

Alexander Panteleev

Koneistamon tilaus-toimitusprosessin tehostaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Alexander Pantelev

Työn nimi: Koneistamon tilaus-toimitusprosessin tehostaminen.

Ohjaaja: Samuel Suvanto

Vuosi:2019

Sivumäärä:53

Liitteiden lukumäärä:1

Opinnäytetyössä tutkittiin, millä tavalla on mahdollista hyödyntää CAD/CAM-ohjelmistoa tarjouksen laskennassa yrityksen X koneistamolla. Samalla tutkittiin mahdollisuutta laajentaa työkapasiteettiä.

CAD/CAM-ohjelmisto oli otettu käyttöön vasta viime vuonna, enimmäkseen laskemaan työstöarvoja monimutkaisille kappaleille. CAD/CAM-ohjelmistoa voidaan hyödyntää myös toisella tavalla. Työssä tutkittiin mahdollisuutta laskea tarkempi arvio koneen työstöajasta ja poistaa tavallista käsinohjelmointia työstökoneen ääressä.

Toteutusta varten täytyi perehtyä CAD/CAM-ohjelmiston käyttöön, soveltaa keskenään ohjelmistoa ja CNC-konetta sekä lyhentää ja standardisoida asetusajoja 5S-menetelmällä.

Avainsanat: CAD, CAM, lean-ajattelu, läpimenoaika

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Alexander Panteleev

Title of thesis: Optimisation of a CNC workshop

Supervisor: Samuel Suvanto

Year:2019

Number of pages:53

Number of appendices:1

The thesis studied how to use CAD/CAM software for calculating the machining times of company X. The study also explored the possibility of expanding work capacity.

The company X started using CAD/CAM software just last year, mostly for creating difficult toolpaths, when manufacturing without CAM software was impossible. The CAD/CAM software could also be used in a different way. One task during the thesis was to examine the possibility of a more accurate estimated machining time calculation and of eliminating the manual programming for CNC turning machines.

To perform these tasks, it was necessary to shorten and standardize setup times by Lean 5S method and to utilize all CAD/CAM software features for a more complete use.

Keywords: CAD, CAM, lean, lead time

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tausta.....	9
1.2 Työn tavoitteet.....	9
1.3 Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi.....	9
1.4 Työn rajaukset.....	10
2 KONEISTAMON TOIMINTAAN LIITTYVIÄ NÄKOKULMIA.....	11
2.1 Lean, 5S-menetelmä.....	11
2.1.1 Seiri – erottele.....	11
2.1.2 Seiton, yksinkertaista.....	12
2.1.3 Seiso, puhdista.....	12
2.1.4 Seiketsu, systematisoi.....	12
2.1.5 Shitsuke, standardoi.....	12
2.2 Numeerinen ohjaus (NC).....	13
2.2.1 NC-työstökoneet.....	13
2.2.2 NC-työstökoneen koordinaatisto.....	13
2.2.3 NC-työstökoneen koordinaatiston nollapistet.....	14
2.3 NC-ohjelmointitavat.....	14
2.3.1 Käsinohjelmointi.....	15
2.3.2 Keskusteleavan ohjauksen käyttö.....	15
2.3.3 Tietokoneavusteinen ohjelmointi.....	15
2.3.4 CAM-ohjelmointi.....	16
3 TARJOUSPYYNNÖÖN KÄSITTELY YRITYKSESSÄ X.....	17
3.1 Tilauksen tarjouspyyntö.....	17
3.2 Tarjouksen laskenta.....	17
Työstön aikojen arviointi työstökoneilla.....	18

3.3	Tarjouksen hyväksyminen tai hylkääminen	18
3.4	Tilauksen valmistus	19
3.4.1	NC-ohjelman kirjoittaminen	19
3.4.2	Asetuksien vaihto	19
3.4.3	Kappaleiden NC-työstö	20
3.5	Tilauksen pakkaus ja lähetys	20
3.6	Yhteenveto	20
4	KEHITYSTOIMENPITEET KONEISTAMON TOIMINNASSA	21
4.1	Asetusaikojen lyhentäminen CNC-sorvilla 5S-menetelmää käyttäen.....	21
4.1.1	Kiinnittimien järjestely	21
4.1.2	Työkalujen järjestys	28
4.1.3	NC-ohjelman editointi.....	31
4.1.4	Tulokset	32
4.2	FUSION 360 -ohjelmiston käyttöönotto CNC-sorvilla.....	34
4.2.1	Fusion 360 -sovelluksen valitsemisen syyt	34
4.2.2	CAD/CAM-ohjelmiston perehdytys.....	34
4.2.3	CAD/CAM-ohjelmiston ja CNC-sorvin yhteensopivuus	36
4.2.4	Tulokset	37
4.3	Työstöaikojen laskenta CAD/CAM-ohjelmiston avulla.....	37
	Uusi menetelmä työstöajan ja asetusaajan laskemiseksi	37
4.4	Kuvitteellisen kappaleen työstöajan laskenta ja valmistus	38
4.5	Todellisen tarjouspyynnön koneajan laskenta.....	40
5	TULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI	42
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	44
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	46
	Liite 1. Työkalukirjaston ja työkalujen luonti	47

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1 Kiinnittimien järjestys ennen kehitystyötä.....	22
Kuva 2 Kiinnittien erottaminen.	23
Kuva 3 Kiinnittimien järjestely.	24
Kuva 4 Kiinnittimien numeroinnin apuvälineet.....	24
Kuva 5. Kiinnittimien standartoindi.	25
Kuva 6 Kiinnitinhyly puhdistuksen jälkeen.....	27
Kuva 7 Kiinnittämien ylläpito.	28
Kuva 8 Työkalujen valikoima.	29
Kuva 9 Työkalujen tila.	30
Kuva 10 Työkalujen uusi järjestys.....	30
Kuva 11 Kuvitteellisen kappaleen piirustus.	38
Kuva 12 Digitaalisten työkalujen kirjaston tekeminen.	47
Kuva 13 Uuden työkalun lisääminen.....	48
Kuva 14 Yleiset tiedot työkalusta.	48
Kuva 15 Teräpalan parametrit.....	49
Kuva 16 Teräpitiimen parametrit.....	50
Kuva 17 Teräpitiimen orientointi avaruudessa.	51
Kuva 18 Työkalun työstöarvot.....	52
Kuva 19 Postprosessorin välilehti.	53
Kuva 20 Työkalujen kirjaston digitaalinen versio.....	54

Taulukko 1 Työstö- ja asetusajan arviot.....	39
Taulukko 2 Työstö- ja asetusajojen vertailu	40
Taulukko 3 Käsin ohjelmoidun kappaleen työstö- ja asetusajojen vertailu	40
Taulukko 4 Työstö- ja asetusajojen eri menetelmien vertailu	42

Käytetyt termit ja lyhenteet

CNC	Computerized Numerical Control - tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
5S Lean	Japanissa kehitetty työpaikkojen organisointiin ja työmenetelmien standardointiin keskittyvä menetelmä, jonka tavoitteena on kasvattaa työn tuottavuutta.
CAD/CAM	Termit computer-aided design and computer-aided manufacturing - tietokoneavusteinen suunnittelu ja tietokoneavusteinen valmistus.
NC	Lyhenne NC (engl. Numerical Control) tarkoittaa numeerinen ohjaus.
ERP	ERP-järjestelmä (engl. Enterprise Resource Planning) tarkoittaa toiminnanohjausjärjestelmä

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn taustalla esiintyy nykytilanne yrityksessä X – koneistamon osastolla. Tarjoukset uusista tilauksista laskee yksi asiantuntija, enimmäkseen ajan laskemisen menetelmänä on arviointi kokemuksen perusteella. Tämä menetelmä on nopea, mutta ei kovin tarkka.

Koneen työkapasiteettiä ei riitä nykyhetkellä – se aiheuttaa ylityön tarvetta, myöhästymisiä toimitusajoissa jne. Kaikki CNC-ohjelmat koneistaja kirjoittaa itse käsin. Toinen ongelma on siinä, että monimutkaisille kappaleille ja protokappaleille asetusajat ovat liian pitkät ja CAD/CAM-ohjelmistoa ei ole käytetty, vaikka ohjelman lisenssi on jo ostettu. CAD/CAM ohjelmistoa käytetään vain ja ainoastaan, kun ilman sen apua NC-ohjelmaa ei pysty tekemään.

1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteina on tutkia mahdollisia vaihtoehtoja laskea tarkemmat koneistusajat, luoda toinen tapa tehdä asiakkaan tilausta tarjouksen tekemisestä valmiiseen kappaleeseen hyödyntämällä CAD/CAM-ohjelmistoa ja laajentaa koneen työkapasiteettiä.

1.3 Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi

Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi voi jakaa moniin ryhmiin:

- asetusajojen lyhentäminen ja standardointi 5S-menetelmällä
- CAD/CAM-ohjelmistoon perehtyminen
- CAD/CAM-ohjelmiston soveltaminen sorville
- harjoituskappaleen suunnittelu, NC ohjelman teko CAMilla, työstöajan laskenta ja valmistus työstökoneella

- saman kappaleen valmistus perinteisellä tavalla: työstöajan arvio, NC ohjelmointi käsin, valmistus työstökoneella
- tuloksen analysointi.

1.4 Työn rajaukset

Tämän työn tarkoitus on luoda uusi tapa arvioida koneen työstöaikaa ja samalla luoda NC ohjelmia käyttäen CAD/CAM ohjelmistoa yhdelle CNC-sorvin työsolulle; muut konesolut jätetään opinnäytetyön ulkopuolelle. Tarkoituksena on tehdä valmis ratkaisu alusta loppuun ja sen jälkeen päättää, kannattaako levittää nämä toimenpiteet muille konesoluille.

2 KONEISTAMON TOIMINTAAN LIITTYVIÄ NÄKOKULMIA

2.1 Lean, 5S-menetelmä

Lean-ajattelumalli on jatkuvan oppimisen ja kehityksen prosessi, joka kulkee yrityksen kaikkien toimintaprosessien läpi. Lean koostuu erilaisista työkaluista ja tekniikoista, esimerkiksi 5S. 5S soveltuu osaksi yrityksen kokonaisvaltaista laadun kehittämistä ja se on ensimmäinen askel tuhlauksen poistamisessa (5S 2009, 5).

5S-menetelmä on Lean-ajattelumallin yksi keskeisimmistä työkaluista. Se soveltuu täydellisesti konepajaympäristöön – sillä parannetaan työpisteitä ja työympäristöä organisoimalla ja standardisoimalla toimintatapoja. 5S tarjoa monipuolista etua sekä yritykselle että työntekijöille. Yrityksille 5S on edullinen tapa tehostaa tuottavuutta, parantaa laatua ja tehostaa omaa toimintaansa. Työntekijöille 5S-menetelmä tarjoaa turvallisuutta ja viihtyvyyttä.

