniten arvoa. Asiakkaan näkökulmasta tärkeitä arvoja voivat olla rationaaliset arvot, joita ovat taloudellinen toiminnallinen ja emotionaalinen arvo. Taloudellinen arvo käsittää tuotteen hinnan ja sen elinkaaren aiheuttamat kustannukset. Toiminnalliset arvot voivat tarkoittaa laatua tai tuotteen asiakkaalle tuomia aikasäästöjä. Emotionaalinen arvo voi syntyä hyvästä asiakaskokemuksesta tai hyvästä palvelusta. Edellä mainittujen rationaalisten arvojen lisäksi myös symbolisella arvolla voi asiakkaalle merkitystä. Symbolisia arvoja voivat olla yrityksen tai sen tuotteiden eettisyys. (Rintamäki.)

Yrityksen liiketoiminnan kannalta on tärkeää, että asiakkaat ovat valmiita maksamaan tuotteesta enemmän kuin sen valmistukseen on käytetty rahaa. Kannattavuuden kannalta on tärkeää, että yritys pystyy keräämään asiakkaille luomansa arvon itselleen sen valumatta muille toimijoille kilpailun seurauksena. (Porter 1985, 8–9.)

2.1 Arvoketju

Amerikkalainen professori Michael E. Porter esittelee vuonna 1985 julkaistussa kirjassaan *Competitive advantage* käsitteen arvoketju, joka on perusväline yrityksen toimintojen määrittelyyn ja niiden keskinäisten siteiden tunnistamiseen. Arvoketjun avulla voidaan ymmärtää kustannusten muodostuminen ja nykyiset sekä mahdolliset erilaistamisen kohteet, joiden avulla yritys voi saavuttaa kilpailuetua. (Porter 1985, 33.) Hokkasen ja Karhusen (2014, 19) mukaan Porterin arvoketju on hyvin havainnollinen malli, jonka avulla voidaan kuvata minkä tahansa teollisuudenalan sisäiset toiminnot.

Porterin mukaan yritykset koostuvat toimintojen joukosta, joita toteutetaan tuotteen suunnittelumiseksi, valmistamiseksi, markkinoimiseksi, toimittamiseksi ja tukemiseksi. Näistä jokainen voidaan esittää arvoketjussa (kuva 1). (Porter 1985, 36.) Arvoketju kuvaa tuotteen kokonaisarvoa koostuen arvotoiminnoista ja katteesta. Arvotoiminnot ovat toisistaan erillisiä toimintoja, joiden avulla yritys valmistaa tuotteen. Kate on kokonaisarvon ja arvoa lisäävien toimintojen välinen erotus. (Sama, 38.)



KUVA 1. Porterin arvoketju (Hokkanen & Karhunen 2014, 19)

Käytännön tasolla arvoketju kuvaa hyödykkeen vaiheittaista jalostusta raaka-aineesta tuotteeksi, missä jokainen toiminto luo lisäarvoa tuotteelle kasvattaen samalla valmistuskustannuksia. Arvoketjusta pyritään täten tekemään mahdollisimman yksinkertainen karsimalla toiminnot, jotka eivät tuota arvoa asiakkaan näkökulmasta katsottuna. (Logistiikan maailma.)

2.2 Arvotoiminnot

Arvotoiminnot jaetaan kuvan 1 mukaisesti perus- ja tukitoimintoihin. Perustoimintoihin kuuluvat tulo-logistiikka, operaatiot, lähtölogistiikka, myynti ja markkinointi sekä jälkimarkkinointi. Tukitoimintoihin kuuluvat yrityksen infrastruktuuri, henkilöstöressurit, tekniikan kehittäminen ja hankintatoimi. (Hokkanen & Karhunen 2014, 19.) Perus- ja tukitoimintojen pääluokat voidaan jakaa edelleen erillisiin toimintoihin, jotka ovat yritys- ja toimialakohtaisia (Porter 1985, 39).

2.2.1 Perustoiminnot

Tulologistiikka sisältää toiminnot, jotka liittyvät materiaalin vastaanottoon, käsittelyyn tai varastointiin sisältäen saapuvan tavaran tarkastuksen sekä mahdolliset palautukset alihankkijoille ja tavarantoimittajille. (Porter 1985, 39–40.)

Operaatiot kattavat toiminnot, jotka liittyvät raaka-aineiden ja muiden tuotantopanosten jalostamiseen lopputuotteeksi. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa koneistus, hitsaus, kokoonpano, pakkaus, tuotteiden testaus ja tarkastus. (Porter 1985, 40.)

Lähtölogistiikka sisältää toiminnot, jotka liittyvät asiakkaalle toimitettavien tuotteiden keräilyyn, varastointiin ja niiden toimittamiseen asiakkaalle, sisältäen muun muassa pakkaamisen, lähetyksen ja lähtöasiakirjojen laatimisen (Porter 1985, 40).

Myynti ja markkinointi käsittää toiminnot, jotka liittyvät tuotteiden markkinoimiseen asiakkaille sekä toimintoihin, jotka mahdollistavat asiakkaalle tuotteen hankinnan, kuten myyntitoiminnot (Porter 1985, 40).

Jälkimarkkinointi sisältää myynnin jälkeisen palveluun liittyvät toiminnot, joiden tavoitteena on asiakastyytyvyyden ylläpitäminen minimoimalla tuotteen vioista aiheutuvat kustannukset asiakkaalle ja tuotteen toiminnan ylläpitäminen sen elinkaaren aikana. Jälkimarkkinointi käsittää muun muassa huollot, koulutukset sekä varaosatoimitukset. (Porter 1985, 40; Hokkanen & Karhunen 2014, 20.)

2.2.2 Tukitoiminnot

Tukitoimintojen tarkoituksena on turvata ja mahdollistaa perustoimintojen suorittaminen (Hokkanen & Karhunen 2014, 20). Porterin (1985, 43) mukaan **yrittäjien infrastruktuuriin** kuuluvat yleisjohto, suunnittelu, rahoitus, kirjanpito, lakiasiat, viranomaissuhteet sekä laadunvalvonnan ohjaus. Hokkanen & Karhunen (2014, 20) määrittelevät toiminnoiksi informaatio- ja tieyhteydet sekä yrityksen toimitilat. Muista tukitoiminnoista poiketen infrastruktuuri tukee tavallisesti koko arvoketjua yksittäisten toimintojen sijaan (Porter 1985, 43).

Henkilöstöressurssien hallinta käsittää toiminnot, jotka liittyvät työvoiman henkilöstön palkkaamiseen, hankintaan, kouluttamiseen ja korvaamiseen. Toiminto tukee yksittäisiä perus- ja tukitoimintoja, esimerkiksi työvoiman palkkaamisen muodossa, sekä koko arvoketjua neuvottelemalla henkilöstön kanssa. (Porter 1985, 42.)

Tekniikan kehittäminen sisältää toimintoja, jotka pyrkivät parantamaan tuotetta ja prosesseja. Kehittämistä ei tapahdu ainoastaan niissä toiminnoissa, jotka liittyvät suoraan tuotteen valmistukseen, vaan sitä voi tapahtua arvoketjun jokaisessa osassa. Suoraan tuotteeseen liittyvä tekniikan kehittäminen tukee koko arvoketjua, muun tekniikan kehittämisen liittyen yksittäisiin perus- tai tukitoimintoihin. Kilpailuedun kannalta tekniikan kehittäminen voi olla ratkaisevassa asemassa. (Porter 1985, 41–42.)

Toisin kuin Porter, Hokkanen ja Karhunen (2014, 20) sijoittavat kirjassaan Johdatus Logistiseen Ajatteluun tuotesuunnittelun kahden perustoiminnon alle: operaatioiden sekä myynnin ja markkinoinnin.

Hankintatoimella viitataan arvoketjussa käytettävien tuotantopanosten hankkimiseen prosessina, ei itse hankittaviin tuotantopanoksiin. Hankittavia panoksia ovat muun muassa tuotteiden valmistukseen tarvittavat raaka-aineet, ostokomponentit ja muut kulutustavarat, kuten toimistotarvikkeet sekä tuotteiden valmistukseen tarvittavat koneet, toimistokalusteet ja rakennukset. Hankittavia panoksia löytyy niin perus- kuin tukitoiminnoista. (Porter 1985, 41.)

2.3 Toimintotyypit

Perus- ja tukitoimintoja voidaan jakaa kolmeen toimintotyyppiin, joilla kaikilla on erilainen rooli yrityksen kilpailukyvyssä. Toimintotyypeistä ensimmäinen on suorat toiminnot, jotka tuottavat suoraa arvoa asiakkaalle. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa valmistus, tuotesuunnittelu ja mainostaminen. (Porter 1985, 43–44.)

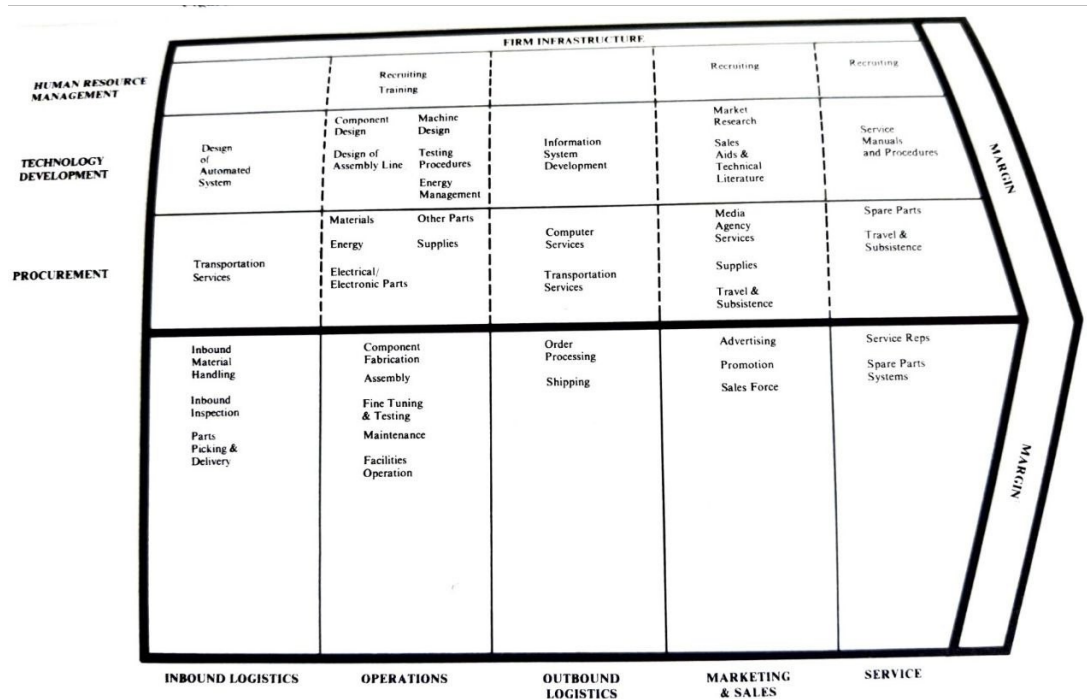
Epäsuorat toiminnot varmistavat suorien toimintojen päivittäisen suorittamisen sujuvasti. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa tuotannon koneiden ja tuotantovälineiden huolto sekä tuotannon suunnittelu. (Porter 1985, 44.)

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan muiden toimintojen laadun varmistusta, eikä sitä pidä sekoittaa tuotteiden laadun varmistukseen. Laadunvarmistukseen voi kuulua muun muassa muiden toimintojen seuranta, tarkastusta, arviointia ja niiden säätämistä. (Porter 1985, 44.)

Eri toimintotyyppien tunnistaminen voi olla paikoin haastavaa, ja etenkin epäsuorien toimintojen ja laadunvarmistuksen tärkeyttä yrityksen kilpailukyvyyn kannalta ei aina ymmärretä. Monilla teollisuuden aloilla epäsuorat toiminnot edustavat suurta ja nopeasti kasvavaa osaa yrityksen kustannuksista ja ne ovatkin tärkeä osa yrityksen kilpailukykyä niiden vaikuttaessa muihin toimintotyyppeihin. (Porter 1985, 44.)

2.4 Arvoketjun määrittely

Jotta voidaan tunnistaa arvoketjusta mahdolliset kilpailuetua lisäävät toiminnot, täytyy laajat perus- ja tukitoiminnot jakaa pienempiin toimintoihin (kuva 2). Esimerkiksi perustoiminnot voivat sisältää kokoonpanon ja tuotteiden pakkauksen, jotka toimintoina ovat itsessään laajoja ja poikkeavat toisistaan hyvin paljon. Toiminnot voidaan jakaa tarvittaessa käsittämään jopa yksittäisiä koneita, minkä takia potentiaalisia toimintoja voi olla suuri määrä. (Porter 1985, 45.)



KUVA 2. Esimerkki toimintojen jakamisesta (Porter 1985, 45)

Toimintojen erittelyn taso on riippuvainen toimintojen taloudellisesta näkökulmasta ja siitä, mitä osaa yrityksen toiminnoista arvoketjulla halutaan tutkia. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että toiminto on erotettava muista, jos se eroaa muista taloudellisesta näkökulmasta, toiminnossa on suuri erilaistamisen mahdollisuus tai se muodostaa suuren tai kasvavan osan kustannuksista. (Porter 1985, 45.)

3 LEAN

Perustoiminnot ja niitä tukevat tukitoiminnot tuottavat yritykselle arvoa, mikä on myös lean-ajattelun perustana. Arvoa tuottavien toimintojen lisäksi yrityksissä esiintyy myös hukkaa aiheuttavia toimintoja. (Logistiikan maailma.) Fujio Chon määritelmän mukaan hukkaa ovat kaikki laitteet, työkalut, materiaalit, komponentit, työtilat sekä työntekijän toimintoihin käyttämä aika, jotka eivät ole ehdottoman tarpeellisia arvon lisäämisen kannalta (Suzaki 1987, 8). Hukka nostaa tuotteen valmistuskustannuksia lisäämättä sen arvoa pienentäen siten yritykselle jäävää katetta (Ohno, 1988, 54–55).

Lean-filosofian mukaisessa prosessien kehittämisessä pyritään tunnistamaan ja määrittelemään asiakkaalle arvoa tuottavat ja tuottamattomat toiminnot, minkä jälkeen hukkaa pyritään eliminoidaan ja jäljelle jääneet arvoa tuottavat toiminnot virtaviivaistamaan mahdollisimman tehokkaiksi (Logistiikan maailma).

