

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Suunnittelu

Bochkov Ilia

## **CNC-kaiverruskoneen suunnittelu projektin muodossa**

Opinnäytetyö 2018

## Tiivistelmä

Bochkov Iliia

CNC-kaiverruskoneen suunnittelu projektin muodossa, 126 sivua, 8 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kone- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2018

Ohjaaja: lehtori Simo Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kolmiulotteisen CNC-kaiverruskoneen mallin kehitys suunnitteluprojektin muodossa. Keskeinen asia oli selvä ja järjestelmällinen projektin koostumus, joten jokainen suunnittelijan päätös oli hyvin perusteltu. Sillä tavalla tuotteen lopullinen laatu voidaan arvioida kunnolla ja loogiset toimenpiteet sen laadun parantamista varten voidaan ehdottaa.

Tieto oli pääsääntöisesti kerätty kirjallisuudesta ja netistä. Ensiksi tehtiin projektin aikataulu, minkä avulla muodostui projektin selkeä rakenne. Sitten alkoi CNC-koneisiin liittyvän tiedon kerääminen, minkä vuoksi suunnittelijan käsitys nykyisistä CNC-koneista kehittyi hyvin. Sen jälkeen kilpailijoiden tuotteet arvioitiin ja niiden asiakkaiden palaute kerättiin ja analysoitiin, minkä avulla tulevan koneen vaatimusluettelo luotiin. Niitä vaatimuksia sitten sovellettiin tuotteen alustavan suunnittelun kehityksessä, josta sitten tehtiin koneen lopullinen versio. Koneen muodon kehityksen aikana kaikki sen osat valittiin eri luetteloiden ja niissä olevien ohjeiden avulla. Lopussa koneen suunnittelu arvioitiin aikaisemmin muodostetun vaatimusluettelon avulla.

Kävi ilmi, että tuotteen lopullinen versio ei ollut tarpeeksi hyvä arvioinnin jälkeen suunnittelijan alun perin niukan konesuunnittelukokemuksen vuoksi. Kuitenkin, projektin selkeän rakenteen vuoksi, tiettyjä toimia ehdotettiin, joten niiden avulla koneen laatua voidaan kohentaa melkoisesti. Loppujen lopuksi, jos projektia toistetaan näin tarpeeksi monta kertaa, tuotteen lopullinen laatu kohenee merkittävästi.

Asiasanat: konesuunnittelu, tuotekehitys, suunnitteluprojekti

## **Abstract**

Bochkov Iliia

Design of CNC engraving machine in a form of design project, 126 Pages, 8 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Mechanical and Industrial Design

Bachelor's Thesis 2018

Instructor: Lecturer Mr. Simo Sinkko, Saimaa University of Applied Sciences

The purpose of this study was to develop a three-dimensional model of a CNC engraving machine in a form of design project. The focus was put on clear structural composition of a project, so every designer's step was well explained. This way the product's final quality can be well estimated and logical measures for its improvement can be easily applied.

The information was gathered from literature and the Internet. At first, a clear project's schedule was developed, which gave a clear list of actions for the whole project. Then collection of all available CNC-related information began. After that competitors' products were assessed and their client's feedback was collected, what allowed to create a set of engineering specifications for a product. These specifications then were used to preliminary generate a product's first form, which was then developed in the definitive version. During this development all machine parts were selected using special catalogues and, in some cases, designer's own experience. At the end the product's design was estimated using earlier developed engineering specifications.

The product's last version was not as good as expected after its performance evaluation due to the designer's initially low amount of experience in machine design. However, due to the project's clear structure, a set of actions was proposed, through which product's quality can be improved in the future. In short, after a certain amount of project iterations, the product quality can be drastically improved.

Keywords: machine design, product development, mechanical design project

# Sisällys

1	Johdanto .....	8
2	Projektin suunnitelman laatiminen .....	8
3	Suunnitteluongelman ymmärtäminen .....	9
3.1	Yleinen tieto CNC-koneista .....	9
3.1.1	CNC-koneiden toimintaperiaatteet (jyrsimet ja puuntyöstökoneet) .....	10
3.1.2	Materiaalien työstettävyyden ja terät .....	13
3.1.3	Koneen jäykkyys .....	16
3.1.4	Työstöväärähtely .....	17
3.1.5	Työstövoimat .....	18
3.2	Rakenne .....	19
3.2.1	Rungon arkkitehtuuri .....	19
3.2.2	Lineaarijohteet .....	21
3.2.3	Pyörivän liikkeen lineaariliikkeeksi muuntava kokoonpano .....	23
3.2.4	Moottorit .....	25
3.2.5	Työstöpöytä .....	27
3.2.6	Kara .....	28
3.2.7	Elektroniikka .....	29
3.3	Tulevan CNC-koneen käyttäjät ja alustavat tavoitteet .....	30
3.3.1	Koneen tavoitteiden määrittely .....	30
3.3.2	Koneen kohderyhmien määrittely .....	31
3.3.3	Päätelmät .....	31
3.4	Kilpailijoiden arviointi .....	32
3.4.1	CNC 3018 tuotettu Kiinassa .....	32
3.4.2	CNC Piranha Fx tuotettu Yhdysvalloissa .....	33
3.4.3	CNC 8060Z tuotettu Kiinassa .....	34
3.4.4	Päätelmät .....	35
3.5	Tarvelauseiden muodostaminen .....	36
4	Spesifikaatioiden määrittely .....	37
4.1	Benchmarkkaus .....	37
4.1.1	Runko .....	38
4.1.2	X-akselin lineaarijohteet ja työstöpöytä .....	38
4.1.3	Y- ja Z-akselit, trapetsiruuvit, moottorit, laakerit ja elektroniikka .....	39
4.1.4	Päätelmät .....	40
4.2	Toiminnallinen pilkkominen CNC 3018 .....	40
4.2.1	Koneen vuorovaikutus muiden esineiden kanssa .....	41
4.2.2	CNC 3018-koneen ja sen osien toimintojen määrittely .....	41
4.2.3	Oman koneen toimintojen määrittely .....	42
4.3	QFD-taulukon selitys .....	43
4.3.1	QFD-taulukko .....	44
4.3.2	Muut rajoitukset .....	47
4.3.3	Vaatimusluettelo .....	49
5	Konseptisuunnittelu .....	50
5.1	Menetelmä .....	50
5.1.1	Lyhyt vaiheen kuvaus .....	50
5.1.2	Arviointi .....	51
5.2	Havainnot .....	52
5.2.1	Rungon vaimennuskerroin .....	52
5.2.2	Alumiini rungon materiaalina .....	53

5.3	Morfologinen taulukko.....	53
5.3.1	Runko.....	54
5.3.2	Lineaarijohteet.....	55
5.3.3	Liikkeen muuntava kokoonpano.....	56
5.3.4	Kara (karan kokoonpano).....	57
5.3.5	Työstöpöytä.....	58
5.3.6	Tulokset ja yhteenveto .....	58
6	Detaljisuunnittelu .....	59
6.1	Kara.....	60
6.1.1	Työstövoimat.....	60
6.1.2	Karan ominaisuuksien määrittely.....	62
6.1.3	Karan valinta .....	64
6.2	Työstöpöytä .....	65
6.3	Trapetsiruuvi ja mutteri .....	66
6.3.1	Kriittinen kierrosluku .....	69
6.3.2	Nurjahdus.....	70
6.3.3	Tarvittava vääntömomentti .....	72
6.3.4	Mutterin kuorma .....	74
6.3.5	Lopullinen valinta.....	75
6.4	Radiaalilaakerit trapetsiruuveja varten .....	76
6.4.1	Yleinen rakenne .....	76
6.4.2	Laakerin tyyppi .....	79
6.4.3	Laakerin arviointi .....	82
6.4.4	Lopullinen valinta.....	86
6.5	Lineaarilaakerit ja tangot.....	87
6.5.1	Laakerien ja tankojen valinta.....	87
6.5.2	Laakereihin vaikuttavat voimat .....	88
6.5.3	Lineaarilaakerien arviointi.....	91
6.5.4	Lopullinen valinta.....	98
6.6	Askelmoottori .....	98
6.6.1	Valitun moottorin arviointi .....	99
6.6.2	Muut moottoriin liittyvät osat.....	100
6.6.3	Lopullinen valinta.....	102
6.7	Runko .....	102
6.7.1	Runkoon vaikuttavat voimat .....	103
6.7.2	Levyt.....	104
6.7.3	Pultit ja aluslevyt.....	104
6.7.4	Kulmakannattimet.....	105
6.7.5	Trapetsiruuvien asetus.....	105
6.8	Muutokset ja lopullinen malli .....	106
7	Suunnittelun arviointi .....	107
7.1	Taipuminen .....	107
7.2	Massa .....	108
7.3	Hinta .....	108
7.4	Muut vaatimukset.....	110
7.4.1	Itsenäisesti tuotettujen osien määrä ja muokkausmenetelmät ....	110
7.4.2	Koneen koko toimitusta varten .....	110
7.4.3	Työstöalueen pinta-ala .....	110
7.4.4	Karan lineaarinopeus materiaalissa .....	111
7.4.5	Koneeseen liittyvät riskit.....	111

7.4.6	Koneen mekaaninen vikataajuus.....	111
7.4.7	Tulokset.....	112
8	Yhteenveto ja pohdinta .....	113
	Kuvat.....	116
	Taulukot .....	118
	Lähdeluettelo .....	119

## Liitteet

- Liite 1. Aikataulu
- Liite 2. Kilpailijoiden koneiden ominaisuudet
- Liite 3. Benchmarkkaus
- Liite 4. QFD-taulukko, osa 1
- Liite 5. QFD-taulukko, osa 2
- Liite 6. Mitä ja Miten osien yhdistys
- Liite 7. Morfologisten taulukkojen päätösmatriisit
- Liite 8. Koneen piirustukset

## **Termit ja käsitteet**

QFD – Quality Functional Deployment

# 1 Johdanto

Nykyään CNC-koneet ovat tärkeässä asemassa modernissa tuotannossa. Niiden avulla voidaan tarkasti ja melko nopeasti mitä tahansa metalli- tai puupalasta teknisten piirustusten mukaan. Näitä koneita käytetään sekä massa- että pientuotannossa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää CNC-kaiverruskone suunnitteluprojektin muodossa. Lopullinen tuote ei ole työn nimenomainen tavoite, vaan halutaan kunnolla suunnitella aikaisemmin mainittua konetta seuraamalla projektin vaiheita, joten tulokseksi saadaan laadukkaampi tuote. Suunnittelija ajattelee, että toteuttamalla tätä projektia kunnolla, voidaan sekä kohentaa omaa kokemusta konesuunnittelussa, että kerätä uutta tietoa, jota ehdottomasti voidaan hyödyntää tulevassa insinööriammattissa. Tässä työssä käsitellään pääsääntöisesti koneen mekaanista suunnittelua.

Tietolähteenä työssä käytetään nettiä ja kirjallisuutta. Suunnitteluprojektin rakenne luodaan D. Ullmanin (1) kirjan mukaan, jossa annetaan yksityiskohtaiset ohjeet siitä, miten kannattaa toteuttaa tuotteen suunnitteluprojekti. Projekti koostuu kuudesta eri vaiheesta: Projektin suunnitelman laatiminen, Suunnitteluongelman ymmärtäminen, Spesifikaatioiden määrittely, Konseptisuunnittelu, Detaljisuunnittelu ja Suunnittelun arviointi. Samalla tavalla opinnäytetyö jaetaan neljäksi vaiheeksi, joten jokaisessa edellisessä vaiheessa kerätään tietoa, jota ilman on mahdotonta aloittaa seuraava vaihe.

## 2 Projektin suunnitelman laatiminen

Aluksi täytyy muodostaa koko projektin rakenne sen suunnitelman muodossa. Niin kuin mainittiin aikaisemmin, sitä tehdään kokonaan D. Ullmanin kirjan mukaan (1, s.81-110). Suunnitelma löytyy liitteistä (liite 1). Siinäkin annetaan kaikki yksityiskohtaiset selitykset eri vaiheiden tavoitteista. Kaikki seuraavat alla olevat vaiheet suoritetaan tämän suunnitelman mukaan, joten olemassa on selkeät ohjeet, joiden kanssa suunnittelija voi kunnolla luoda laadukkaan tuotteen, tai edes sen ensimmäisen version, riippuen ajasta.



### **3 Suunnitteluongelman ymmärtäminen**

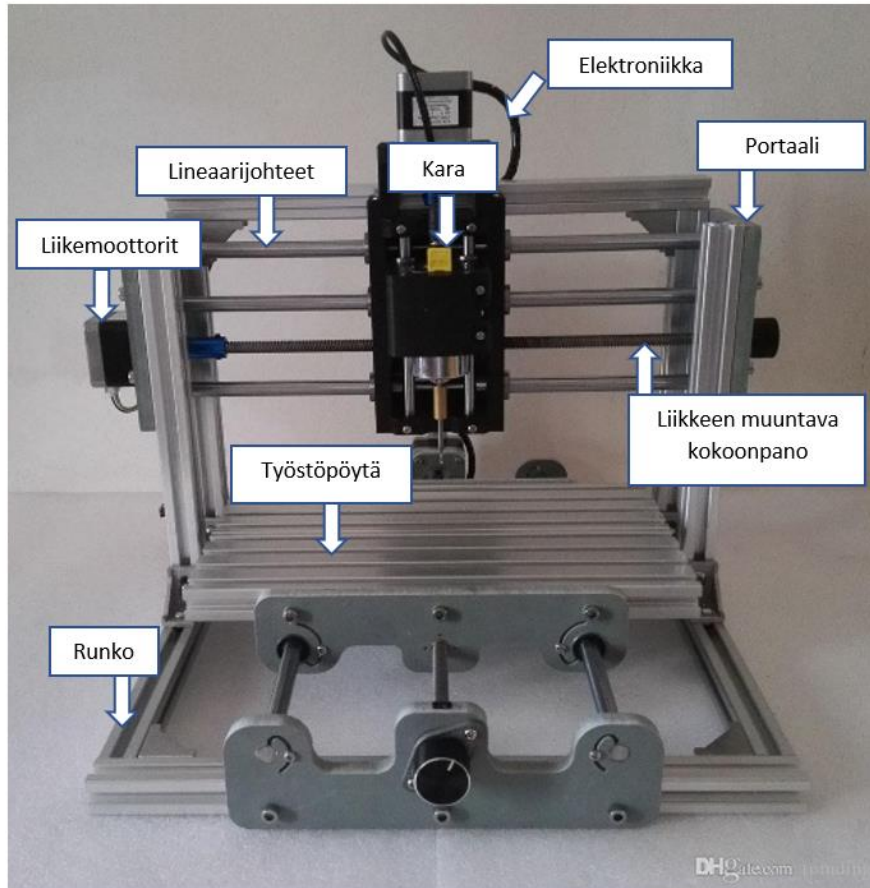
Projektin muodollinen ensimmäinen vaihe suunnitelman mukaan on Suunnitteluongelman ymmärtäminen. Tässä vaiheessa suunnittelija tutkii olemassa olevien koneiden rakennetta ja ominaisuuksia. Sen lisäksi kerätään yleistä tietoa CNC-koneista, joten suunnittelijan ja lukijan tietämys CNC-koneista parantuu enemmän.

#### **3.1 Yleinen tieto CNC-koneista**

Kaikki CNC-koneet koostuvat tavallisesti seuraavista osista:

1. Runko
2. Portaali (ei kaikissa koneissa)
3. Lineaarijohteet
4. Pyörivän liikkeen lineaariliikkeeksi muuntava kokoonpano (esim. kuularuuvi ja mutteri)
5. Liikemoottorit
6. Työstöpöytä
7. Kara
8. Elektroniikka (anturit, johdot, ohjaimet)
9. Ohjelmisto (12.)

Kuvassa 1 voidaan nähdä kaikki ne osat koneessa. Esimerkkinä käytetään pientä kaiverruskonetta CNC 3018 (23).



**Kuva 1.** CNC-kaiverruskoneen eri osat (78)

Jokaista niistä osista voidaan toteuttaa eri tavoilla ja usein kaikki riippuu koneen tehtävästä. Jos tehtävä on metallityöstö, sitten erinomainen rungon jäykkyys ja karan vääntömomentti ovat kaikkein tärkeimpiä. Jos tehtävä on puuntyöstö, sitten jäykkä runko ei ole niin tarvittava työstövoimien pienen suuruuden vuoksi, kuitenkin karalta tarvitaan suurta nopeutta (tuottavuutta varten). (12.)

### 3.1.1 CNC-koneiden toimintaperiaatteet (jyrsimet ja puuntyöstökoneet)

CNC-jyrsinten ja puuntyöstökoneiden toimintaperiaatteet ovat melko yksinkertaisia. Ensiksi karaan kiinnitetään terä. Sitten valitaan karan kierrosluku ( $n$ , [r/min]) ja syöttö ( $f$ , [mm/min]). Niiden kahden suureen valinnassa huomioon otetaan terän ominaisuudet, koneen ominaisuudet ja materiaalien ominaisuudet. Lopuksi tehdään työstö. (3.)

Koneen ominaisuuksiin kuuluvat karan kierrosnopeus, tehokkuus, vääntömomentti ja sen lisäksi koneen jäykkyys ja tarkkuus. Pienet ja joustavat puuntyöstökoneet eivät pysty työstämään metalleja niin kuin suuret jyrsimet. Niiden karat ovat nopeita ja karojen vääntömomentti on pieni. Sen lisäksi pienillä koneilla ei ole jäykkää rakennetta. Siitä puhutaan myöhemmin. (3.)

Materiaalien ominaisuudet ovat esimerkiksi materiaalin työstöä varten tarvittava työstöpaine (specific cutting pressure). Se määrittelee kuinka paljon voimaa (työstövoima) tarvitaan materiaalin tietyn alueen (lastun paksuus ja työstösyvyys) leikkausta varten. Sen perusteella myöskin voidaan ymmärtää, mikä voima ilmestyy terässä työstön aikana. (3.)

Sekä materiaali että terä määrittelevät karan leikkuunopeuden. Se riippuu terän materiaalista, terän geometriasta ja työkappaleen materiaalista. Tavallisesti terän valmistaja antaa nopeuden suositukset eri materiaaleille ja työstötavoille. (3.)

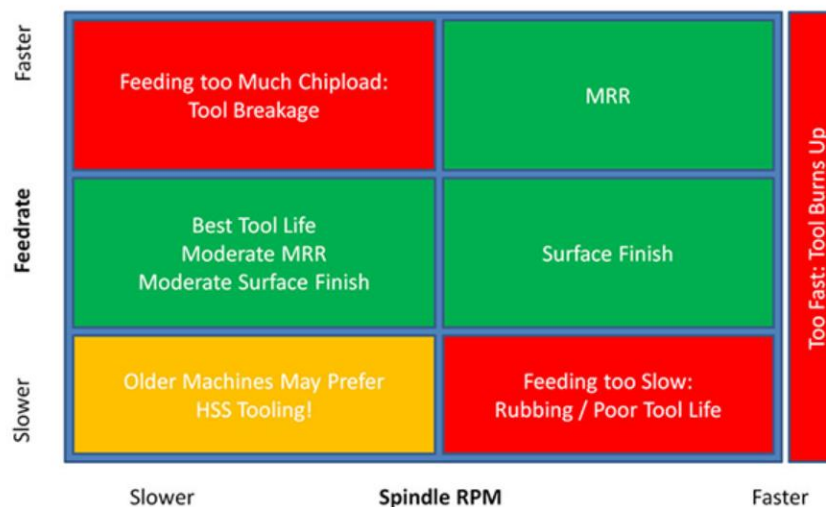
Alla esitetään kaikki tekijät ja ominaisuudet yksityiskohtaisemmin.

- **Kierrosluku** ( $n$ , [r/min]) - se on karan pyörimisnopeus. Perustuu työstettävälle materiaalille sopivaan leikkuunopeuteen ja terän halkaisijaan. Se säädetään ennen koneen käynnistämistä.
- **Syöttö** ( $f$ , [mm/min]) - se tarkoittaa koneen ratanopeutta (työkappaletta pitkin). Perustuu terän hammassyöttöön, terän hammaslukuun ja kierroslukuun. Se valitaan ennen koneen käynnistämistä.
- **Leikkuunopeus** ( $v$ , [m/min]) - se on karan särmän kehänopeus. Terän valmistaja antaa suosituksia leikkuunopeudesta eri materiaaleille (se on vakio).
- **Terän halkaisija** ( $D$ , [mm]) - terän särmän piirtämän kehän halkaisija. Siitä riippuu työstön tuottavuus ja terän luomat voimat.
- **Terän hammasluku** ( $z_n$ , [kpl]) - terän hampaiden lukumäärä. Mitä enemmän terällä on hampaita sitä suurempi sen tuottavuus (materiaalin poistaminen kohenee). Eri materiaalien työstön aikana lastut muodostuvat eri tavalla, joten suuri hampaiden lukumäärä ei ole aina hyvä.

- **Hammassyöttö tai lastuamissyvyys** ( $f_z$ , [mm/hammas]) - materiaalin syöttö yhteen hampaaseen. Yleensä sen perusteella muodostetaan syöttö työstön aikana.
- **Lastun paksuus** ( $h$ , [mm]) - määrittelee sitä, kuinka syvä työstö on. Vaikuttaa tuottavuuteen paljon.
- **Lastuvirta** ( $\text{mm}^3/\text{s}$ ) - se on materiaalin tilavuus, jota poistetaan työstön yhden sekunnin aikana. Sillä voidaan määritellä koneen tuottavuutta. Se riippuu paljon hammassyötöstä, leikkuunopeudesta ja lastun paksuudesta. (2.)

Edellä mainitut tekijät kannattaa huomioida työstön aikana, koska jokaisella materiaalilla on tietty työstökohta (Sweet Spot). Se tarkoittaa sitä, että tietyille materiaaleille valitaan tietyt kierrosluvut ja syötöt. Jos ne on valittu väärin, sitten voidaan pilata sekä työkappale että terä (Kuva 2). (3.)

## Sweet Spots for Feeds and Speeds



**Kuva 2.** Erilaiset työstökohdat (3)

Pehmeillä materiaaleilla kuten puulla tämä työstökohta on suurempi ja jopa jos kappaletta työstetään väärin, kriittiset virheet eivät usein tapahdu. Samaan aikaan kovat materiaalit kuten teräs vaativat kierroslukujen ja syöttöjen tarkempaa valintaa. Teräksen työstössä voidaan helposti tuhota sekä kone että työkappale, jos työstön suuret on valittu huolimattomasti. (3.)

### 3.1.2 Materiaalien työstettävyys ja terät

Eri materiaalit vaativat erilaisia terien tyyppejä. Ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään työstettävyyden mukaan:

1. **Pehmeät materiaalit** kuten muovi, puu ja akryyli. Niitä voidaan työstää pienillä koneilla.
2. **Pehmeät metallit** kuten alumiini. Niitä voidaan työstää pienillä koneilla, jos koneen jäykkyys ja karan voima sopii tähän tehtävään.
3. **Kovat materiaalit** kuten kivi ja metalli. Niitä ei voida työstää pienillä koneilla. Niistä tässä kappaleessa ei puhuta.

#### 3.1.2.1 Pehmeät materiaalit

Pehmeiden materiaalien työstössä (Kuva 3) usein kara pyörii suurilla leikkuunopeuksilla, koska mitä pienempi on materiaalin kovuus, sitä suurempi on suositeltu leikkuunopeus (4). Samaan aikaan tarvittava vääntömomentti on melko pieni. Syy, miksi puuta voidaan työstää niin helposti on sen suhteellisesti pieni kovuus terään verrattuna. (5.)



**Kuva 3.** Puuntyöstö (79)

Puumateriaali voidaan jakaa neljään ryhmään:

1. Kovapuu
2. Pehmeäpuu
3. Vaneri

#### 4. MDF

Jokainen näistä tyypeistä täytyy työstää tietyllä tavalla. Kierrosluvun ja syötön valinta puuntyöstössä riippuu siitä, miten lastut ja pöly muodostuvat ja sen lisäksi työkappaletta voidaan murtaa helposti, jos työstövoimat ovat liiallisia. (6.)

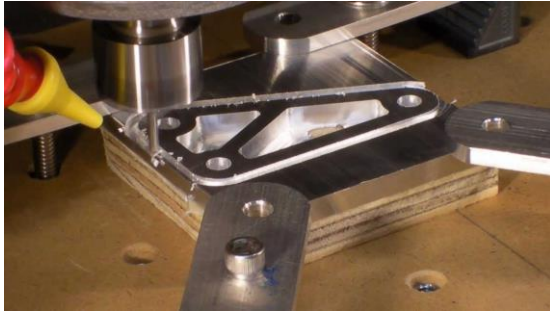
Usein terän valinta vaikuttaa siihen, kuinka laadukas puuntyöstö on. Karbidista tehdyt terät ovat sopivampia kuin HSS terät, koska ne kestävät lämpöä hyvin ja niitä voidaan käyttää korkeammilla nopeuksilla. Eri terätyypit kuten Downcut, Upcut ja Compression terät vaikuttavat siihen, mihin työkappaleessa voimat keskittyvät ja miten lastut ja pölyt poistetaan urasta (Kuva 4). (6.)



**Kuva 4.** Puuntyöstössä käytetään Upcut, Downcut ja Compression teriä (6)

##### 3.1.2.2 Pehmeät metallit

Alumiini on yksi materiaali tästä ryhmästä. Alumiinin työstö (Kuva 5) on monimutkaisempi kuin puuntyöstö, koska tässä tapauksessa koneen jäykkyys, karan vääntömomentti, terän halkaisija ja karan kiertoluku ovat tärkeässä asemassa. Pääsyy on se, että alumiini on puuta kovempaa ja sen työstön aikana luodaan paljon lämpöä. On tärkeää, että tämä lämpö jää lastuihin eikä pysy terässä tai työkappaleessa. Sen vuoksi syötön on oltava tarpeeksi suuri, joten lastut ovat suuria ja lämpö pysyy niiden sisällä. Toisaalta, ei kannata pyörittää karaa liian nopeasti, taikka liiallinen lämpö ilmestyy ja terä pilaantuu. Kierrosluvun ja syötön valinta on tärkeä. (7.)



**Kuva 5.** Alumiinityöstö (80)

Ei kannata kiirehtiä alumiinin työstössä, koska pienien koneiden karoilla usein ei ole tarpeeksi suurta vääntövoimaa. Sen vuoksi terän halkaisija on melko pieni ja koneen tuottavuus on alhainen. (7.)

Jos työn nopeus on liiallinen, sitten alumiini voi tarttua terään sen pehmeuden vuoksi. Se tuhoaa terän, minkä jälkeen terä on vaihdettava. Toisaalta, pienillä leikkuunopeuksilla lastujen muoto voi olla huono, minkä vuoksi lämpö myöskin jää terään. Tasapainoa tarvitaan. (7.)

Lastut täytyy poistaa työstön aikana. Jos käyttäjä ei tee näin, se voi rajusti vahingoittaa työn laatua. Sen lisäksi terän voitelu on alumiinityöstössä pakollinen. Näiden kahden syyn vuoksi käytetään erikoista sumutinta (Kuva 6), joka sekä poistaa lastuja että viilentää terää. Tosin työn laatu voi olla huono ja terän elinikä voi olla lyhyt. (7.)



**Kuva 6.** Sumutin, joka sekä poistaa lastuja että voitelee terää (81)

Alumiinin työstöön kannattaa aina varautua huolellisesti. Erikoiset terät tarvitaan, jos alumiinityöstö tehdään puuntyöstökoneella. Terän valmistajan antamia ohjeita seurataan aina. Usein niistä ohjeista työ alkaa ja sitten koneen syöttönopeus ja kierrosluku säädetään vastaavasti. (7.)

Todennäköisesti, tässä suunnitteluprojektissa kone suunnitellaan niin, että sillä voidaan työstää silkkaa alumiinia. Alumiini on puuta hieman kovempaa ja samaan aikaan se on yhtenäinen materiaali, toisin kuin puu. Sen vuoksi voidaan tarkasti määritellä sitä varten tarvittavat työstövoimat. Alumiinia myöskin työstetään suurilla leikkuunopeuksilla pehmeiden vuoksi.

### 3.1.3 Koneen jäykkyys

Koneen jäykkyys on kaikkein tärkein tekijä, koska jos kone taipuu työstövoimien alla, sillä ei voida työstää materiaalia tarkasti. Koneen jäykkyys on yksi niistä rajoituksista, joiden vuoksi puuntyöstökoneet eivät voi työstää metallia (toinen rajoitus on karan voima). Kannattaa suunnitella koneen runkoa ja lineaarijohteet sillä tavalla, että ne kestävät työstön aikana ja eivät menetä muotoansa. Siitä riippuvat koneen tarkkuus, värähtelyvaimennus ja se, millaisia materiaaleja kone voi työstää tai toisin sanoen työstövoimien suuruus. Lyhyesti sanoen, se on kaikkein tärkein koneen ominaisuus. (8.)

Seuraavat tekijät määrittelevät koneen jäykkyyttä:

1. **Koneen massa-** siitä riippuu koneen luonnollisen värähtelyn taajuus.
2. **Koneen osien jäykkyys-** siitä riippuu koneen taipuminen voimien alla.
3. **Osien kytkentöjen jäykkyys-** siitä riippuu koneen taipuminen voimien alla.
4. **Työstöalueen koko-** siitä riippuu koneen taipuminen voimien alla.

Usein käy näin, että mitä suurempi on koneen massa, sitä suurempi sen elementtien ja kytkentöjen jäykkyys. Sen vuoksi ne kaksi eri asiaa kumpikin määrittelevät jäykkyyttä. (8.)



### 3.1.4 Työstöväärähtely

Se on resonanssi-ilmiö, joka ilmenee, kun työstön värähtely sopii koneen luonnolliseen värähtelytaajuuteen ja kone tärisee paljon sen vuoksi. Mitä jäykempi kone sitä korkeampi on työstöväärähtelyn kynnyks. (9.)

#### 3.1.4.1 Stabiiliteettikuvaaja

Kuitenkin, koneen jäykkyys on vain yksi neljästä tekijästä, jotka vaikuttavat tärinään.

Nämä tekijät ovat:

1. **Koneen jäykkyys**
2. **Karan kierrosluku** (vaikuttaa värähtelyn taajuuteen)
3. **Terän hammasluku** (vaikuttaa värähtelyn taajuuteen)
4. **Terän pituus** (vaikuttaa värähtelyn voimaan) (9.)

Jos työstöväärähtely ilmestyy työstön aikana ja jäykkyys on jo mahdotonta vaihtaa (kohottaa työstöväärähtelyn voiman kynnyksiä), sitten voidaan vaihtaa yksi kolmesta muista tekijästä (terän malli tai työstön kierrosluku). (9.)

Stabiiliteettikuvaaja (Kuva 7) voi auttaa käyttäjää määrittelemään koneen vakaat kohdat. Koneen tuottaja ei tee tätä kaaviota koneilleen, koska niiden luominen on pitkäaikainen prosessi, jota tehdään yksilöllisesti jokaiselle koneelle, koska sen neljän tekijän suuret voivat olla melko erilaisia. (9.)

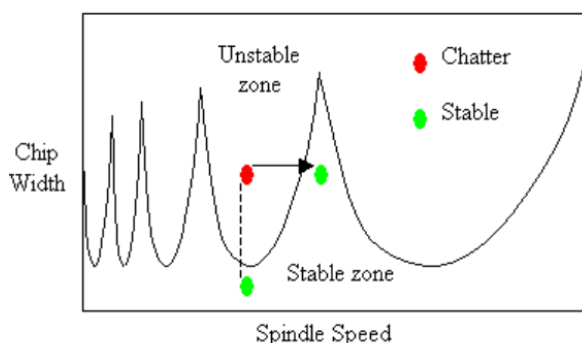


Figure 1: Example stability lobe diagram

**Kuva 7.** Stabiiliteettikuvaaja tai työstöväärähtelyn kaavio (9)

Stabiliteettikuvaaja voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla:

1. **Kokeellisen tavan** kautta koneella testataan eri nopeudet ja lastun paksuudet ja tällä tavalla vähitellen luodaan kaaviota. Tämä menetelmä on melko yleinen, koska se on yksinkertainen eikä vaadi muita varusteita kuin kone ja vihko (Kuva 8).
2. **Analyttisen tavan** kautta käyttäjä tilaa palvelua ja tiettyjen varusteiden avulla (Tap Test) luodaan koneen stabiliteettikuvaaja. (9.)

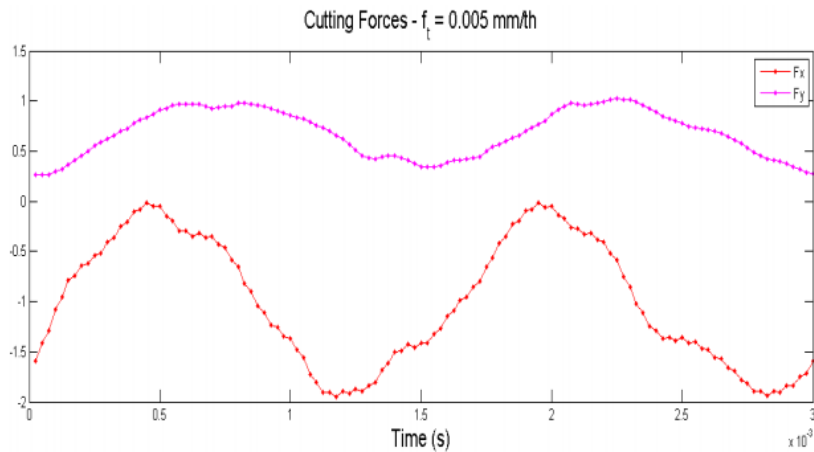


**Kuva 8.** Kokeellinen stabiliteettikuvaaja (9)

Loppujen lopuksi eri koneilla voidaan periaatteessa tehdä samaa työtä. Jos värähtely ja tärinä ilmestyvät, niistä voidaan päästä eroon muuttamalla yhtä neljästä tekijästä (niiden arvot). Stabiliteettikaavio on melko kätevä väline työstössä. Se rakennetaan usein pikkuhiljaa työn kuluessa. Valitettavasti tässä opinnäytetyössä stabiliteettikuvaajaa ei luoda, koska usein sitä tehdään kokeellisella tavalla ja analyttinen lähestymistapa vaatii paljon aikaa. (9.)

### 3.1.5 Työstövoimat

Työstövoimat voidaan määritellä kokeellisen tiedon perusteella (Kuva 9) ja sitä varten löytyi artikkeli alumiinityöstöstä (11). Artikkelissa arvioidaan mikrotyöstö, jossa käytetään pientä terää. Se on jopa hyödyllisempää tietoa suunnittelijan mielestä, koska alumiinityöstö, joka tehdään kaiverruskoneen avulla, on lähempänä mikrotyöstöä kuin tavallista työstöä.



**Kuva 9.** Tangentiaaliset ( $F_y$ ) ja radiaaliset ( $F_x$ ) voimat (11)

Siinä on nähtävissä, että leikkausvoima koostuu kahdesta voimasta:

1. Tangentiaalisesta (leikkaa materiaalia)
2. Radiaalisesta (syöttövoima)

Tangentiaalinen voima on suurempi kuin radiaalinen voima noin puolella (sen huipussa). Tangentiaalinen voima voidaan löytää alumiinin  $k$  suureen avulla (specific cutting pressure) ja sitten radiaalinen voima on sen voiman  $2/3$ . Sitten yhteinen voima löytyy helposti. Tangentiaalisen voiman avulla voidaan määrittellä karan voimaa ja radiaalisen voiman avulla voidaan määrittellä liikemootoreilta tarvittava voima. (11, s.4.)

### 3.2 Rakenne

Tässä osassa esitetään jokaisen CNC-koneen osan yksityiskohtainen kuvaus. Sen lisäksi jokaiselle osalle listataan mahdolliset vaihtoehdot, joita on mahdollista asentaa koneeseen. Tätä tietoa käytetään myöhemmin konseptisuunnittelussa.

#### 3.2.1 Rungon arkkitehtuuri

CNC-koneen rungon arkkitehtuuri riippuu kokonaan koneen tehtävästä. Sen avulla määritellään työkappaleen koko, koneen lujuus, jäykkyys ja tarkkuus, joten kannattaa kiinnittää tähän kohtaan paljon huomiota. (8.)

Kone voidaan suunnitella niin, että sillä on joko liikkuva työstöpöytä (X-akselilla liikkuva työstöpöytä) tai liikkuva portaali (X-akselilla liikkuva portaali) (Kuva 10). Liikkuva työstöpöytä on hyödyllisempi pienissä kaiverruskoneissa, koska sen avulla voidaan parantaa karan jäykkyyttä ja kohentaa koneen tarkkuutta. Toisaalta, liikkuva portaali on hyödyllisempi silloin, kun työkappaleen koko on suuri, eikä ole järkevää liikuttaa sen suurta massaa. (13.)



**Kuva 10.** Liikkuva portaali ja liikkuvat työstöpöytäkoneet (13)

CNC-koneen rungolla on seuraavia toimintoja:

1. Tärinänvaimennus (siitä oli sanottu 3.1.4 luvussa)
2. Työstövoimien vaikutuksen vähentäminen työstöön (ottaa vastaan niitä voimia ja taipuu hieman)
3. Muiden komponenttien keskenään kytkeminen (8, 13.)

### 3.2.1.1 Työstövoimien vaikutuksen vähentäminen

Työstön aikana karaan vaikuttavat radiaaliset ja tangentiaaliset voimat työkappaleen osalta. Niiden voimien vaikutuksen alla koko kone voi taipua, jos sen jäykkyys ei ole tarpeeksi hyvä. Siitä paljon riippuu koneen tarkkuus ja todennäköisesti se on merkittävä tekijä siinä (sen lisäksi tarkkuus riippuu moottorien ja kuularuuvien toiminnoista ja lineaarijohteiden jäykkyydestä). (13.)

### 3.2.1.2 Muiden komponenttien keskenään kytkeminen

Se ei ole niin tärkeä asia kuin muut, kuitenkin se otetaan aina huomioon suunnittelun aikana. Kaikki muut alla mainitut komponentit sijaitsevat rungon päällä, joten kannattaa miettiä sitä, mikä on näille paras paikka.

### 3.2.1.3 Päätelmät

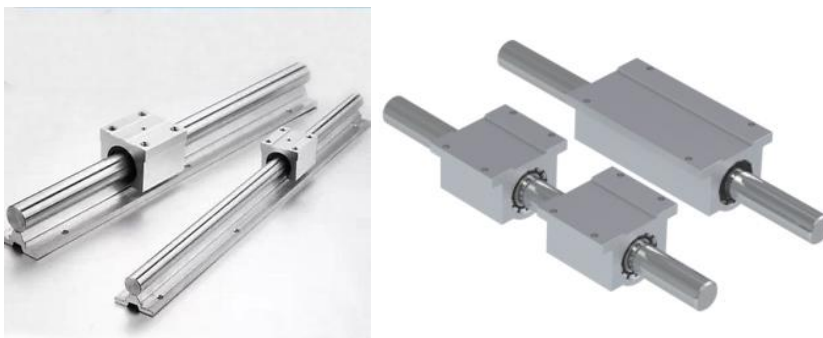
CNC-koneen rungolta vaaditaan kaksi asiaa:

1. **Tärinävaimennus**, koska sen avulla kone voi työstää kovia materiaaleja ja pitää tärinää alhaisella tasolla. Resonanssi on vielä mahdollinen, mutta sitä voidaan korjata.
2. **Jäykkyys**, koska sen avulla kone voi työstää kovia materiaaleja menettämättä muotoaan.

Tietysti kaikki riippuu koneen lopullisesta tehtävästä. Puuntyöstökoneissa jäykkyys ja tärinävaimennus eivät ole niin tärkeässä asemassa kuin oikeissa CNC-jyrsimissä. Siis rungon suunnittelussa huomioon otetaan koneeseen vaikuttavat voimat ja niiden avulla tehdään päätös siitä, kuinka jäykkä ja tärinää vaimentava tulevan koneen täytyy olla.

### 3.2.2 Linearijohteet

Johteet voivat olla sekä täysin tuettuina että osittain tuettuna (Kuva 11). On ilmeistä, että täysin tuetut johteet ovat sitkeämpiä, ne eivät taivu paljon ja niitä voidaan kuormata enemmänkin. Toisaalta, osittain tuetut johteet ovat halvempia ja ne eivät vaadi monimutkaista asennusta. Linearijohteiden jäykkyydestä riippuu koneen jäykkyys, joten johteiden on oltava jäykkiä. (13.)



**Kuva 11.** Täysin tuetut ja osittain tuetut linearijohteet (13)

Lineaarijohteilla on neljä tehtävää:

1. Komponenttien tukeminen
2. Kitkan vähentäminen
3. Komponenttien johtaminen suoraan akseleja pitkin
4. Sivukuormien kompensatio

On olemassa kolme eri tyyppiä lineaarijohteita:

1. Kiskot ja kelkat
2. Tangot ja lineaarilaakerit
3. Urapyörät ja kiskot

### **3.2.2.1 Kiskot ja kelkat**

Kiskot ja kelkat (kelkka liukuu kiskoja pitkin) ovat aina täysin tuettuina ja todella luotettavia johteita, joiden jäykkyys on erinomainen. Niiden avulla voidaan liikuttaa suuria kuormituksia ja sen lisäksi rajusti pienentää kitkaa (tällä tavalla koneen tehokkuus kohenee). Kuitenkin tämä vaihtoehto on melko kallis ja vaatii monimutkaista asennusta. Sitä käytetään vain kalliissa koneissa, joissa tuottavuus ja luotettavuus ovat kaikkein tärkeitä. (14.)

### **3.2.2.2 Tangot ja lineaarilaakerit**

Tangot ja lineaarilaakerit (laakeri liukuu tankoa pitkin) voivat olla sekä täysin tuettuina että osittain tuettuina ja se usein riippuu budjetista ja koneen tehtävistä. Ne eivät ole niin luotettavia ja jäykkiä kuin kiskot ja kelkat, mutta ne maksavat vähemmän. Ne sopivat hyvin halvempiin koneisiin, joissa kuormitus ei ole liian suurta. (14.)

### **3.2.2.3 Urapyörät ja kiskot**

Urapyörät ja kiskot (urapyörät liukuvat kiskoja pitkin) ovat pikemminkin harrastajia varten. Niiden avulla voidaan tehdä suhteellisesti täsmällisiä liikkeitä ja ne eivät maksa paljon. (14.)