5S-menetelmä koostuu viidestä japaninkielisestä sanasta seiri, seiton, seiso, seiketsu ja shitsuke. Sanat tarkoittavat 5S-menetelmän vaiheita. Tuomisen mukaan (2010, 25) vaiheita voi yhdistää, mutta ei ohittaa.

2.1.1 Seiri – erottele.

5S aloitetaan lajittelemalla työpisteille kertyneet tarvikkeet ja työkalut kolmeen ryhmään käyttöasteen mukaan. Päivittäin käytetyt tarvikkeet ja työkalut – ensimmäinen ryhmä. Ne jäävät työpisteelle. Toinen ryhmä - usein käytetyt tarvikkeet – kerätään keskitettyyn paikkaan, jossa ne ovat kaikkien käytettävissä. Kolmas ryhmä – harvoin käytetyt, rikkinaiset – poistetaan työpisteestä.

2.1.2 Seiton, yksinkertaista

5S-menetelmän toinen vaihe on järjestely. Siinä työpisteet ja työympäristö organisoitetaan toimivaksi kokonaisuudeksi. Järjestely tulisi hoitaa niin, että haettavat työkalut ja tarvikkeet ovat helposti noudettavissa. Näin turha ja aikaa vievä etsiminen voidaan poistaa (5S 2009, 10).

2.1.3 Seiso, puhdista

Puhdista-vaiheessa työstökoneet, työpisteet, laitteet ja työkalut puhdistetaan huolellisesti, koska puhtaus takaa hyvän laadun ja työturvallisuuden ja tuo mahdolliset ongelmat näkyviksi. Työstökoneiden ja laitteiden järjestelmällinen puhdistaminen ja tarkastelu ovat myös ennaltaehkäisevää huoltamista. Säännöllinen puhdistus edesauttaa muutenkin tehokkuutta lisäävien tapojen ja menetelmien kehittämistä (5S 2009, 12).

2.1.4 Seiketsu, systematisoi

Systematisoinnin vaiheessa luodaan toimintamalli ja työohjeet, joilla ylläpidetään 5S-menetelmällä luotua organisointia. 5S-kampanjan suorittaminen kerran solussa on helppo juttu, mutta ilman selkeitä toiminta- ja seurantarutiineja vanhaan toimintatapaan on liian helppo palata. Työohjeiden tulee olla mahdollisimman visuaalisia, sillä ne ovat nopeampia sisäistää ja helpommin noudettavissa.

2.1.5 Shitsuke, standardoi

5S-menetelmän tärkein ja haastavin vaihe on ylläpito. Ylläpitämisen tarkoitus on pitää kiinni standardisoiduista toimintatavoista. Järjestelmällinen auditointi auttaa työnjohtoa valvomaan, että haluttu siisteyden ja järjestyksen taso pysyy yllä. Auditoinnilla voidaan myös selvittää parannusehdotuksia, jolloin toimintamalleja on hyvä päivittää.

2.2 Numeerinen ohjaus (NC)

NC tarkoittaa työstökoneen työstö- ja pikaliikkeiden, työkaluvaihdon sekä työstöön ja työkappaleen käsittelyyn liittyvien kytkentöjen automatisointia siten, että toiminta voidaan ohjata yhtäjaksoisesti numeeriseen muotoon kirjoitetun ohjelman avulla. Numeerisen ohjauksen ominaisuudet tulevat parhaiten esille tarkkoja pintoja ja mutkikkaita muotoja sisältävien kappaleiden valmistuksessa. Numeerinen ohjaus on yleinen lastuavissa työstökoneissa kuten sorveissa, jyrsinkoneissa jne.

2.2.1 NC-työstökoneet

Numeerisesti ohjattu työstökone voi olla mikä tahansa työstökone: sorvi, jyrsinkone jne. NC-työstökoneet ovat erilaisia. Maarasen mukaan (2012, 369) niiden yhteisiä piirteitä ovat

- tukevuus ja monipuolisuus
- mahdollisuus ohjata ja valvoa kaikkia liikkeitä sähköisesti
- luistien, kelkkojen ja karojen suuri tarkkaliikkeisyys
- automaattinen työkalunvaihto.

Työkalun ja työkappaleen kiinnityslaitteet ovat nopeita käsitellä ja yleensä automatisoituja. Nykyiset NC-työstökoneet ovat monipuolisia. Esimerkiksi monet sorvikoneet on varustettu pyörivillä työkaluilla – se laajentaa huomattavasti koneen käyttötarkoitusta.

2.2.2 NC-työstökoneen koordinaatisto

NC-työstökoneen liikkeitä kuvataan koordinaateilla X, Y ja Z. Ne kuvaavat kolmea kohtisuoraa suuntaa avaruudessa. Niiden avulla voidaan määrittää mikä tahansa piste avaruudessa tai tasossa työstökoneen liikepituuksien rajoissa. NC-sorvissa poikittaisliike on X ja pitkittäisliike on Z. Koordinaattiakselien leikkauspiste on 0-piste eli origo.

Perinteisillä NC-sorveilla on kaksiakselinen koordinaatisto ja NC-työstökeskuksissa on kolmeakselinen koordinaatisto.

2.2.3 NC-työstökoneen koordinaatiston nollapisteet

NC-työstökoneen koordinaatistossa on sekä kiinteitä (koneen nollapiste) että siirrettäviä (ohjelman nollapisteet, työkalujen nollapisteet) koordinaatiston nollapisteitä. Niitä käytetään hyväksi ohjelmoinnissa.

Koneen nollapiste on kiinteä nollapiste, joka on koneen koordinaattijärjestelmän perustana. Esimerkiksi NC-sorvissa koneen nollapiste yleensä sijaitsee karan keskiakselissa, karan otsapinnassa. Mittausjärjestelmä ja kaikki muut nollapisteet perustuvat koneen nollapisteeseen.

Ohjelman nollapiste on koordinaatiston siirrettävä nollapiste, jonka suhteen ohjelmassa olevat mitat annetaan. Ohjelmoija voi valita ohjelman nollapisteen paikan, ja se kannattaa valita siten, että ohjelmaa kirjoittaessa koordinaattien laskentatyö jää mahdollisimman vähäiseksi. Ohjelman nollapistettä kutsutaan myös työkappaleen nollapisteeksi. Sorvattaessa ohjelman nollapiste valitaan yleensä työkappaleen valmiiseen otsapintaan, karan keskiakselille.

Työkalun nollapiste on koordinaatiston siirrettävä nollapiste, jonka suhteen annetaan niin sanotut työkalukorjaimien arvot. Tämä nollapiste antaa ohjaukselle työkalun sijaintitiedot koneen nollapisteen suhteen. Koneen ohjaus korjaa automaattisesti työkalun kärjen paikkaa, kun työkalu otetaan käyttöön ohjelman mukaisesti.

2.3 NC-ohjelmointitavat

NC-ohjelma muodostuu konekäskyistä, jotka kuvaavat koneen eri toimintoja. Näiden käskyjen mukaisesti NC-kone suorittaa määrätyn työstötehtävän. Ohjelmointi on työpiirustusten tietojen muuttamista NC-koneen ymmärtämään koodikieliseen muotoon.

2.3.1 Käsinohjelmointi

Käsinohjelmointi on vanhin ohjelmointitapa. Siinä ohjelmointi suoritetaan suoraan sellaisessa muodossa, jota ohjauslaite pystyy lukemaan työstökoneen koodikielellä. Ohjelmoija laskee työkalun radan, lastuamisarvot, aputoiminnot jne. ja kirjoittaa konekäskyä sisältävän ohjelman.

Käsinohjelmointi on varsin joustava, työkalun yksittäiset liikkeetkin on helppo saada koneistustekniikan kannalta parhaiksi mahdollisiksi. Kaikkia työstökoneen ja ohjauksen sisältämiä mahdollisuuksia voidaan käyttää hyväksi. Ohjelma onkin usein lyhin mahdollinen. Käsinohjelmointi on kuiteinkin hidasta ja mutkikkaita, ja kappaleita ohjelmoitaessa joudutaan suorittamaan paljon laskutoimenpiteitä. Virhemahdollisuudet kasvavat suuriksi ja ohjelman tarkistaminen on työlästä.

2.3.2 Keskustelevan ohjauksen käyttö

Ohjelmoitaessa keskustelevan ohjauksen avulla tehdään ohjelma työstökoneen äärellä suoraan työpiirustuksesta. Ohjelman teossa käytetään hyväksi ohjauksen älykkyyttä, ja laskutoimitukset ja rutiinotoimeenpiteet suorittaa ohjauksen mikrotietokone. Keskustelevan ohjauksen toimintonäppäimillä käyttäjä vastaa ohjauksen esittämiin kysymyksiin. Vastauksen perusteella ohjaus muokkaa ohjelman, jota NC-työstökone pystyy ymmärtämään.

2.3.3 Tietokoneavusteinen ohjelmointi

Tietokoneavusteisessa ohjelmoinnissa on mahdollisimman suuri osa rutiinityöstä siirretty tietokoneen hoidettavaksi. Tietokone laskee työstöradat, kääntää ohjelman työstökoneen kielelle ja tulostaa ohjelmalistauksen. Näin muodostettu ohjelma sisältää kaikki yksittäisen työstökoneen ohjaamiseen tarvittavat tiedot. Työstöratojen tarkistamiseksi voidaan työkalun rata tarkistaa graafisen näyttöpäätteen tai piirturin avulla. Ohjelmointiin tarvitaan laskutoimipiteet suoritettava tietokone, pääte oheislaitteineen sekä ohjelmistot (Pylkkänen 2002, 132).

2.3.4 CAM-ohjelmointi

Computer-aided manufacturing tarkoittaa tietokoneavusteista valmistusta. CAM-ohjelmoinnilla tarkoitetaan NC-ohjelmien luomista tuotemallin 3D-mallin perusteella valmistuksen CAD/CAM-ohjelmistolla. CAD/CAM-ohjelmisto laskee työstöradat ja simuloi työstön tietokoneella. Lopputuloksen voidaan postprosessoida eli kääntää ohjelman työstökoneen kielelle.

3 TARJOUSPYYNNÖÖN KÄSITTELY YRITYKSESSÄ X

Tässä luvussa tarkastellaan uuden tilauksen valmistusprosessia asiakkaan tarjouspyynnöstä tilauksen toimitukseen. Seuraavaksi esitetään tämän prosessin vaiheistus:

- tilauksen tarjouspyyntö
- tarjouksen laskenta
- tarjouksen hyväksyminen tai hylkääminen
- tilauksen valmistus
- tilauksen pakkaus ja lähetys.

3.1 Tilauksen tarjouspyyntö

Asiakas lähettää sähköpostiin tarvittavan kappaleen piirustuksen, erän koon ja halutun toimituspäivän. Lisäoptiona voidaan pyytää asiakkaalta 3D-malli mukaan, yleensä se on step-tyyppinen tiedosto.