3.1 Hukka

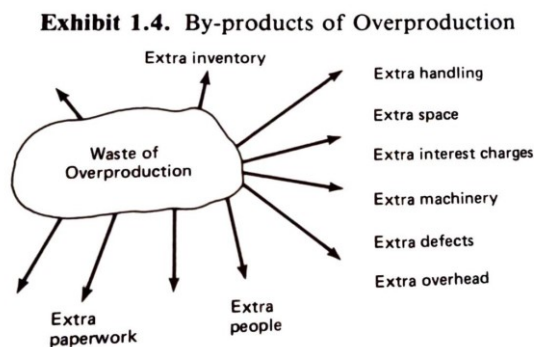
Jotta tuotannon prosesseja voidaan kehittää, täytyy ensin tunnistaa hukkaa aiheuttavat toiminnot nykyisessä prosessissa. Japanilainen autovalmistaja Toyota (Suzaki 1987, 12; Ohno 1988, 19–20) on määritellyt omassa kehittämisfilosofiassaan Toyota Production System (TPS) seitsemän näkyvintä hukkatyyppiä, joita ovat

- ylituotanto
- odottaminen
- tarpeeton kuljettaminen
- ylikäsittely
- tarpeeton varastointi
- tarpeeton liike
- laatuvirheet

Hukan poistaminen voi parantaa tuotannon tehokkuutta huomattavasti. Hukkaa pienentämällä saadaan vapautettua työvoimaa, ja se tekee työtehtävistä mielekkäämpiä poistamalla merkityksettömiä ja turhia työvaiheita. (Ohno 1988, 20.)

3.1.1 Ylituotanto

Ylituotannolla tarkoitetaan hyödykkeiden valmistamista yli tarpeiden (kuva 3). Ylituotanto kasvattaa materiaalikustannuksia ja lisää tuotteiden valmistukseen tarvittavaa työvoimaa. Työntekijät voivat vaikuttaa kiireisiltä ja tuotantoon tarvittavien laitteiden kapasiteetti voi näyttää riittämättömältä, mikä puolestaan voi johtaa tarpeettomiin investointeihin. Varastoinnin tarve lisääntyy niin raaka-aineiden kuin valmiiden tuotteiden osalta, mikä johtaa materiaalin käsittelyn lisääntymiseen, ylimääräiseen paperityöhön ja lisää tilan tarvetta. Myös varaston vaihto-omaisuuteen sidottu pääoma kasvaa, mikä voi näkyä lisääntyneinä ostovelkojen korkoina. (Suzaki 1987, 13.)



KUVA 3. Hukka ylituotannossa (Suzaki 1987, 13)

Ylituotantoa pidetään yhtenä suurimpana hukan lähteenä, ja siitä tulee pyrkiä eroon. Tässä onnistuakseen täytyy ymmärtää, että työntekijöiden ja koneiden ei tarvitse olla jatkuvasti työllistettyinä vaan riittää, kun ne tuottavat ainoastaan tarvittavan määrän tuotteita tai osia, jotka ovat korkealaatuisia, joiden valmistuskustannukset ovat alhaiset ja jotka ovat valmiina silloin, kun niille on tarve. (Suzaki 1987, 13.)

3.1.2 Odottaminen

Odottaminen on toinen hukan muoto. Esimerkkejä odottamisesta ovat muun muassa kokoonpanossa tarvittavien komponenttien odottaminen, joita ilman työtä ei voida jatkaa, työn jatkamisen kannalta oleellisten ohjeiden odottaminen sekä työntekijöiden tai koneiden seisottaminen työn valmistumisen jälkeen, kun seuraavaa työtä ei ole näköpiirissä. (Lean manufacturing tools.)

Jotta korjaavia toimenpiteitä voidaan tehdä, täytyy tämä hukan muoto paljastaa. Työntekijöiden tulisi olla tekemättä mitään, kun työ on saatu valmiiksi. Tällä tavoin tuotannosuunnittelu pystyy paremmin arvioimaan olemassa olevaa kapasiteettia ja ohjaamaan tuotantoa paremmin. (Suzaki 1987, 14.)

3.1.3 Tarpeeton kuljettaminen

Tarpeeton kuljettaminen ja kaksin- tai kolminkertainen käsittely ovat usein havaittuja hukan muotoja tuotannossa. Usein materiaalit ja komponentit varastoidaan ennen kuin ne siirretään tuotantolinjalle. Tämä johtaa lisääntyneeseen työhön varastolla, kun työntekijöiden täytyy hyllyttää materiaalit, olla tietoinen, minne tarvittavat materiaalit on varastoitu, milloin ja missä niille on tarvetta, poimia ne uudelleen ja kuljettaa tarvittavaan paikkaan. (Suzaki 1987, 14–15.)

Suuret etäisyydet aiheuttavat myös hukkaa ja saattavat johtaa kaksin- tai kolminkertaiseen käsittelyyn. Tuotannossa tarvittavia työkaluja on voitu jättää lojumaan työn jälkeen väliaikaisesti esimerkiksi työtasolle eivätkä ne palaudu oikeille paikoilleen. Tämä johtaa väliaikaisiin varastopaikkoihin ja niiden paikan vaihtumiseen. Työkaluja tilanteen parantamiseen ovat muun muassa layoutin parantaminen, tiedonvälityksen parantaminen toiminnossa, kuljetusmetodien parantaminen, tilojen puhtaanapito ja työpisteiden uudelleenorganisointi. (Suzaki 1987, 15.)

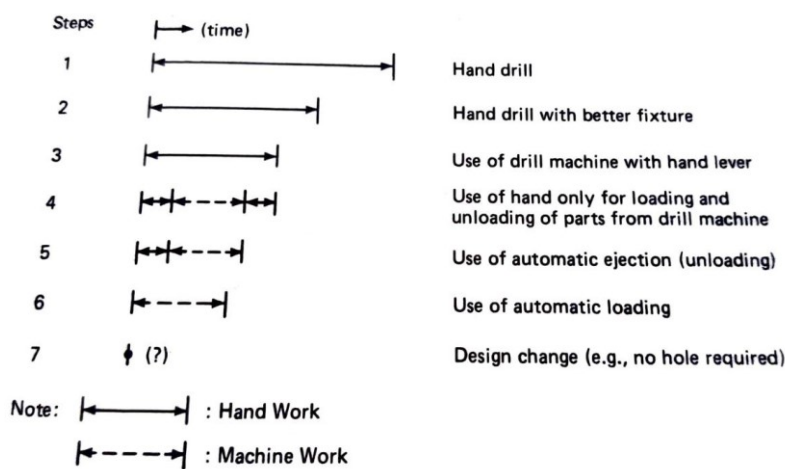
3.1.4 Ylikäsittely

Ylikäsittely ilmenee ylimääräisenä työnä, joka kasvattaa tuotteen arvoa ja sitä kautta valmistuskustannuksia, mutta josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Yksi ylituotannon muodoista on tarpeettomien toimintojen tai ominaisuuksien lisääminen tuotteeseen. Yksinkertaisena esimerkkinä tästä voidaan pitää osien pinnoittamista, vaikka olosuhteet tai asiakas eivät sitä vaadi. (Lean Manufacturing Tools.)

Ylikäsittelyä voi myös esiintyä valmistuksessa tai kokoonpanossa käytetyissä menetelmissä. Käytetyt menetelmät voivat olla tehottomia, mikä voi johtaa ylimääräisiin työvaiheisiin, kuten kappaleen käsin viimeisteleminen. (Suzaki 1987, 15.) Toinen ongelma on yhtenäisten työskentelytapojen puute, jolloin käytetyissä menetelmissä voi olla eroja työvuorojen ja työntekijöiden välillä (Lean Manufacturing tools).

Tuotteen suunnittelijoilla on suuri rooli tämän hukkalajin poistamisessa. Suurimmat syyt ylikäsittelylle ovat epäselvät standardit ja määrittelyt tuotteen ominaisuuksissa. Tuotannon työntekijät tekevät oman työnsä piirustusten tai työohjeiden mukaan eivätkä täten aina ole tietoisia siitä, mitkä kaikki toimenpiteet todellisuudessa lisäärväo tuotteelle. Esimerkiksi koneistettaville osille määritellyt toleranssit voivat olla liian tarkkoja toiminnallisuuden kannalta, jolloin niiden valmistamiseksi vaaditaan huomattavasti kalliimpia menetelmiä ja koneita. (Lean Manufacturing tools.)

Tuotteiden valmistuksessa hukkaa voidaan pienentää kehittämällä menetelmiä. Suzaki (1987, 15) esittää kirjassaan esimerkin porausoperaation hukan poistamisesta (kuva 4).



KUVA 4. Yliprosessoinnin poistaminen porausoperaatiossa (Suzaki 1987, 15)

Esimerkissä lähtökohtana on reiän poraaminen käsikäyttöisellä porakoneella. Reiän paikka merkitään käsin jokaiseen kappaleeseen ja porataan käsikäyttöisellä porakoneella. Toisessa vaiheessa poraamiseen suunnitellaan ja valmistetaan parempi kiinnitys tai porausjigi, jonka avulla reiän paikan merkitsemisestä päästään eroon. Kolmannessa vaiheessa käsikäyttöinen pora on vaihdettu pylväsporakoneeseen, jolla porausoperaatioita saadaan edelleen nopeutettua. Tässä vaiheessa jokainen työvaihe suoritetaan käsin.

Neljännestä vaiheesta eteenpäin operaatioon lisätään eritasoisia automaattioratkaisuja, jotka poistavat osin tai kokonaan käsin tehtävän työn. Paras ratkaisu kuitenkin on tehdä muutoksia osaan ja poistaa reikä, jos se on mahdollista. Tällä tavalla koko porausoperaatio saadaan poistettua.

3.1.5 Tarpeeton varastointi

Tarpeeton varastointi linkittyy vahvasti ylituotantoon sen lisätessä tilan tarvetta. Varastoinnin tarpeen vähentämiseksi tulisi tarpeettomista materiaaleista päästä eroon, välttää seuraavan prosessin vaiheen kannalta tarpeettomien osien valmistusta ja välttää ylituotantoa sekä ylisuuria ostokomponenttien hankintaeriä. (Suzaki 1987, 16–17.)

3.1.6 Tarpeeton liike

Tarpeeton liike on hyvä erottaa luvussa 3.1.3 käsitellystä tarpeettomasta kuljettamisesta. Tarpeettomalla liikkeellä tarkoitetaan työntekijöiden ja tuotteiden valmistamiseen käytettävien koneiden ylimääräisen liikkeen aiheuttamaa hukkaa tuotteiden kuljettamisesta tai varastoinnista aiheutuvan hukan sijaan (Opexity 2013).

Tarpeettomana liikkeenä voidaan pitää muun muassa työpisteiden huonosta organisoinnista johtuvaa työkalujen etsimistä ja huonosta layout-suunnittelusta johtuvia pitkiä siirtymisiä koneiden välillä. Myös heikosti suunnitellut menetelmät aiheuttavat hukkaa. Tuotteiden ylimääräinen irrottaminen, kääntäminen ja uudelleenkiinnittäminen tilanteissa, joissa se ei ole valmistuksen kannalta tarpeellista ovat esimerkkejä tästä. (Lean Manufacturing.)

3.1.7 Laatuvirheet

Tuotteiden ja komponenttien laatuvirheet saattavat aiheuttaa hukkaa useammassa toiminnossa. Valmistuksessa osia voidaan joutua korjaamaan tai valmistamaan kokonaan uusiksi. Jos taas viallinen osa on päätynyt kokoonpanoon, voidaan jo kokoonpantua tuotetta joutua purkamaan sen vaihtamiseksi. Kokoonpano voi tämän takia pysähtyä kokonaan, kun korvaavaa osaa joudutaan odottamaan. Pahimmillaan laatuvirheet tulevat esille, kun tuote on jo toimitettu asiakkaalle aiheuttaen takuun alaista työtä ja mahdollisesti vaikuttaen negatiivisesti asiakassuhteisiin. (Suzaki 1987, 18.)

Jotta laatuvirheistä aiheutuva hukka saadaan poistettu pitää luoda prosesseja, joiden avulla laatu-
virheet havaitaan ajoissa ennen kuin viallinen tuote päätyy asiakkaalle tai viallinen osa päätyy ko-
koonpanoon. Lisäksi laatuvirheille altistavat tekijät pitää selvittää ja tehdä korjaavia toimenpiteitä
niiden välttämiseksi. (Suzaki 1987, 18.)

3.2 Gemba-kävely

Gemba-kävelyn konseptin on kehittänyt japanilainen Taiichi Ohno ja se on osa Toyotan kehittämis-
filosofia Toyota Production Systemiä. Sana Gemba tarkoittaa oikeaa paikkaa tai paikkaa, jossa
arvoa tuotetaan. Gemba-kävelyn avulla johtajille ja muille päätöksentekoon osallistuville henkilöille
tarjoutuu mahdollisuus poiketa päivittäisistä rutiineistaan ja jalkautua tuotantoon näkemään miten
yksittäiset toiminnot toteutetaan. Tämä mahdollistaa eron näkemisen omien oletusten ja todellisuus-
den välillä sekä auttaa tunnistamaan mahdollisia hukkatointoja ja analysoimaan niiden lähteitä.
(Six Sigma Daily; Kanbanize.)

Tärkeä osa Gemba-kävelyä on kommunikaatio työntekijöiden kanssa. Työntekijöillä oma näkemyk-
sensä siitä, mitä tietyissä toiminnoissa tehdään oikein ja mikä heidän mielestään aiheuttaa hukkaa.
Tiedon keräämisen lisäksi kommunikaatio auttaa rakentamaan luottamusta työntekijöiden kanssa.
(Six Sigma Daily; Kanbanize.)

Kuvassa 5 on esitetty Gemba-kävelyn perusvaiheet. Ennen varsinaista Gemba-kävelyä on tarpeen
rajata aihe ja määritellä kävelyn tavoitteet. Aiheita voivat olla muun muassa tuotannon tehostami-
nen, kulujen pienentäminen tai työturvallisuus. Rajaaminen ja tavoitteiden määrittely auttavat kes-
kittymään yhteen osa-alueeseen tehokkaammin. Etukäteen on myös hyvä laatia lista kysymyksistä,
joita työntekijöille aiotaan esittää. (Kanbanzine.)



KUVA 5. Gemba-kävelyn vaiheet (mukaillen Kanbanzine)

Työntekijöitä, joiden työntekoa seurataan, tulee informoida etukäteen. Kaikilla tulee olla ymmärrys siitä, että Gemba-kävely on yleisesti käytetty työkalu, jonka tavoitteena on toimintojen jatkuva parantaminen. (Kanbanzine.)

Gemba-kävelyn tarkoituksena on tarkkailla, ymmärtää ja parantaa toimintoja, joten on tärkeää keskittyä kävelyn kohteena olevien arvoa tuottavien toimintojen tarkkailuun (Kanbanzine). Gemba-kävely ei ole työkalu, jonka avulla etsitään virheitä ja vieritetään syy niistä työntekijöiden harteille. Keskittymällä työntekijöiden henkilökohtaisen kompetenssin arviointiin saattaa tuloksena olla työmoraaalin lasku ja yhteistyöhaluttomat työntekijät. (Six Sigma Daily.) Gemba-kävelyssä on edettävä arvovirtaa seuraten, jolloin voidaan parhaiten havainnoida mahdolliset hukkaa aiheuttavat osatoinnot (Kanbanzine).