### **3.2.2.4 Päätelmät**

CNC-koneen lineaarijohteilta vaaditaan kolme asiaa:

1. **Jäykkyys**, koska johteilla laitetaan suuria painoja ja tehokasta suoraviivaista liikettä varten johteiden täytyy pysyä alkuperäisessä muodossa.
2. **Pieni kitka**, koska sen avulla parannetaan koko koneen tehokkuutta ja voidaan laittaa lisää voimaa esimerkiksi syöttöön (joten kone liikkuu materiaalissa nopeammin).
3. **Lujuus**, koska lineaarijohteiden päälle usein laitetaan isoja voimia koneen sivulta ja niiden täytyy kestää karuissa olosuhteissa

### 3.2.3 Pyörivän liikkeen lineaariliikkeeksi muuntava kokoonpano

Tämä kokoonpano ottaa tehoa moottorilta pyörivän liikkeen muodossa ja sitten kääntää sitä koneen lineaariliikkeeksi. Kuten muiden koneen osien valinnassa, tämän osan valinta riippuu koneen tehtävästä ja budjetista. (16.)

On olemassa kolme eri vaihtoehtoa (Kuva 12):

1. Hammaspyörät ja hammastangot
2. Trapetsi- tai kuularuuvit ja mutterit
3. Hihnat ja hammaspyörät



**Kuva 12.** Kaikki alla esitetyt vaihtoehdot (15, 16, 17)

#### 3.2.3.1 Hammaspyörät ja hammastangot

Hammaspyörät ja hammastangot ovat todella kestävä ja sitkeä vaihtoehto. Sitä käyttämällä voidaan liikuttaa luotettavasti suuria rakenteita. Kuitenkin, kustannus on joskus liiallinen ja sen vuoksi se sopii paremmin kalliiden koneiden suunnitteluun. Samaan aikaan tässä kokoonpanossa ilmenee välitys, jonka vuoksi sitä varten myöskin tarvitaan erikoista ohjelmistoa. (15.)

### **3.2.3.2 Trapetsi- tai kuularuuvit ja mutterit**

Trapetsi- tai kuularuuvien ja mutterien avulla voidaan tehokkaasti liikuttaa koneen akselit, mutta tämä vaihtoehto vaatii usein kohtuullista huoltoa. Sen kustannus on alhainen, mutta kunnollinen asennus tarvitaan, koska ruuvin päälle pyritään laittamaan mahdollisimman pientä kuormaa ja pikemminkin sijoittaa sitä lineaari-johteiden päälle. (16.)

Trapetsiruuvi on halvempi kuin kuularuuvi, kuitenkin sen suorituskyky on huonompi. Samaan aikaan kuularuuvit kestävät pidempään ja niihin vällys ei vaikuta.

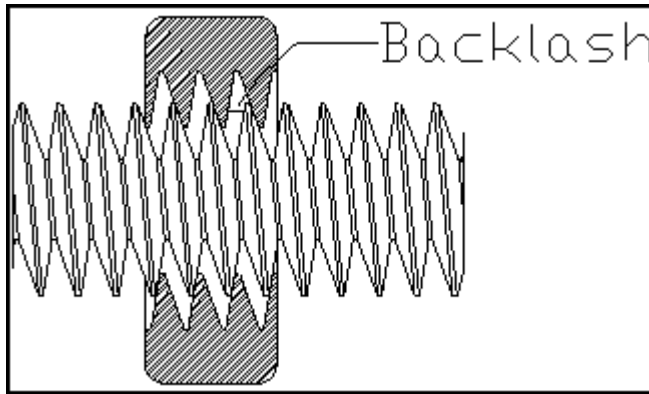
### **3.2.3.3 Hihnat ja hammaspyörät**

Tämä vaihtoehto sopii pikemminkin 3D-tulostimille kuin CNC-koneille. Suurien kuormien alla hihnat venyvät vähitellen, joten työstössä sitä ei voida soveltaa. Kuitenkin sitä voidaan käyttää sulakkeena moottorin ja esimerkiksi kuularuuvien välillä. Sillä tavalla hihna murtuu, jos liiallinen kuorma ilmestyy (kara jumiutuu) ja sen lisäksi näin voidaan lisätä vääntömomenttia käyttämällä kokoonpanossa erikokoisia hammaspyöriä. (17.)

### **3.2.3.4 Vällys**

Jos suunnittelun aikana valitaan trapetsiruuvien ja mutterin vaihtoehto, sitten kannattaa ottaa huomioon se, että olemassa on niin kutsuttu vällys ilmiö (Kuva 13), kun ruuvin ja mutterin välillä (sama asia tapahtuu hihnoissa ja hammaspyörissä) on olemassa pieni tila ja kun kone muuttaa liikkeen suuntaa, se menettää askeleita. Sitä voidaan korjata sekä ohjelmiston että oikean ruuvien valinnan avulla. Kuularuuvissa se ilmiö ei ilmesty mutterin rakenteen vuoksi, kuitenkin jos trapetsiruuveja käytetään, sitten täytyy jännittää muttereita, joten ne kompensoisivat askeleiden menetystä. Markkinoilla on jännitettyjen mutterien tyyppi, jonka avulla voidaan hyvin vastustaa vällystä (18). (16.)





**Kuva 13.** Välyk ruuvissa (18)

### 3.2.3.5 Päätelmät

CNC-koneen liikkeen muuttavalta kokoonpanolta vaaditaan kolme asiaa:

1. **Lujuus**, joten kokoonpanolla voidaan muuntaa suuret voimat pyöriävästä liikkeestä lineaariliikkeeksi.
2. **Kestävyys**, joten tätä järjestelmää voidaan käyttää mahdollisimman pitkän aikaa.
3. **Tehokkuus**, joten liikkeen muuntamisen aikana menetetään mahdollisimman vähän energiaa.
4. **Välyksen puute**, koska sen vuoksi menetetään tarkkuus

Loppujen lopuksi liikkeen muuttavan kokoonpanon valinnassa täytyy toteuttaa vaihtoehdon analyysi, joten varmistetaan, että se sopii tehtävään. Sen lisäksi kannattaa ottaa huomioon järjestelmän tehokkuus ja kestävyys. Välyksestä täytyy päästä eroon.

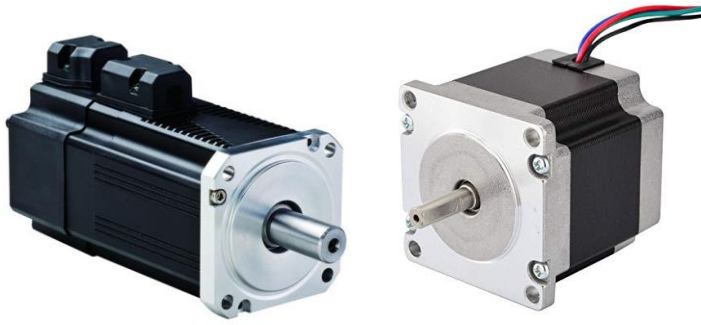
### 3.2.4 Moottorit

Liikemoottorit ohjaavat koneen liikkeitä eri aksleja pitkin. Ne tuottavat pyöriivää liikettä, joka sitten muunnetaan koneen lineaariliikkeeksi. Ne (jos rungon ja joh-teiden jäykkyys on kunnossa ja kone ei taivu) määrittelevät koneen tarkkuutta ja tehokkuutta. (19.)

CNC-koneissa sovelletaan kahta eri moottoria (Kuva 14):

1. Servomoottorit

## 2. Askelmoottori



**Kuva 14.** Servo- ja askelmoottorit (19)

### 3.2.4.1 Servomoottorit

Servomoottori on tehokas ja luotettava moottori. Sen avulla voidaan toteuttaa työtä koneella käyttäen niin kutsuttua "closed loop" sykliä. "Closed loop" tarkoittaa sitä, että kone osaa valvoa omat liikkeet ja tarvittaessa voi korjata asentoansa. Servomoottorien haitta on niiden ja niitä varten tarvittavien ohjainkorttien hinta. Sen vuoksi niitä useammin sovelletaan kalliissa koneissa. (73.)

### 3.2.4.2 Askelmoottori

Askelmoottori on halvempi ja yksinkertaisempi vaihtoehto kuin servomoottorit. Sen avulla voidaan tehdä vain "open loop" sykliä, koska moottori ei osaa valvoa omia liikkeitä. Kuitenkin voidaan varustaa moottori enkooderilla, joten parannukset ovat mahdolliset. Sitä usein sovelletaan halvemmissä koneissa.

Askelmoottorien avulla voidaan toteuttaa sekä puoli- että mikroaskellus, joten näiden moottorien resoluutio voidaan säätää tarpeen mukaan. Askelmoottori kuluttaa enemmän virtaa kuin servomoottori sen toimintaperiaatteiden vuoksi. (73.)

### 3.2.4.3 Päätelmät

CNC-koneen liikemoottoreilta vaaditaan kolme asiaa:

1. **Tarpeellinen vääntömomentti**, koska sen avulla voidaan hallita koneen liikkeitä tiettyjen materiaalien työstössä. Moottorit luovat vastusta karassa ilmeneviä työstövoimia vastaan ja kone voi kiihtyä materiaalissa ja liikkua siinä samalla nopeudella.

2. **Tarpeellinen nopeus**, koska siitä paljon riippuu koneen tuottavuus.
3. **Täsmällisyys**, koska siitä riippuu koneen työn laatu.

CNC-koneiden liikemoottorien valinnassa pyritään aina toteuttamaan niiden avulla "closed loop" sykliä, koska sen avulla voidaan ohjata konetta paremmin. Kuitenkin, pienissä kaiverruskoneissa se ei aina ole mahdollista budjetin vuoksi.

Loppujen lopuksi moottorin valinta riippuu budjetista, vääntönopeuskaarista ja sen lisäksi moottorin tehon tasosta. Myöskin moottorien mitat määritellään NEMA standardien mukaan.

### 3.2.5 Työstöpöytä

Työstöpöydällä on kaksi tehtävää:

1. Työkappaleiden kiinnitys (käyttämällä pöydän antamia kiinnitystapoja)
2. Työkappaleiden suuruuden ja muodon määrittely (20.)

On olemassa kolme työstöpöydän tyyppiä (Kuva 15):

1. Alipainepöytä
2. T-uralevy työstöpöytä
3. Rei'itetty työstöpöytä (20.)



**Kuva 15.** Erilaiset työstöpöydät (20)

#### 3.2.5.1 Alipainepöytä

Alipainepöytä on tehokas vaihtoehto, johon voidaan helposti ja nopeasti kiinnittää työkappale ja sitten ottaa se pois. Se on kallis ja monimutkainen osa, joka vaatii kunnollista asennusta. Alipainepöytää käytetään usein massatuotannossa ja se ei ole järkevää pientuotannossa ja kaiverruskoneissa. (20.)

### 3.2.5.2 T-uralevy työstöpöytä

T-uralevytyöstöpöytä on yksinkertainen vaihtoehto, tehty kokonaan alumiiniprofiilista. Siihen voidaan helposti ja melko nopeasti kiinnittää työkappaleita käyttäen pultteja ja kiinnittimiä. Se on vielä melko kallis ja jopa raskas vaihtoehto erityisesti, jos työstöpöydän koko on suuri. (20.)

### 3.2.5.3 Rei'itetty työstöpöytä

Tällä pöydällä on sama toimintaperiaate kuin T-uralevypöydällä. Pääero on se, että rei'itetyn pöydän massa on pienempi ja sillä tavalla voidaan tehostaa CNC-koneen toimintaa. Kuitenkin tämä levy tehdään tilauksen mukaan, joten sen kustannus voi olla suurempi kuin T-uralevypöydän kustannus. (20.)

### 3.2.5.4 Päätelmät

CNC-koneen työstöpöydältä vaaditaan kolme asiaa:

1. **Tasaisuus**, koska jos pöytä on tasainen, sitten voidaan toteuttaa työstöä nopeammin ja tarkemmin. Tarvittaessa voidaan esimerkiksi laittaa työstöpöydän päälle kulutuslevy ja tasata sitä kunnolla.
2. **Jäykkä kiinnitystapa** työkappaleen ja pöydän välillä, koska jos työkappaletta ei kiinnitetä jäykästi, se voi liikkua työstön aikana. Se vähentää rajusti koneen tarkkuutta.
3. **Vakavuus**, koska pöydän on oltava vakaana työstön aikana tai koneen tarkkuus huonontuu.

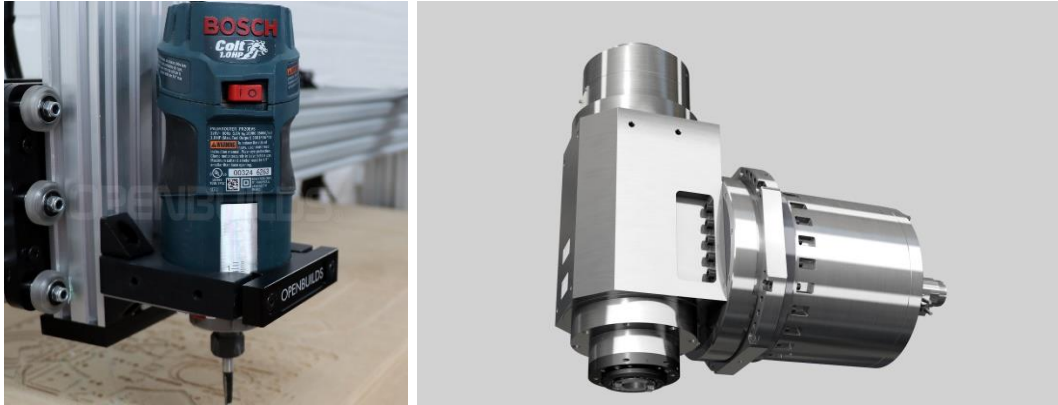
Loppujen lopuksi pöydän valinta riippuu budjetista ja koneen arkkitehtuurista. Se ei ole suunnittelun keskeinen asia, mutta joka tapauksessa kannattaa kiinnittää huomiota siihenkin.

### 3.2.6 Kara

Kara on pyörivä kokoonpano, johon voidaan asentaa terä. Karan moottori, tarvittaessa käyttämällä voimansiirtoa, leikkaa materiaalia sen terän avulla. Moottori voi olla karan joko sisällä, tai olla erikseen. Harjallisten moottorien käyttö karassa on kielletty, koska ne eivät kestä pitkää aikaa käytössä. Kaiverruskoneissa tavallisesti käytetään karoja, joilla on moottori sisällä. (21.)

Karkean yhteenvedon mukaan on olemassa kaksi karojen tyyppiä (Kuva 16):

1. Puuntyöstönkarat
2. Jyrsinten karat (21.)



**Kuva 16.** Puuntyöstökoneen ja jyrsimen karat (82)

Tässä suunnitteluprojektissa huomioon otetaan vain karat puuntyöstöä varten, koska on turhaa asettaa jyrsimen karaa pieneen kaiverruskoneeseen. Karan yksityiskohtainen arviointi ja valinta tehdään detaljisuunnittelun aikana.

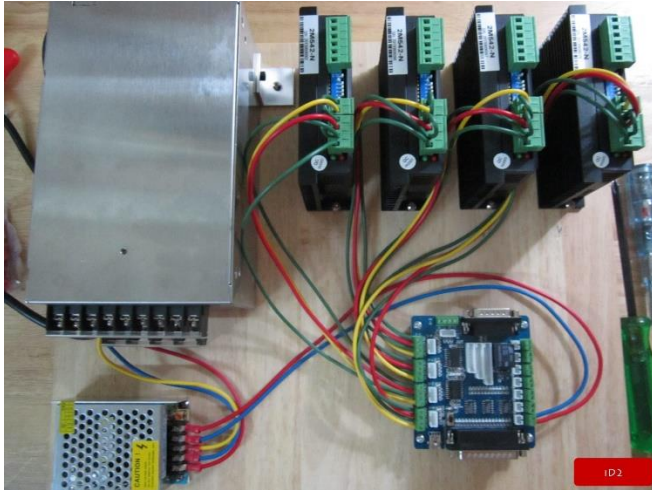
### 3.2.7 Elektroniikka

Elektroniikka on se, joka ohjaa koneen liikkeitä (Kuva 17). Sen avulla hallitaan liikemootoreita ja karan nopeutta.

CNC-koneiden elektroniikka koostuu seuraavista osista:

1. **Ohjain** on CNC-koneen aivot. Se lähettää signaaleja moottorien ohjainkortteille ja niiden avulla se ohjaa moottorien liikkeitä. Se voi olla sekä erillinen ohjainkortti kuten Arduino tai kone voidaan kytkeä suoraan tietokoneeseen. Se ei tavallisesti ota sähköä tehollähteestä vaan tietokoneesta.
2. **Moottorien ohjainkortit** ottavat vastaan signaaleja ohjaimelta ja niiden mukaan kontrolloivat moottorien liikkeitä. Niihin tulee teho tehollähteistä ja sen avulla ne pyörittävät moottoreja. Tietyt moottorien tyypit vaativat tiettyjä ohjainkortteja, joten nämä valitaan aina moottorien spesifikaatioiden mukaan. Monet ohjainkortit voivat olla melko kalliita (erikoisesti servomoottorien ohjainkortit), mikä lisää moottorien kustannusta.

3. **Teholähde** riippuu moottorien ja niiden ohjainkorttien sähkövaatimuksista.
4. **Raja-anturit** voidaan asentaa koneen akselien rajoihin (yhdele akselille kaksi anturia). Niiden avulla voidaan ohjelmoida kone niin, että se ei mene asetettujen rajojen yli. Niitä voi kutsua koneen silmiksi.
5. **Johdot** yhdistävät muut komponentit keskenään. (22.)



**Kuva 17.** CNC-koneen ohjain, moottorien ohjainkortit ja teholähde (83)

### 3.2.7.1 Päätelmät

CNC-koneiden elektroniikalta vaaditaan vain yhtä asiaa: koneen osien **täsmällinen ohjaus**. Tässä projektissa pääsääntöisesti keskitytään mekaaniseen suunnitteluun, joten elektroniikan valintaa ei tehdä.

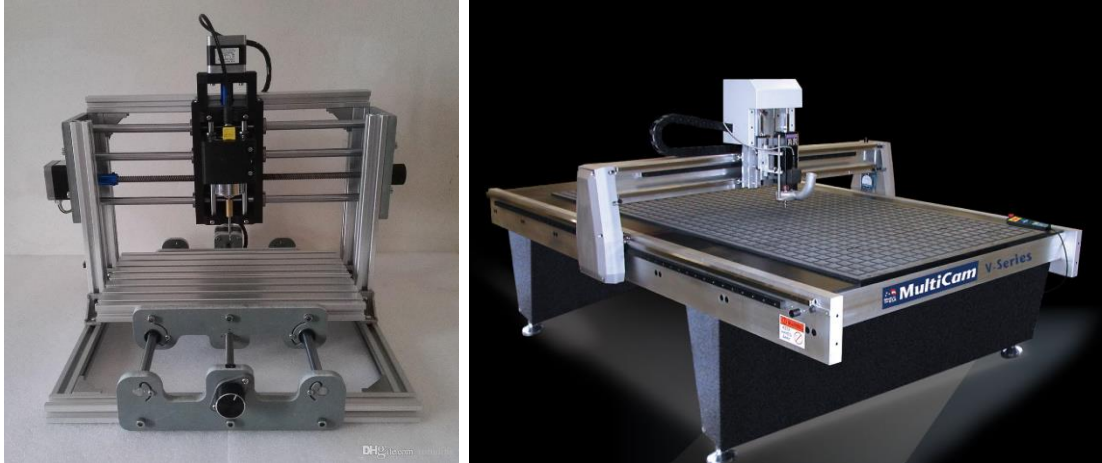
## 3.3 Tulevan CNC-koneen käyttäjät ja alustavat tavoitteet

Nyt voidaan aloittaa koneen varsinaista suunnittelua. Sitä varten täytyy aluksi määritellä koneen käyttäjät ja heidän toiveensa. Sitten kerätyn tiedon perusteella muodostetaan tarvelauseet.

### 3.3.1 Koneen tavoitteiden määrittely

Tässä hankkeessa kehitetään CNC-kaiverruskone, jonka avulla voidaan kaiverata ja leikata puuta, muovia, akryyliä, PCB materiaalia ja jopa alumiinia (vain pehmeät materiaalit). Se ei ole teollinen kone ja sen vuoksi tuotteen nimi on CNC-kaiverruskone eikä CNC-puuntyöstökone, jonka avulla voidaan tuottaa puutuot-

teita kuten ovet massatuotannossa. Ero niiden tyyppien välillä on nähtävissä kuvassa 18. Kaiverruskone sopii pikemminkin taiteilijoille, harrastajille tai työstöstä kiinnostuneille lapsille. Sen avulla he voivat tehdä sekä yksittäiset työt, että pienisarjatyöt.



**Kuva 18.** Kaiverrus- ja puuntyöstökoneet (78)

### 3.3.2 Koneen kohderyhmien määrittely

Suunnittelija päätti, että on olemassa kolme eri konekäyttäjien ryhmää:

1. **Taiteilijat**- taideteosten luominen, yksittäiset teokset yleensä. Heille koneen tuottavuudella ei ole väliä, kuitenkin koneen mahdollisuudet ovat keskeisessä asemassa. Lyhyesti sanoen, he haluavat luoda koneen avulla laajaa valikoimaa muotoja laajasta valikoimasta materiaaleja.
2. **Harrastajat**- puun ja metallin työstö, piirilevyjen tuotanto, jopa pieni liiketoiminta. Yleensä soveltavat konetta piirilevyjen tuotannossa. Heille koneen kestävyys, tuottavuus ja tarkkuus ovat tärkeitä.
3. **Lapset**- ohjelmoinnin ja tekniikan opiskelu. Tässä tapauksessa voidaan kutsua asiakkaaksi lasten vanhempia. He ostavat koneita lapsilleen, joten he kohentavat omia taitoja koneen avulla. Heille koneen hinta, turvallisuus ja yksinkertaisuus ovat tärkeitä.

### 3.3.3 Päätelmät

Loppujen lopuksi tulevalta CNC-kaiverruskoneelta vaaditaan:

1. Mahdollisuus työstää suurta määrää materiaaleja sen avulla
2. Mahdollisuus tehdä työkappaleista suurta määrää muotoja sen avulla
3. Kestävyys
4. Tuottavuus
5. Tarkkuus
6. Turvallisuus
7. Yksinkertaisuus
8. Pieni hinta

Seuraavassa osassa tarkennetaan koneen tehtävät ja ominaisuudet ja sen lisäksi parannetaan tietoa asiakkaiden mielipiteestä ja kilpailijoiden tuotteista. Tarkemat tarvelauseet muodostetaan sitten. Kerätystä tiedosta pääsääntöisesti muodostetaan liitteet ja täällä annetaan vain lyhyet kuvaukset ja päätelmät.

### **3.4 Kilpailijoiden arviointi**

Nyt arvioidaan kolmen kilpailijan tuotteiden (CNC-kaiverruskoneiden) ominaisuudet ja sen lisäksi kerätään asiakkaiden palautetta niistä tuotteista. Kappaleen lopussa tulevalle tuotteelle muodostetaan tarvelauseet.

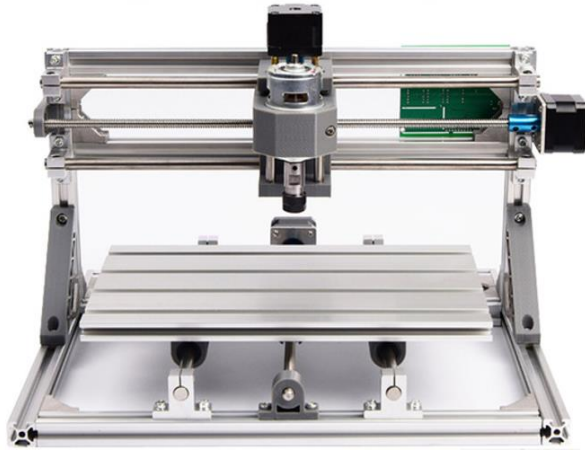
Tieto kilpailijoiden koneista on melko piinnallista, koska tässä vaiheessa asiakkaiden palaute on kaikkein tärkein. Liitteistä (liite 2) löytyy tarkempaa tietoa kaikista koneista ja niihin asetetuista osista taulukkojen muodossa.

#### **3.4.1 CNC 3018 tuotettu Kiinassa**

CNC 3018 (Kuva 19) on yksi halvemmista vaihtoehdoista markkinoilla. Sen pienen karan ja hauraan rakenteen vuoksi se ei toimi pitkään ja voi hajota helposti. Sillä voidaan työstää vain pehmeimpiä materiaaleja. Sitä myydään ympäri maailmaa, mutta kone on todella suosittu Venäjällä (23).

Tieto tuotteesta on otettu kahdesta sivustosta: Aliexpressista ja Amazonista (23, 24). Aliexpressin sivustolla voi nähdä paljon palautetta venäläisiltä asiakkailta. Amazonin sivustolla on palaute amerikkalaisilta asiakkailta. Ero niiden välillä on melko suuri.





**Kuva 19.** CNC 3018 (23)

Aliexpressista löytyy melko myönteinen palaute, todennäköisesti alhaisen hinnan vuoksi. Tuotteen eduista monet asiakkaat huomaavat tuotteen alhaisen hinnan ja yksinkertaisen kokoonpanon (ohjeet löytyvät netistä). (23.)

Tuotteen haitoista on huomattu se, että koneen työstöpöytä on usein kiero, elektroniikan laatu on alhainen ja koneen rakenne on melko hauras. Sen lisäksi monet osat voivat murtua kokoonpanon aikana ja monien muiden komponenttien laatu voi olla huono (kierot lineaarijohteet). (23.)

Toisaalta, tuotteen Amazonin verkkosivulla asiakkaiden palaute on melko kielteinen. Todennäköisesti se on myyjän syy, joka ei pidä huolta tuotteen laadusta. Esimerkiksi monet komponentit puuttuvat tuotteen pakkauksesta.

Tuotteen edut siinä ovat täysin epäselviä, mutta kielteistä palautetta kertyi melko paljon. Voidaan mainita edes se, että koneen monet komponentit täytyy vaihtaa niiden huonon laadun vuoksi. (24.)

#### **3.4.2 CNC Piranha Fx tuotettu Yhdysvalloissa**

Piranha Fx (Kuva 20) myydään lähinnä vain Yhdysvalloissa. Sen hinta on melko suuri, mutta asiakkaiden palaute on myönteinen. Todennäköisesti koneen helpokäyttöisyys ja selkeä tieto tuotteen sivustolla kiinnittävät siihen huomiota. Todennäköisesti asiakkaiden suurin osa on taitelijoita, koska konetta käytetään usein puuntyöstöä ja kaiverrusta varten. (25.)



**Kuva 20.** Piranha Fx (25)

Palaute tuotteen yrityksen verkkosivulla ja Amazonin sivustolla ovat melko myönteisiä. Koneen eduista voidaan mainita sen yksinkertaisuus ja ohjelmiston helpokäyttöisyys. Sen lisäksi konetta toimitetaan koottuna, mikä miellyttää monia. (25, 26.)

Toisaalta koneella ei ole paljon huonoja puolia. Niistä voidaan huomata se, että ohjausmoduuli ei ole erityisen kestävä ja työstön aikana se usein lämpenee suuresti, minkä vuoksi kone alkaa tehdä virheitä. Myöskin karan kiinnitin ei sovi muihin karioihin. (25, 26.)

### **3.4.3 CNC 8060Z tuotettu Kiinassa**

CNC 8060Z (Kuva 21) tuotetaan Kiinassa. Sen sivuston tieto on epäselvää ja sekavaa. Ilman muuta, se on jonkin toisen tuotteen jäljennös (27). Huolimatta siitä asiakkaiden palaute on myönteinen ja he pitävät koneen toiminnallisuudesta. Neljäs akseli, voimakas kara, vesijäähdytys ja suuri työstöalue kiinnittävät huomiota. (28.)



**Kuva 21.** CNC 8060Z (28)

Asiakkaiden palaute tässä tapauksessa on melko sekava. Kone ei näytä luotettavalta sen sivustoon nähden. Todennäköisesti varsinaisen tuotteen laatu voi olla samalla tasolla (esim. ohjelmisto kiinan kielellä). Monet asiakkaat arvioivat myönteisesti koneen toiminnallisuutta ja suurityöstöaluetta. (28.)

Toisaalta epäselvä kuvaus ja tuotteen huono laatu myöskin vaikuttavat asiakkaiden mielipiteeseen, minkä vuoksi arvostelun osa on huono. Samankaltainen kone ilman neljättä akselia maksaa saman verran, mikä on melko outoa ja osoittaa tuotteen huonoa laatua (27).

#### **3.4.4 Päätelmät**

Arvioinnin aikana huomattiin se, että melkein kaikilla CNC-kaiverruskoneilla on melko samankaltainen perusrakenne. Se on nähtävissä arvioinnin aikana muodostetuissa taulukoissa (liite 2). Kaikissa koneissa käytetään askelmoottoreja liikemoottorina, tankoja lineaarihohteina, alumiiniprofiileja ja kuularuuveja. Usein tuotteen hinta riippuu tuotteen laadusta (kiinalaiset koneet). Sen lisäksi koneen muotoilu vaikuttaa kuluttajiin suuresti (amerikkalaiset koneet).

Koneen tarkkuus ja jäykkyys ovatkin tärkeitä. Kuitenkin niistä asiakkaat eivät maininneet palautteissaan. Tuottavuus ei ilmeisesti ole niin keskeinen tekijä, koska näitä koneita ei käytetä massatuotannossa.

### 3.5 Tarvelauseiden muodostaminen

Kerätyn tiedon perusteella voidaan olettaa, että on olemassa kaksi asiakasryhmää, jotka molemmat pitävät sisällään edellä mainitut harrastajat, lapset ja taiteilijat:

1. **Varakkaat kuluttajat**, joihin voidaan vaikuttaa mainoksilla ja tuotteen yksinkertaisuudella. Heille hinnalla ei ole väliä, vaan tuotteen laatu, helppokäyttöisyys ja muotoilu ovat tärkeässä asemassa. Heille sopii hyvin Piranha Fx kone (25).
2. **Vähävaraiset asiakkaat**, joihin voidaan vaikuttaa **pienellä hinnalla**. He tietävät, että pieneen hintaan ostetut tuotteet Kiinasta voivat olla huonolaatuisia ja niissä täytyy usein vaihtaa muutama osa. Kuitenkin heille se sopii hyvin, koska tuotteen hinta ei ole 2000 \$, vaan 200 \$. Heille sopivat hyvin kiinalaiset koneet Aliexpressistä (23, 28).

Kalliiden CNC-koneiden markkinat varakkaille asiakkaille ovat melko täynnä, mutta edullisten koneiden markkinoilla vähävaraisille asiakkaille on nähtävissä hyvä mahdollisuus: suunnitella CNC-kaiverruskone sillä tavalla, että se sopii pikemminkin toiselle ryhmälle (koneen kustannus on 200 \$ ja alempi), joten koneen ja sen kokoonpanon laatu olisivat hyvä. Kuitenkin samaan aikaan voidaan houkutella myöskin varakkaita asiakkaita, jos tuotteen muotoilu ja laatu on tarpeeksi hyvä. Sen perusteella voidaan muodostaa asiakkaiden tarvelauseet.

#### **Tarvelauseet CNC-kaiverruskoneelle:**

1. Hinta enintään 260 euroa
2. Mahdollisuus työstää sekä pehmeitä materiaaleja kuten puu ja muovi että pehmeitä metalleja kuin alumiini ja pronssi (vankka rakenne, voimakkaat liikemootorit, sopiva kara)
3. Koneen kokoonpanon ja osien hyvä laatu (kone kestää kasaamisen aikana ja käytössä)

4. Mahdollisimman yksinkertainen kokoaminen (kaikki asiakkaat pitävät tästä)
5. Tarpeeksi suuri työstöpöytä
6. Koneen tarkkuus (joten sen avulla voidaan tehdä sekä piirilevyjä että taideoksia)
7. Mukava kiinnitystapa työkappaleita varten (sekä pienille että suurille)

Ensi vaiheessa tarvelauseista muodostetaan tulevalle tuotteelle numeeriset spesifikaatiot. Voi käydä niin, että muut tarvelauseet ilmestyvät sen aikana ja ne lisätään muiden lauseiden listaan. Kuitenkin nyt tätä tietoa riittää.

Voidaan lisätä, että käyttäjät eivät ole ainoa tuotteen asiakasryhmä, niitä ovat myöskin alihankkijat, toimittajat ja valmistajat. Ensi vaiheessa heidänkin tarpeet myöskin otetaan huomioon.

## **4 Spesifikaatioiden määrittely**

Tässä osassa tulevalle tuotteelle asetetaan varsinaiset vaatimukset. Ensisijaisesti täytyy kuunnolla määritellä koneen toiminnot ja sitä varten tehdään kilpailijoiden tuotteiden benchmarkkaus. Sen avulla voidaan paremmin ymmärtää ja muodostaa oman koneen funktiot. Sitten niitä funktioita käytetään QFD-taulukossa, jossa tuotteelle asetetaan vaatimukset.

### **4.1 Benchmarkkaus**

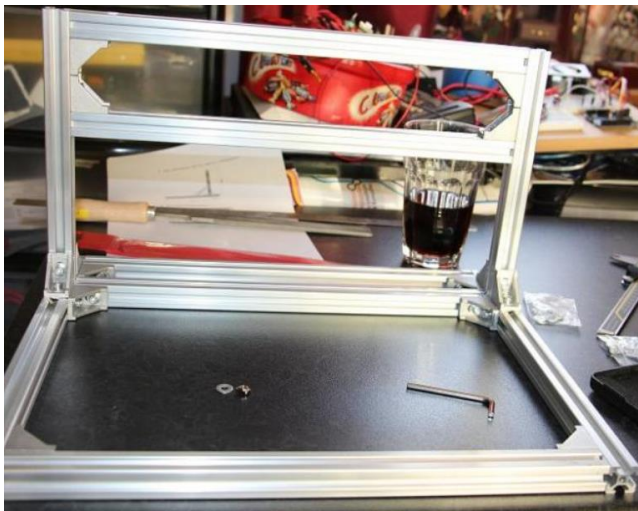
Tässä osiossa päätehtävä on koneen purkamisen ja sen kaikkien osien järjestäminen. Sitten tämän tiedon avulla voidaan sekä paremmin ymmärtää koneen rakennetta että toteuttaa koneelle kunnollinen toiminnallinen pilkkominen.

Benchmarkkauksen tulokset järjestetään sillä tavalla, että kone vähitellen kootaan purkamisen sijaan. Tekijän mielestä se on mukavampi lähestymistapa tässä tapauksessa ja koneen rakenne näyttää selkeämmältä. Suunnittelija oli päättänyt jakaa tuotteen kolmeksi osaksi, joten purkamisen lopullinen järjestys on selkeämpi. Kaikki benchmarkkauksen aikana muodostetut taulukot on lisätty liitteeksi (liite 3). Siitä löytyy kaikkien osien kuvaus ja niiden määrä. Kaikki kuvat otetaan netistä (29).

#### 4.1.1 Runko

Runko koottiin yhdeksästä alumiiniprofiileista (Kuva 22). Kaikki profiilit kytketään keskenään kulmakannattimilla ja pulteilla. Pultit on kiinnitetty profiileihin ilman porausta käyttämällä T-pultteja. Kehittäjä hyödynsi profiilien arkkitehtuurin ja paransi tuotteen tuotettavuutta hyvin.

Työstön aikana ilmestyvän tärinän vuoksi aluslevyjä käytetään pulttien parasta kiinnitystä varten. Sen lisäksi muovikannattimet tukevat pystysuoria profiileja niiden päälle tulevan karan luoman vääntömomentin vähentämistä varten.



**Kuva 22.** Rungon ulkonäkö (29)

#### 4.1.2 X-akselin lineaarijohteet ja työstöpöytä

Työstöpöytään kiinnitetään lineaarilaakerit ja trapetsimutteri (Kuva 23). Sitten laakereihin laitetaan lineaarijohteet. Lopuksi runkoon asennetaan tangon pidikkeet, joihin sitten sijoitetaan tangot, joilla jo on työstöpöytä päällä. Sitten pidikkeet tiivistetään, joten johteiden kiinnitys on kova. (20.)

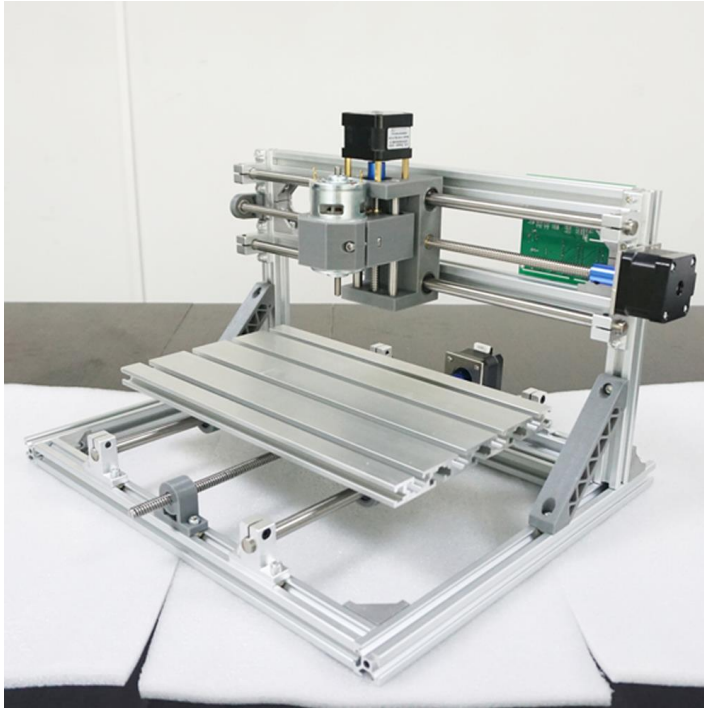


**Kuva 23.** Työstöpöydän ja rungon ulkonäkö (29)

#### **4.1.3 Y- ja Z-akselit, trapetsiruuvit, moottorit, laakerit ja elektroniikka**

Nyt koneeseen lisätään Y- ja Z- akselit. Y-akseli asennetaan samalla tavalla kuin X-akseli aikaisemmin ja Z-akseli jo oli koottu ja se vain laitetaan Y akselin päälle käyttämällä sen lineaarijohteita. Sitten X- ja Y-akseleihin asennetaan laakerit ja trapetsiruuvit. Jokaisella ruuvilla on vain yksi laakeri ja sen toisella puolella sitä tuetaan askelmoottorilla. Se ei ilmeisesti ole vankka ruuvien asennus, mutta työstön aikana ilmenevät voimat ovat melko pieniä, joten se sopii. Moottoreihin ruuvit liitetään liittimillä. (29.)

Lopussa ohjausmoduuli ja teholähde kytketään koneeseen. Niistä johdot kytketään moottoreihin ja karaan. USB-johto menee tietokoneesta ohjaimeen. Koneen lopullinen ulkonäkö on nähtävissä kuvassa 24.



**Kuva 24.** Koneen lopullinen ulkonäkö (29)

#### **4.1.4 Päätelmät**

Koneen kokoonpano on melko yksinkertainen. Enemmistö osista voidaan tilata ja vain muutama laakeri ja kara oli koteloitu muovikoteloon 3D-tulostimen avulla. Valitettavasti kone ei ole kovin sitkeä tämän yksinkertaisuuden vuoksi ja esimerkiksi muovista tehdyt laakerit ovat melko hauraita ja taipuvat helposti.

Loppujen lopuksi koneen tuotettavuus on erinomainen, kustannus on alhainen, mutta monien osien laatu ja koneen jäykkyys ovat huonoja, mikä rajusti rajoittaa koneen käyttöä.

Ensi tehtävässä koneelle toteutetaan toiminnallinen pilkkominen ja sen avulla arvioidaan yleiset vaatimukset kaikille kaiverruskoneille. Se sitten auttaa määrittelemään tulevan tuotteen spesifikaatiot.

#### **4.2 Toiminnallinen pilkkominen CNC 3018**

Tässä osiossa opinnäytetyön tekijä toteuttaa toiminnallisen pilkkomisen CNC 3018-kaiverruskoneelle. Sitä varten hyödynnetään benchmarkkauksen tuloksia, jotka oli saatu aikaisemmin. Sen lisäksi käytetään ohjeita D. Ullmanin kirjasta.



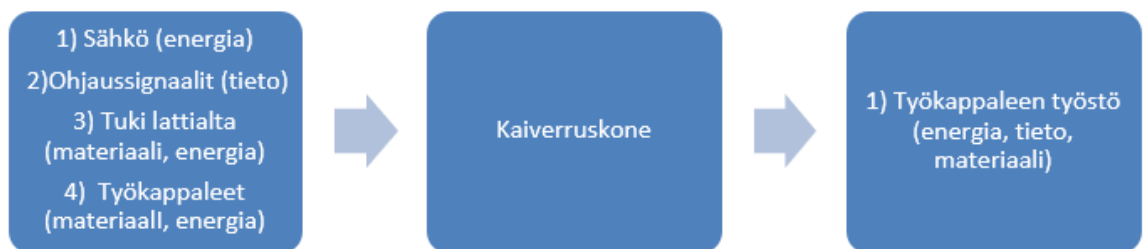
Siellä on melko selkeä selitys siitä, miten voidaan toteuttaa tämä tehtävä kunnolla (1, s.181-189).

Ensiksi määritellään se, missä vuorovaikutuksessa kone on muiden esineiden kanssa. Sitä varten etsitään panoksia koneeseen ja tulokset koneesta. Periaatteessa kaikki koneen toimintojen juuret löytyvät niistä panoksista ja tuloksista.

#### 4.2.1 Koneen vuorovaikutus muiden esineiden kanssa

Suunnittelija löysi neljä panosta koneeseen ja vain yhden tuloksen (Kuva 25). Koneeseen laitetaan energia sähkön muodossa johtojen ja teholähteen avulla. Toiseksi koneeseen lähetetään tietoa ohjaussignaalien muodossa, joiden avulla sähkön virrat hallitaan. Sitten konetta tuetaan lattialla, joka sekä vaimentaa värähtelyjä, että pitää konetta paikallaan. Lopuksi koneeseen asetetaan materiaali työkappaleen muodossa.

Kun kaikki panokset yhdistetään, koneen avulla voidaan luoda yksi tulos työkappaleen työstön muodossa. Sähköä johdonmukaisesti käännetään askelmoottorien ja karan liikkeiksi, joiden avulla työkappaletta muodostetaan tarvittavaksi muodoksi.