3.2 Tarjouksen laskenta.

Koneistamon asiantuntija laskee tarjouksen tuotannon ohjauksen ohjelman avulla. Tämän ohjelman tyyppi on ERP. ERP-ohjelmisto, yrityksen tietojärjestelmä, on ohjelmisto, joka integroi tuotantoa, varastonhallintaa, laskutusta, kirjanpitoa jne. Tiedot tallennetaan samaan tietokantaan, jolloin reaaliaikainen tietojen jako eri toimintojen välillä on nopea. (Mikä ERP on ja miksi sitä tarvitaan, [viitattu 1.3.2019].)

Ohjelmassa määritellään

- erän koko
- raaka-aineen hinta, toimitustapa ja tarvittava määrä
- tilauksen toistuvuus
- kappaleen vaiheistus, esimerkiksi sahaus, sorvaus, jyrsintä

- tarvittavat koneet – jokaiselle koneelle on etukäteen määritelty koneen hinta tunnissa
- koneen ajat.

Työstön aikojen arviointi työstökoneilla

Työstön aikojen arviointi voidaan erottaa muista hintatekijöistä. Tilauksen työstön aika vaikuttaa huomattavasti loppuhintaan ja sen nopea ja tarkka arviointi on melkein mahdotonta. Sahauksen aika on helposti arvioitavissa, mutta CNC-sorvien ja CNC-työstökeskusten koneen ajan arviointi on haastavaa.

Asiantuntija laskee ensiksi, kuinka monta vaihetta kappaleen valmistuksessa on ja määrittää tarvittavat työstökoneet.

Jokaisella vaiheella pitää laskea työkalujen määrä ja arvioida työstöradat sekä työkalunvaihdon aika. Pitää huomioida se, että koneistamossa on noin 20 eri työstökoneita, ja on olemassa konekohtaisia eroja, konekohtaisia työkalujen kantoja jne. Jokaiselle vaiheelle pitää arvioida asetusajan kesto.

Yrityksen asiantuntijan, joka laskee näitä tarjouksia asiakkaille vakituisesti, haastattelusta tuli ilmi, että sellainen arviointi tehdään ”omien kokemusten mukaan”, lasketaan karkeasti ja suunniteltu vaiheistus voi poiketa todellisesta valmistuksesta koneiden ääressä (Työntekijä_1 2019). Asetusajat ovat myös vaikeasti määriteltävissä, ne riippuvat työsolun organisoinnista, koneistajan taidosta ja motivaatiosta.

Ehdottomasti virhearvioita tapahtuu, ja niiden seuraukset pitää korvata muilla keinoilla.

3.3 Tarjouksen hyväksyminen tai hylkääminen

Asiakas voi hyväksyä yrityksen tarjouksen ja sopia toimitusajan. Tarjouksesta tulee tilaus, ja tilaus laitetaan työjonoon.

3.4 Tilauksen valmistus

Tilauksen valmistusta voidaan tutkia yhden vaiheen valmistuksessa. Valmistus CNC-työstökoneella sisältää eri vaiheet ja seuraavaksi tutkitaan niitä.

3.4.1 NC-ohjelman kirjoittaminen

Melkein kaikki uudet tilaukset ovat käsin ohjelmoituja. Se tarkoittaa, että koneistaja luo NC-ohjelman piirustuksesta työstökoneen ääressä ja hänen pitää:

- määrittää työkalut
- laskea työstöradat
- määrittää työstöarvot
- kirjoittaa valmis koodi työstökoneen päätteen avulla.

Tässä menetelmässä on paljon negatiivisia puolia:

- Ohjelman teon aikana kone seisoo.
- Ohjelman teko kestää 5 – 90 minuuttia riippuen kappaleiden vaikeudesta.
- Ohjelman teko vaatii koneistajalta ammattitaitoa ja työstöprosessin hyvää ymmärrystä.
- Työstöarvot eivät ole aina optimaaliset, koneistaja itse vaihtaa niitä oman kokemuksensa mukaisesti.
- Virheiden riski on suuri.

3.4.2 Asetuksien vaihto

Asetuksien vaihdon aikana koneistaja

- asettaa tarvittavat työkalut
- mittaa työkalujen pituuden korjaukset
- valitsee ja asettaa tarvittavat kiinnittimet
- mittaa kappaleille nollapisteet
- tekee koeajoa.

3.4.3 Kappaleiden NC-työstö

Varsinaisen työstön aikana on mainittava, että pitää huomioida kappaleen vaihdon aika ja laatutarkastukset.

Kun työstö on päättynyt, tilauksen tiedot merkitään ERP-järjestelmään:

- työstön aloituksen kellonaika
- työstön lopetuksen kellonaika
- valmiiden kappaleiden määrä.

3.5 Tilauksen pakkaus ja lähetys

Tilaus pakataan ja lähetetään työjonon mukaan. Pakatessa on huomioitava, että kappale ei vaurioidu toimituksen aikana.

3.6 Yhteenveto.

Tässä luvussa oli esitetty, kuinka tavallisen tarjouspyynnön käsittely tapahtuu siten, että ongelmakohtia on korostettu. Seuraava osio on kirjoitettu ajatellen näiden ongelmien ratkaisemista ja mahdollisia kehitystoimenpiteitä.

4 KEHITYSTOIMENPITEET KONEISTAMON TOIMINNASSA

4.1 Asetusaikojen lyhentäminen CNC-sorvilla 5S-menetelmää käyttäen.

Yrityksessä X koneistuspuolen tuotantotiloissa on 4 työstökeskusta ja 13 CNC-sorvia. Kohteeksi valittiin vain yksi CNC-sorvi. Tarkoituksena oli tehdä kaikki tarvittavat kehitystyöt alusta loppuun yhdelle koneelle ja tuloksien perusteella päättää, kannattaako levittää muille koneille samakaltaisia menetelmiä ja ratkaisuja.

4.1.1 Kiinnittimien järjestely

Työtä aloitettaessa työpisteellä ja työympäristössä vallitsi ns. hallittu kaaos. Yksi ainoa positiivinen piirre työpisteellä oli, että vuonna 2017 oli tehty asennustyökalujen järjestys leanin 5S:n mukaan. Muut tarvittavat: kiinnittimet ja sorvin työkalut olivat vapaassa järjestyksessä. Kaikista pahin tilanne oli kiinnittimien kanssa. Haas sl30 on isokarainen kone. Sen kiinnittimien koko ja paino on valtava.

Kolme vuotta sitten oli hankittu 5-tasoinen hylly. Korkeus on noin 2 metriä, leveys 1,5 metriä ja syvyys 0,4 metriä. Tässä hyllyssä kiinnittimiä ei oltu järjestetty. (Kuva 1) Sen vuoksi tarvittavien kiinnittimien valitseminen kestää liian kauan.



Kuva 1 Kiinnittimien järjestys ennen kehitystyötä.

Aikaisemmin oli tehty mittauksia ajastimella, kuinka kauan kestää kiinnittimien asetus alusta loppuun – entisen tehtävän kiinnittimien poisto, uusien kiinnittimien valitseminen, asetus sorvikoneelle sekä oikean kohdan asetuksen tarkistus.

Mittaus oli tehty työtehtäville, joita koneistaja oli suorittanut jo aikaisemmin ja tulos oli 6 minuuttia. Jos työtehtävää ei oltaisi tehty ennen, voitaisiin reilusti lisätä vielä minuutti.

Kiinnittimien uusi järjestys tehtiin leanin 5S-menetelmän mukaan.

- Erottele. Tätä vaihetta, kiinnittimien järjestyksessä saa käyttää vain osittain, koska kaikki kiinnittimet ovat käytössä. Silti oli olemassa erikoisia tehtäviä varten harvoin käytettyä kiinnittimiä. Ne erotettiin muista kiinnittimistä ja niille oli tarkoitettu hyllyn alataso. (Kuva 2)



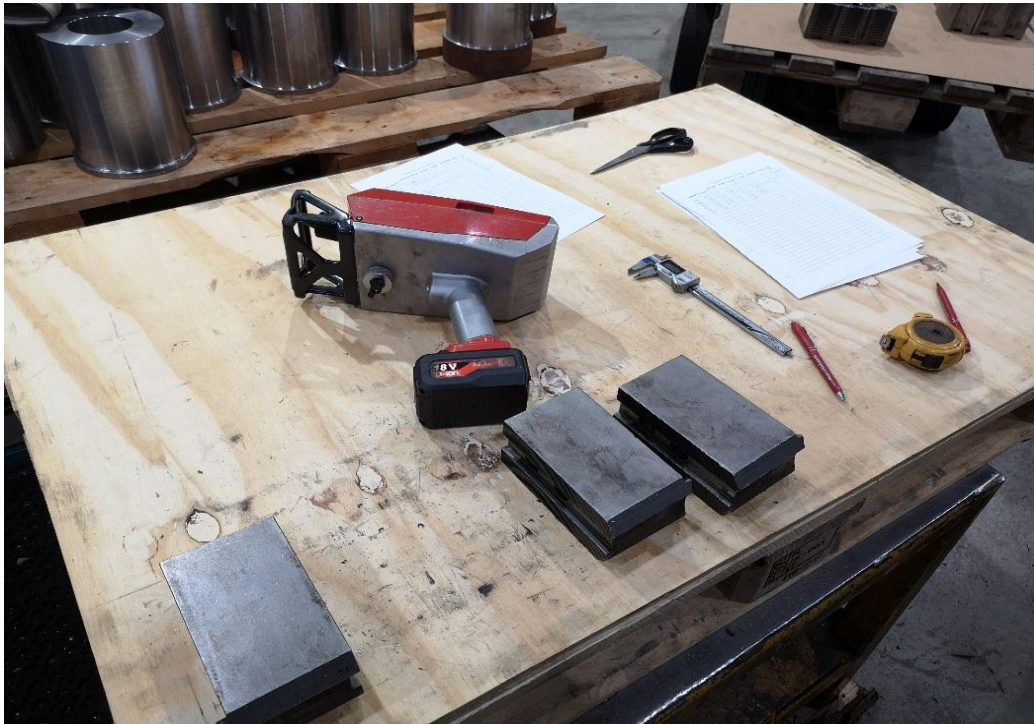
Kuva 2 Kiinnittien erottaminen.

- Järjestä. Järjestys tehtiin seuraavien periaatteiden mukaan:
 - Kiinnittimiä varten käytettiin 4 hyllyn tasoa.
 - Järjestettiin koon mukaan. (Kuva 3)



Kuva 3 Kiinnittimien järjestely.

- Numerointi. Numerointia varten käytettiin leimauskonetta. (Kuva 4)



Kuva 4 Kiinnittimien numeroinnin apuvälineet.