Kaikki vastaan tulleet havainnot tulee kirjata ylös. Kirjaamiseen voi käyttää apuna vaikkapa älypuhelimien kameraa. On tärkeää olla tarjoamatta ratkaisuehdotuksia ongelmakohtiin kesken Gemba-kävelyn, vaikka ratkaisun tarjoaminen olisikin houkuttelevaa. Havaintojen analysointi onkin parempi jättää myöhemmäksi, jolloin kaikki tarpeellinen tieto on saatu kerättyä ja tätä kautta päädytään parempiin tuloksiin. Voi myös olla hyödyllistä ottaa Gemba-kävelyyn mukaan henkilöitä, joilla ei ole historiaa Gemba-kävelyn kohteena olevan toiminnon kanssa. Usein he kiinnittävät huomiota eri asioihin ja esittävät kysymyksiä, joita aiheen tuntevat eivät välttämättä kysyisi tuoden uutta näkökulmaa. (Kanbanzine.)

Gemba-kävelyn jälkeen tulee havainnoista ja saaduista opeista keskustella kävelyn kohteena olleen toiminnon parissa työskentelevien työntekijöiden kanssa. Toimimalla näin vältetään siltä, että työntekijät tuntevat olleensa itse tarkkailun kohteena. (Kanbanzine.)

4 TYÖN VAIHEET, TAVOITTEET JA RAJAUKSET

4.1 Työn vaiheet ja tavoitteet

Toimintoja on mahdollista kehittää useilla eri tavoilla. Opinnäytetyössä toimintojen kehittämisen lähtökohdaksi otettiin kaksi erilaista kehityssuuntaa. Ensimmäisessä kehityssuunnassa toimintoja kehitetään olemassa olevan konekannan ympärille, kun taas toisessa kehityssuunnassa selvitetään mitä hyötyjä investoimalla uuteen CNC-työstökeskukseen on mahdollista saavuttaa.

Opinnäytetyö on jaettu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa tutustutaan yrityksen nykyiseen piensarjatuotannon prosessiin ja pyritään havaitsemaan mahdollinen osatoiminnoista ja koneiden ominaisuuksista aiheutuva hukka.

Toisessa vaiheessa tehdään suppea selvitys siitä, millainen työstökeskus olisi teknisiltä ominaisuuksiltaan sopiva yrityksen tarpeisiin. Selvityksen pohjaksi tutustutaan yrityksen hankkimaan koneistettuun mekaniikkaan niin materiaalien kuin kappaleiden kokoluokan osalta. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa havaittu nykyisen CNC-jyrsimen puutteet otetaan huomioon.

Viimeisessä vaiheessa esitetään toimenpiteitä hukan vähentämiseksi, pohditaan toimenpiteisiin liittyviä riskejä sekä esitetään kustannusarviot kahdesta eri näkökulmasta:

1. Hankitaan nykyaikainen CNC-työstökeskus ja kehitetään koneistusprosessia työstökeskuksen ominaisuuksien pohjalta.
2. Kehitetään nykyistä prosessia nykyisellä konekannalla sekä tehdään mahdollisesti pienempiä investointeja työkaluihin ja CAM-ohjelmistoon.

Lopuksi eri kehityssuuntien pohjalta tehdään esitys toteutettavista toimenpiteistä, joiden tavoitteena on tukea yrityksen päätöksentekoa. Lisäksi pohditaan miten toimenpiteiden toteutumista tulisi seurata.

4.2 Rajaukset

Yrityksen sisäinen konepajatoiminta sisältää valmistukseen liittyvien toimintojen lisäksi muitakin toimintoja. Näitä ovat hankintatoimi, joka vastaa osien tilaamisesta pajalta ja työkuormituksen seurannasta, sekä tulologistiikka, joka vastaa valmistuneiden osien vastaanotosta ja varastoinnista. Arvoketjun kaikkien toimintojen tarkasteleminen on todella suuri kokonaisuus ja tämän takia opinäytetyö on rajattu käsittelemään ainoastaan suoraan valmistukseen liittyviä toimintoja. Tämä käsittelee kaikki osien valmistukseen liittyvät osatoiminnot, kuten aihoiden sahaaminen, ohjelmointi, valmistelevat toimenpiteet, koneistaminen ja viimeistely. Manuaalijyrsintä ja sorvaaminen on jätetty pois, niiden erotessa osatoiminnoiltaan suuresti CNC-jyrsinnästä.

JOT Automation on muuttamassa uusiin toimitiloihin kesän 2023 aikana. Tämän takia työympäristön organisointiin keskittyvä 5S-menetelmää ei hyödynnetä konepajan layoutin muuttuessa joka tapauksessa. Uudet tilat tulevat olemaan huomattavasti suuremmat ja uusien tilojen layoutiin on mahdollista tehdä muutoksia jälkikäteen.

Työstökeskuksen esivalinnan osalta työ rajataan vastaamaan kysymykseen, minkälainen työstökeskus olisi tärkeimmiltä ominaisuuksiltaan soveltuva yrityksen käyttöön. Esivalinnan tarkoitus ei ole edetä tarjouskysely-vaiheeseen vaan se toimii enemmänkin päätöksenteon tukena. Lisäksi tehdään arvio, mitä muita mahdollisia investointeja työstökeskuksen hankkiminen vaatisi.

5 LÄHTÖTILANNE

JOT Automation on oululainen vuonna 1988 perustettu teknologia-alan yritys, joka valmistaa automaattioratkaisuja teollisuuden tarpeisiin. Yritys toimii globaalisti ja sillä toimintaa yhdessätoista maassa Euroopassa, Amerikassa ja Aasiassa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Oulussa. (JOT Automation.) Oulun tehtaalla yrityksellä on tuotekehitystä ja valmistusta.

JOT Automationin tuoteportfolio koostuu valmiista automaattioratkaisuista, jotka liittyvät tuotteiden kokoonpanoon ja testaukseen, materiaalinkäsittelyyn sekä piirilevyjen leikkaamiseen (JOT automation). Valmiiden tuoteratkaisujen lisäksi yritys toteuttaa asiakaskohtaisia projekteja. Yrityksen asiakkaat toimivat seuraavilla toimialoilla (JOT Automation.)

- autoteollisuus
- akkuteollisuus
- telekommunikaatio
- uusiutuva energia
- kuluttaja- ja tehoelektronikka

5.1 Konepaja

JOT Automationilla on Oulun toimipisteellä konepaja, jossa työskentelee kaksi kokoaikaista työntekijää. Konepajan toiminnot käsittävät koneistamisen jyrsimällä ja sorvaamalla, pienimuotoiset ohutlevytyöt, maalauksen sekä tularityöt. Edellä mainituista koneistustyöt kattavat suurimman osan konepajan töistä. Konepajan kaksi tärkeintä tehtävää on:

1. tukea tuotannon toimintaa korjaamalla viallisia osia ja päivittämällä olemassa olevia osia uudempiin revisioihin sekä valmistamalla kokonaan uusia osia. Uustuotannon pääpaino on projektien aikataulujen kannalta kriittisen mekaniikan valmistuksessa.
2. tukea tuotekehitystä valmistamalla uustuotantona prototyyppiosia ja tekemällä muutoksia jo olemassa oleviin osiin.

Yrityksen konepajan kapasiteetti on rajallinen, eikä sen tarkoituksena ole valmistaa kaikkea tarvittavaa mekaniikkaa ja suurin osa tarvittavasta mekaniikasta hankitaan alihankintaan erikoistuneilta konepajoilta. Alihankinnan ongelmana yritys näkee paikoin pitkät toimitusajat niiden ollessa normaalisti 3–4 viikkoa. Toimitusajoissa esiintyy myös kausittaista vaihtelua, venyen pahimmillaan kuuteen viikkoon. Mekaniikkaa on mahdollista hankkia alihankkijoilta myös nopealla toimituksella, jolloin hinta on 2–3 kertainen. Kiiretapauksissa hankintahintaa pidetään kuitenkin merkityksettömänä.

Mekaniikan suunnitteluvirheet, laatuongelmat ja pitkät toimitusajat aiheuttavat asiakasprojektien aikataulujen venymistä johtaen ongelmiin etenkin projektin loppuvaiheessa, kun laitteiden toimintoja aletaan testaamaan. Monet mekaniikasta johtuvat ongelmat tulevat esille vasta silloin kun laitteiden toimilaitteita aletaan ajamaan, vaikka kokoonpanovaiheessa kaikki vaikuttaisikin olevan kunnossa. Konepajan merkitys nähdäänkin tärkeänä tapauksissa, joissa muutoksia mekaniikkaan on tehtävä hyvinkin nopeasti. Pajan tuottama lisäarvo asiakkaalle korostuu etenkin tilanteessa, jossa asiakas on saapunut paikan päälle asiakasprojektiin liittyen ja tarvetta muutoksille ilmaantuu, jotta esimerkiksi laitteen testiajoa voidaan jatkaa.

Konepajan nykyinen konekanta koostuu CNC-ohjatusta jyrsinkoneesta (kuva 6), manuaalisesta työkalujyrsimestä ja kahdesta kärkisorvista. Materiaalin sahaamiseen konepajalta löytyy kaksi vanhesahaa.



KUVA 6. CNC-ohjattu jyrsinkone

Konepajan pääasiallisena kehityskohteena olevan CNC-ohjatun jyrsinkoneen Haas TM1-HE:n tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 1. Haasin TM-sarjan koneet ovat CNC-ohjattuja työkalujyrsinkoneita, jotka soveltuvat pienille konepajoille piensarjojen ja prototyyppien valmistamiseen. Koneen karan kierrosnopeus on vakiona rajoitettu parametrien avulla 4 000 1/min, mutta yrityksen käytössä olevan koneessa rajoitus on ohitettu karan kierrosnopeuden ollessa 6 000 1/min. Koneessa ei ole automaattista työkalunvaihtajaa ja siitä puuttuvat suojarakenteet, jotka ovat suurin ero työstökeskuksiin verrattuna. Kone vastaa kuitenkin niin ohjaukseltaan, servoiltaan kuin karaltaan Haasin vastaavan ikäluokan työstökeskuksia.

TAULUKKO 1. Haas TM1-HE:n tekniset ominaisuudet

Valmistusvuosi	2008
Liikealueet x/y/z	762/305/254 mm
Karan kierrosnopeus	6 000 1/min
Karateho	5,6 kW
Karakartio	BT40
Työkalumakasiinin koko	1
Pöydän kantavuus	454 kg

Lisävarusteena koneessa on Renishawin valmistama optinen mittausjärjestelmä, joka koostuu työkappaleen työkoordinaatiston määrittelyyn ja mittaamiseen tarkoitettusta OMP-40-2-kosketusanturista ja OT-1-työkalunmittausanturista. Lisäksi koneeseen on hankittu erillinen kolmannen osapuolen valmistama leikkuunestejärjestelmä.

CAM-ohjelmistona pajalla on käytössä Autodeskin julkaisema FeatureCAM 2021. Ohjelmisto perustuu tilavuusmallin automaattiseen piirteiden tunnistamiseen, jonka pohjalta ohjelmisto pyrkii ehdottamaan tehokkainta mahdollista työstörataoperaatiota piirteen koneistamiseksi käyttäjän luoman työkalukirjaston ja ennakkoon määriteltujen parametrien pohjalta.

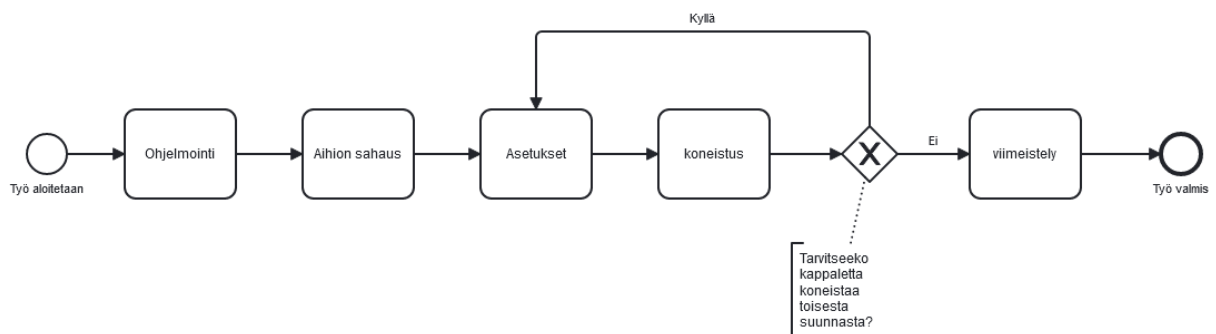
5.2 Prosessikuvaus

Liitteessä 1 on esitetty mekaanisen osan valmistuksen arvoketju BPMN 2.0 -prosessikuvauksena. BPMN 2.0 on vuokaaviomalli, jota käytetään apuna erilaisten liiketoiminnan prosessien graafiseen havainnollistamiseen. Sen avulla voidaan kuvata yksityiskohtaisesti prosessin eri toiminnot ja tietovirrat. (Lucidchart.) Prosessikuvauksessa käytetyt symbolit on esitetty liitteessä 2 (Object Management Group).

Prosessin käynnistävänä tapahtumana on tarve mekaaniselle osalle. Kun tarve on hyväksytty tuotannosuunnittelun osalta, se siirtyy hankintaan. Hankinnassa ostaja tekee tämän päätöksen, valmistetaanko kyseinen osa omalla pajalla vai tilataanko se alihankkijalta. Tilatessa alihankkijalta, noudatetaan normaalia tarjouspyyntömenettelyä. Jos osa valmistetaan omalla pajalla, tieto siitä merkitään samaan tapaan ERP-järjestelmään, jossa paja on listattuna yhtenä toimittajana alihankkijoiden tapaan. Tiedot tilauksesta kirjataan myös Excelliin, jota käytetään konepajan työkuorman ja tilausten seurantaan.

Tilaus työstä toimitetaan käsin pajalle tulostetun työpiirustuksen muodossa. Piirustukseen on merkitty työn kannalta oleelliset tiedot kuten tarvittava kappalemäärä, tarvepäivämäärä ja työmääräyksen numero, jota käytetään tilauksen seurantaan.

Yksityiskohtaisempi kuvaus mekaanisen osan CNC-koneistusprosessista on esitetty kuvassa 7. Koneistusprosessin kuvaaminen on osin haastavaa töiden saattaessa olla keskenään hyvin erilaisia. Kuvauksen mukainen prosessi kuvaa tilannetta, jossa koneistetaan täysin uusi kappale.



KUVA 7. koneistusprosessi

Koneistusprosessin ensimmäinen vaihe on ohjelmointi. Koneistaja ohjelmoi kappaleen radat joko näppäilemällä koodin käsin jyrsinkoneelle tai käyttämällä apuna CAM-ohjelmistoa. Koneistajalla on pääsy myös PDM-järjestelmään, josta hän voi tarvittaessa hakea 3D-malleja valmistuksen tueksi. Ohjelmointitavan valinta on hyvin riippuvainen kappaleen monimutkaisuudesta ja osaan kappaleista saatetaan käyttää molempia ohjelmointitapoja.