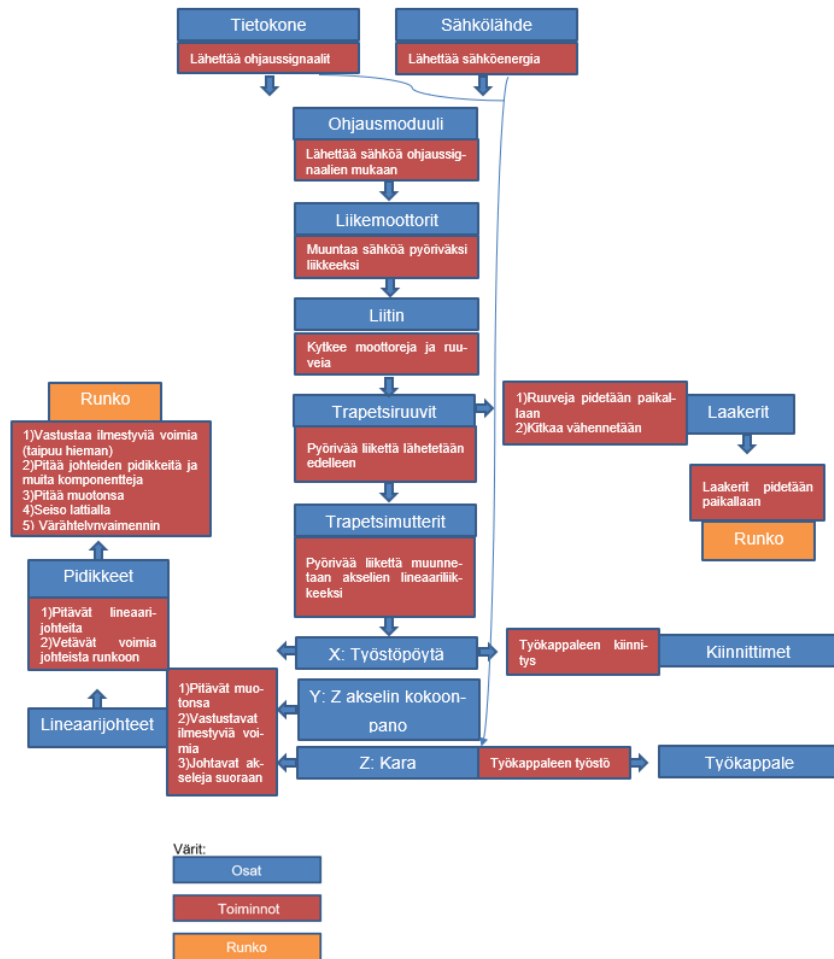


**Kuva 25.** Koneen vuorovaikutus

#### 4.2.2 CNC 3018-koneen ja sen osien toimintojen määrittely

Nyt kun koneen kaikki panokset ja tulokset ovat tiedossa, voidaan sen perusteella määrittellä koneen osien toiminnot (Kuva 26). Runkoa pidetään yhtenäisenä osana yksinkertaisuutta varten. Rungon rakenteella on neljä päätehtävää: pitää muotonsa, ottaa voimia muilta osilta (johteilta), vaimentaa värähtelyä ja pitää

muita komponentteja paikoillaan. Sitä varten se tarvitsee sekä lujuuutta että jäykkyyttä. Sitä voidaan toteuttaa eri tavoilla. Tässä tapauksessa rungon rakenne on melko joustava, mutta sen valmistettavuus on erinomainen.



**Kuva 26.** CNC 3018-kaiverruskoneen toiminnot

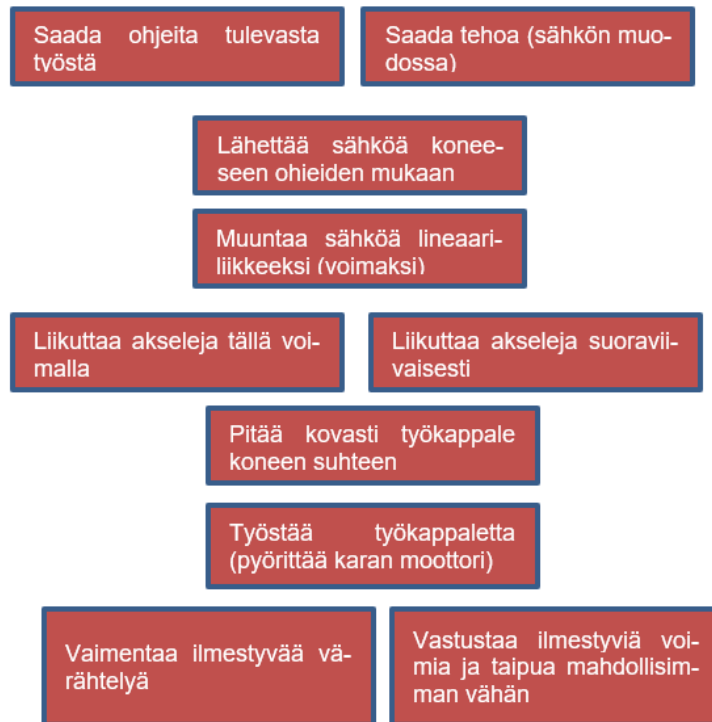
Edellä esitetyllä kuvalla voidaan nähdä, millaisessa yhteydessä kaikki CNC 3018-osat ovat suunnittelijan näkökulmasta. Jokaisella koneen osalla on tietty tehtävä ja useilla osilla on jopa kaksi tai useampia toimintoja. Samaan aikaan monet osat pääsääntöisesti yhdistetään yhteen tai enintään kahteen muuhun osaan. Todennäköisesti koneen suunnittelija suuresti hyödynsi modulaarista suunnittelua kehityksen aikana.

### 4.2.3 Oman koneen toimintojen määrittely

Edellisen osan tiedon pohjalta voidaan määrittellä toiminnot omalle koneelle (Kuva 27). Aikaisemmin mainittiin, että monilla kaiverruskoneilla nykyään on

melko samankaltainen rakenne. Se voi johtua siitä, että niillä kaikilla on yhteisiä toimintoja.

Komponenttien liitännöillä ei ole nyt väliä, niitä laaditaan detaljisuunnittelun vaiheessa. Nyt keskitytään vain päätoimintoihin.



**Kuva 27.** Tulevan CNC-kaiverruskoneen toiminnot

Funktiot ovat aina alustavia ja tulevaisuudessa niitä kehitetään. Nyt meillä on koneen funktiota ja nyt niille tarvitaan arvoja. Sitä varten ensi tehtävässä sovelletaan QFD-menetelmää. Kaikki toiminnot voivat vielä muuttua hankkeen aikana, koska käsitys koneesta ja sen funktioista kehittyy.

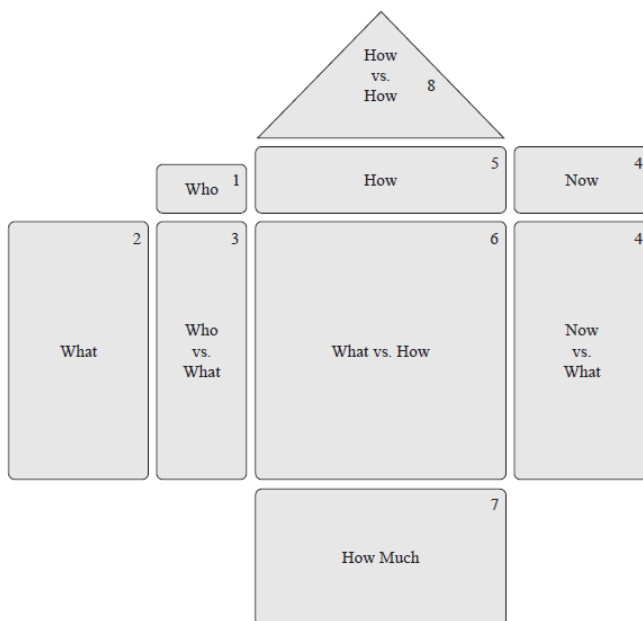
### 4.3 QFD-taulukon selitys

Nyt suunnittelija on jo kehittänyt tulevan tuotteen QFD-taulukon (liite 4 ja 5), jossa nähtävissä on kaikki tarvittava tieto, jonka avulla voidaan kunnolla suunnitella ja arvioida CNC-kaiverruskone. Tässä opinnäytetyön osassa selitetään kaikki QFD-

taulukon yksityiskohdat ja siinä tehdyt päätökset. Sen avulla voidaan ymmärtää QFD-taulukkoa.

#### 4.3.1 QFD-taulukko

QFD-menetelmää usein käytetään tuotekehityksessä. Menetelmän muoto on taulukko (Kuva 28), jonka täyttämisen avulla selvitetään kaikki projektia varten tarvittavaa tietoa ja asiakkaiden tarpeet käännetään teknisiksi eritelmiksi. Se taulukko myöhemmin auttaa ymmärtämään suunnitteluongelma paremmin ja parantamaan tuotteen laatua. (1, s.145.)



**Kuva 28.** QFD-taulukko (1, s.147)

##### 4.3.1.1 Kuka

Ensisijaisesti aikaisemmin kerätyn tiedon perusteella on määritelty kaksi tuotteen asiakasta:

1. Käyttäjät
2. Valmistajat ja toimittajat

Käyttäjien ryhmään kuuluvat kaikki taiteilijat, harrastajat ja lapset, joiden palaute oli kerätty aikaisemmin. Toiseen ryhmään kuuluvat tuotteen valmistajat ja toimittajat.

#### **4.3.1.2 Mitä**

Jokaiselle ryhmälle tarpeet (Mitä) on määritelty uudestaan käyttämällä käyttäjien palautetta kilpailijoiden koneista. Sen lisäksi suunnittelijan omaa mielipidettä oli käytetty, koska hän on sekä mahdollinen koneen käyttäjä että sen valmistaja.

Suunnittelija pyrki jakamaan tarpeet eri ryhmiin (tuotteen valmistus, käyttöönotto, yms.), joten niille ryhmille voidaan määritellä myöskin vielä epäselvät tarpeet, jotka löytyvät ryhmittelyn ja järjestämisen avulla. Sen avulla reiät tarvelauseissa paikataan suunnittelijan omalla kokemuksella (joka tapauksessa asiakas ei tiedä kaikkea tulevasta tuotteesta). Muut asiat kuin koneen toimitettavuus ja valmistettavuus oli otettu huomioon.

Kaikki tarpeet oli arvioitu ja jokaisella on oma tärkeys asiakkaille. Sekä valmistajilla että käyttäjillä on tuotteessa omat kiinnostukset, siis jokaisella ryhmällä oli 200 pistettä, joiden avulla he arvioivat tarpeen tärkeyttä itselleen. Sen avulla voidaan myöhemmin tarkemmin arvioida vaatimusten tärkeys.

Yksi ehdotetuista tarpeista (koneen luoma työstövoima) oli suljettu pois, koska se on perusvaatimus ja ilman tarpeeksi voimakasta karaa kone ei pysty työstämään lainkaan. Siitä oli mainittu alussa.

#### **4.3.1.3 Nyt**

Tähän taulukon osaan sijoitetaan tietoa kilpailijan tuotteesta. Tässä tapauksessa se oli CNC 3018, jonka benchmarkkaus oli suoritettu aikaisemmin ja josta suunnittelijalla on jo jonkin verran tietoa.

Osa selittää, kuinka hyvin kilpailijan tuotteen ominaisuudet vastaavat asiakkaiden tarpeisiin. Käyttämällä tätä tietoa voidaan myöhemmin tehdä hyviä suunnittelu päätöksiä, koska ei kannata muuttaa sitä, mikä ei ole rikki.

#### **4.3.1.4 Miten**

Tässä osassa selitetään, miten voidaan vastata asiakkaiden tarpeisiin. Toisin sanoen, tässä määritellään tulevalle tuotteelle vaatimukset, joihin suunnittelija pyrkii vastaamaan tulevaisuudessa.

Jokaiselle asiakkaiden tarpeelle oli tehty edes yksi vaatimus. Sitten vaatimusten ja muiden tarpeiden välillä oli löydetty yhteydet. Monet niistä, kuten karan taipuminen, ovat vain yleisiä tavoitteita, joiden avulla voidaan mitata tuotteen ominaisuudet. Toiset, kuten massan ja toimituskoon rajoitukset, ovat suoria käskyjä ja ne tulevat esimerkiksi toimitusyhtiön vaatimuksista. Niillä kaikilla on yksi tavoite: tyydyttää tarpeita. Jokainen vaatimus voidaan mitata ja niillä kaikilla on tiettyjä tavoitteita.

#### **4.3.1.5 Mitä ja Miten-osien yhdistys**

Tässä osassa yhteydet Mitä ja Miten välillä löydetään. Jokainen vaatimus vaikuttaa tarpeisiin tietyllä tavalla. Se voi olla kielteinen tai myönteinen vaikutus. Jos vaikutus on myönteinen, sitten suunnittelun aikana pyritään saavuttamaan mahdollisimman korkea tulos vaatimukselle ja päinvastoin, jos vaikutus on kielteinen. Jos vaikutus on sekä kielteinen että myönteinen, sitten vaatimukselle asetetaan kiinteä raja, jota ylemmän ei voi mennä. Ne kiinteät rajat on merkitty punaisella värillä.

Suhteet vaatimusten ja tarpeiden välillä arvioidaan seuraavalla asteikolla:

1. Voimakas suhde- 9 pistettä
2. Kohtuullinen suhde- 3 pistettä
3. Heikko suhde- 1 piste
4. Ei suhdetta- 0 pistettä

Suunnittelija lisäsi liitteiksi taulukon (liite 6), jossa on kaikki tarvittava tieto tuotteen vaatimuksista, mistä tarpeista ne syntyivät ja mihin muihin tarpeisiin ne vaikuttavat. Sen lisäksi niiden kuvaukset ovat nähtävissä. Suosittelen sen käyttöä, jos QFD-tilukossa on jotain epäselvää. Sen avulla voidaan nähdä logiikka jokaisen vaatimuksen takana.

#### **4.3.1.6 Tärkeys**

Sitten jokaiselle vaatimukselle arvioidaan tärkeys. Se perustuu asiakkaiden tarpeen painoon ja vaatimuksen vaikutukseen tähän tarpeeseen (0-9). Niiden kertolaskun avulla löydetään jokaisen vaatimuksen todellinen paino. Sitten löydetään

kuinka monta prosenttia se vaatimus on. Jos vaatimus on tärkeä, siihen kiinnitetään enemmän huomiota suunnittelun aikana.

#### **4.3.1.7 Tavoitteet**

Jokaisella vaatimuksella on oma mittayksikkö ja omat tavoitteet (parhaat ja huonommat). Muilla vaatimuksilla on ainoa tavoite saavuttaa mahdollisimman korkea tulos (esim. vaimennuskerroin).

Kaksi niistä vaatimuksista oli rajoitettu kiinteällä rajalla. Sen yli ne eivät voi mennä koskaan.

Ne tavoitteet määrittelevät lopullisen tuotteen laatua. Näitä suunnittelija pyrkii saavuttamaan tulevassa suunnittelussa.

#### **4.3.1.8 Miten riippuvuus toisistaan**

Liitteessä 5 on nähtävissä vaatimusten riippuvuus toisistaan. Siinä voidaan nähdä, kuinka paljon eri vaatimukset vaikuttavat toisiinsa ja millainen se vaikutus on.

Tärkeimmät havainnot:

1. Massa ja karan taipuminen riippuvat suuresti toisistaan. Mitä suurempi on koneen massa, sitä jäykempiä sen osat ovat ja sitä suurempi on sen luonnollinen taajuus.
2. Vaimennuskerroin myöskin riippuu koneen massasta. Mitä suurempi on koneen massa, sitä suurempi on sen vaimennuskerroin (usein, esim. hiekan avulla).
3. Työstöalue vaikuttaa kielteisesti karan taipumiseen ja siis koneen tarkkuuteen. Samaan aikaan se vaikuttaa kielteisesti koneen toimituskokoon.
4. Mitä enemmän osia tuotetaan itsenäisesti, sitä alhaisempi niiden laatu on. Sen lisäksi karan taipuminen on suurempi ja viat ilmestyvät useammin.

#### **4.3.2 Muut rajoitukset**

QFD-taulukossa mainitut rajoitukset määritellään asiakkaiden toiveiden ja tarpeiden mukaan. Kuitenkin on olemassa toinen ryhmä tekijöitä, joista suuresti riippuu koneen toiminnallisuus ja joita on mahdotonta määritellä asiakkaiden avulla tai

ne eivät ole niin tärkeitä kuin QFD-taulukossa mainitut. Ne tekijät pääsääntöisesti rajoittavat koneen suunnittelua tietyllä tavalla ja, jos niitä ei oteta huomioon suunnittelun aikana, kone on muokattava myöhemmin.

Ne tekijät ovat:

1. Tuotannon ominaisuudet ja laajuus
2. Kustannus
3. Terän halkaisija
4. Lastujen poistaminen
5. Karan teho

#### **4.3.2.1 Tuotannon ominaisuudet ja laajuus**

Ensiksi täytyy mainita, että kaikki koneen osat ostetaan alihankkijoilta ja räätälöidään heidän avulla. Suunnittelua tekevällä yrityksellä ei ole omaa tuotantoa ja sen vuoksi se pyrkii ostamaan mahdollisimman paljon osia alihankkijoilta. Sen lisäksi osien muokkaamista myöskin pyritään tekemään alihankkijoiden avulla.

Tuotteet tuotetaan pienessä sarjassa. Tuotteiden määrän on oltava aluksi alhainen. Yritys pyrkii tuottamaan noin 500 kappaletta.

#### **4.3.2.2 Kustannus**

QFD-taulukossa nähtävissä ovat tekijät, jotka vaikuttavat koneen hintaan. Kuitenkin siinä ei ole mainittu sen korkeinta mahdollista kustannusta. Sen on oltava vähemmän kuin 300 euroa.

#### **4.3.2.3 Terän halkaisija**

Terän (työväline, joka asetetaan karaan) halkaisija tulee olemaan 3 mm, mutta siihen myöskin voidaan asettaa 6 mm. Se on melko järkevä välineen halkaisija kaiverruskoneelle. Sen perusteella voidaan laskea koneessa ilmeneviä voimia, ottamalla korkein 6 mm halkaisija. Suunnittelun aikana valittiin AL-2E-D2.0 ZCC-CT terä (30) ja työstettävä materiaali on alumiini.

#### **4.3.2.4 Lastujen poistaminen**

Lastut vaikuttavat alumiinin- ja puuntyöstöön suuresti ja niiden vuoksi ilmenevät liialliset voimat ja työstöväärähtely. Ne vähentävät rajusti työstön laatua, mutta



niistä voidaan päästä eroon, jos lastut poistetaan työkappaleesta työstön aikana. Siitä kannattaa pitää huolta suunnittelun aikana tai edes kertoa tästä ilmiöstä asiakkaille koneen ohjeissa. (7.)

Lastut voivat myöskin vahingoittaa koneen toiminnallisuutta, jos ne pääsevät koneen sisään (esim. kuularuuviin). Jos tämä mahdollisuus on olemassa, sitten kannattaa suojata koneen osat kunnollisesti. Voidaan esimerkiksi koteloida koneen herkät osat. (7.)

#### 4.3.2.5 Karan teho

Karan on oltava tehtävänsä sopiva, koska jos sen vääntömomentti tai kierrosnopeus ovat liian alhaisia, sillä ei voida tehdä työstöä koneen avulla. Toisin sanoen, se on perusvaatimus. Sen lisäksi karan on oltava kestävä, siis sen moottorin on oltava harjaton. Kannattaa kiinnittää huomiota karoihin, joilla on sisällä tasavirtamoottori, koska niille sopii sama teholähde kuin liikemoottoreille (voidaan säästää rahaa).

#### 4.3.3 Vaatimusluettelo

Taulukossa 1 esitetään koneelle vaatimuksia, jotka on otettava huomioon suunnittelun aikana. Osa vaatimuksista on arvioitu ilman QFD-taulukkoa, ne on merkitetty sinisellä värillä. Vaatimukset QFD-taulukosta on merkitty vihreällä värillä.

Vaatus	Määrittely
Kustannus	Enintään 300 e
Tuotannon suuruus	500 konetta (pientuotanto)
Terän halkaisija	3- 6 mm
Lastujen poistaminen	Lastut on poistettava ja koneen osat on suojattava niiltä
Itsenäiset tuotettujen osien määrä	Enintään 2 kpl
Muokausmenetelmien määrä	Enintään 2 kpl

Koneen koko toimitusta varten	Enintään 100*50*50 cm
Karan taipuminen	Enintään 0.01 mm
Koneen massa	Enintään 40 kg
Työstöalueen pinta-ala ja korkeus	Vähintään 25 x 20 x 10 cm <sup>3</sup>
Karan lineaarinopeus materiaalissa	Vähintään 650 mm/min
Koneeseen liittyvät riskit	Enintään 10
Koneen vikataajuus	Vähintään 3/10 <sup>4</sup> vika/tunti

**Taulukko 1.** Vaatimusluettelo

## 5 Konseptisuunnittelu

Tässä osassa konseptisuunnittelu toteutetaan morfologisten taulukkojen avulla. Työ on tehty D. Ullmanin (1, s.171-240) kirjan avulla, jossa on yksityiskohtaiset ohjeet siitä, miten kannattaa tätä prosessia toteuttaa. Ensiksi lyhyesti annetaan käytetyn menetelmän kuvaus. Toiseksi puhutaan havainnoista, jotka suuresti helpottavat taulukon luomista ja niistä puhutaan toisessa osassa. Lopuksi taulukko muodostetaan ja sen jokaiseen osaan annetaan selitys ja kuvaus.

### 5.1 Menetelmä

#### 5.1.1 Lyhyt vaiheen kuvaus

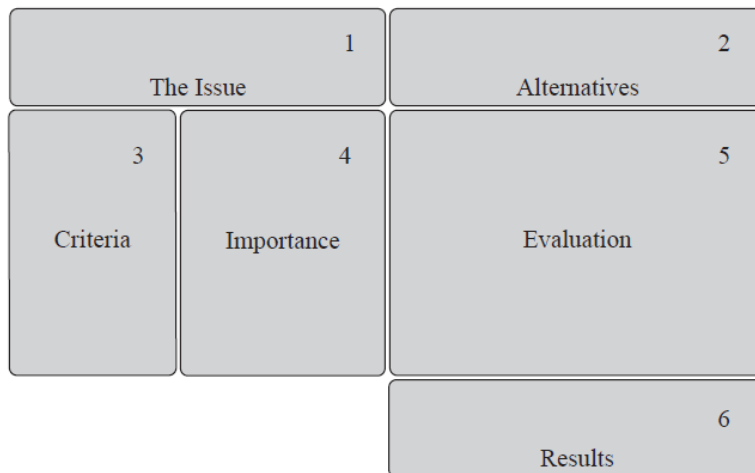
Ensiksi koko tuote jaetaan eri osiin, mikä oli tehty jo aikaisemmin. Toiseksi niille tuotteen osille listataan vaatimukset, joihin tuleva vaihtoehtojen arviointi perustuu. Sitten jokaiselle osalle luodaan eri vaihtoehdot käyttämällä sekä aivoriihiä että tietoa kilpailijoiden tuotteista. Lopuksi vaihtoehdot arvioidaan ja niistä paras valitaan.

Aivoriihen aikana suunnittelijan kokemus on melko tärkeä, kuitenkin jos vaihtoehtojen määrä näyttää riittämättömältä, sitten kilpailijoiden tuotteet otetaan huo-

mioon. Vaatimukset perustuvat aikaisemmin luodun QFD-taulukon tuloksiin. Arviointi on ehkä tämän vaiheen suurin osa ja siitä puhutaan yksityiskohtaisemmin nyt.

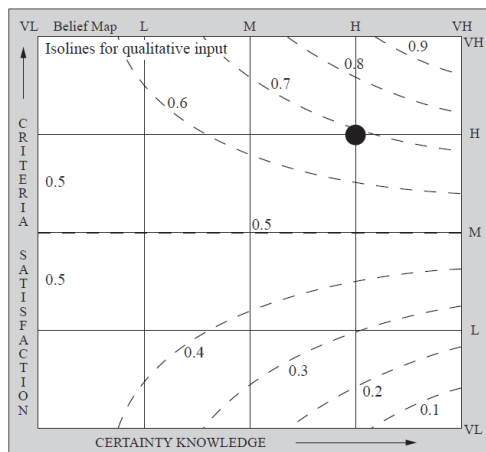
### 5.1.2 Arviointi

Arviointi tehdään päätösmatriisien (Kuva 29) ja uskomuskarttojen (Kuva 30) avulla. Päätösmatriisi luodaan ja täytetään tiedolla vaatimuksista, niiden tärkeydestä ja osien vaihtoehdoista. Tärkeyden pisteitä on yhteensä 100 jokaiselle tuotteen osalle. Sillä tavalla voidaan paremmin määritellä jokaisen vaatimuksen tärkeys. Yksi ehdotetuista vaihtoehdoista valitaan pohjaksi ja kaikkia muita verrataan siihen (sillä on 50 pistettä yhteensä). (1, s. 221-226.)



**Kuva 29.** Päätösmatriisi (1, s. 222)

Kun päätösmatriisi on valmis, tapahtuu vaihtoehtojen arviointi ja taulukon täyttäminen. Se tehdään uskomuskartan avulla, joka auttaa kompensoimaan tiedon puutetta. Pääasia on se, että arviointia ei tehdä täsmällisesti. Jokainen vaatimus, huolimatta siitä, että sillä on oma mittayksikkö, arvioidaan suunnittelijan kokemuksen mukaan, mikä auttaa säästämään suurta määrää aikaa ja tekemään oikea päätös nopeasti. (1, s. 233-240.)



**Kuva 30.** Uskomuskartta (1, s. 235)

Vaakasuoralla asteikolla määritellään suunnittelijan tietoa vaihtoehtoista (erittäin heikko - erittäin vahva). Mitä heikompi suunnittelijan tietämys tietystä vaihtoehdosta on, sitä vaikeampi arvioida sen suorituskykyä. Pystysuoralla asteikolla määritellään vaihtoehdon suorituskykyä. Niiden kahden mittojen perusteella vaihtoehdolle määritellään arvosana, jonka avulla voidaan verrata sitä muihin vaihtoehtoihin. (1, s. 236-237.)

Suunnittelija päätti esittää vain ensimmäisen päätösmatriisin käyttöä. Kaikki muut matriisit löytyvät liitteistä (liite 7).

## 5.2 Havainnot

Tässä osassa esitetään kaikki uudet havainnot, jotka ilmestyvät konseptisuunnittelun vaiheessa. Osa niistä oli arvioitu QFD-taulukossa, mutta nyt, kun enemmän tietoa on hankittu, QFD-taulukkoa muutetaan uuden tiedon mukaan.

### 5.2.1 Rungon vaimennuskerroin

QFD-taulukossa oli mainittu se, että vaimennuskerroin on tärkeä tekijä tärinä-vaimennusta varten. Kuitenkin tätä tietoa täytyy muuttaa nyt. Syynä on se, että kaikki kilpailijat tekevät omat kaiverruskoneet pääsääntöisesti alumiinista. Samaan aikaan alumiinilla ja sen seoksilla on melko alhainen vaimennuskerroin (31, s.2401), mikä menee ristiin QFD-taulukon antaman tiedon kanssa. Sen lisäksi kilpailijat eivät täytä koneistaan esimerkiksi hiekalla, mikä voisi parantaa koneen

yhteistä vaimennuskerrointa. Kaikki niistä koneista pystyvät työstämään alumiinia ja pehmeitä metalleja melko suurilla terillä (32).

Sen lisäksi jopa, jos värähtelyt ilmestyvät, voidaan päästä siitä eroon, jos terä tai terän pituus vaihdetaan. Se oli kuvattu aikaisemmin.

Päätelmä on se, että alumiinin ja puutyöstön aikana ilmestyvät voimat eivät luo värähtelyä koneessa, jos sen jäykkyys on tarpeeksi hyvä (32). Usein työstövoimat kasvavat, jos lastut pysyvät terän polulla (oli kuvattu aikaisemmin). Sen lisäksi värähtelyä voidaan vähentää olemattomaan tasoon asti melko helposti. Materiaalin vaimennuskerroin kaiverruskoneissa ei ole niin keskeinen asia ja pikemminkin kannattaa kiinnittää lisää huomiota koneen jäykkyyteen. Siis vaimennuskerrointa ei oteta huomioon suunnittelun aikana.

### 5.2.2 Alumiini rungon materiaalina

Aikaisemmin arvioiduissa koneissa oli myöskin huomattu se, että ne kaikki oli tehty alumiinista. Totta kai, alumiinilla on alhainen vaimennuskerroin ja se ei ole jäykkä materiaali verrattuna esimerkiksi valurautaan (31, s.2401), kuitenkin sitä käyttävät kaikki kilpailijat. Syynä voi olla se, että alumiinilla on erinomaisen alhainen massa, joka on tärkeä tekijä koneen toimitettavuutta varten. Samaan aikaan sen lujuus ja jäykkyys ovat tarpeeksi hyvällä tasolla. Joka tapauksessa muut vaihtoehdot kuin puu (ei kestä käytössä ja on melko joustava) ja valurauta (on liian raskas) eivät ole käytössä kaiverruskoneissa lainkaan. (74.)

Päätelmä on se, että alumiini on erinomainen materiaali CNC-kaiverruskoneen rungolle, joten pääsääntöisesti vain alumiini huomioidaan luovan työn aikana. Sen avulla voidaan säästää paljon aikaa ja ehkäistä huonot päätökset.

### 5.3 Morfologinen taulukko

Osien ominaisuuksien kuvaus:

1. **Valmistettavuus**- muiden lisätoimintojen määrän arviointi, joita täytyy tehdä, joten asentaa osa koneeseen.
2. **Jäykkyys**- osan taipumisen arviointi työstövoimien alla.
3. **Kestävyys**- osan kestävyys työstössä.

4. **Hinta**- osan hinta markkinoilla.
5. **Hyötysuhde**- osan energian tulos panokseen verrattuna.
6. **Tarkkuus**- osan luomien liikkeiden tarkkuus ohjaimen käskyyn verrattuna.
7. **Nopeus**- osan (liikkeen muuntavan kokoonpanon) luoman nopeuden akselija pitkin korkein suuruus.

**Painoa** ei oteta huomioon, koska se usein riippuu rungon materiaalista. Tässä projektissa halutaan tehdä runko vain alumiinista, joten kaikkien vaihtoehtojen massa on melko sama. Kuitenkin projektissa on painon raja ja se kannattaa pitää mielessä projektin aikana (nähtävissä QFD-aulukossa).

### 5.3.1 Runko

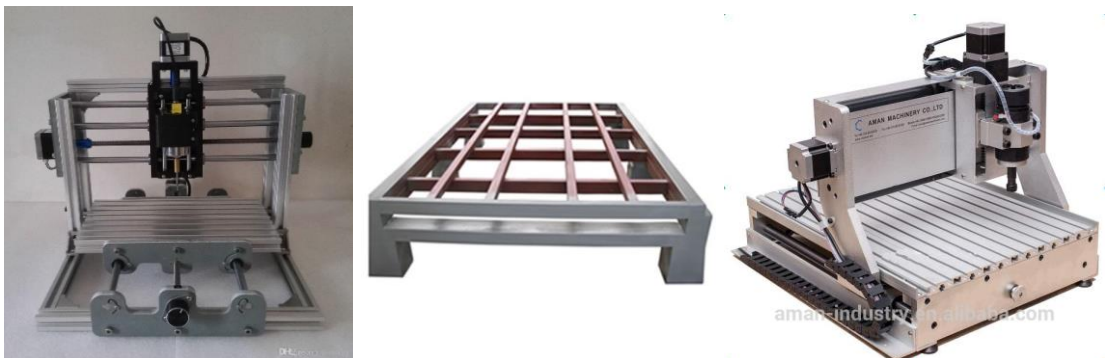
Rungolla on kolme funktiota:

1. Pitää muotonsa (jäykkyys)
2. Ottaa vastaan työstövoimia (potentiaalienergia kasvaa)
3. Vastustaa värähtelyä (tärinävaimennus)

Niiden funktioiden ja QFD-aulukon perusteella osalle on kehitetty vaatimukset.

Suunnittelija on keksinyt kolme vaihtoehtoa rungolle (Kuva 31):

1. Alumiiniprofiilista tehty runko
2. Alumiinilevyistä tehty hitsattu runko
3. Alumiinilevyistä tehty pulteilla kiinnitetty runko



**Kuva 31.** Vaihtoehtojen kuvat (78, 84, 28)

Runko	Tärkeys	Alumiiniprofiilit	Hitsatut alumiinilevyt	Pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt
Jäykkyys	40	0.5	0.8	0.69
Valmistettavuus	20	0.5	0.25	0.5
Kestävyys	15	0.5	0.9	0.78
Hinta	25	0.5	0.2	0.5
Yhteensä		50	55.5	61.8

**Taulukko 2.** Rungon valinta päätösmatriisin avulla

Varsinaisella alumiiniseoksen tyypillä ei ole väliä, koska kaikilla alumiiniseoksilla on sama jäykkyys (33, 34). Myöhemmin valitaan sopiva vaihtoehto hinnan mukaan.

**Valittu vaihtoehto:** pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt

### 5.3.2 Lineaarijohteet

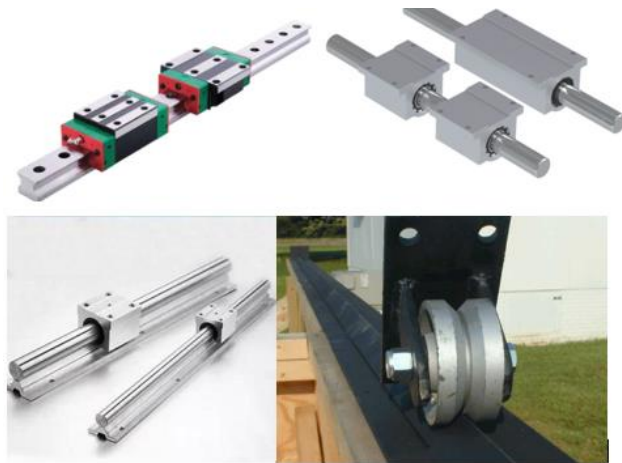
Lineaarijohteilla on neljä funktiota:

1. Pitää muotonsa (jäykkyys)
2. Vähentää kitkaa
3. Johtaa akseleja suoraan
4. Kompensoi sivukuormia

Niiden funktioiden ja QFD-tilin perusteella osalle on kehitetty vaatimukset.

Suunnittelija on keksinyt osalle neljä vaihtoehtoa (Kuva 32):

1. Kiskot ja kelkat
2. Tangot ja holkit
3. Tuetut tangot ja holkit
4. Urapyörät ja kiskot



**Kuva 32.** Vaihtoehtojen kuvat (13)

**Valittu vaihtoehto:** tangot ja holkit

### 5.3.3 Liikkeen muuntava kokoonpano

Liikkeen muuntavalla kokoonpanolla on kaksi funktiota:

1. Kääntää moottorien pyörivää liikettä lineaariliikkeeksi (vääntömomentti voimaksi)
2. Määrittelee resoluutiota (tarkkuus)
3. Määrittelee karan nopeutta

Niiden funktioiden ja QFD-taulukon perusteella osalle on kehitetty vaatimukset.

Suunnittelija on keksinyt osalle neljä vaihtoehtoa (Kuva 33):

1. Hammaspyörät ja hammastangot
2. Trapetsiruuvit ja mutterit
3. Kuularuuvit ja mutterit
4. Hihnat ja hammaspyörät



**Kuva 33.** Vaihtoehtojen kuvat (15, 16, 17)



**Valittu vaihtoehto:** trapetsiruuvit ja mutterit

### 5.3.3.1 Liikemoottorit

Liikemoottoreilla on kaksi funktiota:

1. Kääntää sähköä pyöriväksi liikkeeksi (sähköenergia fyysiseksi energiaksi)
2. Määrittelee resoluutiota (tarkkuus)
3. Määrittelee karan nopeutta

Niiden funktioiden ja QFD-taulukon perusteella osalle on kehitetty vaatimukset.

Suunnittelija on keksinyt osalle kolme vaihtoehtoa (Kuva 34):

1. Askelmoottori
2. Askelmoottori ja ohjain (encoder)
3. Servomoottori



**Kuva 34.** Vaihtoehtojen kuvat (19)

**Valittu vaihtoehto:** askelmoottori

### 5.3.4 Kara (karan kokoonpano)

Karan kokoonpanolla on kaksi funktiota:

1. Kääntää sähköenergiaa leikkausenergiaksi
2. Pitää muotonsa (jäykkyys)

Kara valitaan detaljisuunnittelun vaiheen alussa ja sen kokoonpano määritellään koko koneen rakenteen mukaan. Syy on se, että kara on pikemminkin konkreettinen osa, ja nyt vain yleistä muotoa määritellään.

### 5.3.5 Työstöpöytä

Työstöpöydällä on kaksi funktiota:

1. Kiinnittää työkappaletta
2. Määrittelee työkappaleen kokoa
3. Määrittelee koneen jäykkyyttä

Niiden funktioiden ja QFD-taulukon perusteella osalle on kehitetty vaatimukset.

Suunnittelija on keksinyt osalle kolme vaihtoehtoa (Kuva 35):

1. Alipainepöytä
2. T- uralevypöytä
3. Rei'itetty työstöpöytä



**Kuva 35.** Vaihtoehtojen kuvat (20)

**Valittu vaihtoehto:** rei'itetty työstöpöytä

### 5.3.6 Tulokset ja yhteenveto

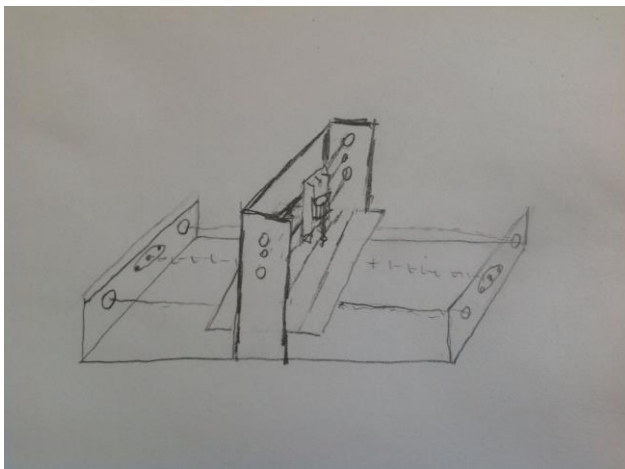
Loppujen lopuksi konseptisuunnittelun tuloksia voidaan kutsua hyväksyttäväksi. Koneen lopullinen muoto on nyt selvä ja ensi vaiheessa voidaan toteuttaa detajisuunnittelu kunnolla. Kuitenkin kara valitaan ensi vaiheen alussa.

Taulukko 3 esittää tämän vaiheen yhteenvetoa. Siinä voi nähdä kaikki tulevan koneen osat.

Osan nimi	Valittu osa
Runko	Pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt
Lineaarijohteet	Tangot ja holkit
Liikkeen muuntava kokoonpano	Trapetsiruuvit ja mutterit
Liikemoottorit	Askelmoottorit
Työstöpöytä	Rei'itetty työstöpöytä
Kara	Valitaan ensi vaiheessa

**Taulukko 3.** Konseptisuunnittelun tulokset

Niiden valittujen osien perusteella on luotu piirustus (Kuva 36), jossa on nähtävissä tulevan koneen alustava muoto.



**Kuva 36.** Koneen alustava muoto

## 6 Detaljisuunnittelu

Tässä osassa pääsääntöisesti valitaan varsinaiset koneen osat aikaisemmin tehdyn konseptin perusteella. Kaikki valinnat perustellaan mahdollisimman hyvin, jotta koneen lopullinen laatu on hyvä. Sen lisäksi tuotekehityksen alussa luodaan alustavaa kolmiulotteista mallia ja sen lopussa sitä kehitetään käyttämällä valittuja osia.

## 6.1 Kara

Ensiksi valitaan kara ja sen pidike, koska jos kara on valittu, voidaan luoda ensimmäisen koneen kolmiulotteinen malli ja vasta sitten valita kaikki muut osat. Muut osat kuin johteet, rungon osat ja työstöpöytä ovat melko samankaltaisia, mutta karoja on olemassa laaja valikoima ja niistä ensisijaisesti täytyy valita yksi.

### 6.1.1 Työstövoimat

Ensisijaisesti täytyy määritellä, millaisia työstövoimia täytyy vastustaa työstön aikana. Työstövoimien laskelmia varten tarvitaan valita ensiksi materiaali ja sen leikkauspaine. Se voidaan helposti tehdä käyttämällä Sandvik Materials ohjauskirjaa (35, s.31), jossa monien pehmeiden metallien ja alumiinin leikkauspaine on nähtävissä.

Sitten täytyy valita karalle terä, joka voidaan helposti tehdä käyttämällä nettiä. Aikaisemmin suunnittelija päätti valita venäläisen yrityksen tuottaman terän mallin, koska siinä kaikki terän ominaisuudet ovat nähtävissä. Terä AL-2E-D2.0 ZCC-CT (30) valittiin. Terän halkaisija on 6 mm, mikä on melko suuri kaiverruskoneille. Kuitenkin, jos kone pystyy työstämään alumiinia niin suurella terällä, se myöskin pystyy tekemään sitä pienemmillä työvälineillä. Tässä tapauksessa suuri terä toimii varmuuskerroin.

Kun sekä materiaali että terä ovat tiedossa, voidaan laskea vaadittavat voimat.

Löytääksemme ilmenevät voimat täytyy ensiksi löytää hammassyöttö.

$$f_z = \frac{f}{z * n} = \frac{1,250}{2 * 13,000} = 0.048 \text{ mm (1)}$$

$f_z$  [mm/hammas] - hammassyöttö

$f$  [mm/min] = 1,250 mm/min - terän suositettu syöttö

$z$  [kpl] = 2 kpl - terän hammasluku

$n$  [r/min] = 13,000 r/min - suositettu kierrosluku

Nyt, kun hammassyöttö on tiedossa, voidaan laskea radiaalinen työstövoima.

$$F_1 = k * h * f_z = 350 * 3 * 0.048 = 50.4 \text{ N} \quad (2)$$

$F_1$  [N] - radiaalinen voima

$k$  [N/mm<sup>2</sup>] = 350 N/mm<sup>2</sup> - leikkauspaine

$h$  [mm] =  $d/2$  = 3 mm - lastun paksuus

Ilmestynvä radiaalinen työstövoima on siis 50.4 N. Sillä voimalla leikataan materiaalia ja sen perusteella voidaan myöhemmin laskea karan tehoa. Kuitenkin nyt täytyy löytää muut voimat. Tangentiaalinen ja yhteinen voimat löytyvät helposti, koska aikaisemmin oli huomattu, että tangentiaalinen voima on radiaalisen kaksi kolmasosaa (linkki QFD selityksessä).

$$F_2 = \frac{2}{3} * F_1 = \frac{2}{3} * 50.4 = 33.6 \text{ N} \quad (3)$$

$$F_0 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{50.4^2 + 33.6^2} = 60.57 \text{ N} \quad (4)$$

$F_2$  [N] – tangentiaalinen voima

$F_0$  [N] - yhteinen voima

Loppujen lopuksi koneeseen vaikuttavat kaksi työstövoimaa: radiaalinen ja tangentiaalinen. Niitä kahta voimaa kompensoidaan ja niiden luomaa taipumista vähennetään. Niiden suhteen koko kone sitten suunnitellaan.