- Mitoitettiin halkaisijat sekä pykälien etäisyydet.
- Hyllyn taso antaa numerosarjan kiinnittimille. Esimerkki: hyllyn alataso – 0 SARJA voi sisältää kaikki kiinnittimet 0-100. Käytännössä kiinnittimien määrä on pienempi, mutta sellainen numerointi antaa mahdollisuuden lisätä uusia kiinnittimiä samaan järjestelmään jälkikäteen. (Kuva 5)



Kuva 5. Kiinnittimien standartoindi.

- NC-ohjelmaan lisätään yksi rivi, johon kirjoitetaan kiinnittimien numero ja etäisyys karan ulkokehästä. Tämä on yksi tärkeimmistä kehitystöistä – se antaa huomattavaa ajan säästöä seuraavien asetusten vaihtamisessa. Koneistajan ei tarvitse valita oikeita kiinnittimiä koko valikoimasta – hän käyttää nimenomaan niitä, joita oli käytetty viimeksi saman kappaleen tekemisessä.
- Puhdista. Kiinnittimien hylly purettiin kokonaan ja puhdistettiin huolellisesti, myös kaikki ylimääräiset esineet heitettiin roskeen, muun muassa vanha televisio sekä vanhat työterien dokumentaatiot. (Kuva 6)



Kuva 6 Kiinnitinhylly puhdistuksen jälkeen.

- Standardointi. Kaikille neljälle hyllyn tasolle tehtiin taulukot – yksi per hyllyn taso, johon kirjoitettiin tiedot kiinnittimistä. Ne editoitiin sillä tavalla, että lukiessa on helppo valita oikeat kiinnittimet. Taulukot tulostettiin ja laminoitiin. Tämän lisäksi, tehtiin paperillinen versio, minne saa lisätä tiedot uusista kiinnittimistä. (Kuva 7)



Kuva 7 Kiinnittämien ylläpito.

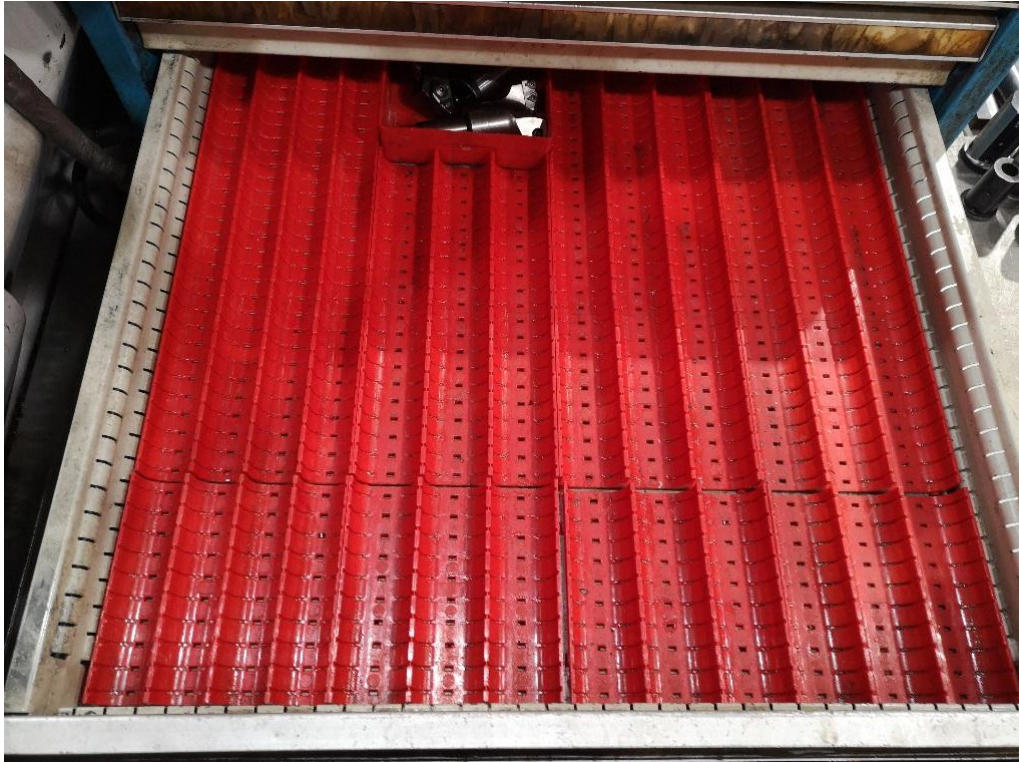
- Ylläpidä. Työntekijöille opastettiin uuden kiinnittimien varastoinnin menetelmän käyttö ja selitettiin sen tarkoitus. Koska uusi systeemi on looginen ja helppokäyttöinen ja samalla antaa enemmän mukavuutta työympäristöön, hylly pysyy samassa järjestyksessä.

4.1.2 Työkalujen järjestys

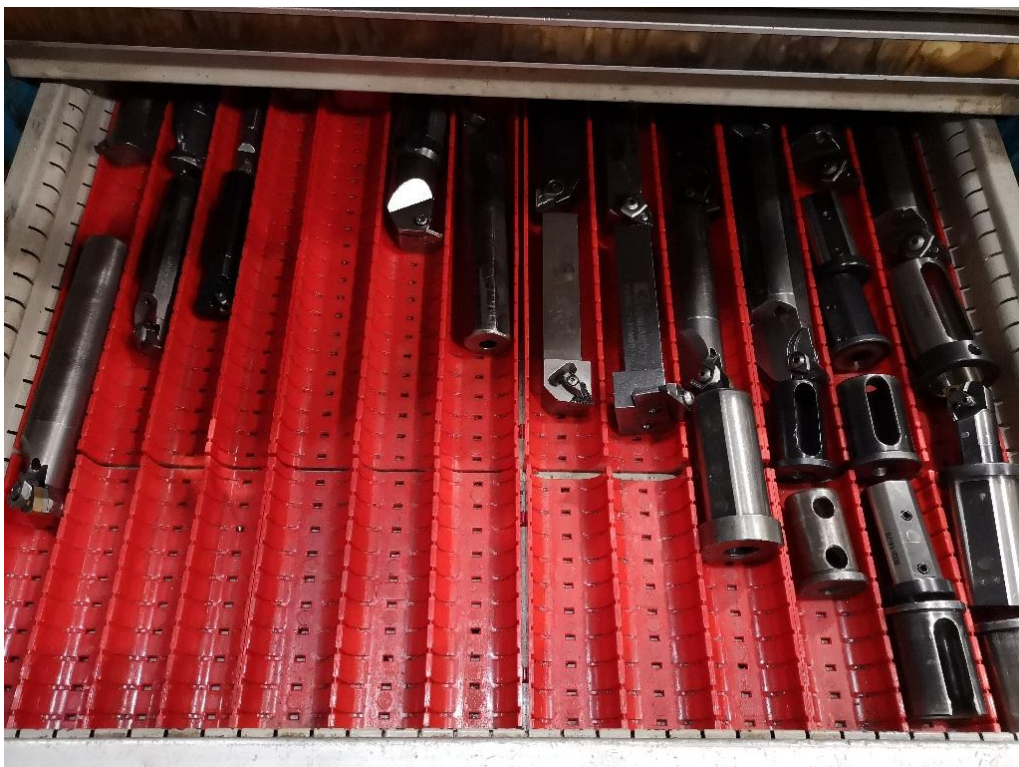
Työkalujen järjestys suoritettiin samalla 5S-menetelmän periaatteiden mukaisesti. Työkaluista erotettiin harvoin käytetyt, puhdistettiin työkalujen tila sekä ryhmitettiin ne koon ja käyttötarkoitusten mukaan. (Kuvat 8,9,10)



Kuva 8 Työkalujen valikoima.



Kuva 9 Työkalujen tila.



Kuva 10 Työkalujen uusi järjestys.

4.1.3 NC-ohjelman editointi

Tavoitteena oli lyhentää asetusaikoja ja lisätä ohjelmoinnin ja koneen käytön mukavuutta lisäämällä tarvittavia lisätietoja työkaluista suoraan ohjelmaan. Tämän voi suorittaa kirjottamalla kommentteja NC-ohjelmaan työstökoneella. Tätä varten on pakko käyttää sulkuja, että kommentti ei aiheuta virheitä työstökoneelle.

Esimerkki:

(kolmio 0.4)

(mittaus pipparin alapuolella)

Jopa tämänäyttöiset yksinkertaiset huomautukset lyhensivät asetusaikoja, mutta ne olivat vajavaisia ja eivät anna täyttä ymmärrystä työmenetelmistä.

Tämän ajatuksen kehityksenä päätettiin sopeuttaa 5S-menetelmää ohjelman rakentamiseksi ja samalla tehdä työohje, kuinka uudet NC-ohjelmat pitää luoda.

- Erottele. NC-ohjelman tapauksessa on hyvä lisätä välimerkkejä, että erottaa työvaiheet toisistaan – se helpottaa ohjelman lukemista ja tarvittavaa editointia
- Järjestä. Tässä vaiheessa luodaan uusi tapa kirjoittaa NC-ohjelmia.
 - ensimmäinen kommentti – piirustuksen numero (oli ennen)
 - toinen – tiedot kiinnittimistä. Numero ja etäisyys karan ulkokehästä. Esimerkki (L206 ET-5mm)
 - kolmas ja seuraavat – tiedot työkaluista. Pitää kirjoittaa työkalujen tyyppi, nirkon säde, sisäterälle on myös lisättävä etäisyys pitimestä ja varsien paksuus, muut huomion arvoiset seikat.

Esimerkit:

(KOLMIO PT 0.8 VASURI) – tämä tarkoittaa ulkorouhintaa, kolmio palainen (nirkon säde 0,8) vasenkätinen terä

(TRIKONI ST 0.8 40MM ET110MM) – sisäterä, 40 mm varsien paksuus, etäisyys pitimestä 110 mm

- Puhdista. NC-ohjelmien kohdalla tämä vaihe on tarpeeton.
- Standardointi. Laadittiin työohjeen, tulostettiin ja liimattiin koneen päälle. Työohjeessa selitetään uudesta tavasta kirjoittaa ja editoida NC-ohjelmia Työohje on lyhyt, yksikertainen ja esimerkkien kanssa. Koko on yksi sivu A4.
- Ylläpidä. Tämä on haastavin työvaihe, koska vanhojen tapojen vaihtaminen on aina vaikeaa. Sen takia työntekijöille selitettiin tarkoitus ja positiiviset mahdollisuudet eri vaiheiden kehitystyötä suoritettaessa:
 - koneen asetuksien vaihto on mukavampaa
 - virheen syntymisen riski on pienempi
 - stressi pienenee ja turvallisuus kasvaa

Sen lisäksi korostettiin, että jos on huomattu puutteita, voidaan kehittää työpisteen järjestystä ja se pitää tehdä standardisoidulla tavalla.