Seuraavassa vaiheessa sahataan aihio kappaleelle. Materiaalista ja sen kokoluokasta riippuen käytetään sahaamiseen vannesahaa, käsisirkkeliä tai kulmahiomakonetta. Aihion sahaamisen jälkeen tehdään työn vaatimat asetukset jyrsinkoneelle. Niihin kuuluvat:

- työkalujen kiinnittäminen pitimiin ja niiden mittaaminen jyrsinkoneella.
- kappaleen kiinnittäminen ja siihen liittyvät mahdolliset toimet, kuten kiinnittimien valmistaminen.
- kappaleen työkoordinaatiston määrittäminen.
- ohjelman siirtäminen jyrsinkoneelle USB-tikulla, jos ohjelmointi on tehty CAM-ohjelmistolla.

Koneistaminen on automaattinen työvaihe, jossa jyrsinkone työstää ohjelmoitujen ratojen mukaisen osan. Koska Haas TM1-HE:ssä ei ole varusteena automaattista työkalunvaihtajaa, tulee koneistajan vaihtaa työkalut käsin työkalunvaihdon yhteydessä. Jyrsinkoneeseen on hankittu kolmannen osapuolen ulkoinen leikkuunestepumppu, jota ei voida ohjata jyrsinkoneen kautta ja koneistaja kytkee pumpun päälle jalalla koneistusoperaation sitä vaatiessa.

Kun kappaleesta on koneistettu kaikki piirteet ja muodot, jotka ovat mahdollista koneistaa koneistusuunnan ja kiinnityksen aiheuttamien rajoitteiden puitteissa, irrotetaan kappale ja toistetaan asetusvaihe sekä koneistusvaihe tarvittaessa, kunnes kappale on valmis. Koneistusvaiheiden määrä riippuu siitä, kuinka monesta suunnasta kappaletta on koneistettava, että kaikki haluttavat piirteet ja muodot saadaan valmistettua. Kun kappale on valmis, se viimeistellään, tarkastetaan ja toimitetaan mekaniikkaostajalle, jonka työpiste sijaitsee konepajan välittömässä läheisyydessä.

Ostaja merkitsee Excelliin tiedon kappaleen valmistumisesta. ERP-järjestelmään kirjataan kappaleen yksikköhinta, joka perustuu koneistajan arvioon työhön käytetystä ajasta ja mahdollisista materiaalikustannuksista. Jos kappale täytyy pinnoittaa, se lähetetään alihankkijalle pinnoitettavaksi.

Riippumatta pinnoitustarpeesta koneistettu osa päätyy lopulta varastolle, jossa kappale otetaan vastaan, merkitään saldolle ja luovutetaan oikealle projektille.

6 CNC-KONEISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Konepajan nykyiseen CNC-koneistusprosessiin tutustuttiin neljän päivän ajan Gemba-kävelyn avulla. Kahtena ensimmäisenä päivänä konepajan toimintaa seurattiin yleisellä tasolla ja kahden viimeisen päivän aikana keskityttiin seuraamaan kahden erillisen kappaleen valmistusprosessia. Näiden kappaleiden valmistuksen aikana seurattiin eri toimintoihin käytettyä aikaa. Toiminnot ja oteltiin seuraavalla tavalla:

- Ohjelmointi käsittäen sekä CAM-ohjelmoinnin, että käsin ohjelmoinnin.
- Ulkoinen asetus aika, jolla tarkoitetaan valmistelevia toimintoja, jotka voidaan suorittaa CNC-jyrsinkoneen koneistaessa automaattitilassa, kuten työkalujen asettaminen pitimiin.
- Sisäinen asetus aika, jolla tarkoitetaan valmistelevia toimintoja. Nämä toiminnot on suoritettava koneen ollessa pysähdyksissä. Toimintoihin sisältyvät työkalujen mittaaminen, kappaleen kiinnittäminen ja työkappaleen koordinaatiston määrittäminen
- Koneistaminen käsittäen automaattitilassa tapahtuvan koneistamisen ja manuaalisen koneistamisen jyrsinkoneen pulssipyörää apuna käyttäen.
- Muut toiminnot kuten sahaaminen, kappaleiden viimeistely ja mittaaminen sekä työympäristön siivoaminen.
- Konehäiriöt ja niistä aiheutuvat katkokset työskentelyssä.

Yksittäisiin toimintoihin käytettyä aikaa seurattiin puhelimella ja käytetty aika kirjattiin yhden minuutin tarkkuudella. Toimintojen erottaminen toisistaan oli osin haastavaa etenkin sisäisten asetusajan ja työstökeskuksella tapahtuvan ohjelmoinnin osalta, kun tarkkaa ajankohtaa milloin toiminnot vaihtuivat, oli vaikea arvioida taustalta seuraamalla.

6.1 Toimintoihin käytetty aika

Liitteessä 3 on esitetty ensimmäinen kahdesta gemba-kävelyn aikana valmistetusta kappaleesta. PET-muovista valmistetun kappaleen piirteiltään yksinkertainen, joskin erillisiä piirteitä on paljon. Erillisiä koneistussuuntia kappaleessa on viisi ja kappaleen valmistamiseen tarvitaan arviolta 11 työkalua. Kappaleessa on paljon toisiinsa nähden yhdensuuntaisia pintoja ja se on mahdollista koneista kokonaisuudessaan käyttämällä kiinnitykseen koneruuvipuristinta.

PET-osan valmistamiseen käytetty aika eri toimintotyyppien osalta on esitetty taulukossa 2. Taulukosta voidaan havaita, että eniten aikaa vei sisäinen asetusaja (136 min), joka on osin ymmärrettävää, koska kappaleessa on useita erillisiä koneistussuuntia.

TAULUKKO 2. PET-osan koneistustoimintoihin käytetty aika

	Käytetty aika (min)	Osuus kokonaisajasta
Sisäinen asetusaja	136	41,2 %
Ohjelmointi	113	34 %
koneistus	50	15,2 %
Ulkoinen asetusaja	11	3,3 %
Muut toiminnot	14	4,2 %
Häiriö	6	1,8 %
Yhteensä	330	100 %

Myös ohjelmointiin käytettiin paljon aikaa (113 min). Kappaleen ohjelmoinnissa pääasiassa käsin näppäilemällä. CAM-ohjelmistolla ohjelmoitiin ainoastaan haastavimmat piirteet. CAM-ohjelmointiin käytettiin aikaa 25 minuuttia. Koneistukseen aikaa kului 50 minuuttia. Tähän on laskettu mukaan jrsinkoneen automaattitilassa tapahtunut koneistus sekä manuaalinen koneistus jrsinkoneen pulssipyörän avulla.

Liitteessä 4 on esitetty toinen Gemba-kävelyn aikana valmistettu kappale, josta käytetään nimitystä levyosa. Kappale on piirteiltään hyvin yksinkertainen. Erillisiä piirteitä on vähän ja kappale on mahdollista valmistaa viidellä työkalulla. Koneistussuuntia kappaleella on kaksi. Liitteessä 4 näkyvät neljä kolmion muotoista piirrettä ovat kappaleen vahvuuden läpi meneviä kevennyksiä.

Levyosan koneistustoimintoihin käytetty aika on esitetty taulukossa 3. Sisäisen asetusajan suuri osuus (150 min) korostuu levyosassa PET-osan tapaan. Levyosan sisäisen asetusajan suuri osuus selittyy kappaleen suurilla ulkomitoilla. Ulkomitoiltaan 315 x 348 x 10 mm on liian suuri koneen y-

akselin 305 mm liikealueelle, mikä aiheuttaa ylimääräisiä työvaiheita kuin mitä optimitalanteessa olisi tarpeen. Levyosan koneistukseen käytetty 105 minuutin aika johtuu pitkälti kevennyksistä, jotka vaativat suurta materiaalinpoistoa.

TAULUKKO 3. Levyosan koneistustoimintoihin käytetty aika

	Käytetty aika (min)	Osuus kokonaisajasta
Sisäinen asetus aika	150	43,4 %
Koneistus	105	30,3 %
Muut toiminnot	48	13,9 %
Ohjelmointi	37	11 %
Ulkoinen asetus aika	3	0,9 %
Häiriö	3	0,9 %
Yhteensä	346	100 %

Muihin toimintoihin käytetystä 48 minuutista erottuu aihion leikkaamiseen käytetty aika. Aihio sahattiin 10 mm levystä vannesahalla, johon aikaa kului kaikkine vaiheineen 20 minuuttia. Kappaleen ohjelmointiin kului aikaa 37 minuuttia. Kappale ohjelmoitiin pääosin käsin, pois luettuna neljä kevennystä, jotka ohjelmoitiin CAM-ohjelmistolla.

6.1.1 Koneistusprosessiin liittyvä hukka

Gemba-kävelyn aikana merkille pantavaa hukkaa havaittiin sisäisen asetusajan toiminnoissa, ohjelmoinnissa, koneistuksessa ja aihoiden sahaamisessa. Myös muissa toiminnoissa havaittiin hukkaa, mutta sen merkitys kokonaisuuteen nähden on hyvin pieni.

Sisäisessä asetusajassa suurinta hukkaa aiheutuu kappaleen tarpeettomasta irrottamisesta ja uudelleenkiinnittämisestä. Kappaleista ei koneistettu kaikkia piirteitä, jotka olisivat olleet mahdollista

koneistaa samasta koneistussuunnasta. Irrottamisen ja uudelleenkiinnittämisen lisäksi aikaa tuhraantui pintojen puhdistamiseen, koneistettujen pintojen linjaamiseen yhdensuuntaiseksi jyrsinkoneen liikeakselien ja suhteen ja työkoordinaatiston uudelleenmäärittämiseen.

Uudelleenkiinnittäminen altistaa myös laatuvirheille, jotka pahimmassa tapauksessa tulevat ilmi myöhemmin, laitteen testauksen aikana. Uudelleenkiinnittämisen aiheuttamat poikkeamat pintojen yhdensuuntaisuudessa ja kohtisuoruudessa vaikuttavat suoraan kappaleen geometriaan. Nämä yhdistettynä poikkeamiin kappaleen pituusmitoissa, työkoordinaatiston määrittämiseen käytettyjen työkalujen mittatarkkuuteen ja jyrsinkoneen paikoitustarkkuuteen vaikuttavat heikentävästi kappaleen mittoihin. Edellä mainitut virheet ketjuuntuvat mitä useammin kappale kiinnitetään uudelleen.

Ohjelmoinnin osalta suurinta hukkaa aiheutuu käsin ohjelmoinnista, joka on hidasta. Pajalla suurin osa ohjelmoinnista tapahtuu käsin, eikä käytössä olevaa CAM-ohjelmistoa hyödynnetä riittävästi. CAM-ohjelmistoa käytetään lähinnä hyväksi tilanteissa, jotka vaativat suurta materiaalinpoistoa tai joissa käsin ohjelmoiminen vaatisi työläitä matemaattisia laskutoimituksia koordinaattien määrittämiseksi.

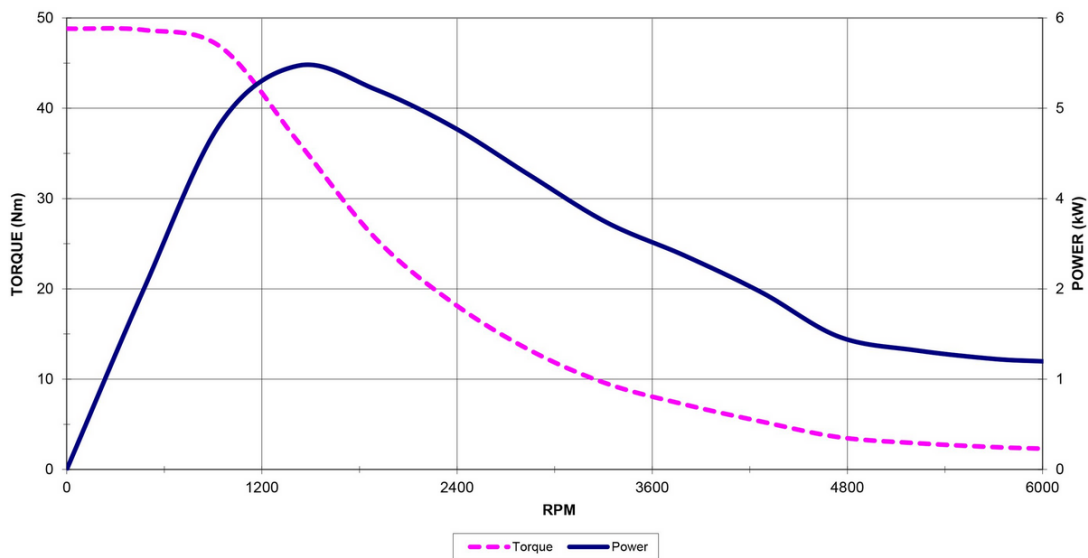
Kuten uudelleen kiinnittäminen, myös ohjelmointi käsin altistaa laatuvirheille. Ohjelmoituja ratoja on mahdollista simuloida 2-ulotteisena jyrsinkoneen näyttöpaneelilla. Tämä ei kuitenkaan mahdollista ohjelmoitujen ratojen vertaamista kappaleen 3D-tilavuusmalliin CAM-ohjelmistojen tapaan ja mahdollisten virheiden havaitsemista.

Gemba-kävelyn aikana käsin ohjelmoituja ohjelmia tarkastettiin käsin, joka vei hyvin paljon aikaa. Ohjelman koodia ja koordinaattipisteitä verrattiin työpiirustuksissa näkyviin mittoihin. Tarkastamista havaittiin sekä ennen koneistusta ja koneistuksen aikana, jolloin ohjelmaa ajettiin rivi kerrallaan eteenpäin samalla tarkastaen seuraavan koordinaatin sijainti.

6.1.2 Jyrsinkoneen ominaisuuksista johtuva hukka

Käytössä olevan CNC-jyrsinkoneen Haas TM1-HE:n tekniset ominaisuudet aiheuttavat myös hukkaa. Vaatimaton maksimikaranopeus (6000 1/min) verrattuna yleisimmin koneistettavien materiaalien, alumiinien ja teknisten muovilaatujen koneistamiseen käytettyjen työkalujen suositeltuihin pyörimisnopeuksiin kasvattaa koneistusajoja. Leikkuunopeudet jäävät reilusti alle puoleen suositelluista arvoista johtaen hitaampaan materiaalinpoistoon.

Karateho on myös hyvin vaatimaton, millä on suora vaikutus käytettyihin työkaluihin ja lastuamis-arvoihin. Kuvassa 8 on esitetty kyseisen TM-sarjan tuoteperheen karan tehokäyrä. Haas ilmoittaa karan nettotehon 200 % kuormituksella, jolloin kuvan mukaisilla kuormituksilla voidaan koneistaa ainoastaan 3 minuuttia yhtäjaksoisesti, jonka jälkeen kuormitusta täytyy keventää. Yhtäjaksoisesti voidaan koneistaa 100 % tai sen alle jäävällä kuormituksella. Alla olevaa tehokäyrää tulkitaan niin, että 100 % yhtäjaksoinen kuormitus on puolet kuvan tehokäyrästä, maksimiväännön jäädessä 5000–6000 1/min pyörimisnopeudella noin 1,5 Nm:iin.