Sitten laskelmat tehtiin myöskin toiselle terälle samalta valmistajalta, jonka halkaisija on 3 mm. Tuloksi oli saatu, että yhteinen voima tulee olemaan noin 17.67 N, mikä on 3.4 kertaa vähemmän kuusimillimetrinen terän luomaa yhtenäistä voimaa.

Siis, kaikki tulevat laskelmat tehdään kuusimillimetrinen terän suhteen, mikä takaa kolmemillimetrillä terällä hyvää työstöä. Kolmemillimetrinen terä pikemmin sopii kaiverrukseen, kuitenkin, jos koneeseen voidaan myöskin asettaa suuremmat terät ja tehdä niillä työstöä, siitä tulee koneelle suuri etuus asiakkaiden silmissä.

Kuitenkin jopa kuusimillimetriselle terälle voidaan asettaa varmuuskerroin. Suunnittelijan mielestä 1.5 varmuuskerroin kelpaa hyvin. Siis, kaikki kuusimillimetrisen terän luomat voimat kerrotaan vielä puolellatoista. Näin myöskin varmistetaan, että koneeseen voidaan varmasti asettaa suuret terät.

Lopulliset voimat:

$$F_1 = 75.6 \text{ N}$$

$$F_2 = 50.4 \text{ N}$$

$$F_0 = 90.6 \text{ N}$$

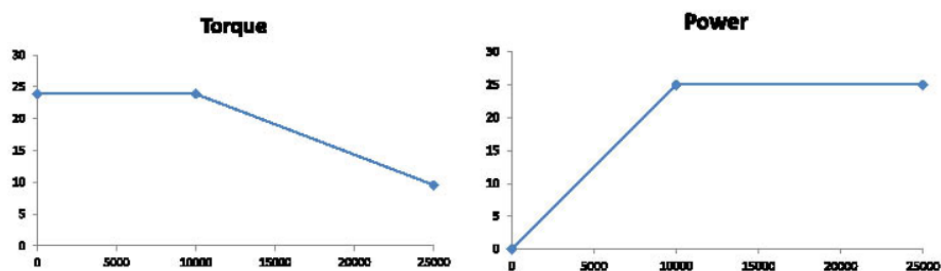
### 6.1.2 Karan ominaisuuksien määrittely

Karaa voi kutsua CNC-kaiverruskoneen pääosaksi. Sillä tehdään työstöä ja kara lyö niitä työstövoimia, joita sitten kompensoidaan lineaarijohteilla ja rungolla.

Karalla on seuraavia suureita, joiden avulla sitä voidaan matemaattisesti kuvata:

1. Teho
2. Suurin vääntömomentti
3. Nopeus (Kuva 37)

Monilla karoilla on tuottajien antamia vääntömomentin ja nopeuden kaavioita, joiden avulla voidaan määritellä karalle kaikki ne suureet. Kuitenkin, tietämällä siitä, että kaikilla karoilla alhaisilla nopeuksilla luodaan suurinta vääntömomenttia, joka vähenee sen jälkeen, kun karan teho on yhtä suuri kuin nopeuden ja vääntömomentin kertolasku (36), voidaan arvioida karan vääntömomentti millä tahansa nopeudella.



**Kuva 37.** Tasainen vääntömomentti alussa ja sitten tasainen teho (36)

Kara valitaan tarvittavan työstönopeuden ja vääntömomentin mukaan. Ensiksi täytyy määritellä näitä valitsemalla työstömateriaali ja terä karalle. Se oli jo tehty aikaisemmin, joten työstövoimat ovat selviä. Työstövoiman perusteella voidaan määritellä karalta tarvittava vääntömomentti, jota luodaan tietyllä leikkausnopeudella.

Voidaan huomata, että leikkausnopeudesta usein riippuu koneen tuottavuus ja työstön laatu (37, s.865). Pehmeät materiaalit kuten silkka alumiini ja puu vaativat korkeampia leikkausnopeuksia niiden pehmeiden vuoksi. Alumiini voi tarttua terään (35, s.31) ja samaan aikaan suurella nopeudella voidaan parantaa tuottavuutta. Karan kierrosnopeus on niin tärkeä kuin sen luoma vääntömomentti, joten niihin kannattaa kiinnittää huomiota karan valinnan aikana.

Karalta tarvittava vääntömomentti:

$$T = \frac{d}{2} * F_1 = \frac{0.006}{3} * 75.6 = 0.227 \text{ N} * \text{m} \quad (5)$$

T [N\*m] – karan vähin vääntömomentti

d [m] – terän halkaisija

F<sub>1</sub> [N] – terään vaikuttava radiaalinen voima

Samaan aikaan, aikaisemmin mainitun terän valmistajan mukaan, karan kierrosluvun on oltava 13,000 r/min (30). Kuitenkin, huolimatta siitä, että sekä alumiini, että puu vaativat suuria kierroslukuja, ei ole järkevää asettaa koneeseen karaa, jota voidaan pyörittää nopeasti, mutta joka maksaa liian paljon. Pääasia tässä on karan luoma vääntömomentti ja usein nopeudesta riippuu vian tuottavuus ja se ei suuresti vaikuta työstön latuun (37). Monet karojen valmistajat mainitsevat ohjeissa, että annetut nopeudet ovat vain suosituksia ja niitä voidaan säätää koneen mukaan (38). Kuitenkin on tärkeää pitää mielessä se, että hammassyötön on oltava sama. Sen vuoksi, jos kierroslukua vähennetään, vähennetään syöttöäkin.

Loppujen lopuksi, markkinoilla on melko laaja valikoima pieniä ja edullisia karoja (39), joiden luoma vääntömomentti on aina tarpeeksi korkea ja niiden korkein

kierrosluku on 12,000 r/min. Todennäköisesti suunnittelun aikana valitaan yksi niistä.

Jos käytetään kuusimillimetristä aikaisemmin mainittua terää ja kierrosnopeus on 12,000 r/min:

$T = 0.227 \text{ N} \cdot \text{m}$  (työstövoima on yhtä korkea, koska hammassyöttö on samaa)

$n = 12,000 \text{ r/min}$  (karan kierrosluku)

$P = 300 \text{ W}$  (vähin karan teho)

### 6.1.3 Karan valinta

Aikaisemmin karalle asetettujen vaatimusten perusteella seuraavat vaihtoehdot oli valittu:

1. Xinhuangduo 500 W, 3,000 - 12,000 r/min kara ja sen pidike (40) – 58 \$
2. Guangzhou 500 W, 3,000 - 12,000 r/min kara, sen pidike ja istukkojen setti (41) – 46 \$
3. Makita RT0701C 932.5 W, 10,000 - 30,000 r/min kara (42) – 139 \$

Tietysti, Makita kara on tehokkain ja laadukkain kara kaikista. Kuitenkin se maksaa liian paljon ja sen hinnan vuoksi se ei kelpaa. Suunnittelijan on pakko soveltaa kiinalaista karaa, sen pienen hinnan vuoksi.

Guangzhou kara näyttää hyvältä, kuitenkin tämän moottorin kestävyys on huono, koska sen tasavirtamoottori on harjallinen. Harjalliset moottorit eivät sovi pitkään käyttöön ja sen vuoksi tätä karaa, sen pienestä hinnasta huolimatta, ei valita. Xinhuangduo kara sopii alumiinin- ja puun-työstöön. Sen tehokkuus ja kierrosnopeus ovat tarpeeksi hyviä ja sen hinta on alhainen, alihankkija vakuuttaa, että karan sisällä on harjaton tasavirtamoottori.

Loppujen lopuksi karan valinnassa ei ole käytetty päätösmatriisia, koska sopiva vaihtoehto määritellään hinnan ja sen tehtävään sopivuuden mukaan. Sen lisäksi harjallista karaa ei ole valittu sen huonon kestävyysvuoksi sen pienestä hinnasta huolimatta.



Kara voi tarvittaessa muuttua suunnittelun kuluessa.

**Valittu vaihtoehto:** Xinguangduo 500 W harjaton kara (Kuva 38)

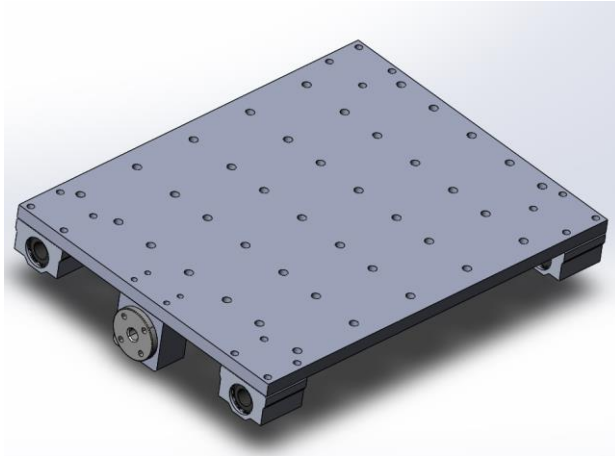


**Kuva 38.** Xinguangduo kara (40)

## 6.2 Työstöpöytä

Loppuen lopuksi kävi ilmi, että rei'itetyn työstöpöydän käyttö on järkevämpi (Kuva 39). Työstöpöydän päälle laitetaan kulutuslevy tarvittaessa. Sen avulla voidaan mukavammin ja turvallisemmin toteuttaa työstöä.

Työstöä jo sovelletaan koneiden tuotannossa suunnitelman mukaan (levyjien viimeistely, pulttien reiät), joten voidaan tehdä enemmän työstöä, ja näin koko tuotantoprosessi voi olla jopa halvempi.



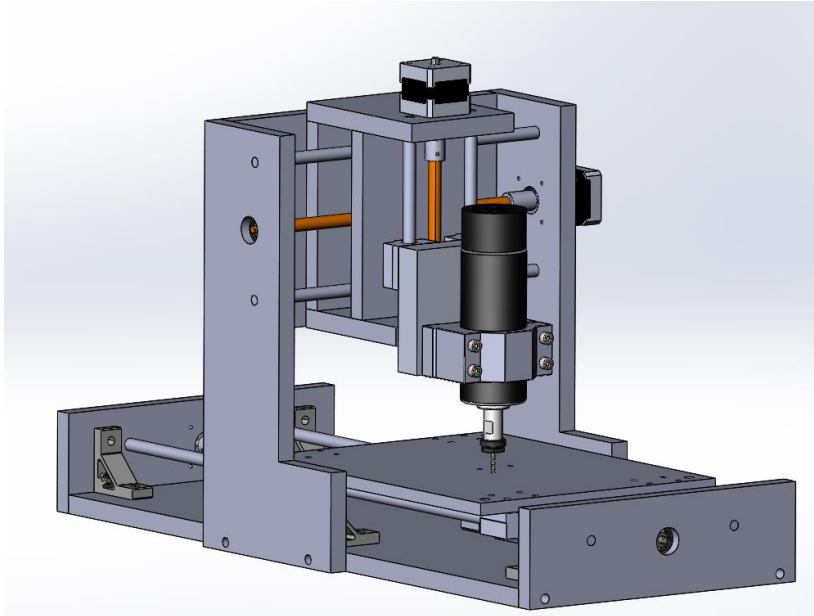
**Kuva 39.** Rei'itetty työstöpöytä

### **6.3 Trapetsiruuvi ja mutteri**

Trapetsiruuvien valintaa varten täytyy ensiksi määrittellä liikutettavien osien massa ja työstövoimat. Massa vaikuttaa sekä kiihdytyksen aikana tarvittavaan voimaan että kitkan luomaan vastusvoimaan. Onneksi tankojen ja holkkien välillä ilmenevä kitkavoima on niin pieni, että sitä voidaan laiminlyödä suunnittelun aikana (43, 44).

Kaikki trapetsiruuvien ominaisuudet kuten hyötysuhteet ja halkaisijat otetaan ruuvien luettelosta (45). Sanotaan, että tarvittava kiihdytys alumiinissa on  $3 \text{ m/s}^2$ , joten QFD-taulukossa mainittu  $1600 \text{ mm/min}$  nopeus alumiinissa saavutetaan  $0.01$  sekunnin aikana, joten kone voisi muuttaa suuntaansa mahdollisimman nopeasti. Sen lisäksi Z-akseli on pystysuora, joten siinä täytyy ottaa huomioon painovoiman vaikutus.

Aluksi täytyy rakentaa koneen alustava kolmiulotteinen malli (Kuva 40). Kun malli on valmis, voidaan helposti laskea osien massa (Taulukko 4) tietämällä niiden materiaalien tiheys. Kaikki massat pyöristetään ylös varmuutta varten.



**Kuva 40.** Alustava koneen malli

Ruuvi	Massa
X-akselin ruuvi	2.5 kg + 4 kg työkappale ja kulutuslevy
Y-akselin ruuvi	5.2 kg
Z-akselin ruuvi	2 kg

**Taulukko 4.** Ruuvien liikuttamat massat

Nyt, kun kaikki massat ovat tiedossa ja tarvittava kiihdytys on selkeä, voidaan laskea trapetsiruuveissa ilmenevät aksiaaliset voimat ja vääntömomentti.

Seuraavan kaavan mukaan voidaan määrittellä suurimmat voimat, jotka ilmenevät X- ja Y- akseleissa:

$$F_x, F_y = (m * a + F_2) * k \quad (6)$$

F [N] – aksiaalinen voima

m [kg] – liikutettava massa

F<sub>2</sub> [N] – tangentiaalinen työstövoima

$k$  – varmuuskerroin ( $k = 1.5$ )

Z-akseliin myöskin vaikuttaa painovoima, mutta se vastustaa moottorin luomaa voimaa ainoastaan, kun kara nouse. Z-akselia varten lasketaan kaksi eri vaihtoehto: kun kara nousee ja siihen kielteisesti vaikuttaa painovoima ja kun se uppoa materiaaliin ja painovoimanvaikutus on myönteinen.

$$F_{z1} = (m * a + F_2 - m * g) * k \quad (7)$$

$$F_{z2} = (m * a + m * g) * k \quad (8)$$

$g$  [ $m/s^2$ ] – painovoiman kiihtyvyys ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

Näin, soveltamalla tätä kaavaa, voidaan laskea lopullinen voima. Ehdotetaan, että porauksen aikana, kun terä menee alaspäin Z-akselin pitkin, ilmenevä voima on yhtä suuri kuin  $F_2$ .

$$F_x = (6.5 * 3 + 50.4) * 1.5 = 104.85 \text{ N} \quad (6)$$

$$F_y = (5.2 * 3 + 50.4) * 1.5 = 99 \text{ N} \quad (6)$$

$$F_{z1} = (2 * 3 + 50.4 - 2 * 9.81) * 1.5 = 36.78 \text{ N} \quad (7)$$

$$F_{z2} = (2 * 3 + 2 * 9.81) * 1.5 = 25.62 \text{ N} \quad (8)$$

Voidaan nähdä, että suurin voima ilmenee X-akselin trapetsiruuvissa, joten sitä käytetään tulevilla laskelmissa. Sen perusteella valitaan yksi ruuvintyyppi ja se sama tyyppi sitten asetetaan X-, Y-, ja Z-akseleihin. Sillä tavalla voidaan lyhentää suunnittelun aikaa ja sen lisäksi ostamalla suuria samankaltaisia osien eriä voidaan saada hyvät alennukset alihankkijoilta.

Seuraavat laskelmat tehdään Thomson trapetsiruuvien ja mutterien luettelon mukaan (45). Samaan aikaan luettelossa esitetty tuotteiden valikoima otetaan huomioon ja siitä sopiva vaihtoehto valitaan.

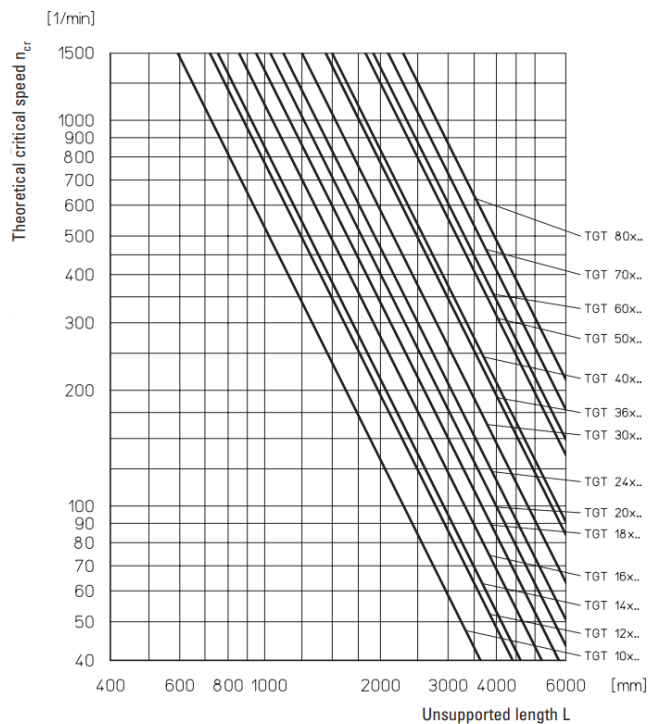
Valitaan aluksi ruuvi, jolla on pienin halkaisija kaikista. Sen lisäksi ruuvintyypin nousun on oltava pieni, joten moottorilta vaaditaan mahdollisimman vähän vääntömomenttia ja koneen resoluutio on hyvä. Toisaalta, pieni nousu vähentää ruuvintyypin

hyötysuhdetta, mikä voi lisätä tarvittavaa vääntömomenttia, mutta samaan aikaan se estää esimerkiksi painovoimaa madaltamasta Z-akselia, kun kone laiteetaan pois sen luoman vastustusvoiman vuoksi.

**Aluksi valittu ruuvi:** RPTS Tr 10x2 (ulkoinen halkaisija on 10 mm ja kierteen nousu on 2 mm)

### 6.3.1 Kriittinen kierrosluku

Ensisijaisesti täytyy selvittää se, mikä on tulevan ruuvin kriittinen kierrosluku. Sillä nopeudella ruuvi alkaa värähdellä sen luonnollisella taajuudella ja voi helposti taipua (45, s.79). Ruuvi oli jo valittu, ja nyt vain täytyy määritellä ruuvin vapaa pituus, joka tässä tapauksessa on 600 mm (X-akselin pituus).



**Kuva 41.** Kriittinen kierrosluvun kaavio (45)

Kaavion mukaan (Kuva 41), jos ruuvin ulkoinen halkaisija on 10 mm ja ruuvin vapaa pituus on 600 mm, sitten sitä voidaan teoreettisesti pyörittää 1500 r/min nopeudella. Kuitenkin, se on vain teoreettinen laskelma ja vielä täytyy muokata se luettelossa esitetyn kaavan mukaan. (45, s.79.)

$$n_k = n * f_n * k \text{ r/min (9)}$$

$n_k$  [r/min] – kriittinen kierrosluku

$n$  [r/min] – teoreettinen kriittinen kierrosluku

$f_n$  – laakerien määrittelemä kerroin

$k = 0.8$  – varmuuskerroin

Tässä tapauksessa halutaan soveltaa kaksi osittain tuettua laakeria, joten luettelolon mukaan  $f_n = 1$ . Sitten vain täytyy asettaa kaavaan kaikki tiedossa oleva määreet.

$$n_k = 1500 * 1 * 0.8 = 1200 \text{ r/min} \quad (9)$$

Näin oli selvitetty, että ruuvia voidaan pyörittää enintään 1200 r/min nopeudella. Sen avulla voidaan laskea sitä, onko kierrosluku tarpeeksi suuri, että liikuttavien osien lineaarinopeus vastaa QFD-taulukossa asetettuun vaatimukseen.

$$f = l * n = 2 * 1200 = 2400 \text{ mm/min} \quad (10)$$

$f$  [mm/min] – lineaarinopeus

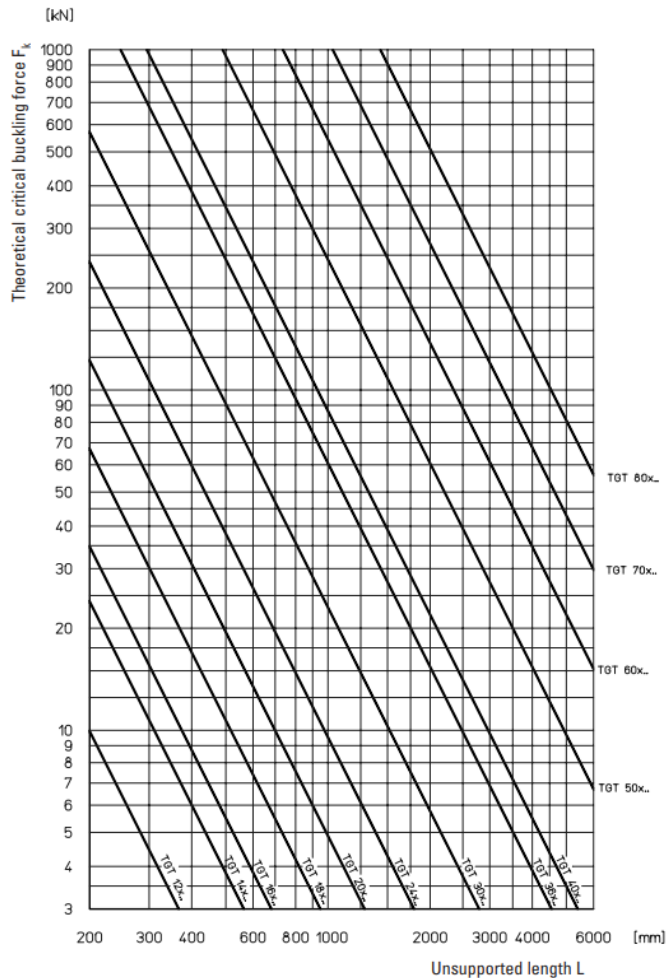
$l$  [mm] - kierteen jako

$n$  [r/min] – kierrosluku

Ehdottomasti, se nopeus on suurempi kuin QFD-taulukossa mainittu 1600 mm/min. Tässä kohdassa valittu ruuvi sopii erinomaisesti.

### 6.3.2 Nurjahdus

Valitettavasti valitun ruuvin nurjahdusta on mahdotonta ottaa huomioon käyttäen luettelossa esitettyä kaaviota (Kuva 42), koska ruuvissa ilmenevä aksiaalinen voima on liian pieni. Sen lisäksi kaaviossa ei näytetä valitun ruuvin käyrää lainkaan. Sen vuoksi täytyy laskea ruuvin nurjahdusvoima itsenäisesti.



**Kuva 42.** Ruuvien nurjahdusvoima (45)

Suurin sallittu nurjahdusvoima lasketaan Eulerin kaavan mukaan (46). Onneksi, luettelossa oli esitetty ruuvin jäyhyysmomentti (45, s.67) ja sen lisäksi sen materiaalin kimmokerroin (47) löytyvät netistä melko nopeasti.

$$F_k = \frac{I * f_k * E * \pi^2}{L^2} = 632.6 \text{ N} \quad (11)$$

$F_k$  [N] – kriittinen voima

$I$  [m<sup>4</sup>] =  $1.1 * 10^{-10}$  – jäyhyyskerroin

$f_k = 1$  – laakerien määrittelemä kerroin

$E$  [Pa] =  $210 * 10^9$  – ruuvien kimmokerroin

$L$  [m] = 0.6 – ruuvien pituus

Laskelmien mukaan valittu ruuvi kestää nurjahdusta hyvin ja sen sallittu nurjahdusvoima on monilla kerroilla suurempi kuin ilmenevä voima. Tässä kohdassa valittu ruuvi sopii erinomaisesti.

### 6.3.3 Tarvittava vääntömomentti

Nyt kun on varmistettu, että ruuvi kestää käytössä, voidaan laskea tarvittava vääntömomentti. Se tehdään Thomson (45, s.83) luettelossa annetun kaavan mukaan.

$$T = \frac{P * F}{2000 * \pi * \varphi y} + M \quad (12)$$

T [N\*m] - tarvittava vääntömomentti

P [mm] - kierteen nousu

M [N\*m] - kiihdytysmomentti

$\varphi_y$  – yhteinen hyötysuhde

F [N] - aksiaalinen kuorma

Kuitenkin, ennen sen kaavan käyttöä tarvitaan löytää vielä muut suureet. Ensimmäisesti löydetään yhteinen hyötysuhde, joka riippuu sekä laakereista, että ruuvin voitelusta. Tässä tapauksessa ehdotetaan, että ruuvin voitelu on kunnossa, joten mutterin materiaalista huolimatta kitkakerroin on vähemmän kuin 0.1 (Kuva 43). (45, s.83.)

	$\mu$ starting up ( $= \mu_0$ )		$\mu$ in motion	
	dry	lubricated	dry	lubricated
Metal nuts	$\approx 0.3$	$\approx 0.1$	$\approx 0.1$	$\approx 0.04$
Plastic nuts	$\approx 0.1$	$\approx 0.04$	$\approx 0.1$	$\approx 0.03$

**Kuva 43.** Kitkakertoimet (45)



Jos kerroin on vähemmän kuin 0.1, sitten voidaan käyttää tuottajan antamaa ruuvin hyötysuhdetta. Sen lisäksi ehdotetaan, että molempien osittain tuettujen laakerien hyötysuhde on 0.95 (alhaisin ehdotettu). Näin voidaan laskea ruuvin yhteistä hyötysuhdetta.

$$\varphi_y = \varphi * 0.95 * 0.95 = 0.361 \quad (13)$$

$\varphi_y$  – ruuvin yhteinen hyötysuhde

$\varphi = 0.4$  – ruuvin hyötysuhde

Nyt, kun hyötysuhde on tiedossa, täytyy laskea vielä tarvittava kiihdytysmomentti. Sitä momenttia tarvitaan silloin, kun ruuvin kulmanopeus kasvaa kiihdytyksen aikana. Aikaisemmin oli määritelty, että kiihdytyksen on oltava edes 3 m/s. Sen avulla voidaan laskea tarvittava kulmakiihdytys.

$$\alpha = \pi * 2 * \frac{f}{t * l} = 9682.8 \frac{rad}{s^2} \quad (14)$$

$f$  [m/s] = 0.027 m/s – lineaarinopeus

$l$  [m] = 0.002 m- kierteen jako

$t$  [s] = 0.0087 s– kiihdytyksen aika (löytyy aikaisemmin määritellystä lineaarikiihdytyksestä)

Nyt, kun kulmakiihdytys on tiedossa, voidaan löytää sitä varten tarvittava vääntömomenttia. Sitä varten sovelletaan kaavaa luettelosta (45, s.84).

$$M = 7.7 * d^4 * L * 10^{(-13)} * \alpha = 0.048 N * m \quad (15)$$

$d$  [mm] = 10 mm – ulkoinen halkaisija

Loppujen lopuksi tarvittava kiihdytysmomentti löytyi. Vihdoin voidaan laskea loppullinen tarvittava vääntömomentti.

$$T = \frac{2 mm * 105 N}{2000 * 3.14 * 0.361} + 0.048 N * m = 0.141 N * m \quad (12)$$

Näin löytyi, että tarvittavan vääntömomentin on oltava edes 0.141 N \* m kiihdytyksen aikana. Sen täytyy olla sen vaatimuksen enemmän koko työstön aikana, tai toisin liikemoottori voi menettää askelia. Sitä vaatimusta myöhemmin käytetään askelmoottorin valinnassa.

### 6.3.4 Mutterin kuorma

Markkinoilla saatavissa on laaja valikoima pronssista tehtyjä välystä vastustavia muttereita (48). Niiden hinta on melko alhainen ja samaan aikaan voidaan saada alennus alihankkijalta, jos ostetaan suuri määrä tuotteita. Verrattuna muovista tehtyihin muttereihin, ne kestävät käytössä paremmin ja niitä voidaan käyttää suuremmilla nopeuksilla. Kuitenkin muovista tehtyjen mutterien hinta on melko vaikea löytää ja se, mikä löytyi, ei näytä järkevältä lainkaan (49). Suunnittelija päätti soveltaa suunnittelussa pronssista tehtyä mutterityyppiä.

Thomson-luettelosta otetaan mutteri, jonka halkaisija sopii valittuun ruuviin (pienin mutteri koko luettelossa) (45, s.70). Kuitenkin lopussa valitaan markkinoilla oleva pronssista tehty mutteri, joka myöskin vastustaa välystä.

#### 6.3.4.1 Puristusjännitys

Ensisijaisesti täytyy määritellä, onko mutterin ruuvia koskettava alue tarpeeksi suuri, jotta se kestää aksiaalisen voiman alla. Tai toisin sanoen, onko ruuvin puristuslujuus suurempi kuin ilmenevä puristusjännitys. Sitä varten luettelosta löydetään kaikki tarvittava tieto, kuten pronssin suurin sallittu puristusaine ja sen lisäksi ruuvin kosketusalue (45, s.70). Pääsääntöisesti kosketusalue riippuu mutterin pituudesta ja halkaisijasta.

$$A = \frac{F}{P_p} = \frac{105 \text{ N}}{10 \text{ N/mm}^2} = 10.5 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

A [mm<sup>2</sup>] – tarvittava kosketusalue

F [N] – aksiaalinen voima

P<sub>p</sub> [N/mm<sup>2</sup>] – pronssin sallittu puristusaine luettelosta (45, s.78)

Kävi ilmi, että tarvittava kosketusalue on monilla kerroilla vähemmän kuin valitun pienimmän pronssimutterin kosketusalue, mikä on 200 mm<sup>2</sup>.

#### 6.3.4.2 Kierrosnopeus

Sitten luettelon mukaan mutterille lasketaan suurin sallittu lineaarinopeus (51, s. 78). On tärkeä ottaa se huomioon, koska ruuvin ja mutterin liikkumisen aikana ilmenee lämpö. Jos ilmenee liian paljon lämpöä, mutteri voi helposti hajota. Tätä varten luettelosta otetaan kaava, jonka avulla voidaan laskea mutterin suurin lineaarinopeus. Siinä otetaan huomioon materiaalin paine/nopeus arvo  $v$ , joka määrittelee mutterin suurinta sallittua lineaarinopeutta, jos aksiaalinen kuorma on tiedossa ja päinvastoin. Usein sitä suhdetta lasketaan muovimuttereita varten, mutta ei haittaa laskea sitä pronssimutterille. (50.)

$$s = \frac{v * P}{Pp * D * \pi} = \frac{300 \frac{N}{mm^2} * \frac{m}{min} * 2mm}{0.525 \frac{N}{mm^2} * 10mm * 3,14} = 36.4 \text{ m/min} \quad (16)$$

$s$  [m/min] – mutterin suurin sallittu lineaarinopeus

$v$  [N/mm<sup>2</sup> \* m/min] – materiaalin paine- nopeus arvo (51, s. 78)

$P$  [mm] – kierteen nousu

$P_1$  [N/mm<sup>2</sup>] – ilmenevä puristusaine

$D$  [mm] – mutterin sisäinen tai ruuvin ulkoinen halkaisija

Lopullinen tulos on monilla kerroilla enemmän kuin QFD-taulukossa mainittu karran 1.6 m/min lineaarinopeus. Pronssimutteri sopii hyvin tässä kohdassa.

#### 6.3.5 Lopullinen valinta

Loppujen lopuksi valittiin RPTS Tr 10x2 trapetsiruuvi ja välystä vastustava pronssista tehty trapetsimutteri. Ne ovat nähtävissä kuvassa 44.



**Kuva 44.** Trapetsimutteri ja trapetsiruuvi (85)

**Lopullinen valinta:** RPTS Tr 10x2 trapetsiruuvi ja välystä vastustava pronssista tehty trapetsimutteri

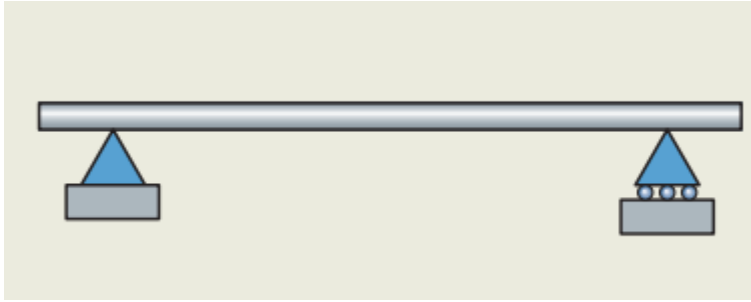
#### **6.4 Radiaalilaakerit trapetsiruuveja varten**

Nyt täytyy jotenkin kiinnittää ruuvi koneen runkoon. Tässä osassa kaikki laskelmat tehdään SKF yrityksen laakerien luettelossa esitettyjen ohjeiden mukaan (52). Sen lisäksi yksi yrityksen tarjoamista laakereista valitaan koneen osaksi.

##### **6.4.1 Yleinen rakenne**

Ensisijaisesti täytyy määrittellä se, miten laakereja yhdistetään ruuviin, miten niillä kompensoidaan ruuvista tulevia voimia ja miten voidaan vähentää toleranssien vaikutusta tähän kokoonpanoon.

Onneksi SKF-luettelossa on hyvä neuvo siitä, miten voidaan järjestää laakerit kunnolla (Kuva 45). Luettelon mukaan kannattaa tehdä niin, että ruuvien yhdellä puolella on ohjaava laakeri ja sillä kompensoidaan sekä aksiaalista voimaa että radiaalista ja toisella puolella on vapaa laakeri, joka vastustaa vain radiaalista voimaa. Näin ruuvi sekä kiinnitetään paikalleen kunnolla että toleranssien tiukkuuden ei tarvitse olla niin kova ja ruuvien asennus yksinkertaistetaan. (52, s.70.)



**Kuva 45.** Ohjaava laakeri ja vapaa laakeri (52)

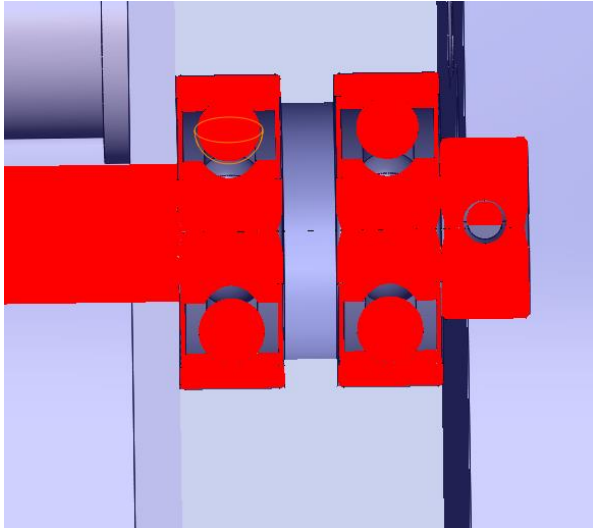
Kuitenkin vielä täytyy keksiä se, miten ruuvi kiinnitetään laakereihin ja miten laakerit kiinnitetään koneen runkoon, joten niiden liikkuminen on rajoitettu ja ruuvin tarkkuus työstön aikana on hyvä.

#### **6.4.1.1 Laakerin kiinnitys runkoon**

Tässä kohdassa suunnittelija on keksinyt kaksi ratkaisua:

1. Työstää runkoon reikä, jonka halkaisija on pienempi kuin laakerin ulkoinen halkaisija (muodostetaan laippa). Sitten reikä levennetään yhdellä puolella niin, että siihen voidaan kiinnittää laakeri. Kun laakeri on asetettu, se suljetaan levyllä, joka rajoittaa sen liikkumista. Näin yhden laakerin liikkuminen rajoitetaan levyllä ja laipalla ja sillä voidaan vastustaa ruuvilta tulevia aksiaalisia voimia.
2. Työstää runkoon reikä, jonka halkaisija keskellä on pienempi kuin sen halkaisija sivuilla. Tämän reiän molempiin puoliin asetetaan laakerit. Näin kaksi laakeria rajoitetaan yhdellä laipalla ja ne vastustavat ruuvilta tulevia aksiaalisia voimia.

Nämä kaksi vaihtoehtoa näyttävät melko hyvältä, mutta ensimmäinen vaatii levyn asennus. Samaan aikaan levyn asennus vaatii ylimääräistä porausta ja sen lisäksi tarvitaan edes kaksi pulttia, joilla levy kiinnitetään. Nämä tuotantokulut voidaan välttää, jos valitaan toinen vaihtoehto (Kuva 46), jolla myöskin luodaan paljon jäykkyyttä ja jossa vaaditaan vain toisen laakerin asetusta. Samaan aikaan monet muut tuottajat suunnittelevat laakerien kiinnitystä samalla tavalla. Näin suunnittelija valitsi toisen vaihtoehdon.



**Kuva 46.** Ohjaavan laakerien järjestys

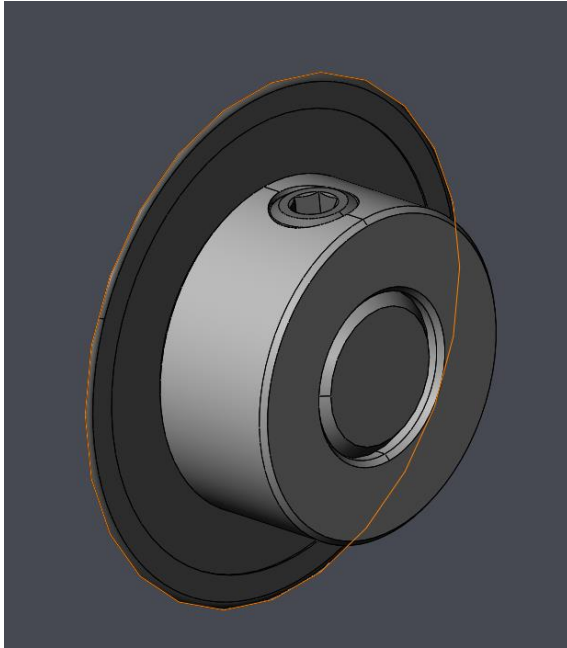
#### 6.4.1.2 Ruuvin kiinnitys laakereihin

Tässä suunnittelija on keksinyt kaksi ratkaisua:

1. Koneistaa ruuvin päädyt ja kiinnittää se laakeriin pidätinruuvilla
2. Koneistaa ruuvin päädyt, luoda yhdelle lopulle kierre ja kiinnittää se laakeriin mutterilla

Ruuvin päätyjen koneistus on ehdotonta, koska sen avulla saavutetaan parempaa kiinnitystä laakerien ja ruuvin välillä ja molempien osien elinikää pidennetään. Tässä valinnassa voitaisiin soveltaa päätösmatriisia, mutta on selvää, että ensimmäinen vaihtoehto (Kuva 47) on järkevämpi, koska sitä varten tarvitaan vain pidätinruuvia, jonka kustannus on melko alhainen (53), eikä lisätoimintoja tarvita. Toisessa tapauksessa täytyy sekä hankkia sopiva pultti että luoda kierrettä, mikä on ehdottomasti kalliimpi vaihtoehto. Toisella puolella ruuvi pidetään viisteellä (siinä ruuvin halkaisija on suurempi).

Sekä rungon ja laakerin ulkorenaan välillä että laakerin sisärenkaan ja ruuvin työstetyn lopun välillä tehdään helppo pakotussovite. Sillä tavalla laakerien ja ruuvin liikkumista rajoitetaan ja niitä pidetään tiiviisti rungon sisällä. Samaan aikaan värähtelyjen vaikutusta koneeseen vähennetään, mutta laakerit tarvittaessa voidaan ottaa pois niiden huoltoa varten.



**Kuva 47.** Pidätinruuvi

#### **6.4.2 Laakerin tyyppi**

Suunnittelija päätti käyttää urakuulalaakeria, koska se sopii hyvin pieneen ruuvin halkaisijaan. Samaan aikaan niillä voidaan kompensoida sekä aksiaalisia, että radiaalisia voimia, joten niitä voidaan soveltaa ruuvien molemmilla puolilla. Toinen vaihtoehto oli neulalaakeri, joka myöskin sopii pieneen ruuvien halkaisijaan, mutta sen hinta on liian suuri verrattuna ensimmäiseen vaihtoehtoon ja niillä voidaan kompensoida vain tangentiaalisia voimia. (54, 55.)

##### **6.4.2.1 Urakuulalaakerin valinta**

Nyt kun sekä laakerin tyyppi että sen kiinnitysmuoto ovat tiedossa, voidaan kunnon valita laakeri luettelossa annettujen ohjeiden mukaan. Tässä kaikki laskelmat tehdään X-akselin ruuville, SKF-luettelosta valitaan sopiva vaihtoehto ja sitten samankaltaiset laakerit asetetaan koneen muihin akseleihin. Näin varmistetaan, että kaikki muut laakerit kestävät käytössä, koska ne kestävät myös kriittisimmässä kohdassa.

Käytännössä ruuvissa ilmenevät pääsääntöisesti aksiaaliset voimat. Ruuvin ja laakerien rakenteen kriittisin kohta on se, jossa kaksi laakeria vastustaa aksiaalisia voimia. Siis niitä varten laskelmia tehdään ja sitten luettelosta valitaan oikea vaihtoehto.

Aluksi laakeri ehdottomasti täytyy suojata tiivisteellä, koska työstön aikana ilmenevät lastut voivat pahasti vahingoittaa sitä ja verrattuna suojalevyyn, tiiviste estää likaa ja lastuja pääsemästä laakerin sisään paremmin. Valitun laakerin sisäisen halkaisijan on oltava 6 mm, koska ruuvi voidaan laadukkaasti työstää niin, että sen lopun halkaisija on 6 mm, koska ruuvin sisäinen halkaisija ilman kierrettä on 6.89 mm (45, s.67). Näin aluksi valitaan laakeri, jonka ominaisuudet sopivat edellä mainittuihin vaatimuksiin ja joka samaan aikaan näyttää luotettavalta.