4.1.4 Tulokset

Kehitystyön tavoitteeksi oli asetettu asetusajojen lyhentäminen ja standardisointi, työntekijöiden mukavuuden lisääminen ja valmiin ratkaisun tekeminen muille työsoluille.

Asetusajat. Ennen projektien suorittamista oli mitattu kiinnittimien asetusajaa. Kappaleelle, jota oli ennen jo ajettu, aika oli 6 minuuttia. Projektien jälkeen, uudelle kappaleelle aika on vajaa 3 minuuttia. Kappaleelle, jota olisi ennen jo ajettu, jos tiedot kiinnittimistä on ohjelmassa, aika on vajaa 2 minuuttia. Eli uusille kappaleille lyhennys on 3 minuuttia, ja niille, jotka oli ajettu ennen, 4 minuuttia per asetuksien vaihtaminen

Työkalujen järjestyksen ja NC-ohjelman editoinnin vuoksi asetus aika lyhenee 10 sekuntia jokaiselta työkalun asennukselta + 15 sekuntia jokaiselta työkalun koeajolta. Jos oletamme, että keskimääräinen työkalujen määrä on 4, saamme $4 \cdot 10 + 4 \cdot 15 = 1$ minuutti 40 sekuntia lyhennystä.

Vuodessa tällä työsolulla on keskimäärin 30 (per viikko) $\cdot 44 = 1320$ asetuksien vaihtamista, niistä 15% uusille kappaleille. Se tarkoittaa $198 \cdot 0,078$ (lyhennys tunnissa per kappale) = $15,5$ tuntia uusille kappaleille ja $1122 \cdot 0,095 = 107$ tuntia.

Yhteensä tämä kehitystyö laajentaa työkapasiteettiä työsolulle $122,5$ tuntia. Siitä etu voidaan myös laskea euroina $122,5 \cdot 70$ (kuvitteellinen hinta per tunti) = 8540 euroa.

Työmukavuus kasvoi, koska nyt työtehtävät saa suorittaa helpommin ja pienillä raskuuksilla. Ei tarvitse kantaa painavia kiinnittimiä edestakaisin tai ei tarvitse NC-ohjelmassa etsiä oikeita kohtia, että ymmärtää, millainen työkalu se on ja millä etäisyyksillä se pitää asentaa jne.

Valmis ratkaisu muille konesoluille. Vaikka ajatuksena oli rajoittaa projektien toiminta vain yhdelle koneelle, onnistuttiin osittain laajentamaan sen vaikutus myös viereiselle koneelle, koska hyllyn kiinnittimet on tarkoitettu kahdelle työsolulle. Suorituksen aikana, viereisen koneen työntekijöille selitettiin asioiden tarkoitus ja muut plussat tästä uudesta menetelmästä ja he vapaaehtoisesti suostuivat käyttämään niitä.

Jos aiotaan levittää tätä kehitystyötä muille työsoluille, emme voi 100% mallina käyttää Haasin 30sl:n työsolun kokemusta, mutta samat periaatteet 5S-menetelmästä voidaan. Se tarkoittaa sitä, että ennen toteutusta työsolulle pitää tehdä tarkkaa suunnitelmaa siitä, miten huomioidaan koneiden ja käyttötarkoitusten erilaisuuksia.

4.2 FUSION 360 -ohjelmiston käyttöönotto CNC-sorvilla

Vuonna 2018 yrityksessä X oli otettu käyttöön uusi CAD/CAM-ohjelma Fusion 360. Se oli harkittu ratkaisu, koska erikoisen kappaleen valmistuminen vaatii CAM-ohjelman käyttöä. Silti ilmestyy ongelmakohtia:

- Vain yksi asiantuntija osaa käyttää CAM-ohjelmistoa.
- CAM-ohjelmistoa käytetään vain ja ainoastaan, kun toista tapaa luoda NC-ohjelma ei ole.

4.2.1 Fusion 360 -sovelluksen valitsemisen syyt

FUSION 360 on pilvipohjainen tietokoneen suunnitteluohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda 3D-malleja, luoda kokoonpanoja, tehdä 3D-mallille kuormituksen simuloitua ja luoda NC-ohjelmia erilaisille työstökoneille (Cloud Powered 3D CAD/CAM software, [Viitattu 16.2.2019]). Se kuuluu AUTODESKin tuotteiden ryhmään ja sen erikoisuutena on, että yhteen ohjelmaan on yhdistetty CAD- ja CAM-toiminnot käyttäjäystävällisessä muodossa.

Yrityksessä X valittiin Fusion 360 seuraavista syistä:

- Erikoisien kappaleiden valmistaminen on mahdotonta ilman CAM-ohjelman käyttöä.
- Postprosessorit ovat ladattavissa Autodeskin viralliselta nettisivulta.
- Lisenssin hinta vuodessa on 510 euroa.

4.2.2 CAD/CAM-ohjelmiston perehdytys

Ensimmäisenä vaiheena oli opiskeluversion lataaminen kotikoneelle viralliselta nettisivulta.

Toisena vaiheena oli ohjelmiston asennus ja postprosessorin lataus. Ladattiin vain yksi postprosessori CNC-koneelle Haas sl30, turning.

Kolmantena vaiheena oli harjoittelu kotikoneella. Avustuksena olivat sisäänrakennetut käyttöohjeet – niitä löytyy painamalla F1, viralliselta Youtube-kanavalta ja epävirallisista opetusvideoista.

Neljäntenä vaiheena oli harjoittelu työpaikalla ja yrityksen asiantuntijan haastattelu ohjelmiston vaikeista kohdista tai menetelmien visuaalisoinnista.

Viidentenä vaiheena oli itsenäinen 3D-mallin piirtäminen ja NC-ohjelman teko. Tässä vaiheessa ilmestyivät ongelmakohdat: monimutkaisille kappaleille visualisointi ja simulointi oli vaikeasti tuotettavissa, koska oli käytetty virtuaali-, ei todellisia työkaluja.

Kuudentena vaiheena oli testiajo CNC-työstökoneella. Testiajo meni kitkatta, mitat olivat oikeat ja työstö aika oli hyvä.

Seuraavaksi laadittiin käyttöohje yrityksen käyttöön. Käyttöohjeessa on selitetty vain CAM-toiminnot. CAD-toiminnot jätettiin ohjeen ulkopuolelle, koska yrityksellä on mahdollisuus 90 %:ssa tapauksista tilata asiakkaalta valmis 3D-malli ”step-tiedostona”. Niitä voidaan avata suoraan Fusion 360 -ohjelmistolla. Sen lisäksi CAD-piirtäminen vaati aikaisempaa piirtokokemusta ja osaamista. CAM-toiminnot vaativat käyttäjältä syvää ymmärrystä koneistamisesta tai/ja koneistajan kokemusta. Eli koneistamon puolella tarvitaan enimmäkseen CAM:in käyttöä, ja siihen on myös helppompi perehtyä.

Käyttöohje rakennettiin mahdollisimman selkeänä ja lyhyenä poistaen ylimääräisiä optioita, millaisia voi hyödyntää vain ohjelmiston syvällä tietämyksellä. Pää tavoitteena oli, että melkein jokainen koneistaja tai koneistamisesta ymmärtävä pystyy tekemään valmiin ja toimivan NC-ohjelman. Se ei tarkoita sitä, että koneistajien pitäisi tehdä niitä päivittäin työssään, ajatuksena oli vain laskea NC-ohjelmien tekemisen vaikeustaso CAM-ohjelmistolla ja tehdä uusi tapa käsitellä uusia tilauksia asiakkailta. Se antaa mahdollisuuden laskea asetussajat tarkasti uusille tilauksille.

4.2.3 CAD/CAM-ohjelmiston ja CNC-sorvin yhteensopivuus

Säännöllinen CAM-ohjelmiston käyttäminen vaatii tarkkoja tietoja työkaluista ja niiden työstöarvoista. Fusion 360 -ohjelmiston tapauksessa se on heikko kohta, ainakin nykypäivinä. Työkalut voidaan valita virtuaalisesta kirjastosta ja niiden määrä on vain 5-6 työkalua. Tämä fakta aiheuttaa vielä ongelmia myös visualisoinnin kanssa, kun tehdään monimutkaisia 3D-malleja ja niiden työstöradat pitää tarkistaa. Ohjelma antaa virheilmoituksen ja työstöratojen tarkistus tulee mahdottomaksi.

Tietysti voidaan tehdä NC-ohjelmat virtuaalisien työkalujen avulla editoimalla niitä käyttötarkoituksien mukaan, mutta sellainen tapa on vain väliaikainen ratkaisu ja se kasvattaa huomattavasti virheen synnyttämisen mahdollisuutta ja pidentää ohjelman tekoa.

Internetistä ei ollut helposti löydettävissä valmiita valmistajakohtaisia esim. Sandvi-kin tai Secon työkalukirjastoja, joista olisi voinut tehdä omat kirjastot.

Fusion 360 on pilvipohjainen CAD/CAM-ohjelmisto ja se antaa mahdollisuuden luoda käyttäjän työkalukirjaston ja mitä tärkeintä, niiden määrä ei ole rajoitettu. Tarkoituksena oli tehdä yhdelle koneelle yksi kirjasto. Miksi sellainen tapa on parempi?

- Työkalujen lista on selvä ja lyhyt, oikean työkalun valitseminen ei kestä kauaa.
- Työkalulle annetaan sijainnin numero koneen makasiinissa, tämä tieto liitetään automaattisesti NC-ohjelmaan.
- Työkalulle annetaan oikeat työstöarvot ja niitä sovelletaan koneen ominaisuuksiin, esim. karan maksimi pyörimisnopeuteen.
- Kirjastossa selvästi nähdään, millaisia työkaluja puuttuu. Tähän on olemassa ratkaisuvaihtoehtoja: voidaan lainata puuttuvaa työkalua toiselta koneelta tai ostaa uusi työkalu tätä konetta varten, jos puuttuvan työkalun tarve on toistuva.

4.2.4 Tulokset

Työn tuloksena tuli CAD/CAM-ohjelmiston osaaminen ja yhden työsolun valmius hyödyttää CAD/CAM-ohjelmiston käyttöä kokonaisuudessaan. Voidaan suunnitella kappaleen valmistus ja vaiheistus tietokoneen äärellä ja arvioida työstön aikaa ja asetusajoja.

4.3 Työstöaikojen laskenta CAD/CAM-ohjelmiston avulla

Työstöaikojen arviointi on yksi tärkeimmistä hintatekijöistä valmiille tarjouksille. Käyttäen CAD/CAM-ohjelmistoa hyväksi voidaan laskea työstöaika tarkasti ja mikä tärkeintä, laajentaa työkapasiteettia poistamalla NC-ohjelman tekoa työstökoneen äärellä.