KUVA 8. Haas TM-sarjan jyrsinkoneen karan tehokäyrä (Haas)

Alhainen karateho vaikuttaa käytettävissä olevien työkalujen kokoon. Halkaisijaltaan suurempien työkalujen tarjoamaa tehokkaampaa lastunpoistoa ei voida käyttää hyväksi karan tarjoaman väännön loppuessa kesken. Tämä korostuu etenkin koneistettavuudeltaan haastavampien materiaalien kohdalla. Koneistettavuuteen vaikuttavat monet materiaalin ominaisuudet, joista karan tehontarpeen kannalta oleellimmat ominaisuudet ovat materiaalin murtolujuus ja kovuus (Sandvik Coromant 1994, II-4).

Työkalunvaihtajan puute aiheuttaa hukkaa koneistajan joutuessa vaihtamaan työkalut käsin karalle. Työkalun vaihto aika on täysin riippuvainen siitä, onko koneistaja koneen lähetyillä työkalunvaihdon aikaan. Manuaalinen työkalunvaihto sitoo koneistajaa vaikeuttaen muiden työtehtävien suorittamista, jotka olisivat mahdollisia suorittaa automaattisen työstön aikana. Työkalujen irrottaminen ja asettaminen karalle on myös työergonomian näkökulmasta ongelmallista, liikkeiden suuren toistomäärän takia.

Y-akselin lyhyt 305 mm liikealue rajoittaa puolestaan koneistettavien kappaleiden kokoluokkaa heikentäen konepajan palvelutasoa. Liikealueen ylittäviä kappaleita on mahdollista valmistaa koneistamalla suuret kappaleet kahdessa osassa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin luvussa 6.1.1 kerrotut kappaleen uudelleenkiinnittämisestä aiheutuvat ylimääräiset toimenpiteet.

Jyrsinkoneen avonaisesta suojarakenteesta takia lastuja ja lastuamismestettä päätyy lattialle, joka lisääntyneen siivoustarpeen lisäksi altistaa liukastumisille. Teholtaan vaatimaton lastuamismestepumppu ja sen tuottama heikko nesteen paine ei mahdollista tehokasta lastunpoistoa koneistuksen aikana. Heikko lastunpoisto lisää työkalukustannuksia, huonontaa kappaleen pinnanlaatua ja aiheuttaa ylimääräistä työtä, kun lastut joudutaan poistamaan jollakin muulla tavalla koneistuksen aikana. Joko mekaanisesti harjalla tai paineilmaa apuna käyttäen.

6.2 Aihiomateriaalien käsittelyn aiheuttama hukka

Kappaleiden valmistuksessa hyödynnetään paljon kierrätysmateriaaleja, joita saadaan vanhoista laitteista purkamisen yhteydessä. Kierrätysmateriaalien lisäksi käyttöön on hankittu myös pieniä määriä erilaisia alumiini- ja muovilaatuja levy muodossa.

Vaikka materiaalien kierrätyksellä voidaan nähdä positiivisia vaikutuksia alentuneina materiaalikusannuksina, aiheuttaa se paljon hukkaa. Koneistaja saattaa käyttää paljon aikaa materiaalien läpikäymiseen ja työhön sopivan kokoisien aihion etsimiseen. Puretuissa osissa esiintyy myös paikoin paljon piirteitä, kuten reikiä tai upotuksia, jotka vähentävät hyödynnettävän materiaalin määrää. Tämä lisää aihion leikkaamiseen käytettyä aikaa, kun piirteet halutaan jättää pois varsinaisesta aihionesta. Kierrätysmateriaalien käytön aiheuttama hukka korostuu suuremmissa valmistusmääriä. Yhteen aihioon voi olla kohtuullisen helppo löytää sopivan kokoinen kappale, mutta materiaalia ei ole riittävästi useamman aihion leikkaamiseen ja etsiminen täytyy aloittaa uudestaan.

Kierrätysmateriaalien käyttö lisää myös varastotilan tarvetta suhteettoman paljon siihen nähden kuinka paljon materiaaleissa on todellisuudessa hyödynnettävää. Lisääntynyt varastotilan tarve vaikeuttaa puolestaan materiaalin ja muiden tuotannon tarvikkeiden hallintaan.

Sahauskapasiteetti on rajallinen ja aiheuttaa hukkaa etenkin niiden kappaleiden kohdalla, joita ei ole mahdollista kokonsa puolesta leikata kummallakaan käytössä olevalla vannesahalla. Näissä

tapauksissa koneistaja saattaa joutua leikkaamaan aihion joko kulmahiomakoneella tai käsisirkkellä.

6.3 Yhteenveto hukasta

Koneistusprosessin aiheuttama hukka tulee käsittää kokonaisuutena, joka on jakaantunut pienempiin osiin, kuten menetelmäsuunnitteluun ja koneistusstrategioihin, eli millä tavalla tietynlaisen kappaleen koneistamista lähestytään. Tämä sisältää kysymykset, missä järjestyksessä ja monessako vaiheessa kappale on kannattavinta koneistaa, minkälaisia operaatiotyyppejä käytetään, miten kappale kiinnitetään ja mitä rajoitteita käytössä oleva konekanta, työkalut, kappaleen geometria ja ohjelmistot aiheuttavat. Konekannan, työkalujen ja ohjelmistojen aiheuttama hukka on selkeä määrittää, kaiken muun liittyessä kompetenssiin.

Käytössä oleva jyrsinkone soveltuu lähinnä yksittäisten kappaleiden valmistukseen, joissa materiaalinpoisto on vähäistä. Tämän kaltaisissa kappaleissa ohjelmointiin ja asetuksiin käytetty aika korostuu koneistusajan merkityksen ollessa pienempi. Suurempien sarjakokojen kohdalla koneistus-aika korostuu. Ohjelmointi ja asetukset tehdään jokaiselle vaiheelle ainoastaan kerran, jokaisen osan koneistusajan ollessa vakio sarjakoosta riippumatta.

Ohjelmoinnin osalta suurin puute on, ettei käytössä olevaa CAM-ohjelmistoa hyödynnetä riittävästi. Kokemusta CAM-ohjelmoinnista on niukasti, eikä ohjelmistoon luoteta tarpeeksi, osin siksi, että ohjelmiston käyttöliittymä koetaan vaikeaksi. Suomenkielistä, avoimesti saatavilla olevaa koulutusmateriaalia FeatureCAM -ohjelmistolle ei juurikaan saatavilla, joka vaikeuttaa itseopiskelua.

Käsin ohjelmointi on hidasta verrattuna CAM-ohjelmointiin ja altistaa laatuvirheille. CAM-ohjelmiston tarjoaman simuloinnin hyödyntämättä jättäminen vaikeuttaa myös koneistusjärjestyksen ja esimerkiksi terien geometrian aiheuttamien rajoitusten hahmottamista sekä kiinnityksien suunnittelua.

CAM-ohjelmiston ominaisuuksien puutteena on dynaamisten koneistusstrategioiden puute. Dynaamisella jyrsinnällä tarkoitetaan koneistusstrategioita, joissa terän pyörimisnopeus ja syöttönopeus ovat suuria, radiaalinen lastunsyvyys pieni ja aksiaalinen lastunsyvyys suuri (Camcut). Nykyisen CAM-ohjelmiston tarjoamat perinteiset koneistusstrategiat ovat lastuamisarvoiltaan vastakkaiset dynaamisiin koneistusstrategioihin verrattuna. Tämä aiheuttaa hukkaa vähäisenä lastuvirtana ja etenkin työkalujen lisääntyneenä kulumisena.

Lopun hukan lähteenä on puutteet menetelmäsuunnittelussa, sisältäen kappaleiden kiinnittämisen ja koneistusjärjestyksen valinnan sekä käytetyissä koneistusstrategioissa, eli mitkä operaatiotyyppejä on kannattavinta käyttää, että haluttuun lopputulokseen päästään mahdollisimman tehokkaasti. Suurin yksittäinen hukkaa aiheuttava toiminto on koneistettavan kappaleen turha uudelleenkiinnittäminen. Jyrsinkoneen automaattista työstöä hyödynnetään vähän ja konetta käytetään samoin tavoin kuin manuaalista jyrsinkonetta.

Materiaalin varastointi ja sahaaminen aiheuttavat myös selkeää hukkaa. Tällä on kuitenkin ainoastaan pieni merkitys kokonaisuuden näkökulmasta katsottuna muiden toimintojen aiheuttaessa suhteessa enemmän hukkaa.

7 TYÖSTÖKESKUKSEN ESIVALINTA

JOT Automationin käyttöön soveltuvan työstökeskuksen tärkeimmät yksittäiset kriteerit ovat koneistettavat materiaalit ja kappaleiden kokoluokka. Mitoittamalla työstökeskus oikein tarpeisiin nähdään voidaan välttyä turhilta investoinneilta ominaisuuksiin, joille ei ole tarvetta tai joiden hyöty on pientä investoinnin kustannuksiin nähden.

JOT:in tapauksessa ylivoimaisesti suurimmat koneistettavat materiaaliluokat muodostavat erilaiset alumiiniseokset ja tekniset muovilaadut. Kyseiset materiaalit ovat lujuudeltaan matalia ja tarvittava karateho on pientä. Materiaalien suositellut lastuamisarvot ovat kuitenkin korkeat niin lastuamisnopeuden kuin hammaskohtaisen syötön osalta, joten koneen karanopeuden ja liikeakselien nopeuksien tulisi olla riittävän korkeita.

Työstökeskuksen tulisi myös kyetä ruostumattomien teräslaatuja kevyeen koneistamiseen. Ruostumattomista teräksistä valmistettujen osien käyttö valmistettavissa laitteissa on yleistä. Osat ovat kuitenkin kokoluokaltaan pienempiä kuin alumiiniseoksista ja muoveista valmistetut osat, ja materiaalinpoiston tarve niissä on vähäistä.

Koneistettavat kappaleet ovat kokoluokaltaan pääosin pieniä, eikä niiden valmistamiseen vaadita työstöalueeltaan kovin suurta työstökeskusta. Yksittäisiä poikkeuksia kappaleiden kokoluokassa esiintyy, kuten laitteiden suuret teräksiset pohjalevyt. Suurempaan työstökeskukseen investointi ei kuitenkaan ole kannattavaa kokoluokaltaan suurempien kappaleiden ollessa osuudeltaan pieni.

7.1 Työstökeskuksen tekniset vaatimukset

Yrityksen tarpeeseen soveltuva työstökeskus on pystykarainen ja 3-akselinen. Kyseinen kone tyyppi on yleisesti teollisuudessa käytössä oleva konetyyppi ja myös hankintahinnaltaan edullisin. Suurempi liikeakselien määrä ei myöskään tuo merkittävää etua lisäkustannuksiin nähden, koska suurin osa yrityksen valmistamasta ja ulkoa hankkimasta mekaniikasta on piirteiltään suhteellisen yksinkertaista. Taulukossa 4 esitetyt ominaisuudet käydään tarkemmin läpi seuraavissa luvuissa.

TAULUKKO 4. Työstökeskuksen tekniset vaatimukset

Pystykarainen, 3-akselinen työstökeskus	
Kara	
Tyyppi	Suorakytkentä
Pyörintänopeus	12 000–15 000 1/min
Teho	+10 kW
Karan kartio	BT40
Työkalunvaihtaja	
Tyyppi	Sivukiinnitteinen (SMTC)
Kapasiteetti	24–30
Liikealue ja kantavuus	
Liikealue min. (X, Y, Z)	700 mm, 400 mm, 500 mm
Liikenopeudet min.	20 m/min
Pöydän kantavuus min.	500 kg
Ohjaus	Fanuc, Haas tai Siemens

7.1.1 Kara

Työstökeskuksen valinnan kannalta oleellisin asia on tarpeeseen nähden sopivan karan valinta. Karan valitseminen alkuvaiheessa auttaa rajaamaan vaihtoehtoja pienemmäksi tiettyjen karojen ollessa saatavilla ainoastaan tiettyihin konemalleihin.

Ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan parhaiten soveltuva karatyypin yrityksen tarpeisiin nähden on suorakytkentäkara, jossa moottori on kytketty suoraan karan päähän. karatyypin etuja ovat tassisempi ja hiljaisempi käynti ja sillä päästään erinomaiseen pinnanlaatuun (Smith, 2007). Suorakytkentä lisäksi ainoa varteenotettava vaihtoehto on hihnavetoinen kara. Tämän karatyypin ongelmana on sille ominainen herkkyys värinöihin johtuen hihnan venymisestä suurissa kierrosnopeuksissa, jonka takia hihnavetoisten karojen tarjoamat kierrosnopeudet ovat pienempiä verrattuna suorakytkentäkaroihin (Dynomax).

Karan pyörintänopeuden tulee olla riittävän suuri alumiinien ja teknisten muovilaatujen tehokkaan koneistuksen näkökulmasta. Taulukossa 4 karan pyörintänopeukseksi on esitetty 12 000–15 000 1/min, jälkimmäisen ollessa suurimpia karan kierrosnopeuksia, jolla suorakytkentäkaroja on saatavilla.

Taulukossa 4 karan tehoksi vähintään 10 kW. Arvo on viitteellinen ja todellisuudessa karan nettotehon tarve tulisi laskea. Nettotehon tarve lasketaan lastuamisvoimien avulla, joihin vaikuttavat materiaalin lujuusarvot, terägeometria ja työstöarvot (Sandvik Coromant, s X-27-28). Tuloksia verrataan sen jälkeen valmistajien antamiin teho- ja vääntökäyriin, jotta voidaan varmistua tehon riittävydestä. Koska opinnäytetyön tavoitteena ei ole hankkia konetta nettotehon laskemiselle ei ollut tarvetta. Alumiiniseosten ja teknisten muovilaatujen ollessa lujuusarvoiltaan matalia voidaan olettaa, että taulukon 4 ominaisuuksilla varustetun koneen karateho on riittävä.

Karan kartiolla tarkoitetaan työkalupitimen koneen karalle kiinnittyvän pään tyyppiä. Taulukossa 4 karan kartioksi on esitetty BT40 -kartiota. Sama kartio on käytössä nykyisessä CNC-jyrsinkoneessa ja olemassa olevia työkalupitimiä on mahdollista hyödyntää, jos hankitaan kyseisellä kartiolla varustettu työstökeskus.

7.1.2 Työkalunvaihtaja

Työkalunvaihtajan valinnan kannalta tärkein ominaisuus on sen kapasiteetti. Kapasiteetin tulee olla riittävän suuri, että koneistamiseen yleisimmin käytetyt työkalut ovat valmiina vaihtajan makasiinissa, jolloin asetusaikaa saadaan painettua alaspäin. Konevalmistajat tarjoavat vakiona eri kokoisia työkaluvaihtajia, joiden kapasiteetti on yleisesti 20–30 työkalun väliltä. Suurempia työkalunvaihtajia on saatavilla lisävarusteina. JOT:in käyttöön riittävä vaihtajan kapasiteetti on minimissään 24

työkalua. Tällä kapasiteetilla koneeseen saadaan mahtumaan alumiinien ja muovilaatujen koneistukseen soveltuvat yleisimmät työkalut. Työkalunvaihtajan kapasiteetti määrittelee työkalunvaihtajan tyyppin, joksi valikoituu sivukiinnitteinen vaihtaja (SMTC), jossa työkalut ovat työstökeskuksen työstötilan ulkopuolella.