Se laakerityyppi on myöskin saatavissa markkinoilla. Sitä voidaan helposti tilata ja soveltaa koneen rakenteessa. Sen lisäksi sen hinta voidaan selvittää melko nopeasti. (55)

**Aluksi valittu laakeri:** 626-2RSH (sisäinen halkaisija  $d = 6$ , ulkoinen halkaisija  $D = 19$ , paksuus  $B = 6$ , suojattu tiivisteillä)

#### 6.4.2.2 Laakereihin vaikuttavat voimat

Ensiksi täytyy määritellä ne voimat, jotka vaikuttavat laakereihin. Sitä varten huomioon otetaan sekä ruuvin massa että aikaisemmin määritelty ruuvilta tuleva aksiaalinen voima.

Ruuvin massa voidaan helposti laskea Thomson-luettelossa esitetyn massa/pituus suureen mukaan (45, s.67).

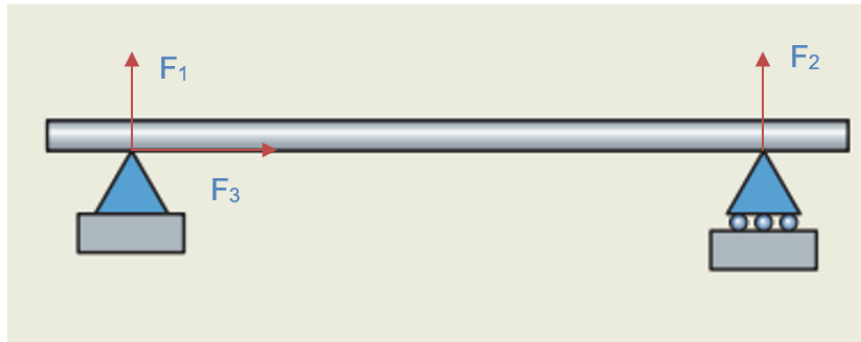
$$m = L * q = 0.7 * 0.5 = 0.35 \text{ kg} \quad (16)$$

$L$  [m] = 0.7 m – ruuvin pituus (pyöristetty ylös)

$q$  [kg/m] = 0.5 kg/m – massa/pituus suure

Näin voidaan laskea sekä radiaalisia että aksiaalisia voimia, jotka vaikuttavat jokaiseen laakeriin (Kuva 48). Se tehdään perusstaattisten laskelmien avulla.





**Kuva 48.** Laakereihin vaikuttavat voimat

Voidaan nähdä, että laakereihin vaikuttaa kolme eri voimaa:  $F_1$ ,  $F_2$  ja  $F_3$ .  $F_1$  on yhtä suuri kuin  $F_2$ , koska laakerit asetetaan täsmällisellä etäisyydellä ruuvin keskestä. Samaan aikaan  $F_1$  jaetaan kahden laakerien välillä.  $F_3$  on ruuvilta tuleva voima, joka voi olla sekä negatiivinen, että positiivinen. Siitä riippuen, voima kompensoidaan yhdellä kahdesta vasemmalla puolella olevista laakereista.

$$F_1 = F_2 = \frac{m * g}{2} = 1.72 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_3 = 105 \text{ N} \quad (18)$$

Kuitenkin 105 N suuruinen  $F_3$  on vain suurin ruuvissa ilmenevä voima, joka on olemassa melko lyhyestä vain kiihdytyksen aikana. Sitten se laskee 50.4 N asti, mikä on työstön aikana ilmenevät tangentialinen voima.

Sen lisäksi varmuuskerroin 1.5 jo oli sovellettu aikaisemmin työstövoimiin, joten nyt voidaan suorittaa laskelmat käyttämättä sitä. Näin oli määritelty voimat, joita täytyy vastustaa:

$F_r = 0.86 \text{ N}$  – radiaalinen voima (1.72 N kahdella laakereilla)

$F_{a1} = 105 \text{ N}$  – aksiaalinen voima, joka vaikuttaa laakereihin lyhyesti kiihdytyksen aikana (0.01 s)

$F_{a2} = 50.4 \text{ N}$  – aksiaalinen voima, joka tavallisesti vaikuttaa laakereihin

### 6.4.3 Laakerin arviointi

#### 6.4.3.1 Staattiset voimat

Aluksi täytyy selvittää, kestäkö laakeri staattisten voimien alla. Voidaan huomata, että radiaalinen kuorma on niin pieni, että voidaan laiminlyödä sitä kokonaan. Loppujen lopuksi huomioon otetaan vain suurin aksiaalinen voima 105 N, joka ilmestyy kiihdytyksen aikana. SKF-luettelon mukaan, se kuorma ei vaikuta laakerin väsymiskestävyyteen (52, s 92) ja se otetaan huomioon vain staattisen lujuuden laskelmissa.

Toiseksi, luettelossa oli mainittu, että, jos kuorma on pääsääntöisesti aksiaalinen, voidaan yksinkertaistaa staattisen lujuuden laskelmat. Samaan aikaan laakerin koko myöskin vaikuttaa laakerin staattiseen lujuuteen ja jos kaikki otetaan huomioon kunnolla, voidaan määrittellä laakerin staattinen peruslujuus aksiaaliseen voimaan nähden. (52, s 255.)

$$F_a = C_0 * k = 950 * 0.25 = 237.5 \text{ N} \quad (19)$$

$F_a$  [N] – suurin mahdollinen aksiaalinen kuorma

$C_0$  [N] = 950 N – laakerin staattinen peruslujuus

$k = 0.25$  – kerroin, joka riippuu laakerin koosta ja kuorman tyypistä

Näin oli selvitetty, että suurin sallittu staattinen kuorma on kahdessa kerrassa suurempi kuin voimat, jotka vaikuttavat laakeriin. Tässä kohdassa valittu laakeri sopii hyvin.

#### 6.4.3.2 Eliniän arviointi

##### 6.4.3.2.1 Yhteinen dynaaminen voima

Nyt laakeri arvioidaan väsymiseen nähden. Tämän arvioinnin avulla voidaan määrittellä laakerin eliniän pituus siihen vaikuttavien voimien alla. Nyt huomioon otetaan pienempää voimaa, joka tavallisesti vaikuttaa laakeriin, kun kara liikkuu ilman kiihdytystä.

Ensisijaisesti täytyy kääntää radiaalinen ja aksiaalinen voimat yhteiseksi voimaksi. Sitä tehdään SKF luettelossa esitetyn kaavan avulla (52, s.105). X ja Y suureiden arvot myöskin löytyvät kirjasta (52, s.257).

$$P = X * Fr + Y * Fa = 0.56 * 0.86 + 1.45 * 50.4 = 73.6N \quad (20)$$

P [N] – yhteinen voima

X = 0.56 – kerroin radiaalista voimaa varten (löytyy taulukosta)

Y = 1.45 – kerroin aksiaalista voimaa varten (löytyy taulukosta)

Fr [N] – radiaalinen voima

Fa [N] – aksiaalinen voima

#### 6.4.3.2.2 Peruselinikä

Nyt, kun yhteinen dynaaminen voima on tiedossa, voidaan soveltaa luettelossa annettua laakerin eliniän peruskaavaa (52, s.89).

$$L_1 = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{2360}{73.6}\right)^3 = 33,000 \text{ miljoona kierrosta} \quad (21)$$

L<sub>1</sub> [miljoona kierrosta] – laakerin peruselinikä (90% luotettavuus)

C [N] = 2360 N – laakerin dynaaminen lujuus

P [N] = 73.6 N – yhteinen voima

p = 3 – tekijä, joka riippuu laakerin tyypistä

#### 6.4.3.2.3 Todellinen elinikä

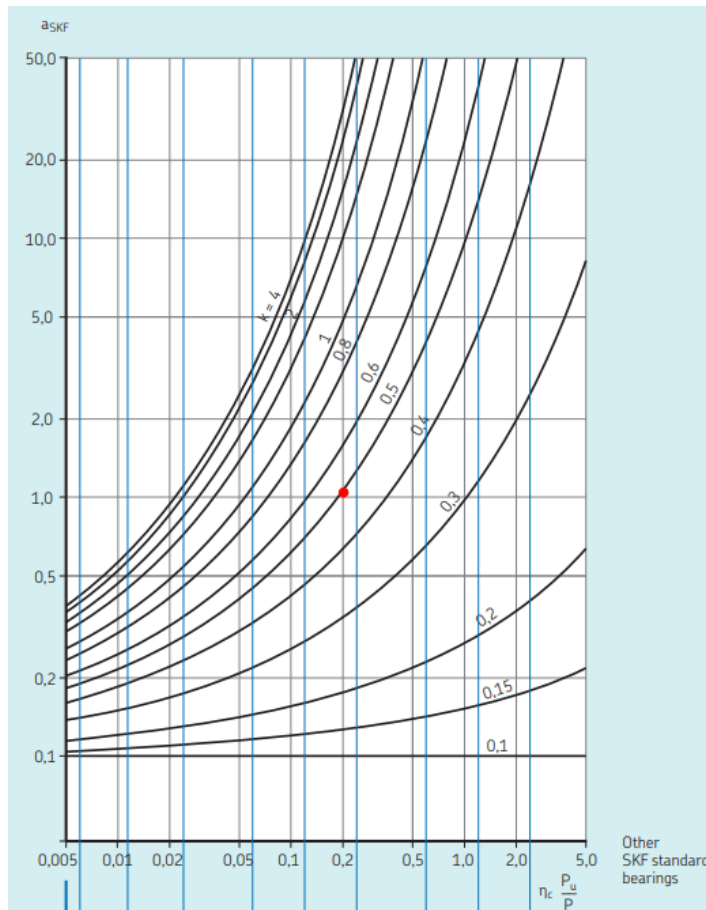
Näin on määritelty laakerin peruselinian pituus. Kuitenkin luettelon mukaan voidaan määritellä laakerin elinikä tarkemmin ottamalla huomioon laakerin voitelua ja sen puhtautta. Samaa aikaan suunnittelija päätti lisätä tekijän, joka on olemassa kiihdytyksen aikana ilmenevän suuremman voiman vuoksi, ja sen tekijän avulla voidaan ottaa se äkillinen kuorma huomioon (tai shock loading englanniksi).

Ensisijaisesti täytyy määritellä voitelusta riippuva kerroin  $k$ . Sen avulla voidaan ymmärtää se, kuinka sopiva on laakerin voitelu. Jos  $k < 1$ , sitten laakeri oli voiteltu huonosti, mikä haittaa sen toimintaa. Jos  $k = 1$ , sitten voitelu on kohtuullinen ja se ei haittaa, eikä paranna laakerin elinikä. Jos  $k > 1$ , sitten voitelu on erinomainen ja se voi rajusti pidentää laakerin elinikää (52, s.102). Tässä tapauksessa suunnittelija arvioi, että laakerin voitelu on huonompi kuin kohtuullinen, koska käyttäjä voi huonosti pitää siitä huolta, kun kone on käytössä, siis  $k = 0.5$ .

Sitten täytyy määritellä laakerin sisäistä puhtautta  $\eta$ , mikä voidaan tehdä luettelossa annettujen puhtaustaulukon mukaan (52, s.104-105). Jos  $\eta = 1$ , laakerin sisäinen puhtaus on erinomainen ja voitelu oli hyvin suodatettu, ennen kuin se pääsi laakeriin. Jos  $\eta = 0.1$ , sitten laakerin sisällä on likaa, tai se oli pahasti kulu-  
nut käytössä. Suunnittelija arvioi, että laakerin puhtaus on  $\eta = 0.4$ , koska samoin kuin ennen, käyttäjä voi huonosti pitää siitä huolta ja samaan aikaan työstön aikana luodaan paljon lastuja, jotka satunnaisesti voivat päästä laakerin sisään.

Sen lisäksi täytyy ottaa huomioon äkilliset kuormat, jotka ilmenevät, kun kara kiih-  
tyy. Sitä varten suunnittelija otti suositukset Juvinal R. ja Marshek K. konesuun-  
nittelun oppikirjasta (56, s.609). Sen kirjan avulla voidaan määritellä kuorman  
luoma varmuuskerrointa. Tässä tapauksessa kuormaa voidaan pitää lievänä, siis  
varmuuskerroin on  $s = 1.5$ .

Nyt voidaan määritellä kerroin  $a_s$ , joka riippuu kuormasta, laakerin voitelusta ja  
puhtaudesta. Sitä varten sovelletaan luettelossa esitettyä kaaviota, joka näkyy  
kuvassa 49. Tietämällä, että laakerin väsymisraja  $P_u = 40$  N, kerroin  $a_s$  helposti  
löytyy. (52, s.96.)



**Kuva 49.**  $a_s$  kertoimen määrittely (52)

Voidaan nähdä, että niissä olosuhteissa kerroin  $a_s = 1$  ja se ei vaikuta laakerin elinikää.

Näin, kun voitelun, lian ja äkillisen kuorman vaikutukset oli otettu huomioon, voidaan määrittellä laakerin elinikä uudestaan.

$$L_2 = \frac{L_1 * a}{K a} = \frac{33,000 * 1}{1.5} = 22,000 \text{ miljoona kierrosta (22)}$$

$L_2$  [miljoona kierrosta] – laakerin todellinen elinikä (90% luotettavuus)

$L_1$  [miljoona kierrosta] – laakerin peruselinikä (90% luotettavuus)

$a = 1$  – kerroin, joka riippuu kuormasta, laakerin puhtaudesta ja voitelusta

$K a = 1.5$  – äkillisen kuorman määrittelemä kerroin

Voidaan nyt kääntää laakerin elinikää tunniksi, käyttämällä ruuvien kierrosnopeutta.

$$L_{2t} = \frac{L_2 * 10^6}{60 * n} = \frac{22,000 * 10^6}{60 * 800} = 458,000 \text{ tuntia (23)}$$

$L_{2t}$  [miljoona kierrosta] – laakerin todellinen elinikä tunneissa (90% luotettavuus)

$L_2$  [miljoona kierrosta] – laakerin todellinen elinikä kierroksissa (90% luotettavuus)

$n$  [r/min] = 800 r/min – ruuvien kierrosnopeus

Näin oli selvitetty, että laakerien elinikä on niin suuri, että siitä ei kannata tulevaisuudessa murehtia. Laakeri 626-2RSH sopii erinomaisesti. Myöhemmin näitä aikaisemmin tehtyjä laskelmia sovelletaan koko koneen yhteisen eliniän arvioinnissa.

#### 6.4.3.3 Kierrosnopeus

Nyt täytyy selvittää kestäkö valittu laakeri työstön aikana ilmenevää lämpöä. Onneksi luettelossa jokaisella laakerilla on oma kriittinen kierrosnopeus ja, jos laakeri ei pyöri niin nopeasti kuin sen kriittinen nopeus on, ei erikoislaskelmia tarvita (52, s.135).

Tässä tapauksessa tarvittava kierrosnopeus on 800 r/min. Samaan aikaan, luettelossa mainittu valitun laakerin kriittinen kierrosnopeus on 24,000 r/min, mikä on paljon enemmän kuin tarvittava nopeus. Sen avulla voidaan ymmärtää, että valittu laakeri myös sopii sen nopeuden puolesta.

#### 6.4.4 Lopullinen valinta

Kaikkien laskelmien jälkeen voidaan kertoa, että valittu 626-2RSH laakeri kelpaa tehtävänsä erinomaisesti. Samaan aikaan jopa suurempien voimien alla se laakeri kestää hyvin, mikä on hyvä varmuuskerroin.

**Lopullinen valinta:** 626-2RSH laakeri

## **6.5 Lineaarilaakerit ja tangot**

Lineaarilaakerien valintaa toteutetaan samalla tavalla kuin urakuulalaakerien valintaa, koska niiden rakenne on melko samankaltainen ja ainoa ero on se, että niiden avulla osia ei pyöritetä, vaan liikutetaan suoraviivaisesti. Samaan aikaan myöskin tehdään tankojen valinta, koska esimerkiksi niiden kovuudella määritellään laakerien ja tankojen yhteistä elinikää.

Tässä osassa arvioidaan pääsääntöisesti laakerien suorituskykyä. Tankojen arviointi tapahtuu jäykkyysanalyysin aikana, jossa huomioon myöskin otetaan runko. Silloin koneen rakenteen taipumista selvitetään.

### **6.5.1 Laakerien ja tankojen valinta**

Samoin kuin aikaisemmin, aluksi valitaan saatavissa olevat tangot ja laakerit, joita voidaan helposti tilata ja sitten käyttää koneen kokoonpanossa. Samaan aikaan niiden hinta on tiedossa, mitä hyödynnetään tulevassa hinnan laskelmassa. Ne valitut osat voidaan pitää halvimpina vaihtoehtoina ja jos ne kelpaavat, niistä tehdään lopullinen valinta. Toisin, jos analyysin aikana käy ilmi, että yksi tai molemmat vaihtoehdot eivät sovi, sen analyysin perusteella voidaan tehdä toinen tarkempi valinta.

#### **6.5.1.1 Tangot**

Suunnittelija päätti soveltaa suunnitteluprojektissa 12 mm paksuja lineaarijoh-teita, koska tangon paksuudesta riippuu sen jäyhyysmomentti, mikä määrittelee sen jäykkyyttä. Samaan aikaan tangon kovuus on tärkeä, koska sitä käytetään tankojen ja lineaarilaakerien yhteisen eliniän laskelmissa, siis sitä myöskin otetaan huomioon. Lopuksi tangon jäykkyyden tai toisin sanoen sen elastisen ker-toimen on oltava korkea, koska siitä myöskin riippuu se, kuinka suuresti tanko taipuu laakereilta tulevien voimien alla.

Aluksi valittiin C45 teräksestä tehdyt karkaissut lineaaritangot (57), joita melko helposti löytyy kiinalaisilta markkinoilta. Niiden pinnan kovuus HRC 58 on melko hyvä, ja tankojen halkaisija on se, mitä tarvitaan ja sopii hyvin. Tuottaja ei antanut tankojen kimmokerrointa, kuitenkin kerroin löytyy helposti netistä ja se on 205 GPa (58), mikä on keskimääräinen terän arvo.

**Aluksi valittu tanko:** 12 mm C45 karkaissut teräksestä tehdyt lineaaritangot

### 6.5.1.2 Laakerit

Laakerien halkaisija riippuu tankojen halkaisijasta ja on myöskin 12 mm. Suunnittelija päätti valita aluksi koteloidun SCS12 lineaarilaakerin mallin (59). Sen laakerin kotelon leveän pohjan vuoksi työstöpöydän ja muiden osien taipuminen ei ole niin kova ja koko koneen taipuminen pikemminkin riippuu sen rungon ja johnteiden jäykkyydestä.

**Aluksi valittu lineaarilaakeri:** SCS 12UU koteloitu lineaarilaakeri

### 6.5.2 Laakereihin vaikuttavat voimat

Laakereilla ja tangoilla pääsääntöisesti kompensoidaan trapetsiruuvin ja terän (radiaalinen työstövoima) välillä luotavaa vääntömomenttia, jos liikkuminen tapahtuu akselia pitkin. Toisin, jos liikkuminen ei ole akselia pitkin, ruuvilla kompensoidaan tangentiaalista työstövoimaa ja sen luomaa vääntömomenttia. Sen lisäksi työkappaleen kiihdytyksen aikana ilmenevä vääntömomentti myöskin kompensoidaan lineaarilaakereilla.

Kaikki laskelmat tehdään paperilla, koska sillä tavalla voidaan joustavasti tehdä muutoksia. Näin aluksi haluttiin asettaa Y- ja Z-akseleihin vain kaksi lineaarilaakeria, mutta pian huomattiin, että valitulla laakerityypillä ei voida kompensoida momenttia (se on mahdollinen vain lineaarikiskoilla) ja kaikissa akseleissa tarvitaan edes 4 eri laakeria.

#### 6.5.2.1 X-akseli

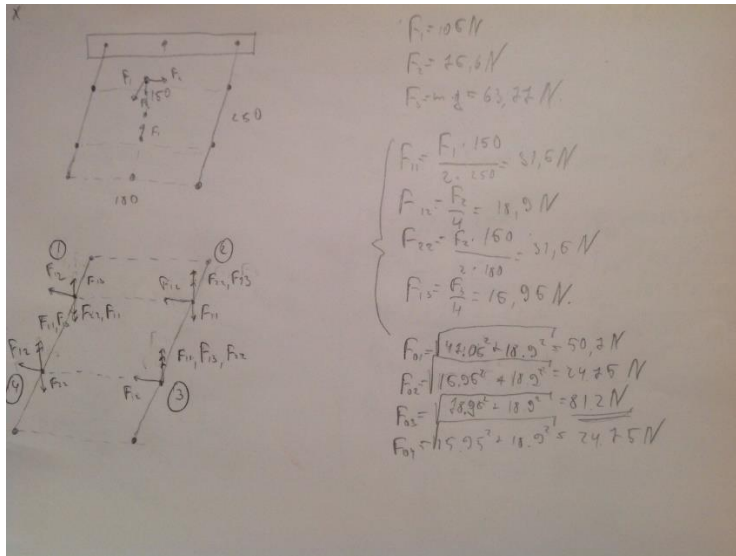
X-akseliin vaikuttavat voimat ovat pienimpiä (Kuva 50), koska siinä etäisyys laakerien välillä on melko suuri mikä suuresti vähentää momentin luomia voimia. Työstöpöytää tuetaan neljällä eri laakerilla. Laskelmat tehdään niin, että työstövoimat ilmenevät työstöpöydän keskellä, kuitenkin niiden korkeus on suurin mahdollinen. Näin arvioidaan kriittistä tilannetta, kun työkappaleen koko on suuri.

Työstöpöytään vaikuttava voimat:

1.  $F_1$ - radiaalinen työstövoima ja kiihdytyksen aikana tarvittava kiihdytysvoima



2.  $F_2$ - tangentialinen työstövoima
3.  $F_3$ - työkappaleen ja työstöpöydän yhteinen paino



**Kuva 50.** X-akselin laakereihin vaikuttavat voimat

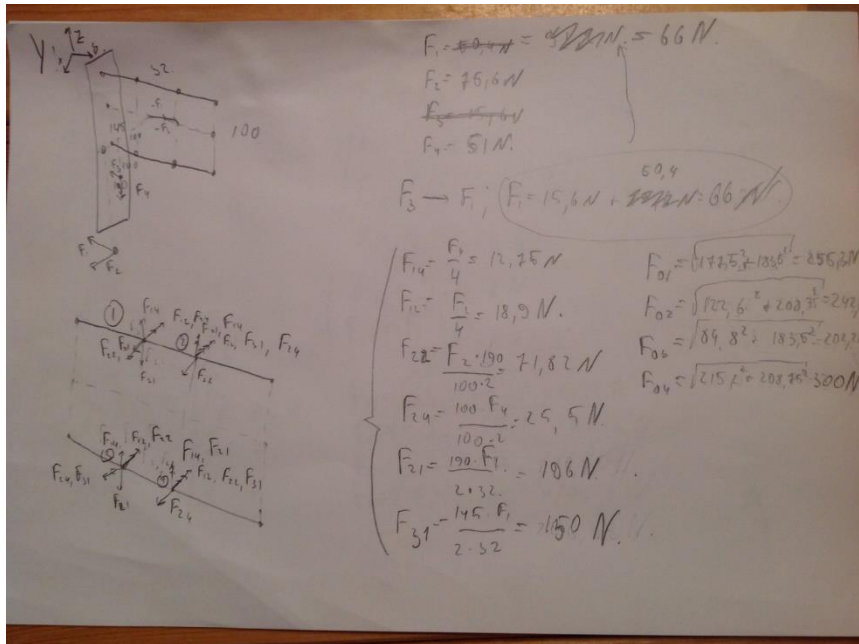
Loppujen lopuksi kävi ilmi, että suurin voima 81.2 N vaikuttaa kolmanteen laakeeriin. Sitä käytetään myöhemmin koko laakerien eliniän laskelmissa.

### 6.5.2.2 Y-akseli

Y-akseliin vaikuttavat voimat ovat suurimpia (Kuva 51), koska niiden luomat vääntömomentit ovat melko suuria ja samaan aikaan etäisyys tankojen välillä on pieni. Tarvittaessa voitaisiin leventää etäisyyttä, mutta se voisi haitata rungon jäykkyyttä, joten suunnittelija päätti jättää sen tekemättä. Laskelmat tehdään niin, että terä on sen alimmassa asennossa, minkä vuoksi vääntömomenttien suuret kohoavat. Samaan aikaan karan kokoonpanon painopiste oli asetettu terän kärkeen, mikä yksinkertaistaa laskelmia suuresti.

Y-akseliin vaikuttavat voimat:

1.  $F_1$ - radiaalinen työstövoima johon liitetään kiihdytystä varten tarvittava voima
2.  $F_2$ - tangentialinen työstövoima
3.  $F_3$ - kiihdytystä varten tarvittava voima (liitetään ensimmäiseen voimaan)
4.  $F_4$ - kokoonpanon paino



**Kuva 51.** Y-akselin laakereihin vaikuttavat voimat

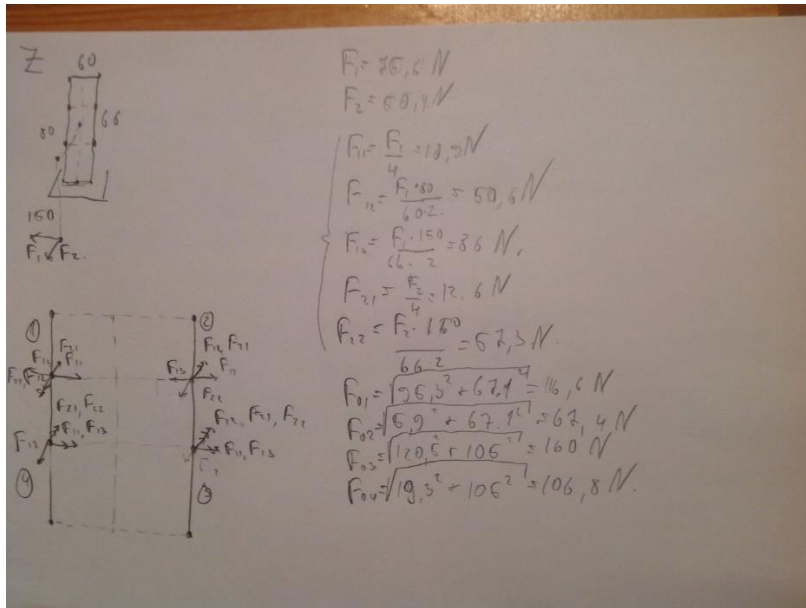
Loppujen lopuksi kävi ilmi, että suurin voima 300 N vaikuttaa neljanteen laakeriin. Sitä käytetään myöhemmin koko laakerien eliniän laskelmissa.

### 6.5.2.3 Z-akseli

Huomattiin, että Z-akselissa myöskin tarvitaan edes neljä laakeria (Kuva 52), koska toisin ilmenevä vääntömomentti olisi voinut helposti haitata koneen toimivuutta. Työstön aikana Z-akseli ei liiku, koska kara tavallisesti etenee X- ja Y-akseleja pitkin. Sen vuoksi kiihdytystä varten tarvittavaa voimaa ei oteta huomioon ja sen lisäksi sen kokoonpanon paino on niin pieni, että sitä ei tarvitse lisätä yhtälöihin.

Z-akseliin vaikuttavat voimat:

1.  $F_1$ - radiaalinen työstövoima
2.  $F_2$ - tangentialinen työstövoima



**Kuva 52.** Z-akselin laakereihin vaikuttavat voimat

Loppujen lopuksi kävi ilmi, että suurin voima 160 N vaikuttaa kolmanteen laakereihin. Sitä käytetään myöhemmin koko laakerien eliniän laskelmissa.

### 6.5.3 Lineaarilaakerien arviointi

Nyt kun laakerit ja tangot oli alustavasti valittu ja laakereihin vaikuttavat voimat ovat tiedossa, voidaan toteuttaa lineaarilaakerien arviointia. Sitä varten käytetään sekä tankojen ja laakerien tuottajien antamaa tietoa (57, 59), että SKF yrityksen lineaarilaakerien ohjeita (43), joiden mukaan voidaan valita ja arvioida laakerit kunnolla.

#### 6.5.3.1 Staattinen kuorma

Aluksi täytyy varmistaa se, että laakereihin vaikuttavat voimat eivät aiheuta vakituista vahinkoa. Tässä tapauksessa, kun lineaarilaakerien nopeus on melko alhainen, suurin staattinen kuorma  $C_0$  on tärkeässä asemassa (43, s.17).

Täytyy säätää  $C_0$  niin, että huomioon otetaan laakerien peruslujuuden lisäksi myöskin muut tekijät. Valittujen laakerien peruslujuus  $C_0 = 784$  N (59).

##### 6.5.3.1.1 Tankojen taipumisen vaikutus $f_m$

Ohjeiden mukaan, tankojen taipuminen  $f_m$  vähentää  $C_0$  suuresta suuresti, joten se kannattaa ottaa huomioon. Kuitenkin, se ei vaikuttaa lineaarilaakereihin, jos

muutos on vain viisi minuuttia tai 0.083 astetta (43, s.34). Näin voidaan laskea tankojen suurin sallittu taipumusta.

$$c = \frac{l}{2} * \tan 0.083 \quad (24)$$

c [mm] – tangon taipuminen

l [mm] – tankojen pituus

$\tan 0.083 = 0.00145$  – sallitun kulman tangentti

Soveltamalla edellä mainittua kaavaa numero 19, voidaan löytää jokaisen akselin taipuminen.

$$cx = \frac{600}{2} * \tan 0.083 = 0.435 \text{ mm} \quad (24)$$

$$cy = \frac{260}{2} * \tan 0.083 = 0.189 \text{ mm} \quad (24)$$

$$cz = \frac{150}{2} * \tan 0.083 = 0.11 \text{ mm} \quad (24)$$

On selvä, että ne taipumisen suuret eivät ole hyväksyttäviä tässä projektissa, koska niiden vuoksi koneen tarkkuus voi huonontua. Jos analyysin aikana niin suuri epämuotoisuus ilmenee, koneen rakennetta on muutettava. Siis, tankojen epämuotoisuus ei vaikuta laakerien lujuuteen.

#### 6.5.3.1.2 Tankojen kovuus $f_h$

Tankojen kovuus myöskin vaikuttaa siihen, kuinka suuria voimia voidaan laittaa laakerien päälle (Kuva 53). Kuitenkin valitun tangon tyyppin kovuus on edes 58 HRC, kerroin  $f_h = 1$  ja voiman suuruus riippuu pikemminkin laakerista. Taulukossa alla näkyy eri kovuuden vaikutus (43, s.13).

Table 2.3: Comparison of hardness. Vickers hardness HV (to ISO 409) and Rockwell C hardness to Euronorm

HV	HRC	$f_n$	$f_{n0}$
430	44	0,44	0,61
440	45	0,46	0,63
455	46	0,49	0,65
470	47	0,52	0,68
480	48	0,55	0,71
500	49	0,58	0,73
510	50	0,62	0,76
530	51	0,66	0,79
545	52	0,69	0,82
560	53	0,74	0,85
580	54	0,78	0,88
600	55	0,83	0,92
620	56	0,88	0,95
640	57	0,93	0,99
675	58	1,0	1,0
700	59	1,0	1,0

### Kuva 53. Tangon kovuuden vaikutus (43)

#### 6.5.3.1.3 Yhteinen voima

Aikaisemmin oli jo määritelty laakereihin vaikuttavien voimien suuruutta, joten nyt vain täytyy valita niistä suurin. Suurin voima ilmenee Y-akselissa ja se on 300 N, joten sitä sovelletaan yhteisen voiman  $P_0$  laskelmissa. Ehdotetaan, että 300 N voima vaikuttaa laakeriin vakituisesti työstön aikana ja sitten se laskee nolnaan, kun kone ei toimi. Se ei ole totta, mutta sillä tavalla laskelmat yksinkertaistetaan ja samaan aikaan se ei haittaa laskelmien laatua, koska jos pienin voima on nolaa suurempi, yhteisen voiman suuruus vähennetään (43, s.15).

SKF ohjeiden mukaan, vaihtelevan kuorman vaikutus korottaa yhteistä voimaa, joten se otetaan huomioon. Aikaisemmin oli mainittu, että suurin voima on 300 N ja pienin on 0 N, joten nyt alla esitetyn kaavan avulla voidaan löytää sen kuorman vaikutus.

$$f_{T0} = 2 * \frac{F_{max}}{F_{min} + F_{max}} = 2 \quad (25)$$

$f_{T0}$  – vaihtelevan kuorman kerroin

$F_{max}$  [N] – suurin voima

$F_{min}$  [N] – alhaisin voima

Nyt vaihtelevan kuorman kerroin  $f_{T0}$  on tiedossa. Sen avulla voidaan laskea lopullinen yhteinen voima, joka ilmenee koneessa. Sitä varten sovelletaan kaavaa SKF yrityksen ohjeista (43, s.18).

$$P_0 = f_{T0} * F_{max} = 2 * 300 = 600 \text{ N} \quad (26)$$

$P_0$  [N] – yhteinen voima

$f_{T0}$  – vaihtelevan kuorman kerroin

$F_{max}$  [N] – suurin voima

#### 6.5.3.1.4 Lopullinen kuorma ja varmuuskerroin

Nyt, kun muiden tekijöiden vaikutus on arvioitu, voidaan laskea lopullinen sallittu kuorma. Onneksi, ne tekijät eivät vähennä sallittua staattista kuormaa, koska 600 N yhteinen voimaa oli kaksinkertaistettu vaihtelevan kuorman vuoksi. Samaan aikaan tuottajan antaman tiedon mukaan laakerien staattinen lujuus on 784 N, mikä on suurempi, kuin laskettu yhteinen voima.

Nyt voidaan määritellä varmuuskerroin.

$$s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{784}{600} = 1.3 \quad (27)$$

Näin oli määritetty, että kriittisimmässä kohdassa valittu SCS 12UU laakeri kestää staattisen kuorman alla ja sitä voidaan myöhemmin soveltaa koneen suunnittelussa.

#### 6.5.3.2 Eliniän arviointi

Nyt, kun on tiedossa, että laakerit kestävät staattisia voimia, voidaan laskea niiden elinikää. Sitä varten myöskin hyödynnetään SKF yrityksen ohjeita.

##### 6.5.3.2.1 Dynaaminen kuorma

Laakerin elinikä arvioidaan dynaamisen kuorman suhteen, joten ensiksi täytyy löytää suurin dynaaminen yhteinen voima. Yhteistä voimaa voidaan laskea alla esitetyn kaavan avulla (43, s.14-16).

$$P = F * f_T * f_m * f_t \quad (28)$$

$P$  [N] – yhteinen voima

$F$  [N] – laakerin vaikuttava voima

$f_T$  – vaihtelevan kuorman kerroin

$f_m$  – tankojen taipumisen kerroin

$f_t$  – kohonneen lämpötilan kerroin

Vaikuttavana voimana käytetään Y-akselissa ilmenevää 300 N voimaa. Aikaisemmin oli määritelty, että tankojen epämuotoisuuden vaikutusta  $f_m$  voidaan laiminlyödä. Samaan aikaan kone toimii huonelämpötilassa ja lämmön vaikutus laakereihin myöskin voidaan jättää huomiotta (Kuva 54).

Table 2.5: Influence of operating temperature (°C)

t	$f_t / f_{t0}$
125	1,01
150	1,04
175	1,09
200	1,17
225	1,26
250	1,38

#### Kuva 54. Lämmön vaikutus (43)

Vaihtelevan kuorman vaikutus (Kuva 55) on kuitenkin olennainen ja se kannattaa ottaa huomioon. Onneksi aikaisemmin lasketun staattisen kertoimen avulla voidaan määrittellä myöskin dynaamista kerrointa käyttämällä SKF yrityksen ohjeissa esitettyä taulukkoa (nähtävissä alla). (43, s.16.)

Table 2.7 Load fluctuation factors  $f_r$  and  $f_{TD}$ , with  $f_{TD} = 2 \cdot F_{max} / (F_{max} + F_{min})$

p =	3	3	10 / 3	10 / 3	any others
$f_{TD}$	$f_{T,SIN}$	$f_{T,LIN}$	$f_{T,SIN}$	$f_{T,LIN}$	$f_{T,approx}$
1,1	1,005	1,003	1,006	1,004	1,005
1,2	1,020	1,013	1,023	1,015	1,020
1,3	1,043	1,029	1,050	1,034	1,043
1,4	1,074	1,051	1,085	1,058	1,073
1,5	1,112	1,077	1,127	1,088	1,109
1,6	1,155	1,108	1,174	1,123	1,149
1,7	1,202	1,142	1,225	1,160	1,193
1,8	1,251	1,179	1,278	1,201	1,240
1,9	1,304	1,219	1,334	1,244	1,288
2,0	1,357	1,260	1,390	1,288	1,337

#### Kuva 55. Äkillisin kuorman vaikutus (43)

Taulukon mukaan, jos staattinen kerroin on 2, sitten urakuulalaakerien dynaaminen kerroin on 1.26 (ehdotetaan, että voimat muuttuvat suoraviivaisesti). Nyt, kun kaikki tarvittava tieto on selvä, voidaan kunnolla laskea yhteistä voimaa  $P$ .

$$P = F * f_T * f_m * f_t = 300 * 1 * 1 * 1.26 = 378 \text{ N} \quad (28)$$

Suurin koneessa ilmenevä yhteinen dynaaminen kuorma on 378 N. Sen avulla voidaan laskea laakerin peruselinikä, mutta ensiksi täytyy löytää laakerin todellinen dynaaminen lujuus  $C_t$ .

#### 6.5.3.2.2 Todellinen dynaaminen lujuus $C_t$

Tankojen ja lineaarilaakerien todellista dynaamista lujuutta myöskin täytyy muokata ennen soveltamista. Alla esitetty kaava on otettu SKF yrityksen ohjeista ja sen avulla määritellään todellista lujuutta (43, s.13).

$$C_t = C * f_h * f_i \quad (29)$$

$C_t$  [N] – laakerien ja tankojen järjestelmän todellinen dynaaminen lujuus

$C$  [N] = 510 N – laakerin dynaaminen lujuus (antaa tuottaja)

$f_h$  – tankojen kovuuden määrittelemä kerroin

$f_i$  – laakerien määrän määrittelemä kerroin

Aikaisemmin kävi ilmi, että tankojen kovuus ei haittaa laakerien toimintaa ja sen kerroin  $f_h = 1$ . Samaan aikaan laakerien määrän vuoksi järjestelmän yhteinen dynaaminen lujuus vähenee. Kuitenkin, kuorma laakerien järjestelmän päällä on erilainen, joten tätä kerrointa ei sovelleta ja kaavassa sen on oltava 1. Myöhemmin lasketaan koko koneen yhteinen elinikä, mutta nyt laskelmat tehdään vain yksittäisille laakereille.

Näin voidaan laskea järjestelmässä olevan yksittäisen laakerin dynaamista lujuutta.

$$C_t = C * f_h * f_i = 510 * 1 * 1 = 510 \text{ N} \quad (29)$$

Nyt voidaan laskea laakerin todellinen elinikä.



### 6.5.3.2.3 Todellinen elinikä

Laakerin todellinen elinikä lasketaan helposti SKF yrityksen ohjeista otetun alla esitetyn kaavan avulla (43, s.19).

$$L = c_1 * c_2 * f_s * \left(\frac{C_t}{P}\right)^p \quad (30)$$

$L_1$  [sataa tuhatta metriä] – laakerin peruselinikä

$c_1$  – luotettavuuden kerroin (jos luotettavuus on 90%,  $c_1 = 1$ )

$c_2$  – puhtaudesta ja voitelusta riippuva kerroin (nyt  $c_2 = 1$ )

$f_s$  – kerroin, jota käytetään, jos laakerien meno tankoja pitkin on lyhyt (nyt  $f_s = 1$ )

$p$  – laakerin tyypistä riippuva tekijä (kuulalaakerien  $p = 3$ )

$C_t$  [N] – laakerien ja tankojen järjestelmän todellinen dynaaminen lujuus

$P$  [N] – yhteinen voima

Samoin kuin ennen, ehdotetaan, että voitelu ja lika eivät paranna eivätkä haittaa laakerin elinikää (esimerkki edellisessä kappaleessa), siis  $c_2 = 1$ . Samaan aikaan luotettavuus 90% kelpaa hyvin ja laakerien meno tankoja pitkin on tarpeeksi suuri, joten  $c_2 = 1$  ja  $f_s = 1$ .

Loppujen lopuksi voidaan laskea lopullinen todellinen elinikä.

$$L = c_1 * c_2 * f_s * \left(\frac{C_t}{P}\right)^p = 1 * 1 * 1 * \left(\frac{510}{378}\right)^3 = 2.456 \text{ sataa tuhatta metriä} \quad (30)$$

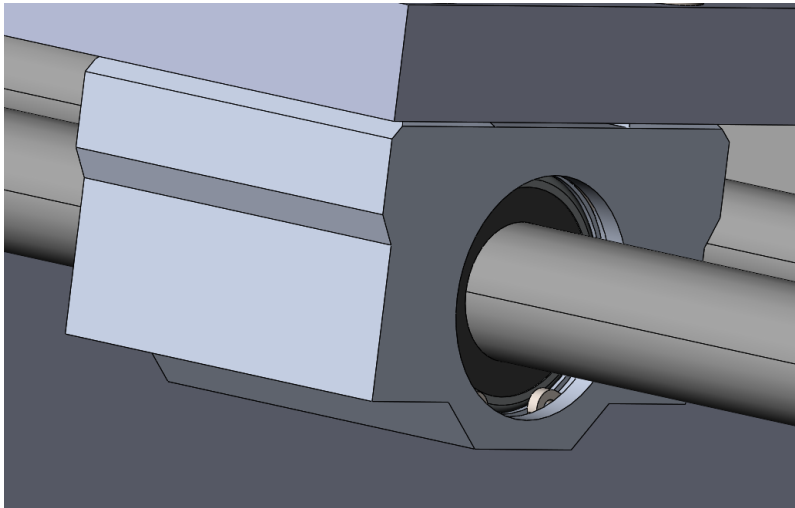
Kävi ilmi, että jopa kriittisimmässä kohdassa oleva laakeri voi mennä edes 245600 metriä tankoa pitkin, ennen kuin väsyminen ilmenee (90% luotettavuus). Näin voidaan kääntää sitä tunniksi, tietämällä, että tarvittava nopeus on 1.9 m/min. Sen lisäksi tätä tuntien määrää kaksinkertaistetaan, koska ehdotetaan, että sekä X-, että Y-akseleja pitkin laakerit menevät yhtä paljon.

$$L_t = \frac{L * 2}{v * 60} = \frac{2.456 * 10^5 * 2}{1.9 * 60} = 4308 \text{ tuntia} \quad (31)$$

Näin on arvioitu, että jopa suurimman voiman alla valitut yksittäiset laakeri ja tanko kestävät ainakin neljä tuhatta tuntia. Ehdottomasti, koko järjestelmän yhteinen elinikä lyhenee, mutta suunnittelijan mielestä valittujen osien suorituskyky on melko hyväksyttävä ja niitä voidaan soveltaa koneen suunnittelussa.