Uusi menetelmä työstöajan ja asetusajan laskemiseksi

- Asiakkaille mainitaan, että pitää liittää tarjouspyyntöön tavallisen piirustuksen lisäksi myös 3D-malli step-tiedostontyypinä jos se on mahdollista.
- Tarjouksen laskennan vaiheessa otetaan käyttöön CAM-ohjelmisto ja luodaan valmis NC-ohjelma.
- Valmiin NC-ohjelman työstöaika on helppo arvioitava. CAM-ohjelmistossa on optio "Machining time" eli työstöaika, siinä saa vaihtaa pikaliikkeen nopeuden ja työkalun vaihtoajan työstökoneen mukaan
- Koska työsolulla asetusajat on lyhennetty ja standardisoitu, voidaan laskea asetusajat kohtuullisen tarkasti uusille tilauksille Excel-sovelluksella kaavalla
 - = 2 min * työkalujen määrä (työkalujen asetus ja mitoitus)
 - + 3 min * vaiheiden määrä (kiinnittimien asetus, kerroin 1, jos kappale ajetaan kääntämällä tai vain yhdeltä puolelta ja 2, jos kappaleen työstö vaatii kahden vaiheen työstöä)
 - + 1 (referenssipisteen mittausta)
 - + 150 % * työstön aika (koeajo).

Työstöajan määrä perustuu matemaattiseen laskemiseen:

- työkalujen työarvot
- työstöratojen pituudet
- pikaliikkeen pituudet ja nopeus arvo
- työkalujen vaihtoajat.

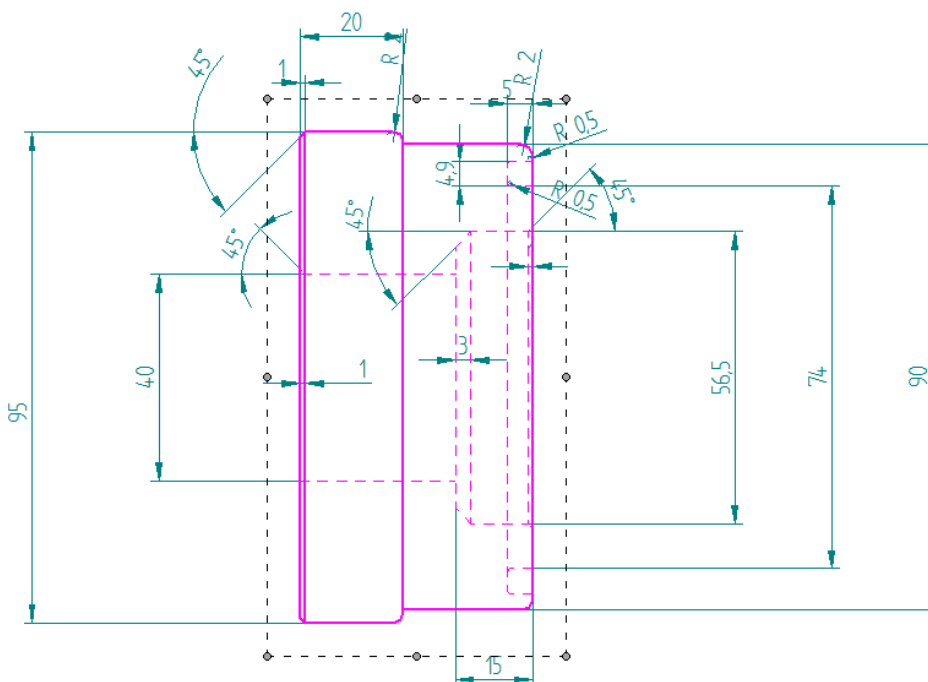
Seuraavaksi valmistetaan kappale työstökoneella ja tarkistetaan, pitävätkö arvioidut asetus- ja työstöajat paikkansa.

4.4 Kuvitteellisen kappaleen työstöajan laskenta ja valmistus

Suunnitellaan normaali kappale CNC-sorville, käytetään 3 – 4 työkalua, että ollaan lähellä tavallisen tilauksen valmistusta.

Aiheeksi otetaan umpiaineesta tehty pyörötanko

- pituus 46-48 mm
- halkaisija 110 mm.



Kuva 11 Kuvitteellisen kappaleen piirustus.

3D-malli tehdään Fusion 360 -ohjelmiston avulla, kuten myös NC-ohjelma CAM-puollla.

3D-mallin tekeminen kestää 8,5 minuuttia.

NC-ohjelman tekeminen kestää 20 minuuttia. Valmis ohjelma voidaan siirtää työstökoneelle muistitikun avulla tai yhteistä työstökoneiden välistä verkkoa käyttäen. Siirto kestää noin minuutin.

Työstökoneen asetuksien vaihto

- NC-ohjelmasta löytyivät kommentit, missä oli kirjoitettu, millaisia työkaluja pitää asettaa.
- Kiinnittimien valitseminen oli myös helppo tehtävä – ne voidaan valita ulkohalkaisijan mukaan kiinnittimien taulukosta.
- Mitoitettiin nollapisteet ja työkalujen pituuden korjaimet.
- Käynnistettiin ohjelman teko.
- Kirjoitettiin valmistusaika muistiin.

Taulukko 1 Työstö- ja asetusajan arviot

Nimike	3D malli ajastus [min]	CAM ajastus [min]	Arvioitu työstö-aika [min]	Työkalujen määrä	Vaiheiden määrä	Arvioitu asetus aika [min]
asia- kas_tp1	9,4	25,0	14,6	3,0	2,0	34,9
asia- kas_tp2	7,0	25,0	8,7	3,0	2,0	26,0
asia- kas_tp3	5,0	20,0	9,6	3,0	2,0	27,4
kuv_vaihe1	4,2	10,0	3,4	4,0	1,0	17,1
kuv_vaihe2	4,2	10,0	1,0	0,0	1,0	5,5

Taulukossa 1 on esitetty tietoja työstö- ja asetusajojen arvioista.

Kuvitteellisen kappaleen nimitykset ovat kuv_vaihe1 ja kuv_vaihe2 työstövaiheen mukaan: työstöajat on kirjoitettu CAM-ohjelmiston avulla ja asetusajat laskettu kaavan mukaan Excel-sovelluksella.

kuv_vaihe2-rivillä työkalujen määrään kohdalle on laitettu 0, koska kaikki tarvittavat työkalut on jo asetettu ja mitoitettu – niiden määrä suoranaisesti vaikuttaa asetus-aikojen laskentaan.

Taulukko 2 Työstö- ja asetusajojen vertailu

Nimike	Todellinen asetusaika [min]	Ero arvioidun asetusajan kanssa [min]	Ero %	Todellinen työstöaika [min]	Ero arvioidun työstöajan kanssa [min]	Ero %
kuv_vaihe1	17,67	0,50	2,80 %	3,60	0,15	-4,30 %
kuv_vaihe2	5,10	-0,42	-7,50 %	0,97	-0,04	-3,90 %

Toisena vaiheena lähetettiin piirustus yrityksen X asiantuntijalle työstö- ja asetus-aikojen arvioon. Sama kappale valmistettiin myös perinteisellä tavalla ja kirjoitettiin:

- NC-ohjelman tekemisen kesto työstökoneen äärellä
- koeajon kesto
- työstöaika.

Taulukko 3 Käsien ohjelmoidun kappaleen työstö- ja asetusajojen vertailu

Nimike	NC-ohjelman tekeminen	Aetusaika [min]	Työstöaika [min]
kuv_vaihe1	35,00	19,73	4,35
kuv_vaihe2	10,00	6,35	0,83

Tässä taulukossa on esitetty perinteisen tavan mukaan tehty kappaleen työstö- ja asetusajat. Työstöarvoina oli käytetty samoja, kuin edellisessä tapauksessa.

4.5 Todellisen tarjouspyynnön koneajan laskenta

Todellisen tarjouspyynnön laskeminen tehtiin samalla kaavalla kuin kuvitteellisen kappaleen laskenta. Voidaan jättää ulkopuolelle 3D-mallintamisen aika, koska 90 %

tapauksista voidaan tilata valmiit 3D-mallit asiakkailta. Taulukosta 1 löytyvät sen työn tulokset. Tietysti myös nämä kappaleet laskettiin perinteisellä tavalla ja voidaan analysoida niiden tuloksia.

5 TULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI

Työn tuloksena voidaan analysoida kokeiden työstö- ja asetusajat sekä laskea mahdollinen työkapasiteetin laajennus.

Kokeiden mukaan voidaan todeta, että CAD/CAM-ohjelmiston avulla arvioidut työstöajat sekä Excel-sovelluksella asetusajojen kaavalla lasketut asetusajat ovat erittäin lähellä todellisia työstö- ja asetusajoja. Kolme tuloksista pysyy 5 %:n rajoissa ja yksi tulos 10 %:n rajoissa. Niin läheinen osuma tuli mahdolliseksi, koska kyseisessä työsolussa oli tehty kaikki tarvittavat toimenpiteet: asetusajat oli lyhennetty ja standardisoidu 5S-menetelmän mukaan, oli tehty työsolun digitaalinen työkalujen kirjasto ja tietysti CAD/CAM-ohjelmisto oli otettu käyttöön.

Taulukko 4 Työstö- ja asetusajojen eri menetelmien vertailu

	Nimike				
	asiakas_tp1	asiakas_tp2	asiakas_tp3	kuv_vaihe1	kuv_vaihe2
Arvioitu CAM:in avulla					
Työstöaika [min]	14,62	8,73	9,63	3,45	1,01
Asetusaika [min]	34,93	26,10	27,45	17,18	5,52
Todellinen valmistuksen ajat					
Työstöaika [min]				3,60	0,97
Asetusaika [min]				17,67	5,1
Arvioitu perinteisellä tavalla					
Työstöaika [min]	14,66	7,50	9,16	4,00	1,50
Ero arvioidun työstöajan kanssa [min]	0,04	-1,23	-0,47	0,55	0,49
Ero %	0,27 %	-16,40 %	-5,13 %	13,75 %	32,67 %
Ero todellisen työstöajan kanssa [min]				0,40	0,53
Ero %				10,00 %	35,33 %
Asetusaika [min]	95,00	60,00	75,00	35,00	30,00
Ero arvioidun asetusajan kanssa [min]	60,07	33,91	47,56	17,83	24,49
Ero %	63,23 %	56,51 %	63,41 %	50,93 %	81,62 %
Ero todellisen asetusajan kanssa [min]				17,33	24,90
Ero %				49,51 %	83,00 %

Työstöaikojen tuloksien analysoitaessa voidaan todeta, että vaikka yrityksen asiantuntija osaa hommansa – yhdessä tuloksessa oli alle 1 % eroa, keskimäärin virheen prosentti oli yli 10. Virhearvioinnit prosentteina olivat sekä plussan puolelle että miinus puolelle.