7.1.3 Akseleiden liikealue ja pöydän kantavuus

Akseleiden liikealueen tulee olla vähintään 700 mm x-akselin suunnassa, 400 mm y-akselin suunnassa ja 500 mm z-akselin suunnassa. Kyseisellä liikealueella voidaan valmistaa suurin osa yrityksen tarpeisiin tulevasta mekaniikasta. Vaikka suuremmalla liikealueella olevalla koneella on mahdollista valmistaa suurempia kappaleita, ei se tarjoa juurikaan lisäetua. Suuremman koneen hinta on korkeampi ja se vaatii suuremman lattiapinta-alan.

Pöydän kantavuus ei ole suuressa roolissa ja yleensä työstökeskusten pöytien kantavuus on enemmän kuin riittävä, esimerkkikoneessa sen ollessa 500 kg. On kuitenkin hyvä huomioida, että markkinoilla on malleja, joissa pöydän kantavuus on hyvin alhainen. Esimerkkinä tästä voidaan pitää Haasin valmistamia DM-sarjan koneita, joiden pöydän kantavuus on 113 kg (Haas). Vaikka koneistettavat kappaleet ovatkin painoltaan pieniä, asettaa pieni kantavuus rajoituksia erilaisille kiinnitysratkaisuille, kuten nollapistekiinnittimen mahdolliselle käytölle.

7.2 Esimerkkikone: HAAS VF-2SS

Esimerkkinä JOT:in tarpeisiin sopivasta työstökeskuksena voidaan pitää Haasin valmistama VF-2SS:ää. Kyseinen työstökeskus soveltuu hyvin kevyeen työstöön täyttäen taulukossa 4 esitetyt vaatimukset. VF-2SS:n tekniset tiedot on esitetty liitteessä 5 (Haas). Esimerkkikoneen lähtöhinta ilman lisävarusteita on 63 000 € (17.4.2023). Haas tarjoaa sivustollaan tuotekonfiguraattorin, jonka avulla kone on mahdollista varustaa haluamillaan ominaisuuksilla. Lisävarusteista valittiin lastunkuljetin, nestesumerotin sekä HSM-optio, joka kasvattaa työstökeskuksen kykyä prosessoida suuria määriä NC-koodia, mahdollistaen dynaamisten rouhintastrategioiden tehokkaan käytön. Tuotekonfiguraattorin antama arvolisäveroton hinta-arvio VF-2SS:lle lisävarusteineen on 73 000 €.

Lisävarusteena saatava Renishawin työkalun- ja työkappaleen mittaukseen tarkoitettu mittausjärjestelmää ei ole tarpeen hankkia, sen pienentäessä koneen hyödynnettävissä olevaa työstöaluetta

ja lisätessä sisäistä asetusaikaa. Sen sijaan on suositeltavaa hankkia erillinen työkalun esiasetuslaite. Esiasetuslaitteen avulla asetusaikaa voidaan lyhentää, kun työkalujen mittausta voidaan suorittaa automaattisen koneistusvaiheen aikana. Esiasetuslaitteen hankinta ei lisää kustannuksia, koska työstökeskukseen lisävarusteena saatavaa mittausturinaa ei ole tarpeen hankkia. Kustannuksiltaan molemmat ovat hyvin lähellä toisiaan.

Uuden työstökeskuksen osalta investoinnin kustannukset eivät kuitenkaan jää pelkästään koneinvestointiin vaan lisäkustannuksia aiheutuu työstökeskuksen varustamisesta ja uuden CAM-ohjelmiston hankkimisesta. Pakollisia hankintoja ovat mm. uudet koneruuvipuristimet, joita olisi suositeltavaa hankkia vähintään kolme kappaletta, jotta työstökeskuksen työstöaluetta voidaan hyödyntää tehokkaasti.

Jotta työstökeskuksen kaikista ominaisuuksista voidaan hyötyä, tulee CAM-ohjelmisto vaihtaa ominaisuuksiltaan monipuolisempaan. Esimerkkinä voidaan pitää Mastercam Mill 3D -ohjelmistoa, joka mahdollistaa yhtäaikaisen 3-akselisen työstön ja dynaamisten koneistusstrategioiden käytön. Kustannusarvio kyseiselle ohjelmistolle on 10 000 € + ylläpito

Lisäkustannuksia aiheutuu myös lastuavien työkalujen ja työkalupitimiä hankinnasta. Vaikka nykyisiä pitimiä voidaankin hyödyntää, on suositeltavaa hankkia jyrsintapeille uudet pitimet, jotka ovat tukevampia, tuottavat enemmän kiinnitysvoimaa ja joissa työkalut pyörivät mahdollisimman saman keskeisesti karan kanssa. Paremmat pitimet vaikuttavat laatuun ja ennen kaikkea pidentävät työkalujen käyttöikää. Työkalujen lisäksi kustannuksia aiheutuu lastuamismestremulsiosta ja sen varastointiin, sekoittamiseen sekä huoltoon liittyvistä hankinnoista.

Arvio Investoinnin arvolisäverottomasta kokonaiskustannuksesta on 105 000–115 000 €. Kustannusarvioon vaikuttaa suuresti olemassa olevat työkalut ja kuinka hyvin niitä on mahdollista hyödyntää.

8 KEHITYSTOIMENPITEET

Nykyaikainen työstökeskus leikkaisi nykyisen jyrskoneen ominaisuuksista johtuvaa hukkaa ja mahdollistaisi suuremman lastuvirran lisääntyneen lastuamisnopeuden ansiosta. Täysin automaattinen koneistusprosessi vapauttaisi koneistajan muihin työtehtäviin, kun työkalunvaihtoa ei olisi tarpeen suorittaa käsin. Koneen suurempi liikealue mahdollistaisi suurempien kappaleiden valmistamisen nostamalla konepajan palvelutasoa. Investoinnilla olisi myös positiivinen vaikutus työergonomiaan ja työturvallisuuteen.

Koneinvestointi ei kuitenkaan poista nykyisten toimintatapojen aiheuttamaa hukkaa, ja sen tuoma tuottavuusparannus on täten epävarmaa. Tehokas koneistusprosessi vaatii hyvän työstökeskuksen lisäksi tehokkaan CAM-ohjelmiston, laadukkaat työkalut, työkalupitimet sekä kiinnitysratkaisut ja ennen kaikkea riittävän määrän kompetenssia, jotta kaikkea voidaan hyödyntää tehokkaasti. Vaikka uusi työstökeskus hankittaisiin se ei poistaisi tarvetta

Uuden työstökeskuksen myötä myös raakamateriaalien kulutus nousisi ja materiaaleja tulisi hankkia varastoon, jotta palvelutaso olisi riittävä ja toiminta tehokasta. Vanhojen osien tehokas hyödyntäminen uusien osien materiaaleina ei olisi suositeltavaa suuremmista kappalemääristä ja kappaleiden kasvaneesta kokoluokasta johtuen. Lisääntynyt materiaalihankinta lisäisi varastotilan tarvetta nostamalla varastoarvoa. Riskinä on myös materiaalien hankkiminen varastoon, joille ei lopulta ole suurempaa käyttöä.

Uusi työstökeskus vaatisi myös toisen kokoaikaisen koneistajan palkkaamista. Koneistusprosessin sisältäessä useita työvaiheita, työstökeskuksen jatkuva ja tehokas operoiminen yhdellä työntekijällä on käytännössä mahdotonta ja uuden työstökeskuksen tarjoamaa kapasiteettia olisi vaikea hyödyntää kokonaisuudessaan. Lomat ja mahdolliset sairaspöissaolot aiheuttavat yhdellä työntekijällä tuotantoon katkoksia ja lisäävät investoinnin riskiä. Pienen konepajan ollessa kyseessä osaamisen tulee olla laajaa, jolloin lyhyisiin työsuhteisiin esimerkiksi kesäloman ajaksi on vaikeaa löytää riittävän kompetenssin ja kokemuksen omaavaa työntekijää.

Tehokkuuden parantumisella on myös vaikutusta muihin toimintoihin, kuten logistiikkaan ja hankintatoimeen ja vaikutusta niihin tulisi arvioida. Tilausten tekeminen ja niiden seuranta vaatisi myös

uuden tuotannonohjausjärjestelmän käyttöönottoa, jotta tilausten seuranta ja konepajan työkuorituksen seuranta helpottuisi.

Edellä mainittujen asioiden pohjalta uuden työstökeskuksen hankkimista on vaikea suositella. Investoinnin kustannukset ovat suuria riskeihin nähden ja tuottavuuden parannus epävarmaa.

Tuottavuuden kasvattamiseksi tulee keskittyä nykyisten toimintojen kehittämiseen. Tällä tavalla voidaan saavuttaa huomattavia parannuksia tuottavuuteen suhteellisen pienillä investoinneilla. Toimenpiteet kohdistuvat kahteen eniten hukkaa aiheuttavaan toimintoon, ohjelmointiin ja sisäisen asetusajan lyhentämiseen. Kyseiset toiminnoilla on suora vaikutus toisiinsa, kappaleen koneistusjärjestyksen ja kiinnityksen suunnittelun vaikuttaessa suoraan ohjelmointiin asettaen samalla tiettyjä rajoituksia sille. CAM-ohjelmoinnin tuomat uudet koneistusstrategiat ja tehokas simulointi antaa puolestaan uusia mahdollisia lähestymistapoja koneistusjärjestykseen ja kappaleen kiinnitykseen. Muilla toimenpiteillä on hyvin vähäinen merkitys tuottavuuteen, jos edellä mainitut toiminnot toimivat pullonkauloina.

8.1 Hankinnat

CAM-ohjelmistoksi tulee valita teollisuudessa yleisesti käytössä oleva ohjelmisto, jolle on saatavilla riittävä tekninen tuki Suomessa. Tällaisena ohjelmistona voidaan pitää amerikkalaisen CNC soft-waren kehittämää Mastercam -ohjelmistoa, joka on maailman suosituin CAM-ohjelmisto. Mastercam on laajasti käytössä Oulun seudun yrityksissä ja oppilaitoksissa. Jyrsintään ohjelmistosta on saatavilla kolme eri tuotetasoa: Mill Entry, Mill ja Mill 3D, joista Mill-taso on riittävä yrityksen tarpeisiin sen sisältäessä dynaamiset rouhintastrategiat. Mill 3D on ominaisuuksiensa puolesta liian laaja yrityksen tarpeisiin nähden.

Mastercam Mill -tuotetason arvolisäveroton hinta on arviolta 6000–8000 €. Lisenssi on tyypiltään pysyvä, joka tarkoittaa, että vuosittaisia lisäkustannuksia ei tule. Lisenssin lisäksi kustannuksia aiheutuu ylläpidosta, joka on pakollinen ensimmäisenä vuotena. Ylläpidon kustannusarvio on n. 1000 €. vuodessa. Ylläpito sisältää teknisen tuen sekä tulevat Mastercam -versiot. Ensimmäisen vuoden jälkeen ylläpito ei ole pakollista jatkaa, jolloin käyttöön jää versio, johon ylläpidon voimassaolo oikeuttaa. Ylläpito on kuitenkin suositeltavaa mahdollisia ongelmatilanteita silmällä pitäen.

Muiden hankintojen kustannukset jäävät pieniksi. Pienempiä hankintoja ovat työkalupitimet, ER-holkit, koneruuvipuristimien sileät leuat, suuntaispalasarja ja lastuavia työkaluja. Edellä mainitut hankinnat eivät suoranaisesti ole investointeja tuottavuuteen vaan vanhojen ja käyttöikänsä päähän tulleiden työkalujen uusimista. Työkalujen lisäksi hankitaan kumiset työpistematot jokaiselle koneelle, joka parantaa työergonomiaa. Näiden hankintojen arvolisäveroton kustannusarvio on n. 2500 €. Arvio konepajan kehittämisen kokonaiskustannuksista on 9500–10 500 € verottomana.

8.2 Toimintojen kehitys

Toimintojen osalta kehitys on kannattavaa rajata CAM-ohjelmiston sujuvan käytön lisäksi erityisesti sisäisen asetusajan vähentämiseen. Tämä vaatii nykyisten toimintatapojen ja ajatusmaailman muuttamista siten, että kappaleiden turhaa uudelleenkiinnittämistä pyritään välttämään ja kappaleet koneistetaan mahdollisimman valmiiksi samalla kiinnityksellä. Sisäisiin asetuksiin keskittymällä saadaan arvoketjusta poistettua kokonaisia osatoimintoja, jotka tuottavat ainoastaan hukkaa. Säästyneen ajan lisäksi toimintatavan altistavat vähemmän virheille ja parantavat laatua, kun kappaleen toleranssit eivät ketjuunnu samaan tapaan kuin kappaleen jatkuvalla irrottamisella.

Käsin ohjelmoinnista tulee myös luopua sen hitaudesta, virhealttiudesta ja työstöratujen puutteellisista simulointiominaisuuksista johtuen. CAM-ohjelmointi tuo mittavia etuja työstöratujen simulointiin, jolloin mahdolliset virheet on mahdollista huomata etukäteen ja tehdä tarvittavat korjaukset. CAM-ohjelmointi mahdollistaa myös terien geometriasta tai kiinnityksestä johtuvien rajoitteiden näkemisen ennen koneistusta ja korjaavien toimenpiteiden tekemisen.

Kappaleiden koneistuksessa otetaan käyttöön dynaamiset koneistusstrategiat. Dynaamisten strategioiden vaikutus koneistusaikoihin on pieni jyrsinkoneen karanopeuden ollessa riittämätön suositelluille lastuamisarvoille. Hyöty tulee pienentyneinä teräkustannuksina, kun terien leikkaavan särmän pituutta voidaan hyödyntää kokonaisuudessaan. Lisäksi operaatioturvallisuus paranee, kun koneistettavaan kappaleeseen kohdistuu pienemmät voimat ja riski kappaleen irtoamiselle pienenee. Tämä parantaa työturvallisuutta koneen ollessa avonainen. Dynaaminen jyrshintä mahdollistaa myös kovempien materiaalien kevyen koneistaminen nykyisellä jyrsinkoneella.

Koneistettavien kappaleiden osalta tulee välttää liian suurten kappaleiden teettämistä omalla pajalla, etenkin jos kyseisillä kappaleilla ei ole välitöntä tarvetta. Ylisuuret kappaleet lisäävät ohjelmointiin ja sisäiseen asetusaikaan käytettyä aikaa sekä altistavat laatuvirheille. Suurten aihoiden

sahaaminen vie myös paljon aikaa nykyisellä konekannalla. Säästyneen ajan voi käyttää paremmin hyödyksi jyrsinkoneelle sopivien kappaleiden koneistamiseen.

Materiaaleissa on suositeltavaa keskittyä alumiiniseosten ja teknisten muovilaatujen koneistamisessa. Kevyenä koneena Haas TM1-HE soveltuu heikosti ruostumattomien teräksien ja muiden lujempien materiaalien kustannustehokkaaseen koneistamiseen. kyseisten materiaalien laajamittaisempi koneistaminen vaatisi myös investointeja työkaluihin ja materiaaleihin nostaten varastoarvoa.