#### 6.5.4 Lopullinen valinta

Kaikkien laskelmien jälkeen voidaan kertoa, että valittu SCS 12UU laakeri kelpaa tehtäväänsä erinomaisesti. Samaan aikaan jopa suurempien voimien alla se laakeri kestää hyvin, tangon ja laakerin yhteinen elinikä on sopiva. Alla voidaan nähdä niiden yhteinen kuva (Kuva 56).



**Kuva 56.** Lineaarilaakeri ja tanko

**Lopullinen valinta:** SCS 12UU koteloitu lineaarilaakeri, 12 mm C45 karkaissut teräksestä tehdyt lineaaritangot

#### 6.6 Askelmoottori

Koneen kolmiulotteisessa mallissa on sovellettu NEMA 17 askelmoottoria. Suunnittelija arvasi, että se moottorin tyyppi sopii hyvin sen luomien vääntömomentin ja nopeuden vuoksi. Valinnan aikana on huomattu, että huolimatta siitä, että kaikilla NEMA 17 moottoreilla on sama korkeus ja leveys, niiden pituus vaihtelee ja siitä riippuu tietyn moottorin suorituskyky ja vääntömomentti/kierrosnopeus käyrä (60). NEMA 17 moottoreilla voi olla kolme eri pituuden luokkaa. Ne ovat nähtävissä kuvassa 57.

Description	Length
(Stack)	"L" Max
Single	39.8 mm (1.57 in)
Double	48.3 mm (1.90 in)
Triple	62.8 mm (2.47 in)

**Kuva 57.** Nema 17 moottorien pituuden luokat (60)

Sen lisäksi moottorin kuluttamat virta ja jännite määrittelevät sen tehokkuutta. Samaa moottoria voidaan pyörittää eri jännitteellä ja sen avulla parantaa sen vääntömomentti/kierrosnopeus käyrää (61). Jännite riippuu moottorin ohjaimesta. Tässä ehdotetaan, tuleva moottorin ohjain voi lähettää moottoriin 12 V, 24 V ja tarvittaessa 36 V jännitettä.

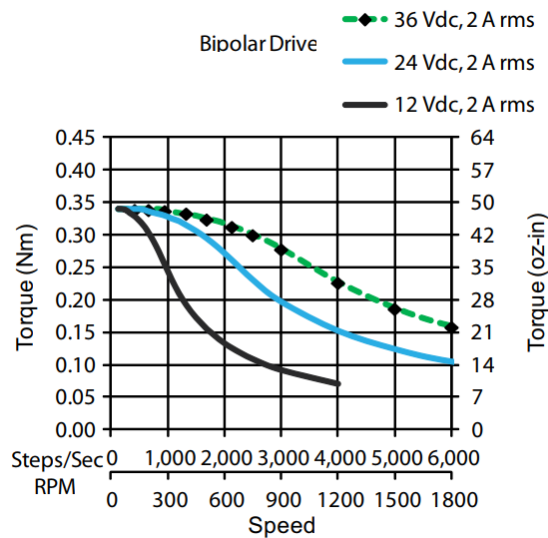
Tietämällä sen, voidaan helposti valita sopiva vaihtoehto käyttämällä PBC Linear yrityksen tietoa eri moottorien suorituskyvyistä (62). Samoin kuin ennen, suunnittelija päätti aluksi valita edullisen vaihtoehdon, joka näyttää tehtävään sopivalta. Näin oli valittu 17HS16-2004S1 moottori, jonka pituuden luokka on yksi (40 mm alemmin) ja jonka hinta on vain 11\$ (63).

**Aluksi valittu askelmoottori:** 17HS16-2004S1- NEMA 17 askelmoottori, ensimmäinen pituuden luokka

### 6.6.1 Valitun moottorin arviointi

Nyt kun sekä moottorissa luotava jännite että moottorin pituuden luokka ovat tiedossa, voidaan arvioida sitä kunnolla. Aikaisemmin oli määriteltä, että tarvittava kiihdytyksen vääntömomentti on 0.141 Nm (X-akselissa ilmenevä suurin kooneessa) ja moottorin kierrosnopeuden on oltava 800 r/min. Ilman muuta, vakituisella nopeudella tarvitaan vähemmän vääntömomenttia, mutta kiihdytyksen aikana on olemassa se kohta, kun kierrosluku on melkein 800 r/min, mutta kiihdytys on vielä päällä. Sen vuoksi tarvitaan, että moottorin luoma vääntömomentti olisi enemmän kuin edellä mainittu tarvittava koko kiihdytyksen aikana ja olisi edes 0.141 Nm, kun tarvittava kierrosluku oli saavutettu.

Kuvassa 58 on nähtävissä PBC Linear yrityksen kehitetty kaavio, jonka mukaan voidaan arvioida moottorin suorituskykyä eri kierrosnopeuksilla.



**Kuva 58.** Ensi pituuden luokkaisten moottorien suorituskyky (62)

Ilman muuta, se moottori tarvitse ainakin 24 V jännitettä saavuttaakseen tarvittavaa vääntömomenttia kiihdytyksen aikana. Samaan aikaan, sillä jännitteellä moottorin vääntömomentti laskee 0.15 N\*m alle vain, kun kierrosluku on suurempi kuin 1200 r/min. Sillä varmistetaan, että askelmoottori ei menetä askelia työstön aikana ja sen lisäksi voi jopa toimia nopeammin tai työstöpöydän päälle voidaan laittaa painavimmat työkappaleet.

**Lopullinen valinta:** 17HS16-2004S1- NEMA 17 askelmoottori, ensimmäinen pituuden luokka

### 6.6.2 Muut moottoriin liittyvät osat

Trapetsiruuvien laakerien suunnittelun aikana huomattiin, että moottorin päälle ei kannata laittaa aksiaalisia voimia (Kuva 59). Siitä oli mainittu PBC Linear yrityksen antamassa tiedossa (kuva on nähtävissä alla).



Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push
Radial	65 N (15 lbs.) Pull
IP Rating	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
Approvals	40
Operating Temp	RoHS
Insulation Class	-20° C to +40° C
Insulation Resistance	B, 130° C
	100 MegOhms

Standard shaft motor shown.

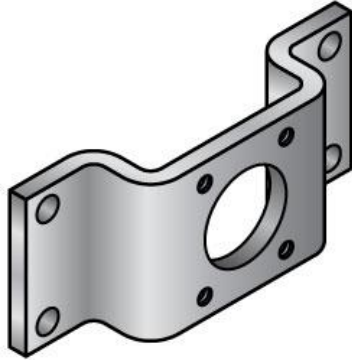
### **Kuva 59.** NEMA 17 askelmoottorin ominaisuudet (62)

Sen vuoksi laakerit oli suunniteltu niin, että niillä kompensoidaan kaikki ilmenevät voimat, ja moottorilta koneeseen tulee vain vääntömomentti. Sen vuoksi täytyy käyttää joustavaa liitintä (64), joka antaa tälläisen mahdollisuuden (Kuva 60), toisin kuin kiinteä liitin, jota haluttiin käyttää alun perin.



### **Kuva 60.** Joustava liitin (64)

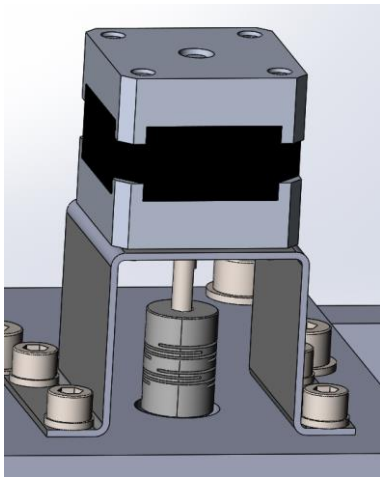
Samaan aikaan ruuvin laakerit asetetaan rungon sisään, joten täytyy asettaa moottori koneen ulkopuolella. Näin tekivät esimerkiksi CNC 6040 koneen suunnittelijat (75), joten se näyttää melko luotettavalta vaihtoehdolta. Sitä varten täytyy käyttää moottorin pidikettä, joka näkyy kuvassa 61 ja johon kiinnitetään moottori, minkä jälkeen sitä kiinnitetään koneen runkoon (76). Sitten moottorin ja ruuvin välillä asetetaan joustava liitin ja sillä tavalla moottori suojellaan koneessa ilmeneviltä voimilta.



**Kuva 61.** Moottorin pidike (76)

### 6.6.3 Lopullinen valinta

Loppujen lopuksi valittiin ensi luokkainen Nema 17 askelmoottori, joustava liitin ja moottorin pidike (Kuva 62). Moottorin luomat vääntömomentti ja kierrosluku ovat sopivia.



**Kuva 62.** Moottorin kokoonpano

**Lopullinen valinta:** SCS 12UU koteloitu lineaarilaakeri, 12 mm C45 karkaistusta teräksestä tehdyt lineaaritangot

### 6.7 Runko

Rungon päätavoite on kompensoida trapetsiruuveilta ja lineaaritangoilta tulevat voimat ja samaan aikaan taipua mahdollisimman vähän. Aikaisemmin oli määritetty, että runko tehdään kokonaan alumiinista. Sen lisäksi täytyy mainita se, että

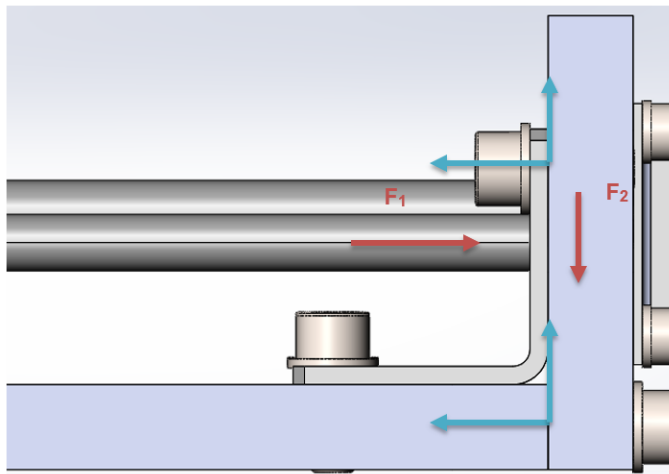
rungon osat (levyt) myöskin kiinnitetään yhteen alumiinipulteilla ja alumiinikulmakannattimilla, koska sillä tavalla vähennetään korroosion vaikutusta (65).

Aluslevyjen käyttö kaikissa pultilla kiinnitetyissä osissa on myöskin pakollinen, koska niiden avulla värähtelyn vaikutus pultteihin pienennetään.

### 6.7.1 Runkoon vaikuttavat voimat

Runkoon vaikuttavat voimat ovat melko yksinkertaisia (Kuva 63):

1. Lineaarijohteilta tulevat voimat ovat aina levyä pitkin ( $F_2$  kuvassa alla). Niiden kompensointia varten usein riittää pulttien luoma kitkavoima. Kuitenkin, jos voimat ovat suuria, luova momentti on myöskin suurempi ja siinä voidaan hyödyntää kulmakannattimia.
2. Trapetsiruuveilta tulevat voimat ovat aina kohtisuoria tukevaan levyyn verrattuna ( $F_1$  kuvassa alla) ja luovat momenttia pulttien kanssa (force couple). Niiden kompensointi vaatii myöskin kulmakannattimien käyttöä, joiden avulla voidaan tehokkaasti vähentää vääntömomentin vaikutusta.



**Kuva 63.** Runkoon vaikuttavat voimat

Näin voidaan nähdä, että rungossa ilmenevät sekä voimat, että momentit ja oikeilla suunnittelupäätöksillä voidaan vähentää niiden vaikutusta.

## 6.7.2 Levyt

Suunnittelija päätti käyttää 15 paksua alumiinilevyä, joten niitä voidaan kiinnittää keskenään M8 pulteilla ja samaan aikaan niin paksuilla levyillä voidaan hyvin kompensoida kaikki työstön aikana ilmenevät voimat. On tärkeää, että kaikilla alumiiniseoksilla on sama kimmokerroin, joten suunnittelija päätti valita halvimman saatavissa olevan vaihtoehdon. 6061 seoksesta tehdyt levyt kelpaavat melko hyvin ja tuottajan hinta on melko alhainen muihin tuottajiin verrattuna, siis suunnittelija valitsi sen vaihtoehdon (66).

## 6.7.3 Pultit ja aluslevyt

Markkinoilla on laaja alumiinista tehtyjen pulttien valikoima. Suunnittelija päätti valita 7XXX sarjan pultit niiden korkean lujuuden vuoksi (kuva alla, 67, s.355). Tämän lujuuden avulla (Kuva 64) voidaan jännittää pultteja kovemmin asetuksen aikana, joten pultit luovat suuremman kitkavoiman eri koneen osien välillä ja niiden yhteys on parempi. Sen lisäksi pultit myöskin kestävät vetojännitystä.

Table 2 Strength ranges of various wrought aluminum alloys

Aluminum Association series	Type of alloy composition	Strengthening method	Tensile strength range	
			MPa	ksi
1xxx	Al	Cold work	70–175	10–25
2xxx	Al-Cu-Mg (1–2.5% Cu)	Heat treat	170–310	25–45
2xxx	Al-Cu-Mg-Si (3–6% Cu)	Heat treat	380–520	55–75
3xxx	Al-Mn-Mg	Cold work	140–280	20–40
4xxx	Al-Si	Cold work (some heat treat)	105–350	15–50
5xxx	Al-Mg (1–2.5% Mg)	Cold work	140–280	20–40
5xxx	Al-Mg-Mn (3–6% Mg)	Cold work	280–380	40–55
6xxx	Al-Mg-Si	Heat treat	150–380	22–55
7xxx	Al-Zn-Mg	Heat treat	380–520	55–75
7xxx	Al-Zn-Mg-Cu	Heat treat	520–620	75–90
8xxx	Al-Li-Cu-Mg	Heat treat	280–560	40–80

## Kuva 64. Eri alumiiniseosten ominaisuudet (67)

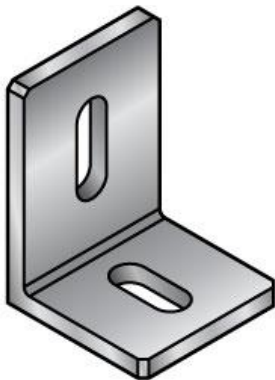
Kaikki pultit aluksi jännitetään 65 prosentilla niiden myötörajaan verrattuna. Sillä tavalla pultit kestävät sekä vetojännitystä, että luovat tarpeeksi suurta kitkavoimaa (68). Kaikki levyt kytketään keskenään kahdella pulteilla aluksi. Tarvittaessa pulttien jännitys tai pulttien määrä muutetaan, jos lujuusanalyysin tulos on huono.



M8 7075 alumiiniseoksesta tehtyjä pultteja käytetään tässä hankkeessa (69). Sen lisäksi M8 alumiiniseoksesta tehtyjä aluslevyjä myöskin käytetään (70), koska niiden avulla vähennetään värähtelyn vaikutusta pultteihin.

#### 6.7.4 Kulmakannattimet

Kulmakannattimien (Kuva 65) käyttö on pakollista, koska vain niiden avulla voidaan kompensoida vääntömomenttia. Samaan aikaan täytyy valita tarpeeksi pitkiä kannattimia, koska jos laakerit ja trapetsiruuvit mahtuvat alalevyn ja kannattimen tukeman pisteen välille, niiden voimien luoma taipuminen vähenee.



**Kuva 65.** Kulmakannatin (71)

Sitä varten voidaan esimerkiksi käyttää L-muotoista alumiiniseoksesta tehtyä kannatinta (71). Se ei ota itselleen ylimääräistä tilaa eikä rajoita karan liikkeitä.

Kaikkiin koneen kriittisiin kohtiin asetetaan kulmakannattimet. Myöhemmin, jos analyysin tuloksen mukaan tietyissä paikoissa ei tarvita kulmakannattimia, ne poistetaan sieltä.

#### 6.7.5 Trapetsiruuvien asetus

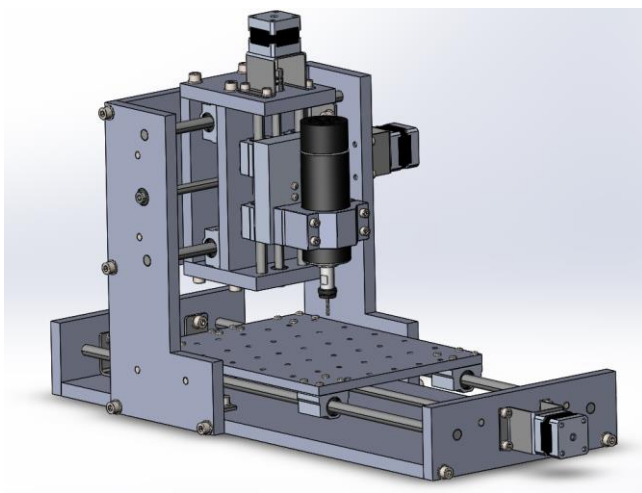
Trapetsi ruuvien asetus on nyt tärkeässä asemassa, koska siitä riippuu se, kuinka suurta momenttia siltä tulevat voimat luovat. X- ja Y-akselissa täytyy asettaa ruuvi niin, että se on niin lähellä koneen alaosaan kuin mahdollista. X-akselin suhteen sitä voidaan tehdä helposti ja jättää vain hieman tilaa trapetsimutterin koteloa varten.

Kuitenkin Y-akselin suhteen suuri rajoitus on työstöpöydän päällä oleva tila, joka mahdollistaa korkeiden työkappaleiden asetuksen. Sen vuoksi siinä ilmenevä momentti on suuri. Sen takia koneen kaksi sivuosaa yhdistetään keskenään vielä yhdellä levyllä, mikä auttaa kompensoimaan ilmenevää momenttia.

Z-akselin tapauksessa täytyy löytää toinen tapa, jolla momentin vaikutus vähennetään, koska karan kokoonpanoon myöskin täytyy asettaa Y-akselin trapetsimutteri ja lineaarilaakerit. Sen vuoksi suunnittelija päätti asettaa karan kokoonpanoon kolmannen levyn, jonka avulla voidaan sekä mukavasti asettaa Y-akselin osat, että kompensoida momenttia hyvin.

## 6.8 Muutokset ja lopullinen malli

Loppujen lopuksi, kun kaikki osat on valittu, voidaan luoda lopullinen kolmiulotteinen malli (Kuva 66). Sitä varten kuitenkin aluksi täytyy tehdä muutokset. Malliin täytyy tehdä muutokset, koska lineaarilaakerien määrä kasvoi. Näin karan kokoonpanon korkeus kohotettiin, joten siihen mahtuu kaksi laakeria lisää. Sen vuoksi etäisyys Y-akselin tankojen välillä voidaan leventää ja momenttien vaikutus niihin tankoihin ja laakereihin vähenee.



**Kuva 66.** Kaiverruskoneen lopullinen malli

## 7 Suunnittelun arviointi

Nyt kun kaikki koneen osat on valittu ja sen lopullinen kolmiulotteinen malli on valmis, voidaan tehdä koneen arviointi. Tässä osassa lyhyesti suoritetaan koneen arviointi QFD-taulukon mukaan. Suunnittelija päätti, että kolme keskeistä ominaisuutta ovat koneen massa, kustannus ja sen taipuminen työstön aikana. Niihin pääsääntöisesti keskitytään. Kaikki koneen kokoonpanojen piirustukset on lisätty liitteiksi (liite 8).

### 7.1 Taipuminen

Karkea jäykkyyshanalyysi on suoritettu Solidworks ohjelman avulla. On selvitetty, että koneen yhteinen taipuminen on melkein 0.4 mm, mikä on huono tulos. Voidaan huomata, että lineaaritangot taipuvat eniten niiden pituuden vuoksi. Se on suunnittelijan virhe, koska työstöpöydän koko on liian suuri ja tätä koneen arkkitehtuuria ei voida soveltaa, jos tangot ovat niin pitkiä (erityisesti X-akselin tangot).

On olemassa neljä ratkaisua: voidaan joko lyhentää ainakin X-akselin pituutta, vaihtaa tangot kiskoiksi, tehdä tangot paksummaksi tai jopa muuttaa koneen arkkitehtuuri, joten sen rakenne paremmin sopii tehtävään (portaalirakenne esimerkiksi). Kuitenkin kannattaa muistaa, että käytetyt työstövoimat luodaan 6 millimetrisellä terällä, joka on ehkä suurin mahdollinen vaihtoehto. Sen vuoksi koneella vielä voidaan työstää alumiinia pienemmällä terillä. Sen lisäksi puuntyöstö on todennäköisesti mahdollinen, koska puu on paljon pehmeämpi kuin silkka alumiini.

Joka tapauksessa sen ongelman juuri on QFD-taulukossa, jossa suunnittelija asetti liian suuren tavoitteen työstöpöydän koolle. Samaan aikaan on suunniteltu kaiverruskone, jonka työstöaluetta kannattaa pitää pienenä ja jonka arkkitehtuuri ei kelpaa, jos työstöpöytä on niin suuri.

Tulevaisuudessa, kun koneen rakenne on muutettu, täytyy toteuttaa analyysia tarkemmin. Esimerkiksi ANSYS ohjelman käyttö on pakollista, koska sen avulla voidaan paremmin arvioida koneen mekaaniset ominaisuudet.

## 7.2 Massa

Koneen eri osien tilavuutta voidaan helposti määrittellä ja sen avulla löytää koneen massa. Loppujen lopuksi kävi ilmi, että koneen yhteinen massa on 18.65 kg, mikä on melko suuri tulos. Kuitenkin se on alempi kuin QFD-taulukossa mainittu raja, joten koneen massaa voidaan kutsua sopivaksi.

## 7.3 Hinta

Koneen lopullinen hinta myöskin löytyy melko helposti aikaisemmin mainittujen tuottajien verkkosivujen linkkien kautta (Taulukko 5). Monet osat on valittu hinnan vuoksi, kuitenkin koneen lopullinen hinta on suuri. Alla esitettyssä taulukossa voidaan nähdä jokaisen osan hinta ja sen lisäksi koneen lopullinen hinta. Myöskin voidaan pitää sitä lyhyenä koneen osaluettelona (lisää löytyy liitteistä). Hinnat taulukossa ovat dollarien muodossa ja sen lopussa ne käännetään euroiksi.

Jos netissä ei ole selkeää tietoa (esimerkiksi liian korkeat hinnat tai hinnat vain yhdestä kappaleesta), osien hinta pääsääntöisesti arvioidaan suunnittelijan kokemuksen mukaan. Ehdotetaan, että koneiden erä on 500 kappaletta.

Osan nimi	Määrä	Hinta/kpl
Xinhuangduo kara	1	58 \$
X-akselin trapetsiruuvi RPTS Tr 10x2 (630 mm)	1	15 \$
Y- ja Z-akselin trapetsiruuvi RPTS Tr 10x2 (300 mm)	2	8 \$
Välystä vastustava trapetsimutteri	3	2 \$
Trapetsimutterin kotelo	3	2.5 \$
Ruuvien laakeri 626-2RSH	9	0.8 \$
Pidätinruuvi	3	0.6 \$
X-akselin lineaaritanko (630 mm)	1	14 \$

Y- ja Z-akselin lineaaritanko (300 mm)	2	9 \$
Koteloitu SC12UU lineaarilaakeri	12	2.5 \$
Nema 17 askelmoottori	3	11 \$
Joustava moottorin liitin	3	1 \$
Moottorin pidike	3	5 \$
Kulmakannatin	12	3 \$
Alumiinilevyt (runkoa ja työstöpöytää varten)	14 kg	40 \$ (70)
M8 alumiinipultti	44	0.05 \$
M6 alumiinipultti	12	0.05 \$
M4 pultti	71	0.04 \$
M3 pultti	12	0.04 \$
M8 alumiinialuslevy	44	0.01 \$
M6 alumiinialuslevy	12	0.01 \$
<b>Lopullinen hinta</b>	<b>719.3 euroa</b>	

**Taulukko 5.** Koneen hinnan arviointi ja osaluettelo

Voidaan nähdä, että lopullinen hinta on melko korkea. Se johtuu siitä, että suunnittelija on yliarvioinut CNC 3018 suorituskyvyn (sen koneen kanssa on tehty benchmarkkaus). Kone on melko huonolaatuinen ja monien osien laatu on alhainen. Jos halutaan tehdä laadukasta tuotetta, tarvitaan lisää rahaa.

Tämä hinta ei pidä sisällään tuotannon ja elektroniikan kustannuksia. Odotetaan, että tarkemman arvioinnin jälkeen se vielä kohoaa.

## **7.4 Muut vaatimukset**

Nyt käydään lyhyesti läpi muut QFD-taulukossa mainitut vaatimukset. Tässä osassa ei anneta kokonaisvaltaista selitystä, vaan yritetään tiivistää suunnittelu-projektin tulokset.

### **7.4.1 Itsenäisesti tuotettujen osien määrä ja muokkausmenetelmät**

Nyt voidaan kertoa, että on mahdotonta luoda CNC-kaiverruskone ilman erikoisia tuotantomenetelmiä. Niiden avulla voidaan parantaa koneen jäykkyyttä ja tarkkuutta. Jos kone kasataan vain alumiiniprofiileista ja pulteista, se ei kestä käytössä ja hajoaa ajan mittaan värähtelyjen vuoksi. Sen lisäksi koneen tarkkuus on huono.

Onneksi monet alumiinilevyjen valmistajat voivat helposti muokata levyjen muotoa Tässä tarpeen mukaan. Toisaalta, reikien ja kierteiden luonti ja ruuvien loppujen työstö täytyy tehdä itsenäisesti ja tilata niitä muilta osien työstöön erikoistuvilta yrityksiltä.

Tarvittavien muokkausmenetelmien määrä on vain kaksi. Kuitenkin osien määrä, joita täytyy muokata, on suuri. Pääsääntöisesti ne osat koostavat runkoa ja niiden määrä on kymmenen. Samaan aikaan täytyy vielä työstää trapetsiruuvien loput, minkä vuoksi itsenäisesti tuotettujen osien määrä kasvaa vielä kolmella kappa- leella.

### **7.4.2 Koneen koko toimitusta varten**

Jopa koneen lopullinen koko, joka on  $63 \times 26 \times 35 \text{ cm}^3$  on pienempi kuin QFD- taulukossa asetettu raja. Sen vuoksi voidaan pitää tätä vaatimusta riittävänä.

### **7.4.3 Työstöalueen pinta-ala**

Tulokseksi on saatu pienempi työstöalue kuin QFD-taulukko vaatii, kuitenkin suunnittelijan mielestä se vaatimus oli virheellinen alun perin. Jopa suuremmissa koneissa kuin CNC 6040 työstöalueen korkeus/leveys/pituus suhde on erilainen (72). Siinä voidaan nähdä, että huolimatta siitä, että X- ja Y-akselit ovat melko

pitkiä, Z-akselin pituus on aina pieni. Sillä tavalla todennäköisesti kohennetaan Y- ja Z-akselien jäykkyyttä.

Samaan aikaan nyt näyttää siltä, että mainittu työstöalueen koko on liian suuri kaiverruskoneelle. Ehdottomasti täytyy muuttaa QFD-taulukon vaatimus, jotta se sopii paremmin koneen tehtävään.

#### **7.4.4 Karan lineaarinopeus materiaalissa**

Karan nopeus materiaalissa on ehdottomasti tärkeä vaatimus, koska siitä riippuu koneen tuottavuus. Onneksi koko suunnittelun aikana kaikki osat on valittu niin, että niiden avulla voidaan saavuttaa 1600 mm/min nopeutta, mikä on paras QFD-taulukossa asetettu tavoite.

#### **7.4.5 Koneeseen liittyvät riskit**

Lyhyen riskiarvioinnin jälkeen suunnittelija päätti, että koneesta ei ole paljon vaaraa käyttäjille. Koneeseen asetetulla karalla voidaan enintään haavoittaa kättä ja askelmootorit eivät ole tarpeeksi tehokkaista, joten koneen osilla on melkein mahdotonta murskata käyttäjän raajat tai sormet. Samaan aikaan muut koneiden valmistajat eivät turvaa koneitaan mitenkään, joten voi olla niin, että myöskin suuremmat yritykset ovat samaa mieltä. Sen vuoksi konetta voidaan pitää turvallisena.

Tulevaisuudessa toteutetaan koneen riskiarviointi konedirektiivin mukaan (77). Siinä yksityiskohtaisia ohjeita annetaan, joita seuraamalla voidaan kunnolla arvioida koneeseen liittyvät riskit ja tehdä suunnitteluun kaikki tarvittavat muutokset.

#### **7.4.6 Koneen mekaaninen vikataajuus**

Mekaanisen vikataajuuden arviointi on melko yksinkertainen, koska nyt kaikkien laakerien todellinen elinikä on tiedossa. Otetaan lineaarilaakeri ja trapetsiruuvien laakeri, jotka ovat kriittisimmässä kohdassa. Lineaarilaakerin elinikä on 4,308 tuntia ja trapetsiruuvien laakerin elinikä on 458,000 tuntia. Arvaamalla, että kaikkien muiden osien elinikä on yhtä suuri, voidaan helposti laskea niiden yhteinen vikataajuutta.

$$Q = \frac{1}{Lt1} * x1 + \frac{1}{Lt2} * x2 = 2.8 * 10^{-3} \frac{\text{vika}}{\text{tunti}} \quad (33)$$

$L_{1t}$  [miljoona kierrosta] – trapetsiruuvien laakerin todellinen elinikä tunneissa

$L_{2t}$  [miljoona kierrosta] – lineaarilaakerin todellinen elinikä tunneissa

$X_1$  [kpl] = 9 kpl – trapetsiruuvien laakerien määrä

$X_2$  [kpl] = 12 kpl – lineaarilaakerien määrä

Voidaan nähdä, että osien yhteinen vikataajuus on pienempi, kuin QFD asetettu tavoite. Lopullinen tulos on sopiva. Kuitenkin tulevaisuudessa tarvitaan ottaa huomioon myöskin elektroniikassa ja karassa ilmestyvät viat ja sillä tavalla tarkemmin määrittellä koneen lopullinen vikataajuus.

#### 7.4.7 Tulokset

Alla on taulukko 6, johon on kerätty QFD-tilin vaatimukset ja sitten niitä verrataan suunnitteluprojektin tuloksiin. Vihreällä värillä on merkitty tyydytetyt vaatimukset, keltaisella värillä on merkitty alun perin väärät vaatimukset ja punaisella oli merkitty ne kohdat, joissa tulos ei sovi vaatimukseen.

Vaatus	Määrittely	Tulos
Kustannus	Enintään 300 e	827.2 \$
Itsenäisesti tuotettujen osien määrä	Enintään 2 kpl	13 kpl
Muokausmenetelmien määrä	Enintään 2 kpl	2 kpl
Koneen koko toimitusta varten	Enintään 100 x 50 x 50 cm <sup>3</sup>	Enintään 63 x 26 x 35 cm <sup>3</sup>
Karan taipuminen	Enintään 0.01 mm	0.4 mm
Koneen massa	Enintään 40 kg	18.65 kg



Työstöalueen pinta-ala ja korkeus	Vähintään 25 x 20 x 10 cm <sup>3</sup>	30 x 15 x 8 cm <sup>3</sup>
Karan lineaarinopeus materiaalissa	Vähintään 650 mm/min	1600 mm/min
Koneeseen liittyvät riskit	Enintään 10	Vähemmän kuin 10
Koneen vikataajuus	Vähintään 3 x 10 <sup>-3</sup> vika/tunti	2.8 x 10 <sup>-3</sup> vika/tunti

**Taulukko 6.** Tulosten ja vaatimusten vertailu

Voidaan nähdä, että koneen kustannus ja sen jäykkyys eivät ole riittäviä. Ehdottomasti se tulee siitä, että suunnittelijan alkuperäinen kokemus konesuunnittelussa oli melko niukka. Sen vuoksi hän teki väärät päätökset ja sekä asetti koneelle liian suuren työstöalueen tavoitteen, eikä ymmärtänyt sitä, missä suhteessa ovat tuotteen kustannus ja sen laatu.

Samaan aikaan voidaan huomata, että QFD-tilin vaatimusten huono laatu tulee siitä, että yhteistyötä asiakkaiden kanssa ei ole tehty. Sen sijaan suunnittelija pääsääntöisesti käytti erilaisia verkkosivuja. Kuitenkin voidaan lisätä, että suunnitteluprojekti jatkuvasti toistuu, joten tuotteen arkkitehtuuri ja laatu jatkuvasti kehittyvät, joten todellisessa suunnitteluprojektissa se olisi vain projektin alku (80), minkä jälkeen voidaan kohentaa koneen laatua yhä enemmän.

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä suunnitteluprojektissa on aikaansaatu hyviä tuloksia. Ensisijaisesti suunnittelija hankki itselleen paljon uutta konesuunnittelukokemusta, jota ehdottomasti voidaan käyttää tulevassa ammatissa. Toiseksi, tämän kokemuksen avulla voidaan nyt nähdä, missä kuluneen suunnitteluprojektin kohteissa on tehty virheitä ja miten niitä voidaan korjata tulevaisuudessa.

Voidaan huomata, että QFD-menetelmä olisi voitu suorittaa paremmin. Siitä puuttuu koneen resoluutio, tarvittava kiihdytys ja todennäköisesti monet muut osat. Samaan aikaan monien sen vaatimusten suuret oli arvioitu väärin. Esimerkiksi

työstöpöydän koon tavoite on liian tiukka, minkä vuoksi koneen lopullinen jäykkyys on huono. Tiedon puute johtui siitä, että projektiin osallistui vain yksi henkilö, mikä suuresti rajoitti kaikkia aikatauluja ja minkä vuoksi oli mahdotonta kerätä tietoa kunnolla.

Konseptisuunnittelu ei ollut joustavaa. Ehdottomasti sen pääsyy on myöskin ajan puute, mutta suunnittelija olisi voinut valita erilaiset lineaarijohteiden tyypit niiden pituuden perusteella ja sillä tavalla ehkäistä virheet. Esimerkiksi X- akselin tanko on liian pitkä ja sitä voidaan vaihtaa lineaarikiskoksi, joten pituus ei vaikuta johdeen toimivuuteen. Tässä tapauksessa alkuperäinen kokemuksen puute ottaa osansa.

Detalji suunnittelu tai osien valinta olisi myöskin voitu suorittaa paremmin. Tankojen valintaa ei ollut tehty kunnolla, minkä vuoksi koko koneen jäykkyys huono (huolimatta siitä, että todellisuudessa tangot ovat koneen kriittisimpiä osia). Samoin kuin aikaisemmin, kokemuksen puute oli silloin suuri tekijä.

Tätä suunnitteluprojektia täytyy ehdottomasti jatkaa. Ensisijaisesti kerätään lisää tietoa ja sen perusteella muutetaan QFD-taulukko. Yhteistyötä tuotteen kohdeyhmien kanssa kannattaa tehdä hyvin. Sitten koneelle joko valitaan uusi arkkitehtuuri tai vähennetään sen kokoa (täytyy päästä eroon taipumisesta). Sitten voidaan hyödyntää aikaisemmin kerättyä tietoa, joten monien osien valintaa ei nyt tarvitse tehdä (esimerkiksi trapetsiruuvit ja niiden laakerit).

Sitten koneen arviointi tehdään vielä kerran. Jos se näyttää sopivalta, voidaan tehdä koneelle tuotantopiirustukset ja niiden avulla arvioida hinta tarkemmin. Samaan aikaan koneelle valitaan tuottajat, joiden avulla rungon osat muodostetaan alumiinilevyistä.

Tämän projektin ehkä suurin päätelmä on se, että kunnolla rakennettu projekti on voimakas työkalu (monet modernit yritykset ovat käyttäneet sitä jo monta vuotta). Huolimatta kuluneen projektin huonoista tuloksista, suunnitteluprojektin selkeä ja johdonmukainen rakenne auttaa suuresti kehittämään tuotteita kunnolla. Sen avulla voidaan aina nähdä missä virheet oli tehty ja jopa miten niistä voidaan päästä eroon. Usein käy niin, että suunnitteluprojektin yksi toisto ei riitä ja työ aloitetaan uudestaan, joten tuotteen lopullinen versio muodostuu pikkuhiljaa.

Suunnittelijan kokemus on aina konesuunnittelussa tärkeä tekijä, kuitenkin se tulee ajan mittaan, jos muodostetaan selkeitä ohjeita, joita seurataan koko projektin aikana.

## Kuvat

- Kuva 1. CNC-kaiverruskoneen eri osat, s. 10.
- Kuva 2. Erilaiset työstökohdat, s. 12.
- Kuva 3. Puuntyöstö, s. 13.
- Kuva 4. Puuntyöstössä käytetään Upcut, Downcut ja Compression terät, s. 14.
- Kuva 5. Alumiinityöstö, s. 15.
- Kuva 6. Sumutin, joka sekä poistaa lastuja, että voitelee terää, s. 15.
- Kuva 7. Stabiiliteettikuvaaja tai työstövarähtelyn kaavio, s. 17.
- Kuva 8. Kokeellinen stabiiliteettikuvaaja, s. 18.
- Kuva 9. Tangentiaaliset ( $F_y$ ) ja radiaaliset ( $F_x$ ) voimat, s. 19.
- Kuva 10. Liikkuva portaali ja liikkuva työstöpöytä koneet, s. 20.
- Kuva 11. Täysin tuetut ja osittain tuetut lineaarijohteet, s. 21.
- Kuva 12. Kaikki alla esitetyt vaihtoehdot, s. 23.
- Kuva 13. Välys ruuvissa, s. 25.
- Kuva 14. Servo- ja askelmoottorit, s. 26.
- Kuva 15. Erilaiset työstöpöydät, s. 27.
- Kuva 16. Puuntyöstökoneen ja jyrsimen karat, s. 29.
- Kuva 17. CNC-koneen ohjain, moottorien ohjainkortit ja teholähde, s. 30.
- Kuva 18. Kaiverrus- ja puuntyöstökoneet, s. 31.
- Kuva 19. CNC 3018, s. 33.
- Kuva 20. Piranha Fx, s. 34.
- Kuva 21. CNC 8060Z, s. 35.
- Kuva 22. Rungon ulkonäkö, s. 38.
- Kuva 23. Työstöpöydän ja rungon ulkonäkö, s. 39.
- Kuva 24. Koneen lopullinen ulkonäkö, s. 40.
- Kuva 25. Koneen vuorovaikutus, s. 41.
- Kuva 26. CNC 3018-kaiverruskoneen toiminnot, s. 42.
- Kuva 27. Tulevan CNC-kaiverruskoneen toiminnot, s. 43.
- Kuva 28. QFD-taulukko, s. 44.
- Kuva 29. Päätösmatriisi, s. 51.
- Kuva 30. Uskomuskartta, s. 52.
- Kuva 31. Vaihtoehtojen kuvat, s. 54.
- Kuva 32. Vaihtoehtojen kuvat, s. 56.
- Kuva 33. Vaihtoehtojen kuvat, s. 56.
- Kuva 34. Vaihtoehtojen kuvat, s. 57.
- Kuva 35. Vaihtoehtojen kuvat, s. 58.
- Kuva 36. Koneen alustava muoto, s. 59.
- Kuva 37. Tasainen vääntömomentti alussa ja sitten tasainen teho, s. 62.
- Kuva 38. Xinhuangduo kara, s. 65.
- Kuva 39. Rei'itetty työstöpöytä, s. 66.
- Kuva 40. Alustava koneen malli, s. 67.
- Kuva 41. Kriittinen kierrosluvun kaavio, s. 69.
- Kuva 42. Ruuvien nurjahdusvoima, s. 71.
- Kuva 43. Kitkakertoimet, s. 72.
- Kuva 44. Trapetsimutteri ja trapetsiruuvi, s. 76.
- Kuva 45. Ohjaava laakeri ja vapaa laakeri, s. 77.
- Kuva 46. Ohjaavan laakerien järjestys, s. 78.
- Kuva 47. Pidätinruuvi, s. 79.
- Kuva 48. Laakereihin vaikuttavat voimat, s. 81.

- Kuva 49.  $a_s$  kertoimen määrittely, s. 85.  
Kuva 50. X-akselin laakereihin vaikuttavat voimat, s. 89.  
Kuva 51. Y-akselin laakereihin vaikuttavat voimat, s. 90.  
Kuva 52. Z-akselin laakereihin vaikuttavat voimat, s. 91.  
Kuva 53. Tangon kovuuden vaikutus, s. 93.  
Kuva 54. Lämmön vaikutus, s. 95.  
Kuva 55. Äkillisin kuorman vaikutus, s. 95.  
Kuva 56. Lineaarilaakeri ja tanko, s. 98.  
Kuva 57. Nema 17 moottorien pituuden luokat, s. 99.  
Kuva 58. Ensi pituuden luokkaisten moottorien suorituskyky, s. 100.  
Kuva 59. NEMA 17 askelmoottorin ominaisuudet, s. 101.  
Kuva 60. Joustava liitin, s. 101.  
Kuva 61. Moottorin pidike, s. 102.  
Kuva 62. Moottorin kokoonpano, s. 102.  
Kuva 63. Runkoon vaikuttavat voimat, s. 103.  
Kuva 64. Eri alumiiniseosten ominaisuudet, s. 104.  
Kuva 65. Kulmakannatin, s. 105.  
Kuva 66. Kaiverruskoneen lopullinen malli, s. 106.

## **Taulukot**

Taulukko 1. Vaatimusluettelo, s. 50.

Taulukko 2. Rungon valinta päätösmatriisin avulla, s. 55.

Taulukko 3. Konseptisuunnittelun tulokset, s. 59.

Taulukko 4. Ruuvien liikuttamat massat, s. 67.

Taulukko 5. Koneen hinnan arviointi ja osaluettelo, s. 108 - 109.

Taulukko 6. Tulosten ja vaatimusten vertailu, s. 112 - 113.