Asetusaikoja analysoitaessa voidaan tarkastella tuloksia mahdollisuutena laajentaa työsolun työkapasiteettia – sitä varten pitää suorittaa kaksi ehtoa: lyhentää ja standardisoida asetusajat 5S-menetelmällä sekä poistaa tarve käsinohjelmoida työstökoneen ääressä. Ideaalimaailmassa se antaa mahdollisuuden laajentaa koneen kapasiteettia: 198 (uusien kappaleiden keskimääräinen arvo vuodessa – noin 15% kaikista työtehtävistä) * $0,6128$ tuntia (tämän työn kokeiden keskiarvio asetusajan lyhenemisestä) = 121.3 + 1122 (muut 85 % - ennen jo tehdyt tilaukset) * $0,095$ (asetusajan lyhennys 5S-menetelmästä johtuen) = noin 228 koneajan tuntia yhdellä työsolulla.

On huomioitava, että tarjouksen laskentavaiheessa NC-ohjelman tekeminen CAD/CAM-ohjelmiston avulla ei sovi kaikille tarjouspyynnöille. On aina olemassa riski, että tarjous ei tule hyväksytyksi – se tarkoittaa, että tarjouksen laskenta-aika menee hukkaan. Jos asiakkaalle antaa ymmärtää, että tarjous on laskettu mahdollisimman laadukkaasti ja tarkasti, se myös nostaa hyväksyntäprosenttia.

Jos tarkistetaan tilanne, kun vakituinen asiakas tilaa uuden monimutkaisen kappaleen tai prototyön, tällaisessa tapauksessa edut CAD/CAM-ohjelmiston monipuolisesta käytöstä ovat huomattavat.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella uusi menetelmä laskea tarjouksia, missä otetaan huomioon todelliset työstö- ja asetusajat. Se antaa mahdollisuuden laskea joustavammin tarjouksia asiakkaille – olla aina plussan puolella yritykselle ja samalla ehdottaa kilpailukykyistä hintaa asiakkaille, sillä ei tarvitse korostaa hintoja liian korkeaksi, koska tieto kappaleen todellisesta valmistusajasta puuttuu.

Toisena tavoitteena oli osoittaa mahdollisuus laajentaa työkapasiteettiä yhden työsolun esimerkkinä. Nykytilanne koneistamon puolella on varsin sopiva tälle yritykselle: työvoiman pula ja ylityön tarvetta aiheuttavat toimituksien myöhästymiset jne. Asetusaikojen lyhentämisellä ja uusien tilauksien käsittelyllä voidaan huomattavasti laajentaa työkapasiteettiä ja tehostaa toimintaa.

Suosituksena on toteuttaa kehitystyöt muille työsolulle ja ne pitää suorittaa alusta loppuun, eli työympäristön organisointi 5S-menetelmällä, työkalujen kannan digitaalinen kirjasto sekä CAD/CAM-ohjelmiston käyttöönotto.

LÄHTEET

5S. 2009. Teknologiateollisuus ry. MET-julkaisuja nro 16/2001.

Cloud Powered 3D CAD/CAM software for Product Design. Ei päiväystä. Autodesk. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.2.2019]. Saatavana: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>

Maaranen, K. 2012. Koneistus, Helsinki: Sanoma pro Oy.

Mikä ERP on ja miksi sitä tarvitaan. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Microsoft. [Viitattu 1.3.2019]. Saatavana: <https://dynamics.microsoft.com/fi-fi/erp/what-is-erp/>

Pylkkänen, J. 2002. Valmistustekniikka, Helsinki: Otatieto Oy.

Tuominen, K. 2010, Tehoa ja laatua siisteyden ja järjestyksen kehittämiseen – 5S. Helsinki: WSOY.

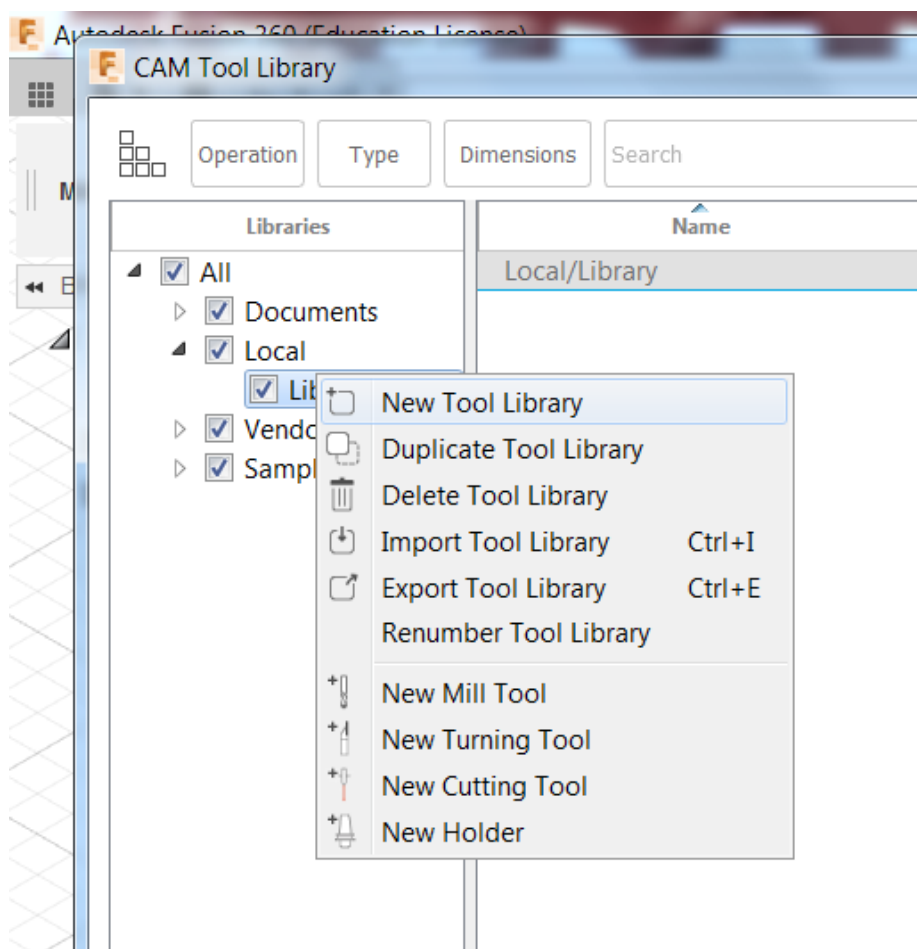
Työntekijä_1. 2019. Koneistamon käyttöpäällikkö. Yritys X. Haastattelu. 21.2.2019

LIITTEET

Liite 1. Työkalukirjaston ja työkalujen luonti

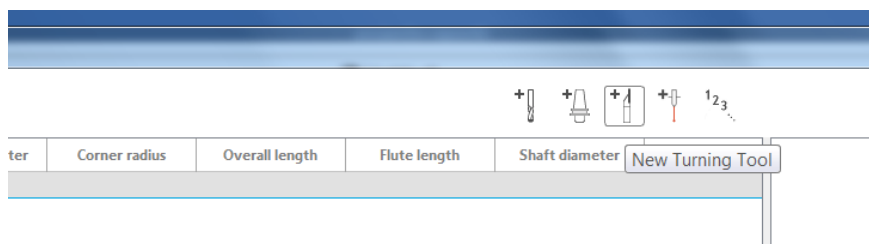
Uuden kirjaston tekemistä varten:

- avataan MANUFACTURE valikko, eli CAM toiminnot
- avataan Tool Library



Kuva 12 Digitaalisten työkalujen kirjaston tekeminen.

- luodaan kirjasto – New Tool Library
- seuravaksi luodaan uusi työkalu (Kuva 22)

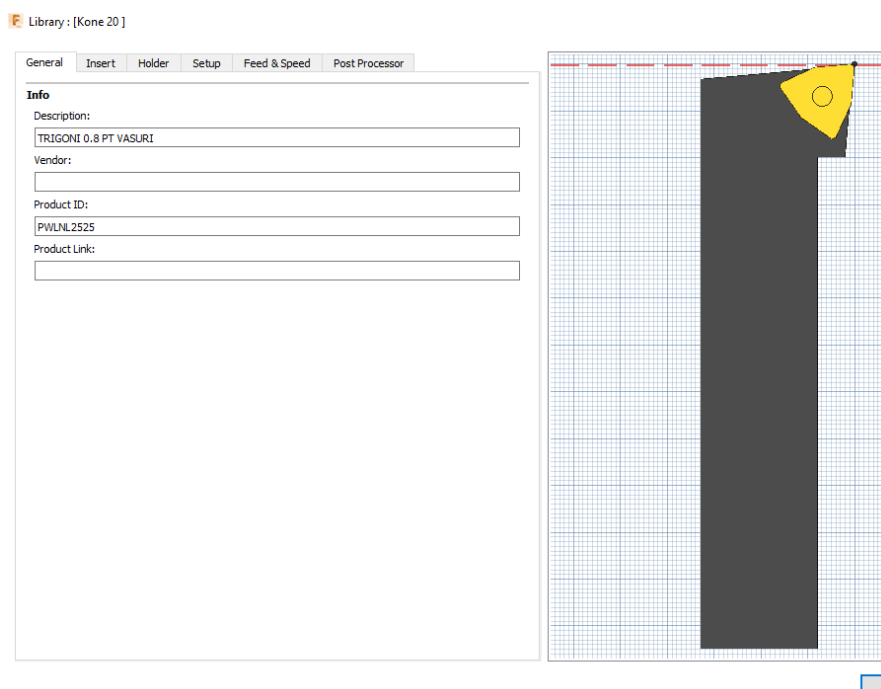


Kuva 13 Uuden työkalun lisääminen

Uuden työkalun lisääminen

Työkalu-valikko sisältää 6 välilehteä, missä täytetään sen ominaisuudet ja käyttäytyminen CAM ohjelmistossa