8.3 Kehitystoimien yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Siirtymällä käsin ohjelmoinnista CAM-ohjelmointiin sekä kehittämällä koneistusmenetelmiä voidaan saavuttaa suuria säästöjä ohjelmoinnissa ja sisäisessä asetusajassa. Tämä vaatii aikaa, sillä osaaminen pitää ensin rakentaa. Pienen konepajan tehokas pyörittäminen vaatii työntekijöiltä hyvin kokonaisvaltaista osaamista jokaisella osa-alueella, joka on suurin ero alihankintakonepajoihin, joissa työntekijöitä on enemmän ja työtehtävät suppeampia. Onkin tärkeää, että koulutukseen panostetaan etenkin alussa, jonka jälkeen koneistajalla on oltava riittävä tuki mahdollisia ongelmilanteita varten. Koneistajalla on kuitenkin suuri vastuu oppimisestaan ja miten kehitysehdotuksia aletaan soveltamaan käytännössä.

Toimenpiteet mahdollistavat myös paremman palvelutason. Piirteiltään monimutkaisempia kappaleita voidaan valmistaa. Oppimisen ja motivaation kannalta onkin oleellista, että pajalla teetetään myös haastavampia kappaleita, jotka eroavat piirteiltään toisistaan.

Toimenpiteiden vaikutusta on seurattava, etenkin työkuormituksen osalta. Tuottavuuden kasvassa osien valmistusta voidaan siirtää enemmässä määrin omalle pajalle. Tämä on tehtävä yhdessä konepajan henkilöstön ja hankinnan kanssa. Myös tarvittavia lisäinvestointeja työkaluihin voidaan harkita, kun uusien toimintatapojen ja CAM-ohjelmiston tarjoamista mahdollisuuksista opitaan enemmän. Pienen, muutaman työntekijän konepajan pyörittäminen vaatii työntekijöiltä kokonaisvaltaista osaamista. Kehitystoimien tulokset eivät näy hetkessä ja osaamisen taso nousee hitaasti toistojen kautta sekä virheistä oppimalla.

Pidemmällä aikavälillä tarvetta uudelle työstökeskukselle voidaan tarkastella uudelleen, jos esitetyt toimenpiteiden katsotaan tuoneen riittävää parannusta ja nykyisen konekannan tarjoama kapasiteetti ei ole enää riittävä tarpeisiin nähden.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää, miten JOT Automationin oman konepajan CNC-koneistusprosessia tulisi kehittää tuottavuuden näkökulmasta. Kehityssuuntia oli kaksi. Ensimmäisessä kehityssuunnassa selvitettiin, miten tuottavuutta voitaisiin parantaa nykyisiä toimintoja kehittämällä ilman suurempia investointeja. Toisessa kehityssuunnassa selvitettiin mitä hyötyjä investointi uuteen työstökeskukseen toisi. Työn toisena tavoitteena oli selvittää millainen työstökeskus olisi teknisiltä ominaisuuksiltaan sopiva yrityksen tarpeisiin ja kuinka suuria investointeja se vaatisi. Kustannusarvioita käytettiin päätöksenteon tukena.

Tuottavuuden kehittämisen pohjaksi otettiin arvoketjuajattelu ja hukka tuotannossa. Hukka rajattiin käsittämään ainoastaan toiminnoista aiheutuvaan hukkaan. Tuotantotilojen ja työkalujen organisointiin liittyvä hukka jätettiin huomioimatta, koska JOT Automation oli muuttamassa uusiin tiloihin kesän 2023 aikana.

Konepajalla toteutettiin gemba-kävely, jonka avulla pyrittiin havaitsemaan hukkaa aiheuttavat toiminnot CNC-koneistusprosessista. Hukka tarkasteltiin toimintatapojen ja käytössä olevan CNC-jyrsinkoneen ominaisuuksien näkökulmasta.

Gemba-kävelyn tuloksena hukkaa havaittiin etenkin ohjelmoinnissa ja sisäiseen asetusaikaan liittyvissä osatoiminnoissa. CAM-ohjelmistoa hyödynnettiin vähän ja ohjelmointi tapahtui pääasiassa käsin näppäilemällä, joka on aikaa vievää. Sisäiseen asetustajan toiminnoissa hukkaa aiheutui erityisesti koneistettavien kappaleiden turhasta irrottamisesta ja uudelleenkiinnittämisestä vaikkei sille olisi ollut tarvetta. Kappaleiden uudelleenkiinnittäminen altistaa myöskin laatuongelmille mahdollisten mittavirheiden kertautuessa jokaisen kiinnityksen yhteydessä. Myös käsin ohjelmointi altistaa laatuongelmille, kun ohjelmien tarkistamiseen ennen koneistusta ei hyödynnetä CAM-ohjelmiston tarjoamia 3D-simulointiominaisuuksia.

Käytössä olevan CNC-jyrsinkone aiheutti myös hukkaa. Heikko karateho ja hidas karan pyörimisnopeus eivät mahdollista suurta lastuvirtaa, joka pidentää koneistusaikoja. Toinen merkittävä hukan lähde on automaattisen työkalunvaihtajan puute. Tämä sitoo työntekijän koneen äärelle haitten muiden työtehtävien suorittamista automaattisen koneistusprosessin aikana.

Jyrsinkoneen ominaisuuksien aiheuttamaa hukkaa hyödynnettiin JOT Automationin tarpeisiin soveltuvan CNC-työstökeskuksen teknisten ominaisuuksien määrittämisessä. Toisena tärkeänä kriteerinä pidettiin koneen soveltuvuutta yrityksen tarpeisiin, jossa suurin paino oli käytetyissä materiaaleissa ja kappaleiden kokoluokassa. Teknisten ominaisuuksien määrittelyn jälkeen esiteltiin erimerkkikone, joka täyttää kriteerit sekä arvio työstökeskuksen aiheuttamista kustannuksista. Kustannusarviota käytettiin päätöksenteon tukena, kun kehitystoimenpiteistä päätettiin.

Tulosten perusteella ratkaisuksi CNC-koneistusprosessin kehittämiseen esitettiin toimia, jotka kohdistuvat erityisesti sisäisen asetusajan lyhentämiseen ja ohjelmoinnin tehostamiseen. Sisäisen asetusajan lyhentämiseksi tärkein yksittäinen toimi on koneistettavien kappaleiden tarpeettoman uudelleenkiinnittämisen vähentäminen. Kappaleet tulisi koneistaa mahdollisimman vähillä kiinnityksillä ja niin, että mahdollisimman paljon piirteitä saadaan koneistettua samalla kiinnityksellä. Tällä tavalla koneistusprosessin arvoketjusta saadaan poistettua kokonaisia toimintoja, jotka tuottavat ainoastaan hukka-arvoa.

Toiseksi merkittäväksi toimenpiteeksi esitettiin uuden CAM-ohjelmiston hankkimista ja siirtymistä käsin ohjelmoinnista CAM-ohjelmointiin. Tämä lyhentää ohjelmointiin käytettyä aikaa ja mahdollistaa dynaamisten koneistusstrategioiden käyttämisen, joilla on monia positiivisia vaikutuksia erityisesti teräkustannuksiin ja operaatioturvallisuuteen, kun kappaleisiin kohdistuu pienemmät voimat.

Kappaleiden kiinnitysten vähentäminen ja CAM-ohjelmointi pienentävät riskiä laatuongelmien syntymiseen. Uudelleen kiinnittämisestä ja mittalaitteiden tarkkuudesta johtuvat pienet virheet eivät ketjuunnu, kun kappale koneistetaan mahdollisimman vähillä kiinnityksillä. CAM-ohjelmiston simuloit ominaisuus auttaa havaitsemaan mahdolliset virheet ohjelmoinnin aikana, jolloin ne voidaan korjata ennen koneistusta.

Uuden työstökeskuksen hankkimista ei nähty nykyisessä tilanteessa kannattavana investointina, koska työstökeskus ei poista toimintatapojen aiheuttamaa hukkaa, jotka ovat merkittävin hukan lähde. Työstökeskus vähentäisi nykyisin käytössä olevan CNC-jyrsinkoneen ominaisuuksien aiheuttamaa hukkaa, mutta yksinään se olisi hyvin tehoton toimi, ellei toimintoja kehitettäisi samalla.

Tulevaisuudessa työstökeskuksen hankintaa voidaan tarkastella uudestaan, kun tiedetään miten esitetyt toimenpiteet ovat vaikuttaneet tuottavuuteen ja jos nykyinen konekapasiteetti ei ole riittävä tarpeisiin nähden. Esitetyt toimenpiteet rakentavat kompetenssia, joka on tarpeen, että suuresta koneinvestoinnista on aitoa hyötyä.

Olen tyytyväinen opinnäytetyön tuloksiin. Investointi työstökeskukseen on suuri ja sen myötä myös riskit. Mielestäni kykenin havaitsemaan suurimmat ongelmat toimintatavoissa ja ottamaan ole-massa olevat riskit huomioon sekä tarjoamaan ratkaisun, joka on kustannuksiltaan huomattavasti pienempi. JOT Automationin pieni konepaja eroaa toimintatavoiltaan ja erityisesti sarjakokojen osalta alihankintakonepajoista, joissa sarjakoot saattavat vaihdella yksittäiskappaleista tuhansien kappaleiden sarjoihin. Työntekijöitä on myös enemmän ja erilaisia työnkuvia on paljon. Näiden asioiden takia tuloksia täytyy tulkita kriittisesti, jos niitä aiotaan soveltaa toisenlaisissa konepajoissa. Samat toimenpiteet eivät välttämättä sovellu muihin konepajoihin.

Työssä kykenin hyödyntämään aikaisempaa kokemustani vastaavanlaisen pienen CNC-konepajan toiminnan perustamisesta ja sen päivittäisten toimintojen hoitamisesta sekä toiminnan kehittä-misestä. Opin myös paljon asioita, kuten tuotannon arvoketju, siihen liittyvät toiminnot ja miten toi-minnot vaikuttavat toisiinsa. Tämän lisäksi opin enemmän leanista ja erityisesti hukkaa aiheutta-vista toiminnoista. Vaikka hukka on pitkälti nähtävissä terveellä maalaisjärjellä, niin opinnäytetyön aikana aloin näkemään hukkaa toiminnoissa, jotka ennen näin työtehtäviin kuuluvina toimintoina.

Haastavinta opinnäytetyössä oli teorian tiedon löytäminen ja työhön sopivien menetelmien löytä-minen. Opintojen aikana en suorittanut yhtään tuotantotekniikan syventävää kurssia ja suurin osa asioista oli itselle täysin uusia. Monet lean-menetelmät tuntuivat olevan suunniteltu enemmän suu-remman mittaluokan tuotannon kehittämiseen kuin pienen konepajan tarpeisiin. Alan kirjallisuutta tuli luettua paljon ja moni niissä käsitelty menetelmä ei päätynyt opinnäytetyöhön, kun huomasin sen soveltumattomuuden kesken opinnäytetyöprosessin.

Haasteita aiheutti myös aiheen rajauksen puute työn alussa. Alussa ei ollut selvää, missä toimin-noissa hukkaa erityisesti esiintyy ja selkeä aloituspiste työlle puuttui. Tämän takia kaikki arvoketjun toiminnot tuli käydä läpi. Alkuperäisen suunnitelman mukaan toimitoja olisi tarkasteltu laajemmin-kin ja se olisi käsittänyt hankintatoimen ja tulologistiikan. Nämä rajattiin kuitenkin jo alkuvaiheessa työn ulkopuolelle, ettei työ laajenisi liikaa. Työ oli hyvin laaja ja eri näkökulmia, miten asioita olisi mahdollista kehittää on paljon. Tämä vaikeutti erityisesti kirjoittamista, kun piti pohtia mitkä asiat ovat työn kannalta oleellisia ja mitä voi jättää kertomatta. Lopulta sain kuitenkin punaisesta langasta kiinni ja kirjoitettua työn, jossa kerrotaan työn kannalta oleelliset asiat loogisessa järjestyksessä.

LÄHTEET

Camcut. Mastercam dynaaminen jyrsintä. Hakupäivä 16.9.2023. <https://www.camcut.fi/tuki/ohjeet/mastercam-dynaaminen-jyrsinta/>.

Dynomax. The Book of Spindles Part 1 – Spindle Facts. Hakupäivä 15.7.2023. <https://dynospindles.com/vault/technical/Book-of-Spindles-Part-1.pdf>.

Haas. 4000-rpm Spindle. Hakupäivä 16.7.2023. <https://www.haascnc.com/productivity/spindles/4k-40t.html>

Haas. DM-1. Hakupäivä: 9.9.2023. <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/drill-tap-mill/models/dm-1.html>.

Haas. VF-2SS. Hakupäivä: 9.9.2023. https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2ss.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAo7KqBhDhARI-sAKhZ4uh5Wp4kR8myJUqm5B-pOnMUhBlnsRCWhyGwoZJ8to-LjxdQyKx1ly0aAsx3EALw_wcB.

Hokkanen, Simo & Karhunen Jouni 2014. Johdatus Logistiseen Ajatteluun. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

JOT Automation. About Us. Hakupäivä: 11.9.2023. <https://www.jotautomation.com/about-us>.

JOT Automation. Industries. Hakupäivä: 11.9.2023. <https://www.jotautomation.com/industries>.

JOT Automation. Products. Hakupäivä: 11.9.2023. <https://www.jotautomation.com/products>.

Kanbanize. Gemba walk – Where the real work happens. Hakupäivä: 3.6.2023. <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/gemba-walk>.

Lean Manufacturing Tools. The Waste of Motion – Causes, symptoms, examples and solutions. Hakupäivä 27.5.2023. <https://leanmanufacturingtools.org/96/the-waste-of-motion-causes-symptoms-solutions/>.

Lean Manufacturing Tools. Waste of Overprocessing – Causes, symptoms, examples and solutions. Hakupäivä 20.5.2023. <https://leanmanufacturingtools.org/121/waste-of-overprocessing-causes-symptoms-examples-and-solutions/>.

Lean Manufacturing Tools. Waste of Waiting – causes, symptoms, examples and solutions. Hakupäivä 18.5.2023. <https://leanmanufacturingtools.org/126/waste-of-waiting-causes-symptoms-examples-and-solutions/>.

Logistiikan maailma. Lean-ajattelu. Reijo Rautaluoman säätiö. Hakupäivä 14.5.2023. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>.

Logistiikan maailma. Logistiikka luo arvoa: Logistinen ketju on arvoketju. Reijo Rautaluoman säätiö. Hakupäivä 3.3.2023 <https://www.logistiikanmaailma.fi/aineistot/logistiikka-lukiolaisille/logistiikka-luo-arvoa/>.

Lucidchart. What is business process modelling notation. Hakupäivä 16.9.2023. <https://www.lucidchart.com/pages/bpmn>.

Object Management Group. BPMN Quicke Guide. Hakupäivä: 16.9.2023. <https://www.bpmn.org/>.

Ohno, Taiichi 1988. Toyota Production System – Beyond Large-scale Production. 1. painos. Cambridge: Productivity Press.