## Lähdeluettelo

1. Ullman, D. The Mechanical Design Process, 2010.
2. Sekalaista tietoa työstöstä. <http://www.netikka.net/saulij/cnc/Tyosto.html>. Luettu 9.9.2018
3. CNC Cookbook. Feeds and Speeds: The Definitive Guide. <https://www.cnccookbook.com/feeds-speeds/>. Luettu 11.9.2018
4. Open Oregon. Speeds, Feeds and Tapping. <https://openoregon.press-books.pub/manufacturingprocesses45/chapter/unit-two-cutting-speed/>. Luettu 11.9.2018
5. Porankiewicz, B., Axelsson, B., Grönlund, A., Marklund, B. Main and normal cutting forces by machining wood of Pinus Sylvestris. [https://biore-sources.cnr.ncsu.edu/BioRes\\_06/BioRes\\_06\\_4\\_3687\\_Porankiewicz\\_AGM\\_Main\\_Norm\\_Cut\\_Forces\\_Wood\\_1402.pdf](https://biore-sources.cnr.ncsu.edu/BioRes_06/BioRes_06_4_3687_Porankiewicz_AGM_Main_Norm_Cut_Forces_Wood_1402.pdf). Luettu 12.9.2018
6. CNC Cookbook. Definitive Guide to Feeds and Speeds of Wood. <https://www.cnccookbook.com/feeds-speeds-wood/>. Luettu 12.9.2018
7. CNC Cookbook. 11 Easy CNC router Aluminum Cutting Tips. <https://www.cnccookbook.com/10-tips-for-cnc-router-aluminum-cutting-success/>. Luettu 12.9.2018
8. CNC Cookbook. CNC Milling Machine Frame. <https://www.cnccookbook.com/cnc-milling-machine-frame-complete-diy-guide/>. Luettu 12.9.2018
9. CNC Cookbook. Chatter in Machining: Milling and Lathe Vibration. <https://www.cnccookbook.com/chatter-in-machining-milling-lathe-vibration/>. Luettu 13.9.2018
10. Jianping, Y. Creating a Stability Lobe Diagram. [http://ijme.us/cd\\_06/PDF/IT%20301-050.pdf](http://ijme.us/cd_06/PDF/IT%20301-050.pdf). Luettu 13.9.2018
11. Araujo, A., Mougo, L., Campos, O. Micro milling cutting forces on machining aluminum alloy. [https://www.researchgate.net/publication/256443589\\_Micro\\_milling\\_cutting\\_forces\\_on\\_machining\\_aluminum\\_alloy](https://www.researchgate.net/publication/256443589_Micro_milling_cutting_forces_on_machining_aluminum_alloy). Luettu 20.9.2018
12. CNC Router Source. The CNC Wood Router Basics. <http://www.cncrouter-source.com/cnc-wood-router.html>. Luettu 12.9.2018
13. CNC Router Source. Build your own CNC router: The Frame and Base. <http://www.cncrouter-source.com/build-your-own-cnc-router.html>. Luettu 13.9.2018
14. CNC Router Source. CNC Linear Motion Systems. <http://www.cncrouter-source.com/linear-motion.html>. Luettu 3.9.2018
15. KHK Stock Gears. Gear rack and pinion. [https://khkgears.net/new/gear\\_rack.html](https://khkgears.net/new/gear_rack.html). Luettu 22.9.2018
16. CNC Router Source. Your Guide to CNC Drive Components. <http://www.cncrouter-source.com/cnc-drive.html>. Luettu 15.9.2018
17. Linear Motion Tips. Linear actuators: belt driven vs rack and pinion driven. <https://www.linearmotiontips.com/linear-actuators-belt-driven-vs-rack-and-pinion-driven/>. Luettu 24.10.2018
18. AliExpress. Anti-backlash nut. <https://ru.aliexpress.com/item/Anti-Backlash-Nut-300mm-400mm-500mm-T-type-Stepper-Motor-Trapezoidal-Lead-Screw-8MM-Thread->

- 8mm/32754673779.html?albbt=Google\_7\_search&isdl=y&slnk=&src=google&acnt=479-062-3723&crea=64152518596&aff\_plat-form=google&netw=g&plac=&albcpr=266121556&mtctp=b&aff\_short\_key=UneMJZVf&gclid=EAlaIqobChMlr42DmfKc3gIVQu-WaCh2GvwaJEAAYASAAEgLtw\_D\_BwE&al-bag=7593673036&albch=search&memo1=1t1&trgt=aud-165594907443%3Adsa-42862830006&device=c. Luettu 24.10.2018
19. CNC Router Source. CNC motors. <http://www.cncroutersource.com/cnc-motors.html>. Luettu 24.10.2018
  20. CNC Router Source. The CNC router Table Top. <http://www.cncrouter-source.com/cnc-router-table-top.html>. Luettu 24.10.2018
  21. CNC Cookbook. CNC Milling Machine Spindle. <https://www.cnccook-book.com/cnc-spindle-mill/>. Luettu 24.10.2018
  22. CNC Router Source. CNC Electronics. <http://www.cncrouter-source.com/cnc-electronics.html>. Luettu 24.10.2018
  23. AliExpress. CNC 3018. [https://ru.aliexpress.com/item/CNC-3018-laser-options-diy-mini-cnc-engraving-machine-Pcb-Milling-Machine-Wood-Carving-machine-cnc/32805289008.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.5fa921efSgqTkV&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,search-web201602\\_3\\_10065\\_10068\\_10546\\_10059\\_10548\\_10696\\_100031\\_5017615\\_10084\\_10083\\_10103\\_451\\_10618\\_452\\_5017515\\_5723515\\_10304\\_10307\\_10820\\_5017415\\_5017715,search-web201603\\_2,ppcSwitch\\_5\\_ppcChannel&algo\\_expid=2cfe530f-5f47-4f5a-b8ab-4930bf6c3667-0&algo\\_pvid=2cfe530f-5f47-4f5a-b8ab-4930bf6c3667&priceBeautifyAB=0](https://ru.aliexpress.com/item/CNC-3018-laser-options-diy-mini-cnc-engraving-machine-Pcb-Milling-Machine-Wood-Carving-machine-cnc/32805289008.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.5fa921efSgqTkV&ws_ab_test=searchweb0_0,search-web201602_3_10065_10068_10546_10059_10548_10696_100031_5017615_10084_10083_10103_451_10618_452_5017515_5723515_10304_10307_10820_5017415_5017715,search-web201603_2,ppcSwitch_5_ppcChannel&algo_expid=2cfe530f-5f47-4f5a-b8ab-4930bf6c3667-0&algo_pvid=2cfe530f-5f47-4f5a-b8ab-4930bf6c3667&priceBeautifyAB=0). Luettu 24.10.2018
  24. Amazon. CNC 3018. <https://www.amazon.com/Engraver-Machine-Milling-Carving-Engraving/dp/B01K9SHE8l#customerReviews>. Luettu 24.10.2018
  25. Rockler. CNC Piranha FX. <https://www.rockler.com/cnc-piranha-fx>. Luettu 24.10.2018
  26. Amazon. CNC Piranha FX. [https://www.amazon.com/product-reviews/B01426DRN4/ref=acr\\_dp\\_x\\_see\\_all?ie=UTF8&showViewpoints=1](https://www.amazon.com/product-reviews/B01426DRN4/ref=acr_dp_x_see_all?ie=UTF8&showViewpoints=1). Luettu 20.9.2018
  27. OMIO CNC. CNC X8-2200. <https://www.omiocnc.com/products/x8-2200epl/parameters.html>. Luettu 24.10.2018
  28. AliExpress. CNC 8060. [https://www.aliexpress.com/item/free-shipping-6-pcs-set-Free-Programming-universal-driver-board-general-kit-for-12-42/32281791529.html?spm=2114.search0204.3.1.2ba7dcc7llsCl1&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,search-web201602\\_3\\_10065\\_10068\\_10546\\_10059\\_10548\\_10696\\_100031\\_5017615\\_10084\\_10083\\_10103\\_451\\_10618\\_5017515\\_452\\_10304\\_10307\\_10820\\_5017415\\_5017715,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_5\\_ppcChannel&algo\\_expid=0525389b-29d3-49c3-b4be-5621051af957-0&algo\\_pvid=0525389b-29d3-49c3-b4be-5621051af957&priceBeautifyAB=0](https://www.aliexpress.com/item/free-shipping-6-pcs-set-Free-Programming-universal-driver-board-general-kit-for-12-42/32281791529.html?spm=2114.search0204.3.1.2ba7dcc7llsCl1&ws_ab_test=searchweb0_0,search-web201602_3_10065_10068_10546_10059_10548_10696_100031_5017615_10084_10083_10103_451_10618_5017515_452_10304_10307_10820_5017415_5017715,searchweb201603_2,ppcSwitch_5_ppcChannel&algo_expid=0525389b-29d3-49c3-b4be-5621051af957-0&algo_pvid=0525389b-29d3-49c3-b4be-5621051af957&priceBeautifyAB=0). Luettu 24.10.2018
  29. Platform 1 MRC. Woodpecker CNC - 3018 CNC. <http://platform1mrc.com/p1mrc/index.php?threads/woodpecker-cnc-3018-cnc.2504/>. Luettu 24.10.2018



30. CNCbit. AL-2E-D2.0 ZCC-CT terän verkkosivu. <https://cncbit.ru/product/freza-koncevaja-al-2e-d20-zcc-ct-po-aljuminiju/>. Luettu 24.9.2018
31. Zhang, J., Perez, J., Lavernia, J. Documentation of damping capacity of metallic, ceramic and metal-matrix composite materials. [https://faculty.engr.utexas.edu/sites/default/files/jmatersci\\_v28n9y1993p2395.pdf](https://faculty.engr.utexas.edu/sites/default/files/jmatersci_v28n9y1993p2395.pdf). Luettu 24.10.2018
32. YouTube. Nomad 883 CNC Cutting Aluminum. <https://www.youtube.com/watch?v=Lr6bP0mBjK4>. Luettu 24.10.2018
33. The Engineering ToolBox. Aluminum Alloys – Mechanical Properties. [https://www.engineeringtoolbox.com/properties-aluminum-pipe-d\\_1340.html](https://www.engineeringtoolbox.com/properties-aluminum-pipe-d_1340.html). Luettu 24.10.2018
34. Metal supermarkets. What aluminum grade should I use? <https://www.metalsupermarkets.com/what-aluminum-grade-should-i-use/>. Luettu 24.10.2018
35. Sandvik Coromat. Technical Guide in ISO Materials. [https://www.researchgate.net/profile/Jean\\_Francois\\_Antoine2/post/Does\\_anyone\\_know\\_hand-held\\_tools\\_machining\\_energy\\_unit\\_power\\_ranges\\_for\\_sanding\\_cutting\\_drilling\\_abrasion\\_eg\\_Ta-ber\\_Abrasion\\_and\\_milling/attachment/59d64328c49f478072eabd46/AS%3A273807523155968%401442292208561/download/Sandvik+-+Technical+Guide+-Materials+ISO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jean_Francois_Antoine2/post/Does_anyone_know_hand-held_tools_machining_energy_unit_power_ranges_for_sanding_cutting_drilling_abrasion_eg_Ta-ber_Abrasion_and_milling/attachment/59d64328c49f478072eabd46/AS%3A273807523155968%401442292208561/download/Sandvik+-+Technical+Guide+-Materials+ISO.pdf). Luettu 24.10.2018
36. Cutting Tool Engineering. Spindle Power and Torque Limitations. <https://www.ctemag.com/news/articles/spindle-power-and-torque-limitations>. Luettu 24.10.2018
37. Costes J. P., Larricq P. Towards high cutting speed in wood milling. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences, 2002. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00881899/document>. Luettu 1.10.2018
38. Amana Tool. CNC Router Bit Feed Rate Info. [http://www.eo-asaw.com/assets/Amana/CNC\\_router\\_bit\\_feed\\_info.pdf](http://www.eo-asaw.com/assets/Amana/CNC_router_bit_feed_info.pdf). Luettu 24.10.2018
39. AliExpress. Karan verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/500-ER11/32866636827.html?spm=a2g0v.search0104.3.175.25b7b313vaxxT7&s=p&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0%2Csearchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_204\\_5727215\\_318\\_10546\\_10059\\_10884\\_10548\\_5727315\\_10887\\_10696\\_100031\\_10084\\_10083\\_10103\\_10618\\_5723515\\_452\\_10304\\_10307\\_10820\\_532%2Csearchweb201603\\_2%2CppcSwitch\\_0&algo\\_pvid=a7ffda36-f190-4cb1-8153-3b1c3280913d&priceBeautyAB=0&algo\\_expid=a7ffda36-f190-4cb1-8153-3b1c3280913d-27](https://ru.aliexpress.com/item/500-ER11/32866636827.html?spm=a2g0v.search0104.3.175.25b7b313vaxxT7&s=p&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_204_5727215_318_10546_10059_10884_10548_5727315_10887_10696_100031_10084_10083_10103_10618_5723515_452_10304_10307_10820_532%2Csearchweb201603_2%2CppcSwitch_0&algo_pvid=a7ffda36-f190-4cb1-8153-3b1c3280913d&priceBeautyAB=0&algo_expid=a7ffda36-f190-4cb1-8153-3b1c3280913d-27). Luettu 24.10.2018
40. AliExpress. Xinhuangduo karan verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/500-ER11-ER16-DC48V/32837057579.html?spm=a2g0v.search0104.3.51.3dbc484cq420nf&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0%2Csearchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_204\\_5727215\\_318\\_10546\\_10059\\_10884\\_10548\\_5727315\\_10887\\_10696\\_100031\\_10084\\_10083\\_10103\\_10618\\_5723515\\_452\\_10304\\_10307\\_10820\\_532-nor-mal#cfs,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0&algo\\_expid=58485a3d-3301-](https://ru.aliexpress.com/item/500-ER11-ER16-DC48V/32837057579.html?spm=a2g0v.search0104.3.51.3dbc484cq420nf&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_204_5727215_318_10546_10059_10884_10548_5727315_10887_10696_100031_10084_10083_10103_10618_5723515_452_10304_10307_10820_532-nor-mal#cfs,searchweb201603_2,ppcSwitch_0&algo_expid=58485a3d-3301-)

- 40a6-bd26-a19b084a6df7-7&algo\_pvid=58485a3d-3301-40a6-bd26-a19b084a6df7&priceBeautifyAB=0. Luettu 24.10.2018
41. AliExpress. Guanzhou karan verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/NEW-the-CNC-Spindle-Motor-500W-57-5mm-mounting-bracket-1sets-ER11-1-7mm-13pcs-for/846278403.html?spm=a2g0v.search0104.3.22.5aaf55bcAjcMpt&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_204\\_5727215\\_318\\_10546\\_10059\\_10884\\_10548\\_5727315\\_10887\\_10696\\_100031\\_10084\\_10083\\_10103\\_10618\\_5723515\\_452\\_10304\\_10307\\_10820\\_532,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0&algo\\_expid=3dea27ee-e787-4014-a6ef-b79ebf924b8f-3&algo\\_pvid=3dea27ee-e787-4014-a6ef-b79ebf924b8f&priceBeautifyAB=0](https://ru.aliexpress.com/item/NEW-the-CNC-Spindle-Motor-500W-57-5mm-mounting-bracket-1sets-ER11-1-7mm-13pcs-for/846278403.html?spm=a2g0v.search0104.3.22.5aaf55bcAjcMpt&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_204_5727215_318_10546_10059_10884_10548_5727315_10887_10696_100031_10084_10083_10103_10618_5723515_452_10304_10307_10820_532,searchweb201603_2,ppcSwitch_0&algo_expid=3dea27ee-e787-4014-a6ef-b79ebf924b8f-3&algo_pvid=3dea27ee-e787-4014-a6ef-b79ebf924b8f&priceBeautifyAB=0). Luettu 24.10.2018
  42. Amazon. Makita karan verkkosivu. <https://www.amazon.com/Makita-RT0701C-1-1-Compact-Router/dp/B00E7D3V4S>. Luettu 24.10.2018
  43. SKF group 2011. Linear bearings and units. Technical handbook. Ruotsi. [http://www.skf.com/binary/49-55843/SKF\\_6402\\_EN\\_11\\_10\\_19\\_GB\\_high.pdf](http://www.skf.com/binary/49-55843/SKF_6402_EN_11_10_19_GB_high.pdf). Luettu 11.10.2018
  44. Thomson Industries 2013. Selecting and Applying Rolling Element Linear Bearings and Guides. [https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/Selecting\\_Applying\\_Rolling\\_Element\\_Linear\\_Bearings\\_Guides\\_tæn.pdf](https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/Selecting_Applying_Rolling_Element_Linear_Bearings_Guides_tæn.pdf). Luettu 24.10.2018
  45. Thomson Industries 2013. Precision Screws. [https://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/Precision\\_Screws\\_ctuk.pdf](https://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/Precision_Screws_ctuk.pdf). Luettu 24.10.2018
  46. The Engineering ToolBox. Euler's Column Formula. [https://www.engineeringtoolbox.com/euler-column-formula-d\\_1813.html](https://www.engineeringtoolbox.com/euler-column-formula-d_1813.html). Luettu 24.10.2018
  47. Oyal Metal. C15 materiaalin ominaisuudet. <http://www.oyalmetal.com/tablolar/308-c15.html>. Luettu 24.10.2018
  48. AliExpress. Anti-backlash nut. <https://ru.aliexpress.com/item/T10-eliminate-clearance-nut-anti-backlash-nut-trapezoidal-screw-nut-lead-2mm-4mm-8mm-10mm-12mm/32779124385.html>. Luettu 24.10.2018
  49. Lakeside Industries. Anti/backlash nut. [https://www.lakesideindustries.net/product\\_p/1800112-025-Isn.htm](https://www.lakesideindustries.net/product_p/1800112-025-Isn.htm). Luettu 24.10.2018
  50. Thomson Industries 2013. The Pressure Velocity (PV) Relationship for Lead Screws. [https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/The\\_Pressure\\_Velocity\\_Relationship\\_for\\_Lead\\_Screws\\_tæn.pdf](https://www.thomsonlinear.com/downloads/articles/The_Pressure_Velocity_Relationship_for_Lead_Screws_tæn.pdf). Luettu 24.10.2018
  51. Knight, K. Lead Screws 101. [https://www.electromate.com/assets/pdf/Haydon%20Kerk%20White%20Paper%20%20Lead\\_Screws\\_101.pdf](https://www.electromate.com/assets/pdf/Haydon%20Kerk%20White%20Paper%20%20Lead_Screws_101.pdf). Luettu 24.10.2018
  52. SKF group 2018. Rolling bearings. <http://www.skf.com/binary/77-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf>. Luettu 24.10.2018
  53. AliExpress. Pidätinruuvien verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/1-OX/32855622169.html?spm=a2g0v.search0204.3.37.757e1491tlEsIT&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0%2Csearchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_5727315\\_10548\\_10696\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_10304\\_10307\\_10820\\_532\\_5727215\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103%2Csearchweb201603\\_2%2CppcSwitch\\_0\\_ppcCha](https://ru.aliexpress.com/item/1-OX/32855622169.html?spm=a2g0v.search0204.3.37.757e1491tlEsIT&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_5727315_10548_10696_10084_10083_10618_452_5723515_10304_10307_10820_532_5727215_204_10059_10884_10887_100031_320_10103%2Csearchweb201603_2%2CppcSwitch_0_ppcCha)

- nnel&algo\_pvid=6adab896-d439-4b0e-9cef-b06a06480c86&priceBeautyAB=0&algo\_expid=6adab896-d439-4b0e-9cef-b06a06480c86-5. Luettu 24.10.2018
54. AliExpress. Neulalaakerin verkkosivu.  
[https://ru.aliexpress.com/item/Free-Shipping-10-PCS-HF0612-One-Way-Needle-Bearing-Clutch-6x10x12-Miniature-Needle-Bearings-RC-Models/689836610.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.592920ee1VGztJ&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_5727315\\_10548\\_10696\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_572351\\_5\\_10304\\_10307\\_10820\\_532\\_5727215\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0\\_ppcChannel&algo\\_expid=a3bfea50-f3ab-46ba-a851-172e23a13e0a-0&algo\\_pvid=a3bfea50-f3ab-46ba-a851-172e23a13e0a&priceBeautyAB=0](https://ru.aliexpress.com/item/Free-Shipping-10-PCS-HF0612-One-Way-Needle-Bearing-Clutch-6x10x12-Miniature-Needle-Bearings-RC-Models/689836610.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.592920ee1VGztJ&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_5727315_10548_10696_10084_10083_10618_452_572351_5_10304_10307_10820_532_5727215_204_10059_10884_10887_100031_320_10103,searchweb201603_2,ppcSwitch_0_ppcChannel&algo_expid=a3bfea50-f3ab-46ba-a851-172e23a13e0a-0&algo_pvid=a3bfea50-f3ab-46ba-a851-172e23a13e0a&priceBeautyAB=0). Luettu 24.10.2018
55. AliExpress. Urakuulalaakerien verkkosivu.  
[https://ru.aliexpress.com/item/5Pcs-698-2Z-698ZZ-698zz-698-zz-1000098-619-8-R-1980-Deep-Groove-Ball-Bearings/1716665570.html?spm=a2g0v.search0204.3.36.2e9248b4fQZPf2&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_5727315\\_10548\\_10696\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_10304\\_10307\\_10820\\_532\\_5727215\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0\\_ppcChannel&algo\\_expid=8eeae484-ed90-426e-a853-6896e39ba398-5&algo\\_pvid=8eeae484-ed90-426e-a853-6896e39ba398&priceBeautyAB=0](https://ru.aliexpress.com/item/5Pcs-698-2Z-698ZZ-698zz-698-zz-1000098-619-8-R-1980-Deep-Groove-Ball-Bearings/1716665570.html?spm=a2g0v.search0204.3.36.2e9248b4fQZPf2&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_5727315_10548_10696_10084_10083_10618_452_5723515_10304_10307_10820_532_5727215_204_10059_10884_10887_100031_320_10103,searchweb201603_2,ppcSwitch_0_ppcChannel&algo_expid=8eeae484-ed90-426e-a853-6896e39ba398-5&algo_pvid=8eeae484-ed90-426e-a853-6896e39ba398&priceBeautyAB=0). Luettu 24.10.2018
56. Juvinall R.C., Marshek K.M. Fundamentals of Machine Component Design 2012. [https://www.slideshare.net/diasws/fundamentals-of-machine-component-design-juvinall-5ed-em-ingls?from\\_action=save](https://www.slideshare.net/diasws/fundamentals-of-machine-component-design-juvinall-5ed-em-ingls?from_action=save). Luettu 24.10.2018
57. AliExpress. Ruostumattomien tankojen verkkosivu.  
[https://ru.aliexpress.com/item/1-d-12-100-600-3D-12/32908275291.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.27592b24Mss-DUC&s=p&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_10548\\_10696\\_450\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_535\\_534\\_533\\_10307\\_532\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103\\_448\\_449,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0\\_ppcChannel](https://ru.aliexpress.com/item/1-d-12-100-600-3D-12/32908275291.html?spm=a2g0v.search0204.3.1.27592b24Mss-DUC&s=p&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_10548_10696_450_10084_10083_10618_452_5723515_535_534_533_10307_532_204_10059_10884_10887_100031_320_10103_448_449,searchweb201603_2,ppcSwitch_0_ppcChannel). Luettu 24.10.2018
58. SIJ group. SIQUAL 0503 Steel. <https://steelselector.sij.si/steels/C45.html>. Luettu 24.10.2018
59. AliExpress. Koteloitujen lineaarilaakerien verkkosivu.  
[https://ru.aliexpress.com/item/Free-Shipping-4-pcs-SC12UU-SCS12UU-Linear-motion-ball-bearings-slide-block-bushing-for-12mm-linear/32728072208.html?spm=a2g0v.search0204.3.36.3c816550oyt6pl&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_10548\\_10696\\_450\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_535\\_534\\_533\\_10307\\_532\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103\\_448\\_449-normal#cfs,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0\\_ppcChannel&algo\\_expid=dac90771-eed2-4073-9937-380972b69db0-4&algo\\_pvid=dac90771-eed2-4073-9937-380972b69db0](https://ru.aliexpress.com/item/Free-Shipping-4-pcs-SC12UU-SCS12UU-Linear-motion-ball-bearings-slide-block-bushing-for-12mm-linear/32728072208.html?spm=a2g0v.search0204.3.36.3c816550oyt6pl&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_10548_10696_450_10084_10083_10618_452_5723515_535_534_533_10307_532_204_10059_10884_10887_100031_320_10103_448_449-normal#cfs,searchweb201603_2,ppcSwitch_0_ppcChannel&algo_expid=dac90771-eed2-4073-9937-380972b69db0-4&algo_pvid=dac90771-eed2-4073-9937-380972b69db0). Luettu 24.10.2018

60. Applied Motion Products. What is Step Motor Stack Length? <https://www.applied-motion.com/news/2015/10/stacks-stacks>. Luettu 24.10.2018
61. The Inventables Workshop. Stepper Motors. <http://blog.inventables.com/p/stepper-motors.html>. Luettu 24.10.2018
62. PBC Linear. Stepper Motor NEMA 17. <http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>. Luettu 24.10.2018
63. AliExpress. Askelmoottorien verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/Top-Selling-Nema-17-Stepper-Motor-45Ncm-64oz-in-42x42x40mm-Bipolar-1m-Cable-3D-Printer-CNC/32746166605.html?spm=a2g0v.search0204.3.31.57033f43mLrarw&s=p&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0%2Csearchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_10548\\_10696\\_450\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_535\\_534\\_533\\_10307\\_532\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_10003\\_1\\_320\\_10103\\_448\\_449%2Csearchweb201603\\_2%2CppcSwitch\\_0\\_ppcChannel](https://ru.aliexpress.com/item/Top-Selling-Nema-17-Stepper-Motor-45Ncm-64oz-in-42x42x40mm-Bipolar-1m-Cable-3D-Printer-CNC/32746166605.html?spm=a2g0v.search0204.3.31.57033f43mLrarw&s=p&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_10548_10696_450_10084_10083_10618_452_5723515_535_534_533_10307_532_204_10059_10884_10887_10003_1_320_10103_448_449%2Csearchweb201603_2%2CppcSwitch_0_ppcChannel). Luettu 24.10.2018
64. AliExpress. Joustavan liittimen verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/1-28-D19xL25mm/32859727812.html?spm=a2g0v.search0204.3.46.6325171f8Eeifa&s=p&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_318\\_319\\_10546\\_317\\_10548\\_10696\\_450\\_10084\\_10083\\_10618\\_452\\_5723515\\_535\\_534\\_533\\_10307\\_532\\_204\\_10059\\_10884\\_10887\\_100031\\_320\\_10103\\_448\\_449,searchweb201603\\_2,ppcSwitch\\_0](https://ru.aliexpress.com/item/1-28-D19xL25mm/32859727812.html?spm=a2g0v.search0204.3.46.6325171f8Eeifa&s=p&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_319_10546_317_10548_10696_450_10084_10083_10618_452_5723515_535_534_533_10307_532_204_10059_10884_10887_100031_320_10103_448_449,searchweb201603_2,ppcSwitch_0). Luettu 24.10.2018
65. British stainless-steel association. Bimetallic (galvanic) corrosion risks from contact with galvanised steel or aluminium. <https://www.bssa.org.uk/topics.php?article=89>. Luettu 24.10.2018
66. Alibaba. Alumiinilevyjen verkkosivu. [https://www.alibaba.com/product-detail/Direct-buy-china-aluminum-6061-t6\\_60761800937.html?spm=a2700.7724857.normal-List.17.304b74a1obZ0Ap&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Direct-buy-china-aluminum-6061-t6_60761800937.html?spm=a2700.7724857.normal-List.17.304b74a1obZ0Ap&s=p). Luettu 24.10.2018
67. ASM International 2001. Aluminum and Aluminum Alloys. <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/173/Aluminum%20and%20Aluminum%20Alloys%20Davis.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Luettu 24.10.2018
68. Smart Bolts. Fundamentals of Basic Bolting. <http://www.smartbolts.com/fundamentals/>. Luettu 24.10.2018
69. Alibaba. Alumiinipulttien verkkosivu. [https://www.alibaba.com/product-detail/bearing-socket-screw-low-cap-head\\_60189098788.html?spm=a2700.7724857.normal-List.85.a00236e2eRrza0](https://www.alibaba.com/product-detail/bearing-socket-screw-low-cap-head_60189098788.html?spm=a2700.7724857.normal-List.85.a00236e2eRrza0). Luettu 24.10.2018
70. Alibaba. Alumiinialuslevyjen verkkosivu. [https://www.alibaba.com/product-detail/china-supplier-m5-m6-m8-cnc\\_60134817120.html?spm=a2700.7724838.2017115.63.206f7a1e11vqVs](https://www.alibaba.com/product-detail/china-supplier-m5-m6-m8-cnc_60134817120.html?spm=a2700.7724838.2017115.63.206f7a1e11vqVs). Luettu 24.10.2018
71. Misumi. Kulmakannattimien verkkosivu. <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302705620/>. Luettu 24.10.2018

72. AliExpress. CNC 6040.  
<https://ru.aliexpress.com/i/1000001939261.html?spm=a2g0v.search0306.3.43.9d94269cZjha7Q>. Luettu 24.10.2018
73. CNC Router Source. Stepper Vs Servo Motors. <http://www.cncrouter-source.com/stepper-vs-servo.html>. Luettu 30.10.2018
74. The Engineering Toolbox. Engineering Materials. [https://www.engineeringtoolbox.com/engineering-materials-properties-d\\_1225.html](https://www.engineeringtoolbox.com/engineering-materials-properties-d_1225.html). Luettu 30.10.2018
75. Aliexpress. CNC 6040 verkkosivu. [https://ru.aliexpress.com/item/mini-CNC-router-600-400mm-engraver-drilling-and-milling-machine-engraving-machine-CNC-router-6040/404403447.html?albbt=Google\\_7\\_search&isdl=y&slnk=&src=google&acnt=479-062-3723&crea=64152518596&aff\\_platform=google&netw=g&plac=&albcpl=266121556&mtctp=b&aff\\_short\\_key=UneMJZVf&gclid=EAlalQobChMI8qGPgliv3glVDuaaCh1pxACHE-AAYASAAEgL7QvD\\_BwE&albag=7593673036&albch=search&memo1=1t1&trgt=aud-165594907443%3Adsa-42862830006&device=c](https://ru.aliexpress.com/item/mini-CNC-router-600-400mm-engraver-drilling-and-milling-machine-engraving-machine-CNC-router-6040/404403447.html?albbt=Google_7_search&isdl=y&slnk=&src=google&acnt=479-062-3723&crea=64152518596&aff_platform=google&netw=g&plac=&albcpl=266121556&mtctp=b&aff_short_key=UneMJZVf&gclid=EAlalQobChMI8qGPgliv3glVDuaaCh1pxACHE-AAYASAAEgL7QvD_BwE&albag=7593673036&albch=search&memo1=1t1&trgt=aud-165594907443%3Adsa-42862830006&device=c). Luettu 30.10.2018
76. Misumi. Moottorin pidikkeen verkkosivu. <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302711470/>. Luettu 30.10.2018
77. Innanen, O. Konedirektiivin 2006/42/ey ja sfs-en 1090- standardin vaatimukset ja soveltaminen teollisuuden kunnossapitotoiminnassa. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103741/Diplomity%C3%B6\\_Olli-Pekka\\_Innanen.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/103741/Diplomity%C3%B6_Olli-Pekka_Innanen.pdf?sequence=2). Luettu 30.10.2018
78. DHgate. CNC koneen kuvat. <https://www.dhgate.com/product/diy-cnc-engraving-machine-cnc-2417-grbl-control/397608831.html>. Luettu 30.10.2018
79. YouTube. CNC 6040 Router. <https://www.youtube.com/watch?v=eIRfT-gngPhc>. Luettu 30.10.2018
80. YouTube. Homemade DIY CNC Series. <https://www.youtube.com/watch?v=D4-p3ZGITHg>. Luettu 30.10.2018
81. CNCzone. Cutting aluminum. <https://www.cnczone.com/forums/cnc-router-parts/298930-cutting-aluminum.html>. Luettu 30.10.2018
82. The Best Router. Dewalt 611 Mini Router. <http://router.nice-tree.site/dewalt-611-mini-router/>. Luettu 30.10.2018
83. ID2CNC. CNC electronic wiring. <https://id2cnc.com/controller-box-build/draft-cnc-electronic-wiring/>. Luettu 30.10.2018
84. Vivut. Multi- head CNC wood router. <http://vicutcnc.com/1-5-multi-head-wood-carving-cnc-router/271167/>. Luettu 30.10.2018
85. 3D printers shop. BIQU T8. <https://www.3dprintersshop.org/biqu-t8-anti-backlash-spring-loaded-nut-elimination-nut-for-8mm-acme/>. Luettu 30.10.2018

# Liite 1

## Aikataulu

Vaihe	Tehtävä	Kuvaus	Aika (t)
<b>Vaihe 1 Suunnitteluongelman ymmärtäminen</b>  Yhteensä: 32 tuntia	Kohderyhmän valinta	Valita kohderyhmät tuotteelle tarkemmin.	1 t
	Tutkia moderneja CNC koneita	Tutkia ja järjestää tietoa CNC koneiden toimintaperiaatteista ja rakenteesta käyttäen saatavilla olevia lähteitä kuin harrastajien sivustoja ja kirjoja.	63 t
	Tutkia kilpailijoita	Tutkia ja järjestää tietoa 4 kilpailijoiden CNC kaiverruskoneista (asiakkaiden mielipide koneesta, koneiden rakenne ja kustannus). Ymmärtää, millainen kaiverruskoneen suunnittelu on nykyään suosituin.	8 t
	Järjestää tietoa CNC koneesta	Luoda CNC kaiverruskoneen kartan, joka koostuu koneen rakenteen, ominaisuuksien ja osien	3 t

		vaihtoehtojen kuvauksesta käyttämällä kokemusta, aikaisemmin kerättyä tietoa ja nettiä.	
	Muodostaa tarvelauseet	Luoda tarvelauseet asiakkaiden palautteen ja koneen haluttujen funktioiden perusteella.	1 t
	Asiakirjojen luominen	Luoda muodolliset asiakirjan tästä vaiheesta.	3 t
	Uusia suunnitelma	Ottaa lukuun kerättyä tietoa ja sen perusteella muokata seuraavat vaiheet.	1 t
	<p>Tulokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tieto nykyisten CNC koneisten rakenteesta</li> <li>- Tieto kilpailijoista</li> <li>- Asiakkaiden palaute ja tarvelauseet</li> </ul>		
	<p>Tarvittavat päätökset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Päättää siitä ovatko tiedon määrä ja laatu riittäviä</li> <li>- Uusia suunnitelman</li> </ul>		
<b>Vaihe 2</b>	Toteuttaa Benchmark-kaus	Toteuttaa Benchmarkkaus kunnolla tutkimalla yhden kilpailijan koneen rakennetta (valitse yksi niistä aikaisemmin tutkituista).	8 t
<b>Spesifikaatioiden määrittely</b>			
Yhteensä: 40 tuntia			

	Toiminnallinen pilkkominen (kilpailijat)	Tälle yhdelle koneelle määritellä funktiot käyttämällä toiminnallista pilkkomista (functional decomposition) menetelmää.	4 t
	Toiminnallinen pilkkominen (oma tuote)	Määritellä tulevalle omalle tuotteelle funktiot ja subfunktiot.	4 t
	Tulevan tuotteen muodon määrittely	Määritellä alustavasti tulevan tuotteen muodon ja tuotannon suuruuden, koska se tarvitaan spesifikaatioita varten (ei tarvita mitään täsmällistä).	1 t
	QFD menetelmän soveltaminen	Käyttämällä tarvelauseita ja tietoa kilpailijoista luoda numeeriset spesifikaatiot soveltamalla QFD menetelmää (tuloksena on tuotteen spesifikaatioita ja tavoitteita).	23 t
	<p>Tulokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kilpailijoiden koneiden seikkaperäinen ja johdonmukainen kuvaus</li> </ul>		



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulevan koneen toiminnallinen pilkkominen (sen selkeät funktiot)</li> <li>- Tulevan koneen spesifikaatiot ja tavoitteet</li> </ul>		
	<p>Tarvittavat päätökset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Päättää siitä ovatko tiedon määrä ja laatu riittäviä</li> <li>- Uusia suunnitelman</li> </ul>		
<b>Vaihe 3 Konsepti-suunnittelu- luonnosten generointi</b>  Yhteensä: 16 tuntia	Morfologisten taulukojen muodostaminen ja täyttäminen	Aikaisemmin kerätyn tiedon perusteella luoda morfologiset taulukot kaikille koneen osille. Sitten täyttää niitä taulukoja eri vaihtoehdoilla.	16 t
	<p>Tulokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulevan koneen luonnokset</li> </ul>		
	<p>Tarvittavat päätökset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Päättää siitä ovatko luonnosten määrä ja laatu riittäviä</li> <li>- Uusia suunnitelman</li> </ul>		
<b>Vaihe 4 Konseptisuunnittelu- luonnosten arvostelu</b>  Yhteensä: 16 tuntia	Ratkaisujen arviointi ja vertailu	Käyttämällä päätös-matriisia (Pughin menetelmä) ja Uskomuskarttaa (Beief map) arvioida jokaisen ratkaisun laatua ja verrata nämä keskenään (robust decision making).	8 t
	Valita parhaat ratkaisut ja tehdä niistä luonnoksen	Parhaat ratkaisut kaikista valitaan ja niistä luodaan tulevan tuotteen luonnos	8 t

		alustavan kolmeulotteisen mallin muodossa. Mallin avulla voidaan esimerkiksi havainnollisesti esittää koneen muoto ja siihen sisältyvät osat, löytää ongelmat.	
	<p>Tulokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paras luonnos kaikista</li> <li>- Sen luonnoksen matemaattinen malli</li> </ul>		
	<p>Tarvittavat päätökset:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Päättää siitä onko lopullinen luonnos paras mahdollinen vaihtoehto (ota lukuun muut mahdolliset). Tarvitaanko aloittaa uudestaan Konseptisuunnitteluvaihe?</li> <li>- Uusia suunnitelman</li> </ul>		
<p><b>Vaihe 5</b></p> <p><b>Tuotekehitys- detaljisuunnittelu</b></p> <p>Yhteenäs: 64 tuntia</p>	Koneen alustavan mallin luonti	Luoda koneen alustava malli, jonka avulla voidaan esimerkiksi havainnollisesti esittää koneen muoto ja siihen sisältyvät osat.	16 t
	Osien valinta ja arviointi	Kaikki koneeseen sisältyvät osat nyt kunnolla valitaan ja arvioidaan. Sitä varten käytetään erilaisia luetteloja. Monet osat valitaan niiden hinnan mukaan.	32 t

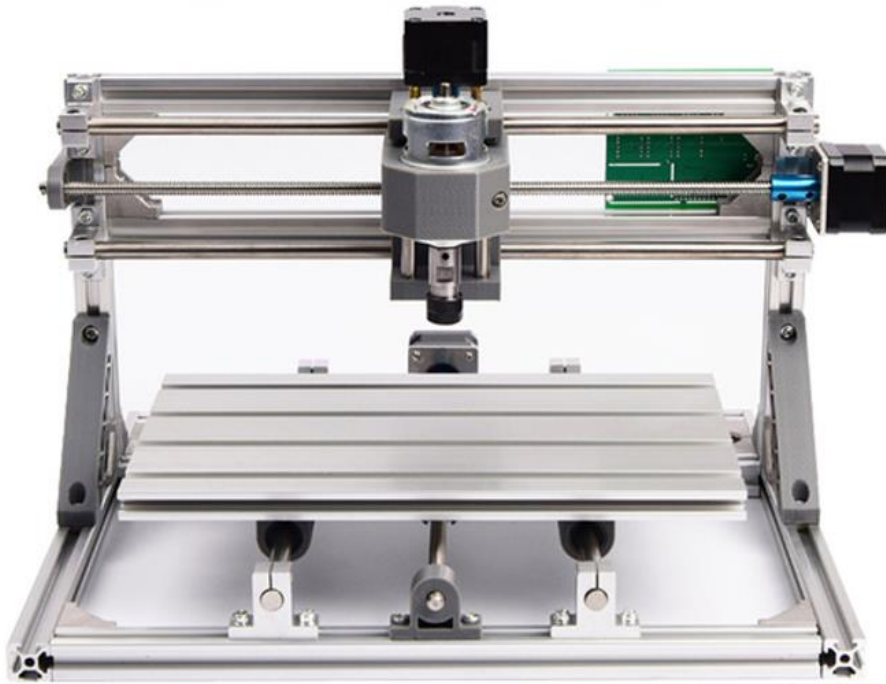
	Tarkempi koneen muodon määrittely	Määritellä muuta kohdat joista riippuu koneen suorituskyky ja suunnitella niitä kunnolla. Esim. eri tankojen korkeus.	8 t
	Koneen lopullisen kolmeulotteisen mallin luonti	Luoda koneen lopullinen malli, jota sitten analysoidaan ensi vaiheessa	8 t
	Tulokset:		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulevan tuotteen suunnittelu</li> <li>- Tieto alihankkijoista</li> </ul>		
Tarvittavat päätökset:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Päättää siitä onko suunnittelun laatu kunnossa (ei tarvitse nyt olla täydellistä, ensi vaiheessa tarkistus tehdään kunnolla)</li> <li>- Uusia suunnitelman</li> </ul>			
<b>Vaihe 6</b>	Jäykkyysanalyysi	Toteuttaa jäykkyysanalyysi näin, että karan taipuminen silvitetään ja sen avulla arvioidaan koko koneen jäykkyys.	32 t
<b>Tuotekehitysuunnittelun arviointi</b>	Suorituskyvyn arviointi	Arvioida kuinka hyvin lopullinen suunnittelu vastaa QFD taulukossa asetettuihin tavoitteisiin.	16 t
Yhteensä: 64 tuntia			

	Muodostaa lopullinen raportti koneen suunnittelusta	Nyt voidaan luoda koko projektin yhteenveto. Sitä varten kaikki projektin aineisto kerätään ja siitä tehdään lopullinen opinnäytetyö.	16 t
	Tulokset:  - Valmis tuotteen suunnittelun arviointi		
	Tarvittavat päätökset:  - Tarvitaanko toista jokin vaihe vielä kerran?		
<b>Yhteensä: 232 tuntia</b> (29 työpäivää).			
<p><b>Huom!</b> Jos tarvitaan toistaa jokin vaihe tai kaksi vaihetta (esim. Konseptisuunnittelu ja Tuotekehitys), voidaan sitä varten käyttää noin 4 ylimääräistä päivää. Se on lyhyt aikaväli, mutta silloin, kun vaihetta toistetaan, suunnittelua vain muokataan ja työtä tehdään jo aikaisemmin tehdyn työn perusteella.</p> <p>Suunnitelman mukaan päivässä voidaan tehdä noin 8 työtuntia (ylityö on mahdollinen). Sen lisäksi vielä 3-4 tuntia käytetään suunnittelutaitojen kehitystä varten.</p>			

## Liite 2

### Kilpailijoiden koneiden ominaisuudet

#### 1 CNC 318 tuotettu Kiinassa



Koneen piirteet	Arvot
Valmistaja	MOSKI-MSQ
Hinta	177 \$
Paino	7,9 kg
Työstöalue	300 x 180 x 45 mm (T-uralevy)
Koneen koko	400 x 330 x 240 mm
Kara	775 karan moottori <ul style="list-style-type: none"><li>- Teho: 150 Wattia</li><li>- Kierrosnopeus 7.000 – 18.000 kierrosta minuutissa</li></ul>

Liikemoottorit	Askelmoottori (Nema 17)
Lineaarijohteet	Tangot
Liikkeen muuntava kokoonpano	Trapetsi ruuvit
Ohjain	Arduino
Voi työstää	Puu, muovi akryyli. Ei sovi kovemmille materiaaleille hauraan rakenteen vuoksi.
Muut ominaisuudet	On mahdollinen asentaa koneeseen laser, jonka avulla voidaan kaivertaa puuta tai muita materiaaleja

## 2 CNC Piranha Fx tuotettu Yhdysvalloissa



Koneen piirteet	Arvot
Valmistaja	Rockler
Hinta	1600 \$ + toimitus noin 60 \$
Paino	27 kg
Työstöalue	305 x 330 x 76 mm (T-uralevy)
Koneen koko	500 x 520 x 457 mm
Kara	Bosch Colt Router ( <b>menee erikseen</b> ) <ul style="list-style-type: none"><li>- Teho: 750 Wattia</li><li>- Kierrosnopeus 16.000 – 35.000 kierrosta minuutissa</li></ul>

Liikemoottorit	steppimoottorit (koko Nema 17)
Lineaarijohteet	Tangot
Liikkeen muuntava kokoonpano	Kuularuuvit
Ohjain	Ohjausmoduuli (kosketusnäytön kanssa)
Voi työstää	Puu, muovi, akryyli ja kovempia materiaaleja kuin alumiini tai pronssi.
Muut ominaisuudet	Kone on melko yksinkertainen ja sopii hyvin taiteilijoille, koska ei tarvita perehtyä koneen yksityiskohtiin. Kuitenkin, hinta on melkoinen (se on halvemmin yhtiön kaikista tuotteista).