1. General (Kuva 13)

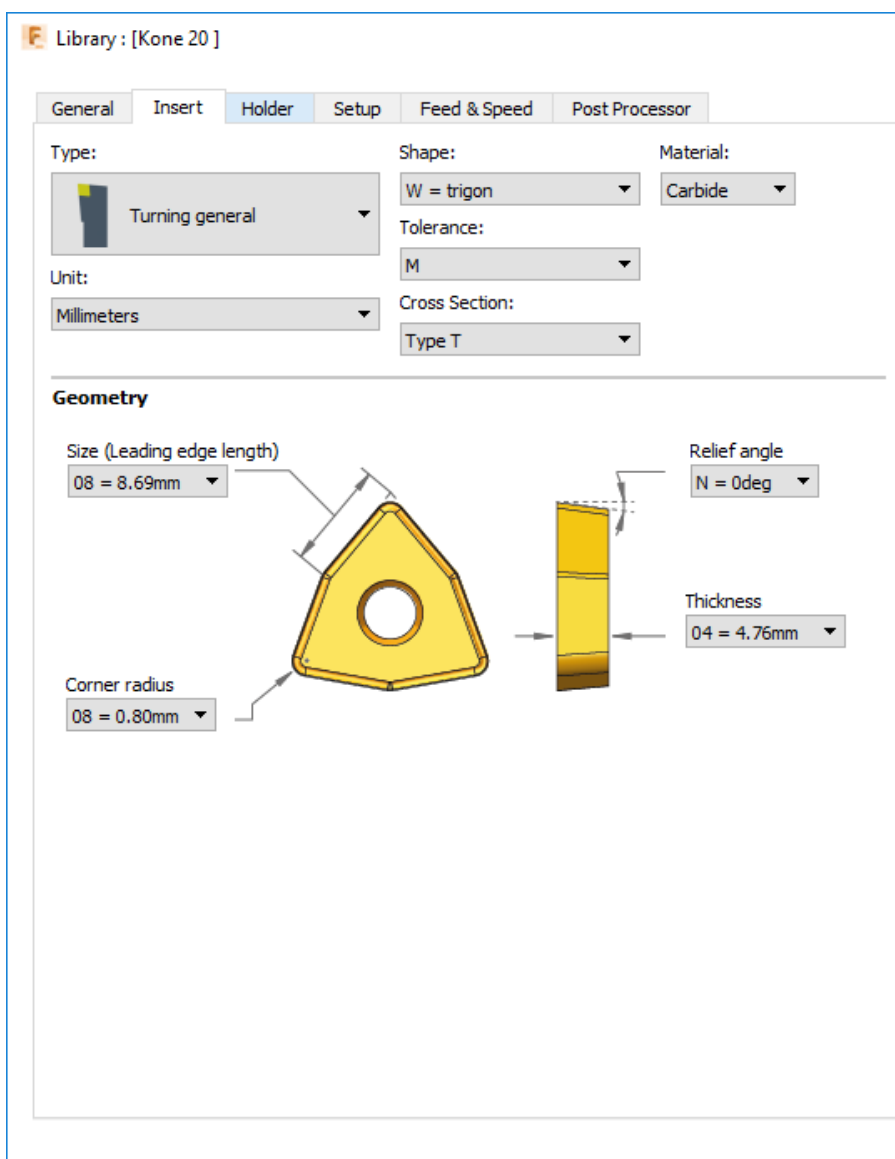


Kuva 14 Yleiset tiedot työkalusta.

Tässä annetaan nimi-tiedot ja tarkka nimike valmistajan mukaan.

Lisäoptiona voidaan kirjoittaa työkalun valmistaja

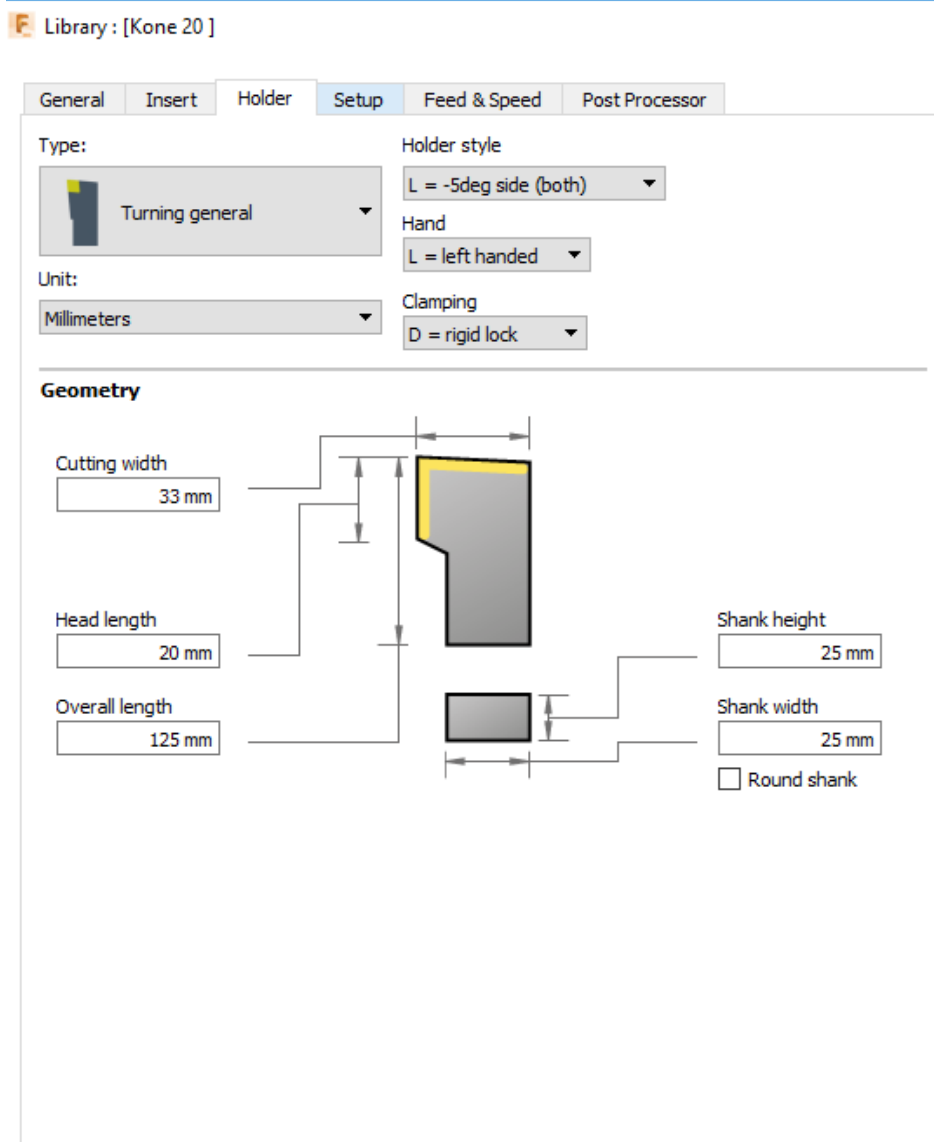
2. Insert (Kuva14)



Kuva 15 Teräpalan parametrit.

Tässä välilehdessä valitsemme sorvauksen menetelmäksi ja teräpalan ominaisuudet, muoto ja mitat. Apuna käytettiin Seco:n ja Sandvik'in katalogeja.

3. Holder (Kuva15)



Kuva 16 Teräpitimen parametrit.

Tässä välilehdessä määritellään pitimen muoto ja mitat. Voidaan ottaa tietoa valmistajalta tai parempi vaihtoehto mitata itse, koska on olemassa työkaluja, jotka on lyhennetty.

4. Setup (Kuva16)

Library : [Kone 20]

General Insert Holder Setup Feed & Speed Post Processor

Orientation in Turret

↑

← →

↓

Orientation

0 deg

Compensation

Tip tangent ▼

Spindle Rotation

Clockwise

Kuva 17 Teräpitimen orientointi avaruudessa.

Tässä välilehdessä määritellään työkalun orientaatio kappaleeseen nähden ja työkalun kompensatio.

5. Feed and Speed. (Kuva 17)

Library : [Local/kone 20]

General Insert Holder Setup Feed & Speed Post Processor

Speed

Use constant surface speed

Surface speed

300 m/min

Feedrates

Use feed per revolution

Cutting feedrate per revolution

0.3 mm

Lead-in feedrate per revolution

1 mm

Lead-out feedrate per revolution

1 mm

Kuva 18 Työkalun työstöarvot.

Tässä välilehdessä määritellään työstöarvot. Nimenomaan tässä välilehdessä pitää yhdistää arvot valmistajalta ja työstökoneen ominaisuudet. Käytettiin SECO ja Sandvik online katalogeja.

6. Post Processor (Kuva 18)

Library : [Kone 20]

General Insert Holder Setup Feed & Speed **Post Processor**

NC

Number: Comment:

Compensation offset: Coolant:

Turret: Manual tool change
 Break control

Kuva 19 Postprosessorin välilehti.

Viimeisessä välilehdessä määritellään postprosessoria varten tarvittavaa työkalun tietoa:

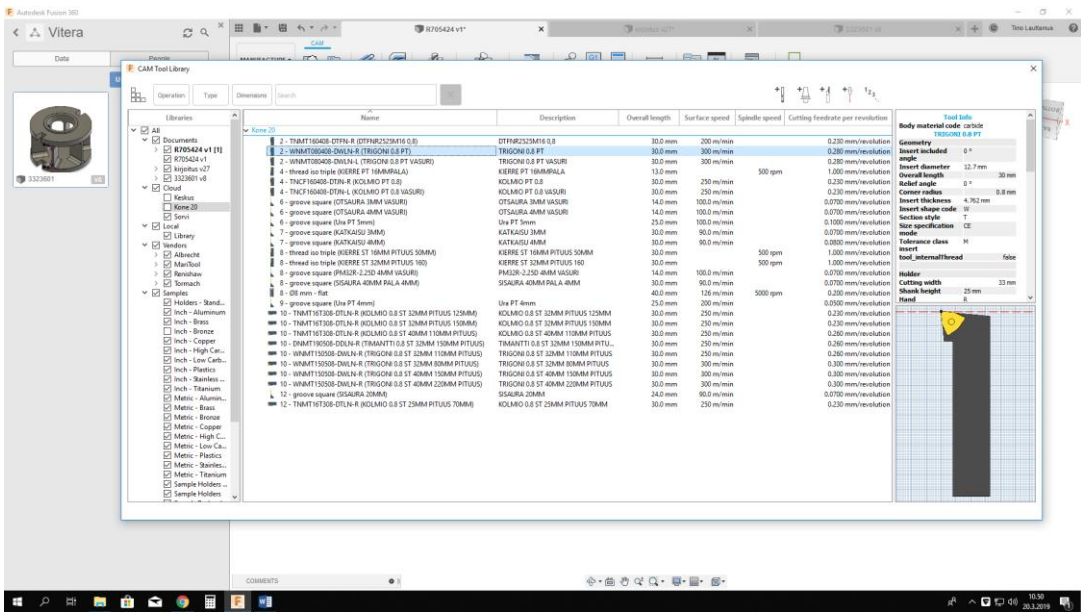
työkalun paikka työstökoneella

työkalun offset-numero (usein sama kuin työkalun paikka)

jäähdytysnesteen käyttö

Kommentti – varsin tehokas optio, minkä avulla voidaan lisätä tietoa työkalusta suoraan NC ohjelmaan automaattisesti. Esim. Työkalun muoto, tyyppi, varsien pituus jne.

Tämä työ piti tehdä kaikille työkaluille erikseen. Tuloksena tuli tarkka digitaalinen kopio työkalujen valikoimasta työsolussa (Kuva 29).



Kuva 20 Työkalujen kirjaston digitaalinen versio.