Opexity 2023. Unnecessary Movements - One of the 7 Wastes of Lean. Hakupäivä: 20.5.2023. <https://www.opexity.com/blog/unnecessary-movements-lean-waste/>.

Porter, Michael E 1985. Competitive Advantage – Creating and sustaining superior performance. 1. painos. New York: The Free Press.

Rintamäki, Timo. Blogissa Asiakasarvon johtamisesta kilpailuetua. Tampereen kauppakamarilehti. Hakupäivä 6.5.2023. <https://tampereenkauppakamarilehti.fi/blogi/asiakasarvon-johtamisesta-kilpailuetua>.

Sandvik Coromant 1994. Modern Metal Cutting – Practical Handbook. 1. painos. Tukholma: Tofters Tryckeri AB

Six Sigma Daily. What is a Gemba walk and why is it important. Hakupäivä 3.6.2023. <https://www.sixsigmadaily.com/what-is-a-gemba-walk/>.

Smith, Maggie 2023. Artikkelissa Machining Center Spindles – What You Need To Know. Mold Making Technology. Hakupäivä. 15.7.2023. <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/machining-center-spindles-what-you-need-to-know>.

Suzaki, Kiyoshi 1987. The New Manufacturing Challenge. 1. painos. New York: The Free Press.

LIITTEET

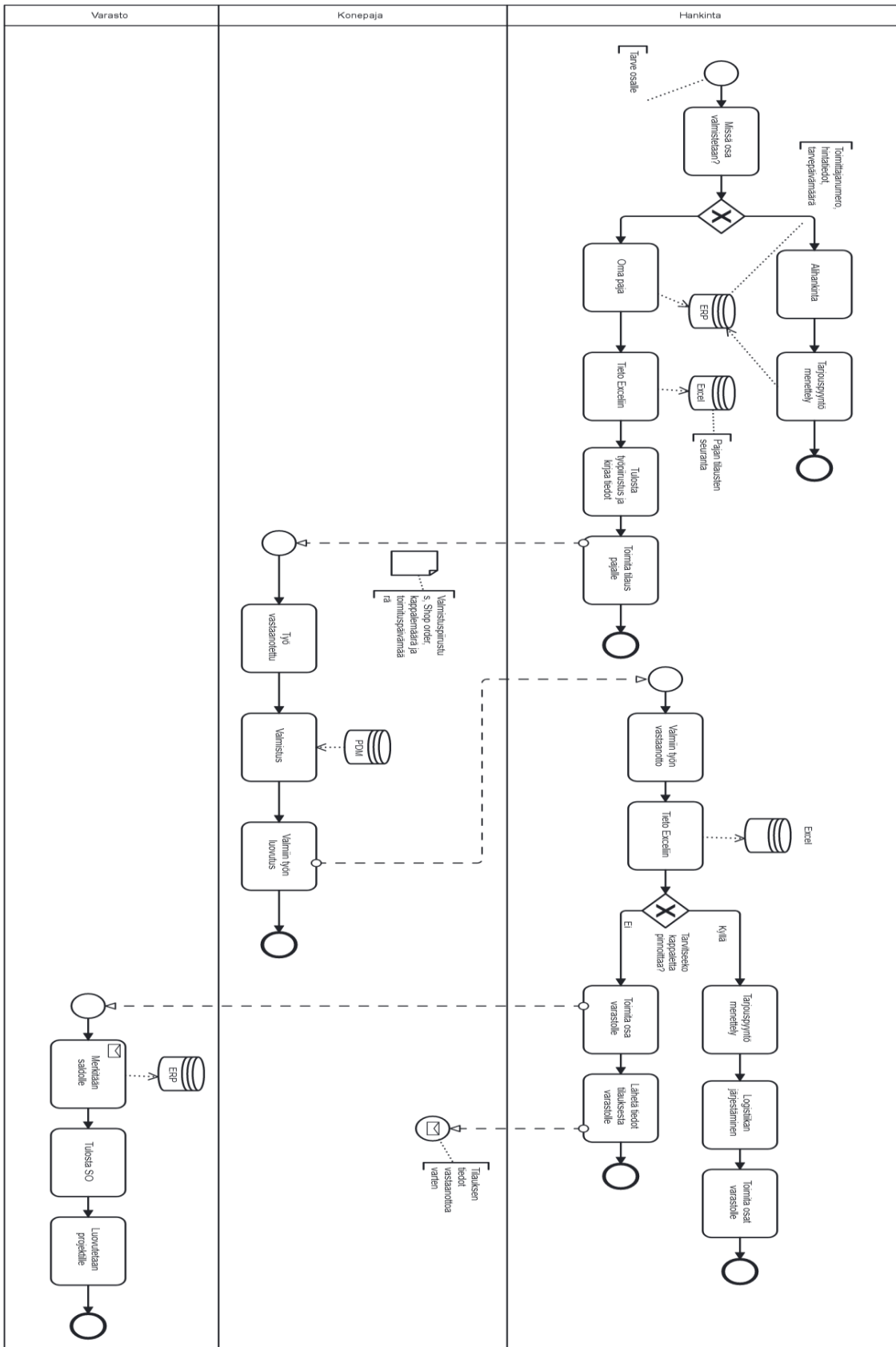
Liite 1 prosessikuvaus



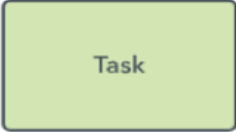



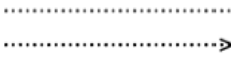



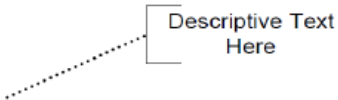
Liite 2 prosessikuvauksen symbolit

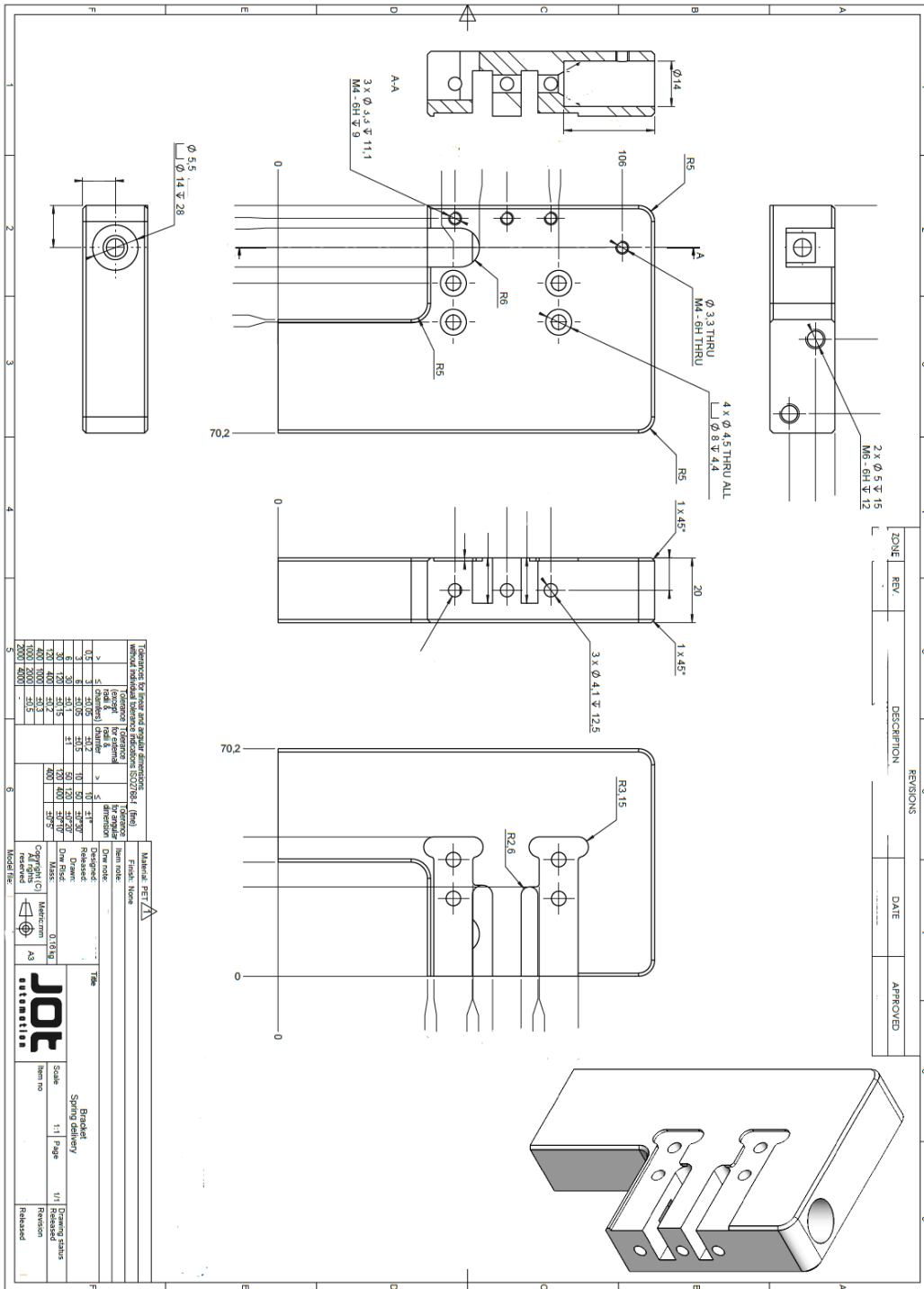
Liite 3 Gemba-kävely: PET-osa

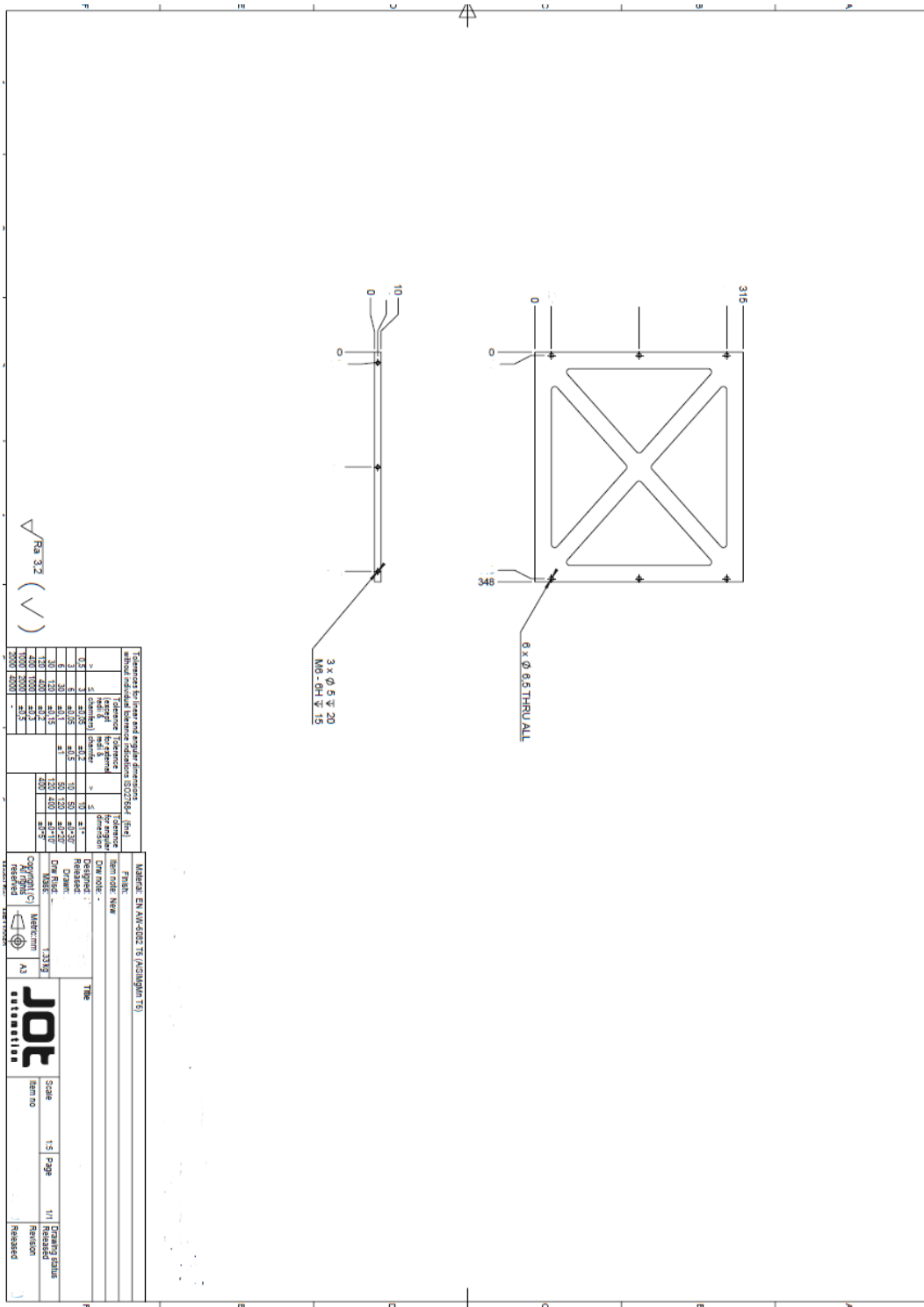
Liite 4 Gemba-kävely: levy-osa

Liite 5 Haas VF-2SS tekniset ominaisuudet



 <p>Start</p>	<p>Toiminnon käynnistävä tapahtuma</p>
 <p>End</p>	<p>Toiminnon päättävä tapahtuma</p>
 <p>Task</p>	<p>Henkilön tai järjestelmän suorittama osatoiminto</p>
 <p>Exclusive</p>	<p>Poissulkeva päätös, joka ohjaa prosessin suuntaa</p>
	<p>Prosessin suoritusjärjestystä kuvaava nuoli</p>
	<p>Informaatiovirtaa kuvaava nuoli</p>
	<p>Informaation ja symbolien välisen yhteyden esittäminen</p>
	<p>Allas, jonka avulla toisistaan erilliset toiminnot voidaan graafisesti erottaa</p>
	<p>Informaatio-objekti, joka sisältää prosessin kannalta oleellista tietoa</p>
	<p>Viesti eri toimintojen välillä</p>
	<p>Lisätiedot</p>





Ohjaus	HAAS NG
Kara	
Karanopeus [rpm]	12 000
Max teho [kW]	22,4* / 16 (100% DC)
Max vääntö [Nm]	126* / 63 (100% DC)
Liikealueet	
X-akseli [mm]	762
Y-akseli [mm]	406
Z-akseli [mm]	508
Pikaliikenopeudet	
X-akseli [m/min]	36
Y-akseli [m/min]	36
Z-akseli [m/min]	36
Pöytä	
kantavuus [kg]	680
Työkalunvaihtaja	
Kartio	BT40
Työkalujen määrä	30
Mitat ja paino	
Korkeus [mm]	2 724
Pituus [mm]	2 316
Syvyys [mm]	2 249
Paino [kg]	3 540
Varusteet	
Lastukuljetin	Lisävaruste
Leikkuunestepistooli	Kyllä
Nestesumerotin	Lisävaruste
HSM-optio	Lisävaruste
Hinta	73 000 €