### 3 CNC 8060Z tuotettu Kiinassa



Koneen piirteet	Arvot
Valmistaja	YooCNC
Hinta	1890 \$
Paino	95 kg
Työstöalue	790 X 580 X 105 mm (T-uralevy)
Koneen koko	1130 X 890 X 610mm
Kara	Vedellä jäähdytettävä kara <ul style="list-style-type: none"><li>- Teho: 2200 Wattia</li><li>- Kierrosnopeus 0 – 24.000 kierrosta minuutissa (ei voi olla totta, mutta tieto on tuotteen sivustosta)</li></ul>

Liikemoottorit	Hybridi steppimoottori (60BYGH- 4.2 A)
Lineaarijohteet	Tangot
Liikkeen muuntava kokoonpano	Kuularuuvit
Ohjain	Tietokoneen avulla ohjattu kone
Voi työstää	Puu, muovi, akryyli ja kovempia materiaaleja kuin alumiini tai pronssi.
Muut ominaisuudet	Koneen työstöalue on suuri. Sillä on vesijäähdytys ja neljännes akseli. Sillä koneella voidaan tehdä työstön eri tyyppisiä ja samaan aikaan sen jäykkyys on hyvä. Todennäköisesti, se on yhden OMIO CNC:in yrityksen koneen jäljennös.

# Liite 3

## Benchmarkkaus

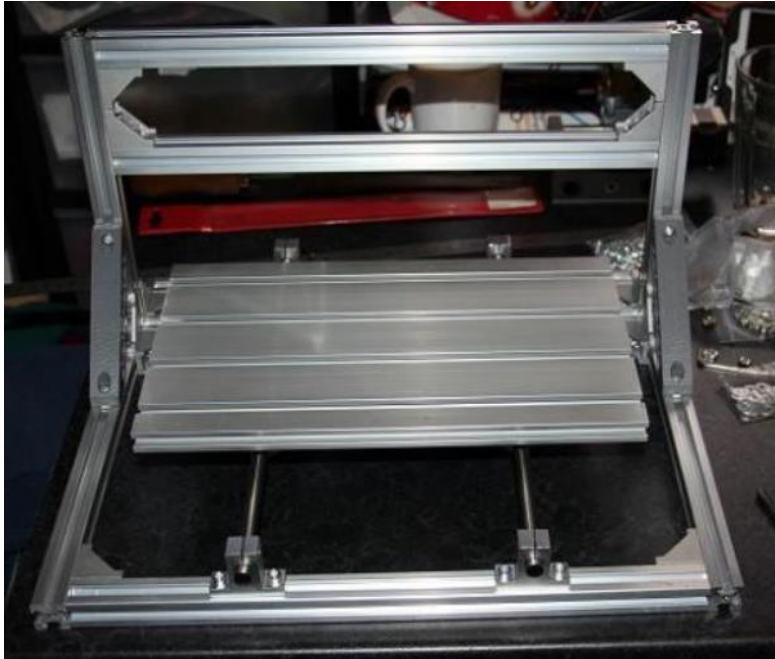
### 1 CNC 3018 runko







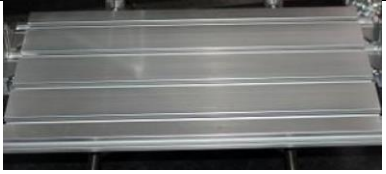


Kokoonpanon osat				
Nº	Osan nimi	Osien määrä	Materiaali tai kuvaus	Osan kuva
1	Alumiiniprofiilit 20x20 (eripituiset)	9	Alumiiniseos 6063-T5	
2	Kulmakannattimet 20x28	16	Alumiiniseos	

3	T-mutterit M5 (osaa niistä käytetään muissa ko- koonpanoissa)	36	Alumiiniseos	
4	M5x10 pultit (osaa niistä käytetään muissa ko- koonpanoissa)	36	Alumiiniseos	
5	M5 aluslevyt (osaa niistä käytetään muissa ko- koonpanoissa)	36	Alumiiniseos	
6	Nylonista tu- lostettu kann- tin	2	Nailon	

## 2 CNC 3018 X-akselin lineaarijohteet ja työstöpöytä



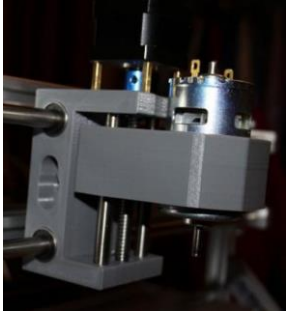



Kokoonpanon osat				
Nº	Osan nimi	Osien määrä	Materiaali tai kuvaus	Osan kuva
7	Lineaaritanko (halkaisija on noin 8 mm)	2	Ruostumaton terä	
8	Lineaarilaakerit muovikotelossa	4	Koostuu lineaarilaakerista ja muovista	

9	Trapetsimutteri muovikote- lossa	1	Koostuu trapetsi- mutterista ja muo- vista	
10	Tangon pidike	4	Alumiiniseos	
11	Työstöpöytä	1	Alumiiniseos	
12	T-mutterit M6	10	Alumiiniseos	
13	M6x10 pultit	10	Alumiiniseos	

### 3 Y- ja Z- akselit, trapetsiruuvit, moottorit, laakerit ja elektro- niikka



Kokoonpanon osat				
Nº	Osan nimi	Osien määrä	Materiaali tai kuvaus	Osan kuva
14	Lineaari- tanko (hal- kaisija on noin 8 mm)	2	Ruostumaton terä	
15	Tangon pi- dike	4	Alumiiniseos	

16	Karan ja Z akselin koonpano	1	Koostuu kaarasta, lineaaritangoista, askelmoottorista, trapetsiruuvista ja muovista	
17	Askelmoottorin pidike	2	Työstetty alumiini	
18	Askelmoottori	2	Nema 17 askelmoottori	
19	Trapetsiruuvien laakeri	2	Laakeri muovikotelossa	
20	Trapetsiruuvit ja jännitteyt mutterit	2	Pronssin mutteri, rautainen jousi ja teräsruuvi	



21	Kuularuuvi liitin	2	Alumiiniseos	
22	Ohjausmo- duuli	1	Koostuu oh- jaimesta, moot- torien ohjainkor- teista	
23	Teholähde	1	Jännitys: 24 V  Virta: 5,6 A	
24	Johdot	4	Johdot liike- moottoreille ja karalle	
25	USB johto	1	Kytetään tietö- koneen ja ohjai- men välillä	
26	Työkappa- leen kiinnitti- met	4	-	

# Liite 4

## QFD taulukko, osa 1

Suunnitelman mukaan tuotetaan 500 konetta (pientuotanto)

Jokaisella asiakasryhmällä on 200 pistettä

Mikä		Kuka		Miten								Nyt			
		Käyttäjät	Valmistajat ja toimittajat	Iteensäsiestettyjen osien määrä	Osien muokkaaminen oston jälkeen eli muokausmenetelmien määrä	Koneen koko toimitusta varten	Karan taipuminen työkappaleeseen verrattuna työstön aikana (alumiini, terä AL-ZE-D5,0 ZCC-CT)	Koneen valmistuskertoin	Koneen massa	Työstöalueen pinta-ala ja korkeus	Karan lineaaripopeus materiaalisia (alumiini, terä AL-ZE-D6,0 ZCC-CT)	Koneen riskien arviointi	Koneen vikataajuus		
Mikä				↓	↓	↓	↓	↑	-	-	↑	↑	↓	CNC 3018 arviointi 5 = tosi hyvä; 1 = tosi huono	
Mikä				Osat	Muokausmenetelmien määrä	Cm <sup>3</sup> (P*L*K)	Mm	Kerroin, ζ	Kg	Cm <sup>3</sup> (P*L*K)	mm/min	Pisteet	Vika /tunti		
Tuotteen valmistus		0	70	9	9									5	
Tuotteen toimitus		10	45			9			9	3				5	
Koneen käyttöönotto		45	30	9	9									4	
Koneen käyttö	Alumiinin- ja puuntyöstö	24	0				9	3						2	
		5.Kone ei värähtele alumiinintyöstön aikana	19	0				9	9					1	
		6.Kone luo tarpeeksi suurta työstövoimaa ja kiertonopeutta	-	-											2
	Tuottavuus	7.Koneeseen voidaan sijoittaa erikoiset ja suuret työkappaleet	22	0							9				3
		8.Kone toimii nopeasti	15	0				1				9			1
	Muu	9.Kone on turvallinen	35	45									9	3	2
10.Kone kestää käytössä		30	10				3	3					9	2	
Tärkeys		Käyttäjät	Valmistajat ja toimittajat	13%	13%	3%	15%	10%	13%	7%	4%	10%	12%	Yhteensä: 3183	
Tavoitteet		Tavoite (paras)	Tavoite (huonoin)	0	0	30*30*30	0.001	Mahdollisimman korkea	15	30*20*10	1600 mm/min	Enintään 18	1/10 <sup>4</sup>	Yhteensä: 3120	
				2	2	100*50*50	0.01		40	25*20*10	650 mm/min	Enintään 10	3/10 <sup>3</sup>		

Vaikutusten mittakaava: Heikko-1, Kohtuullinen- 3, Voimakas- 9

Kystannus voi olla enintään 300 e

Pidä koneen kasaamista yksinkertaisella tasolla

# Liite 5

## QFD taulukko, osa 2

										Koneen vikataajuus
										Koneen riskien arviointi
										Karan lineaarinopeus materiaalissa (alumiini, terä AL-2E-D6.0 ZCC-CT)
										Työstöalueen pinta-ala ja korkeus
										Koneen massa
					+	-				Koneen vaimennuskertoin
					+	-				Karan taipuminen työkappaleeseen verrattuna työstön aikana (alumiini, terä AL-2E-D6.0 ZCC-CT)
						-				Koneen koko toimitusta varten
										Osien muokkaaminen oston jälkeen eli muokkausmenetelmien määrä
			-					-	-	Itsenäisesti tuotettujen osien määrä
Itsenäisesti tuotettujen osien määrä	Osien muokkaaminen oston jälkeen eli muokkausmenetelmien määrä	Koneen koko toimitusta varten	Karan taipuminen työkappaleeseen verrattuna työstön aikana (alumiini, terä AL-2E-D6.0 ZCC-CT)	Koneen vaimennuskertoin	Koneen massa	Työstöalueen pinta-ala ja korkeus	Karan lineaarinopeus materiaalissa (alumiini, terä AL-2E-D6.0 ZCC-CT)	Koneen riskien arviointi	Koneen vikataajuus	

## Liite 6

### Mitä ja Miten osien yhdistys

Vaatus	Kuvaus	Mistä syntyi	Mihin muuhun vaikuttaa
<b>Itsenäisesti tuotettujen osien määrä</b>	Suunnittelua tekevällä yrityksellä ei ole omaa tuotantoa. Se pyrkii ostamaan mahdollisimman paljon osia alihankkijoilta. Osien muokkaamista myöskin pyritään tehdä alihankkijoiden avulla. Muokkaaminen mitataan sovellettujen menetelmien avulla. Mitä enemmän menetelmiä käytetään (leikkaus, työstö, yms.), sitä enemmän kasvaa koneen lopullinen kustannus.	1.Kone voidaan tuottaa helposti käytämällä yrityksellä olevia resursseja	Kielteisesti vaikuttaa tuotteen hintaan
<b>Osien muokkaaminen oston jälkeen eli muokkausmenetelmien määrä</b>	Suunnittelua tekevällä yrityksellä ei ole omaa tuotantoa. Se pyrkii ostamaan mahdollisimman paljon osia alihankkijoilta. Osien muokkaamista myöskin pyritään tehdä alihankkijoiden avulla. Muokkaaminen mitataan sovellettujen menetelmien avulla. Mitä enemmän menetelmiä käytetään (leikkaus, työstö, yms.), sitä enemmän kasvaa koneen lopullinen kustannus.	1.Kone voidaan tuottaa helposti käytämällä yrityksellä olevia resursseja	Kielteisesti vaikuttaa tuotteen hintaan
<b>Koneen koko toimitusta varten</b>	Toimitusyhtiöllä on tiettyjä rajoituksia tavaran koon suhteen. Esimerkiksi oli valittu yhtiö Eurosender (1).	2.Kone voidaan toimittaa asiakkaalle käyttämällä yleisiä toimituspalveluja (esim. Eurosender)	-
<b>Karan taipuminen työ-</b>	Karan taipumisella voidaan mitata koneen jäykkyyttä.	4.Kone on tarkka	Myönteisesti vaikuttaa ko-

<p><b>kappaleeseen verrattuna työstön aikana (alumiini, terä AL-2E-D6.0 ZCC-CT)</b></p>	<p>Se on melko käytännöllinen asteikko sille. Alustavien laskelmien mukaan jopa pahemmassa tapauksessa, kun terän halkaisija on 6 mm (suuri kaiveruskoneille) ja materiaali on alumiini, ilmenevät työstövoimat ovat 100 N alla. Linkki terään on taulukon alla (2).</p>	<p>5.Kone ei värähtele alumiinintyöstön aikana</p>	<p>neen kestävyteen ja syöttönopeuteen.</p>
<p><b>Koneen vaimennuskerroin</b></p>	<p>Pyritään saavuttamaan mahdollisimman korkea kerroin. Sitten kone kovasti vastustaa värähtelyä ja pyrkii palaamaan sen alkuperäiseen kuntoon mahdollisimman nopeasti. Usein sitä varten koneen runko joko tehdään valuraudasta, että täytetään hiekalla (lisätä sisäistä kitkaa). Joka tapauksessa värähtelyn energia nopeasti käännetään lämmöksi kitkan vuoksi.</p> <p>Jos <math>\zeta = 0</math>, kone jatkuu värähdellä ikuisesti ja jos <math>\zeta = 1</math> se palaa alkuperäiseen asemaan heti värähtelemättä. (3)</p>	<p>4.Kone on tarkka</p> <p>5.Kone ei värähtele alumiinintyöstön aikana</p>	<p>Myönteisesti vaikuttaa koneen kestävyteen.</p>

<p><b>Koneen massa</b></p>	<p>Koneen massa kovasti vaikuttaa sen luonnolliseen taajuuteen ja siis koneessa ilmevään työstövärtelyyn (stabiliteettikuvaajan yläpuoli). Sen lisäksi massa ja jäykkyys usein ovat kytketty keskenään, koska <b>mitä paksumpia ovat rungon osat sitä suurempi on koneen massa ja jäykkyys</b>. Suunnitteluhankkeessa yritetään löytää tehtävään sopiva massa, mutta sillä on toimitusyhtiön asettama raja 40 kg.</p>	<p>4.Kone on tarkka 5.Kone ei värähtele alumiinin työstön aikana</p>	<p>Kielteisesti vaikuttaa koneen toimitettavuuteen. Kiinteä raja oli asetettu.</p>
<p><b>Työstöalueen pinta-ala ja korkeus</b></p>	<p>Sillä määritellään se, kuinka suuret työkappaleet voidaan asettaa koneeseen.</p>	<p>7.Koneeseen voidaan sijoittaa erikokoiset ja suuret työkappaleet</p>	<p>Kielteisesti vaikuttaa koneen toimitettavuuteen, työstövärtelyyn ja tarkkuuteen.</p>
<p><b>Karan lineaarinopeus materiaalisissa (alumiini, teräs AL-2E-D6.0 ZCC-CT)</b></p>	<p>Sillä määritellään koneen tuottavuutta. Nopeus riippuu pääsääntöisesti liike-moottoreista, mutta muut asiat myöskin vaikuttavat siihen. Materiaalissa terään puuttuvat työstövoimat ja karan nopeus mate-</p>	<p>8. Koneen syöttönopeus on hyvä</p>	<p>-</p>

	riaalissa ei voi olla niin korkea kuin ilmassa sen vuoksi.		
<b>Koneen riskien arviointi</b>	Riskien arviointi tehdään suunnittelun lopussa. Silloin pyritään sitä vähentämään. Taulukossa korkeimmat mahdolliset vaarallisuuden pisteet oli annettu.	9.Kone on turvallinen	-
<b>Koneen vikataajuus</b>	Vikataajuus riippuu valittujen elementtien kestävydestä. Suunnittelun lopussa niille kaikille lasetaan yhteistä elinikää. Jos se on liian alhainen, elementit vaihdetaan tai voimat niiden päällä vähennetään.	10.Kone kestää käytössä	-

**Viitteet:**

1. <https://www.eurosender.com/en/shipment-dimensions#why-is-it-important-to-measure-your-shipment>
2. <https://cncbit.ru/product/freza-koncevaja-al-2e-d20-zcc-ct-po-aljuminiju/>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Damping\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Damping_ratio)

# Liite 7

## Morfologisten taulukkojen päätösmatriisit

### 1 Runko

Runko	Tärkeys	Alumiini profiilit	Hitsatut alumiinilevyt	Pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt
Jäykkyys	40	0.5	0.8	0.69
Valmistettavuus	20	0.5	0.25	0.5
Kestävyys	15	0.5	0.9	0.78
Hinta	25	0.5	0.2	0.5
Yhteensä		50	55.5	61.8

**Valittu vaihtoehto:** pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt

### 2 Lineaarijohteet

Lineaarijohteet	Tärkeys	Kiskot ja kelkat	Tangot ja holkit	Tuetut tangot ja holkit	Urapyörät ja kiskot
Jäykkyys	20	0.5	0.23	0.5	0.5
Valmistettavuus	20	0.5	0.86	0.58	0.4
Kestävyys	15	0.5	0.3	0.44	0.33
Hinta	35	0.5	1	0.55	0.44
Hyötysuhde	10	0.5	0.42	0.42	0.45
Yhteensä		50	65.5	51.65	42.85



**Valittu vaihtoehto:** tangot ja holkit

### 3 Liikkeen muuntava kokoonpano

Liikkeen muuntava kokoonpano	Tärkeys	Hammasyörät ja hammas-tangot	Kuularuuvit ja mutterit	Trapetsiruuvi ja mutterit	Hihnat ja hammasyörät
Hyötysuhde	15	0.5	0.71	0.46	0.61
Tarkkuus	15	0.5	0.61	0.41	0.44
Nopeus	15	0.5	0.71	0.71	0.88
Valmistettavuus	10	0.5	0.61	0.65	0.77
Kestävyys	13	0.5	0.72	0.5	0.32
Hinta	32	0.5	0.66	0.95	0.65
Yhteensä		50	67	67.1	61.61

**Valittu vaihtoehto:** trapetsiruuvit ja mutterit

### 4 Liikemoottorit

Liikemoottorit	Tärkeys	Askelmoottori	Askelmoottori ja ohjain	Servomoottori
Tarkkuus	15	0.5	0.83	0.83
Valmistettavuus	10	0.5	0.45	0.4
Kestävyys	15	0.5	0.5	0.5
Kierrosnopeus	10	0.5	0.5	0.88

Hinta	50	0.5	0.32	0.24
Yhteensä		50	45.45	44.75

**Valittu vaihtoehto:** askelmoottori

## 5 Työstöpöytä

Työstöpöytä	Tärkeys	T-uralevy pöytä	Alipainepöytä	Rei'itetty työstöpöytä
Paino	20	0.5	0.21	0.63
Valmistettavuus	10	0.5	0.3	0.42
Kestävyys	15	0.5	0.69	0.55
Jäykkyys	15	0.5	0.93	0.38
Hinta	40	0.5	0.1	0.5
Yhteensä		50	35.5	50.75

**Valittu vaihtoehto:** rei'itetty työstöpöytä

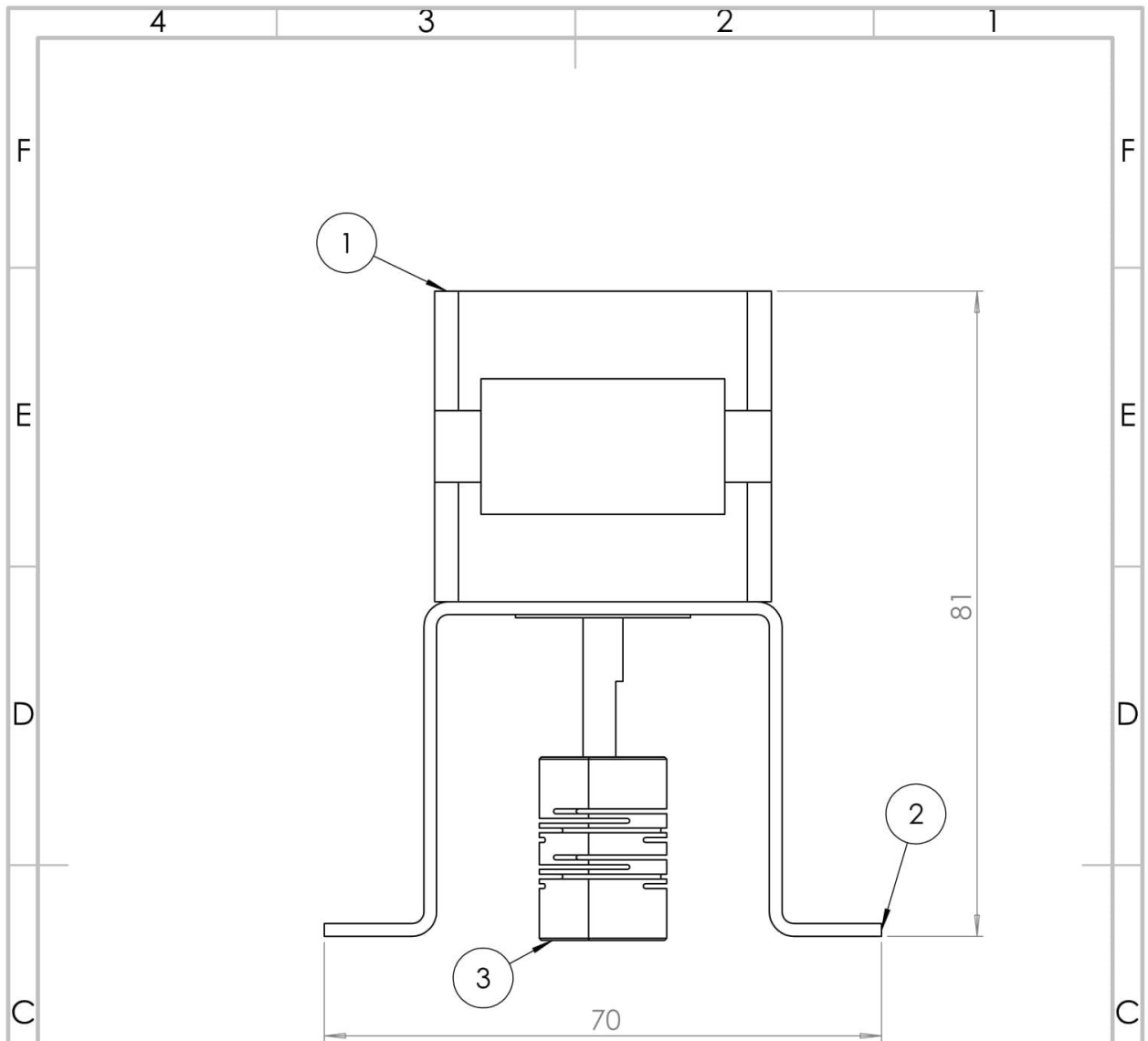
## 6 Tulokset ja yhteenveto

Osan nimi	Valittu osa
Runko	Pulteilla kiinnitetyt alumiinilevyt
Lineaarijohteet	Tangot ja holkit
Liikkeen muuntava kokoonpano	Trapetsiruuvit ja mutterit
Liikemoottorit	Askelmoottorit
Työstöpöytä	Rei'itetty työstöpöytä

Kara	Valitaan ensi vaiheessa
------	-------------------------

# Liite 8

## Koneen piirustukset

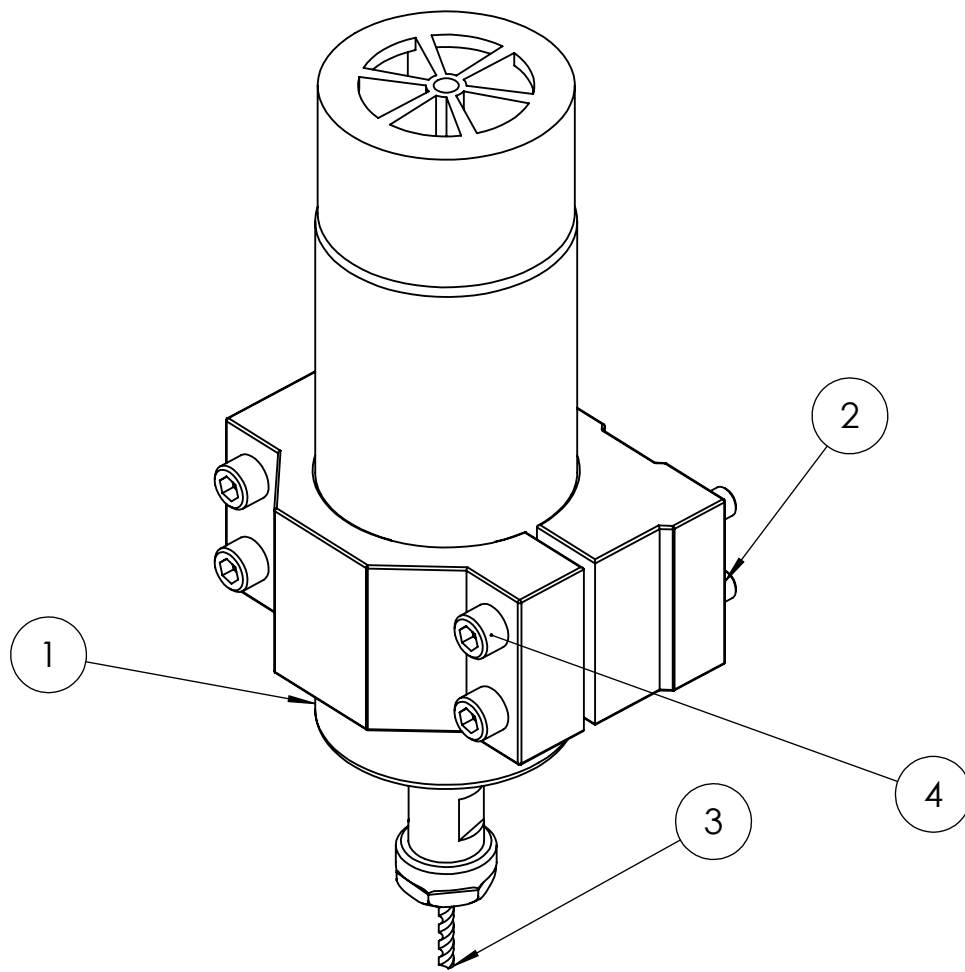


Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Nema 17 moottori		1
2	Pidike		1
3	Liitin		1

Suunnittelija				Kokoonpanon nimi:			
Nimi		Alkirjoitus		Pvmr		Karan kokoonpano	
Bochkov Ilija				20.10.2018			
Pirustus numero				A4			
2							
Massa:				Mittakaava:1:2			

4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Kara		1
2	Karan pidike		1
3	Terä		1
4	M8 pultti		4

Nimi	Alikirjoitus	Pvmr
Suunnittelija	Bochkov Ilija	20.10.2018

Kokoonpanon nimi:  

# Karan kokoonpano

Piirustus numero:  

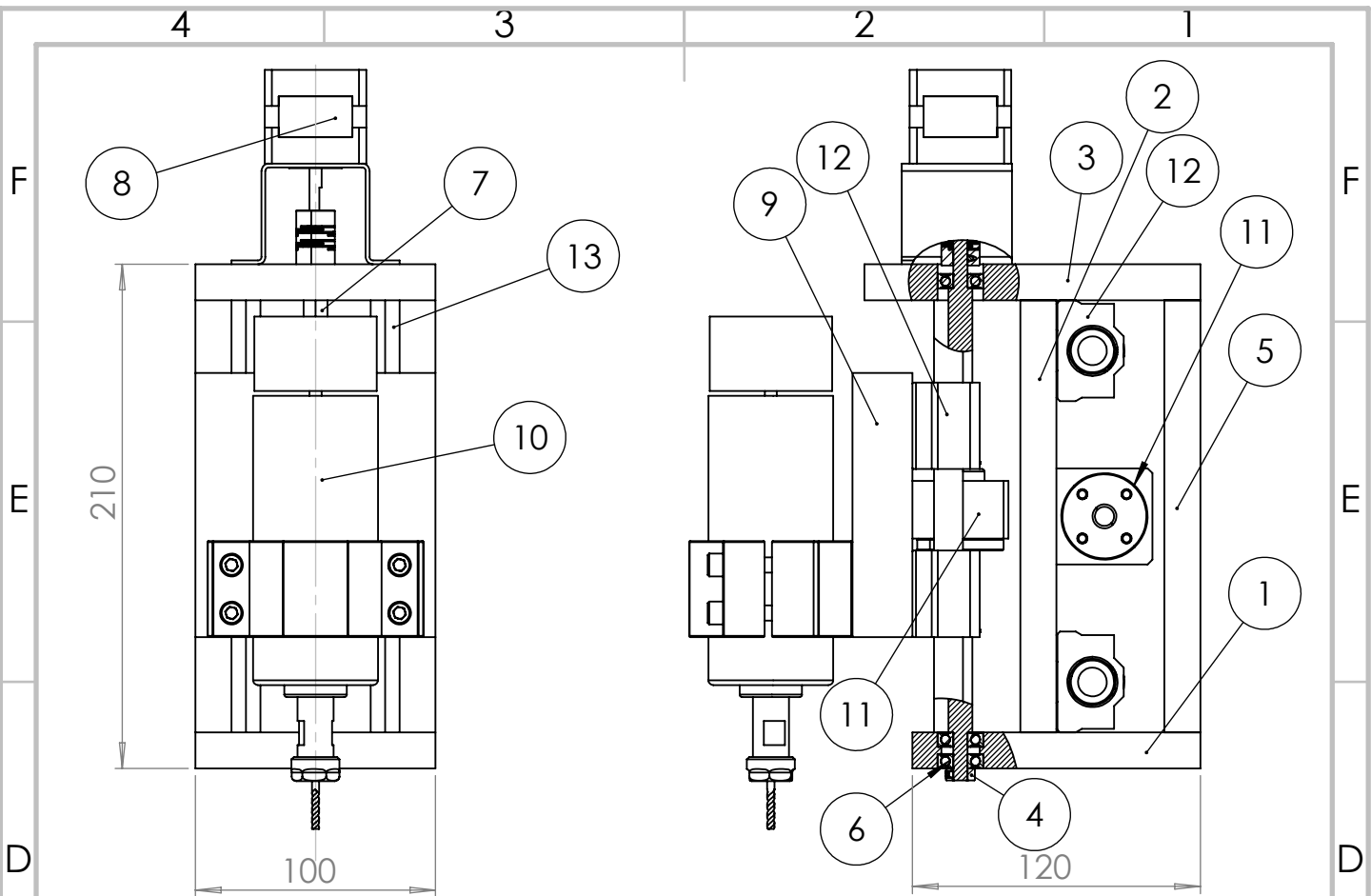
## 2

Mittakaava: 1:2

Massa:

A4

4 3 2 1



Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Alalevy		1
2	Keskilevy		1
3	Päälevy		1
4	Pidätinruuvi		1
5	Takalevy		1
6	626-2RSH laakeri		3
7	Z-akselin trapetsiruuvi		1
8	Moottorin kokoonpano		1
9	Karan tukilevy		1
10	Karan kokoonpano		1
11	Trapetsi mutteri		2
12	Lineaarilaakeri		8
13	Z-akselin tanko		2

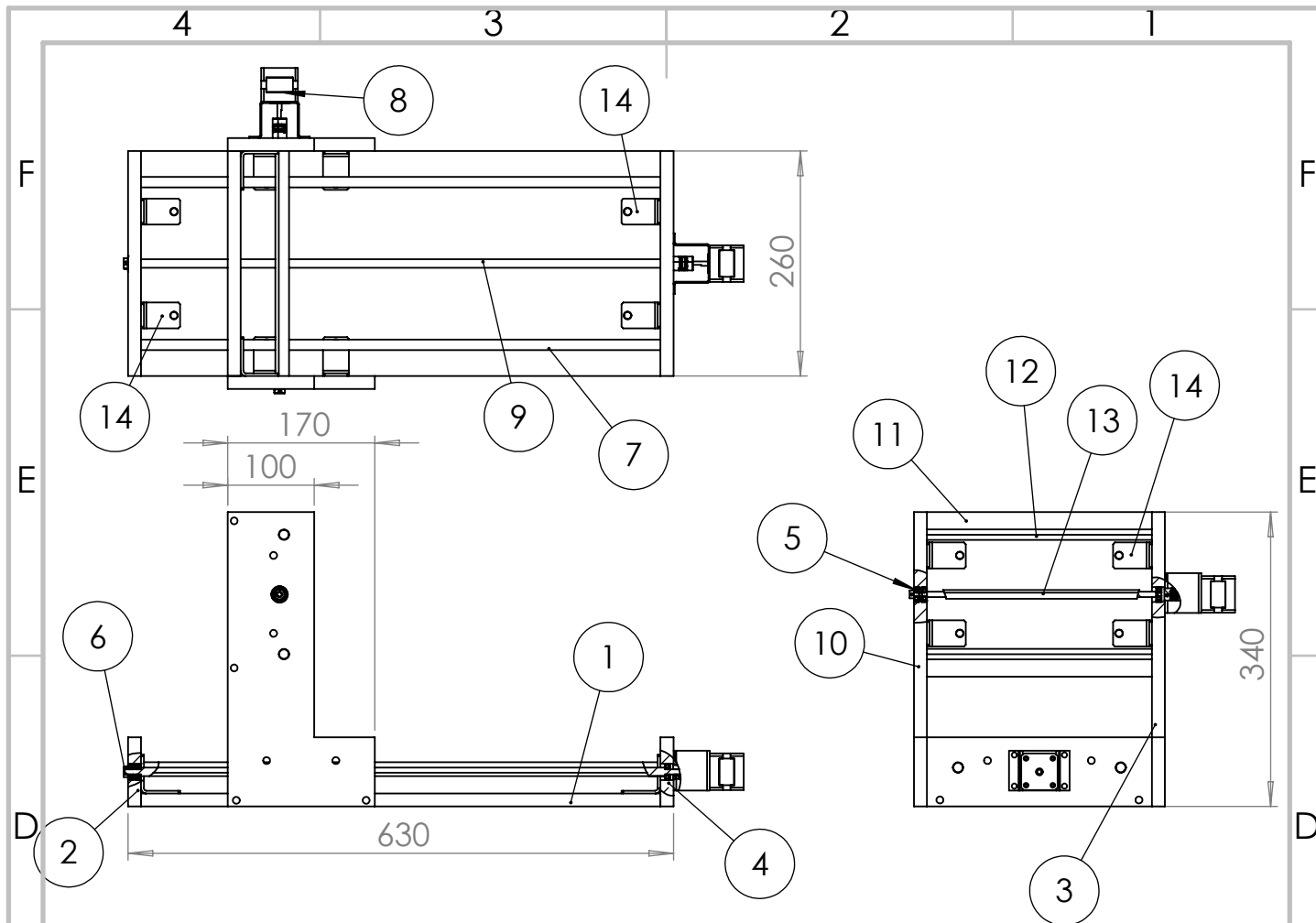
Nimi	Alikirjoitus	Pvmr
Suunnittelija	Bochkov Ilija	20.10.2018

Kokoonpanon nimi:  
**Z-akselin kokoonpano**

Piirustus numero  
**3**

Massa:  
 Mittakaava:1:5

A4



Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Alaos		1
2	X-akselin sivuosa 1		1
3	Y-akselin sivuosa 1		1
4	X-akselin sivuosa 2		1
5	626-2RSH laakeri		6
6	Pidätinruuvi		2
7	X-akselin tanko		2
8	Moottorinkokoonpano		2
9	X-akselin trapetsiruuvi		1
10	Y-akselin sivuosa 2		1
11	Y-akselin keskilevy		1
12	Y-akselin tanko		2
13	Y-akselin trapetsiruuvi		1
14	Kulmakannatin		12

Nimi	Alikirjoitus	Pvmr
Suunnittelija	Bochkov Ili	20.10.2018

Kokoonpanon nimi:

# Rungon kokoonpano

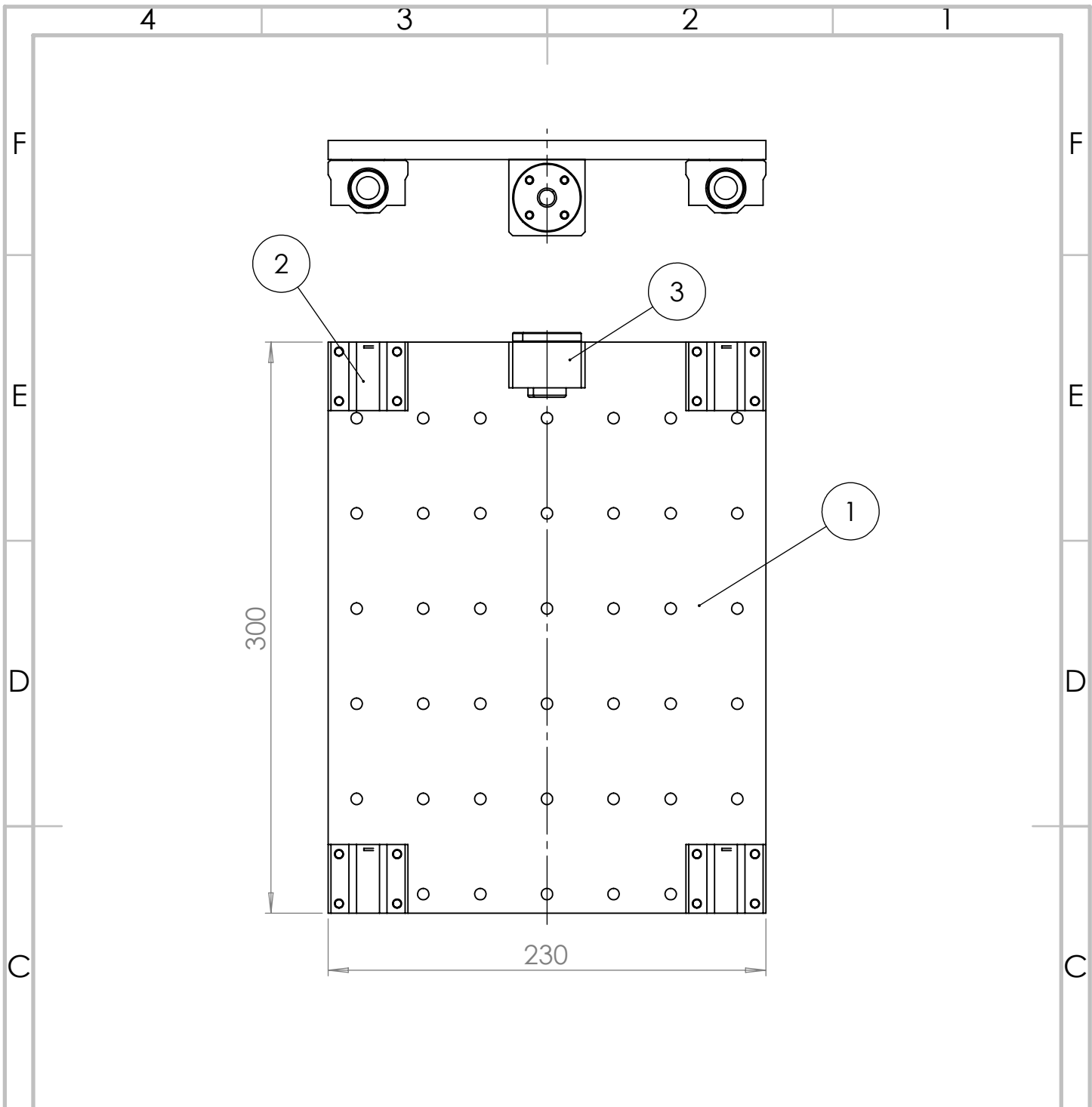
Piirustus numero

## 4

A4

Massa:

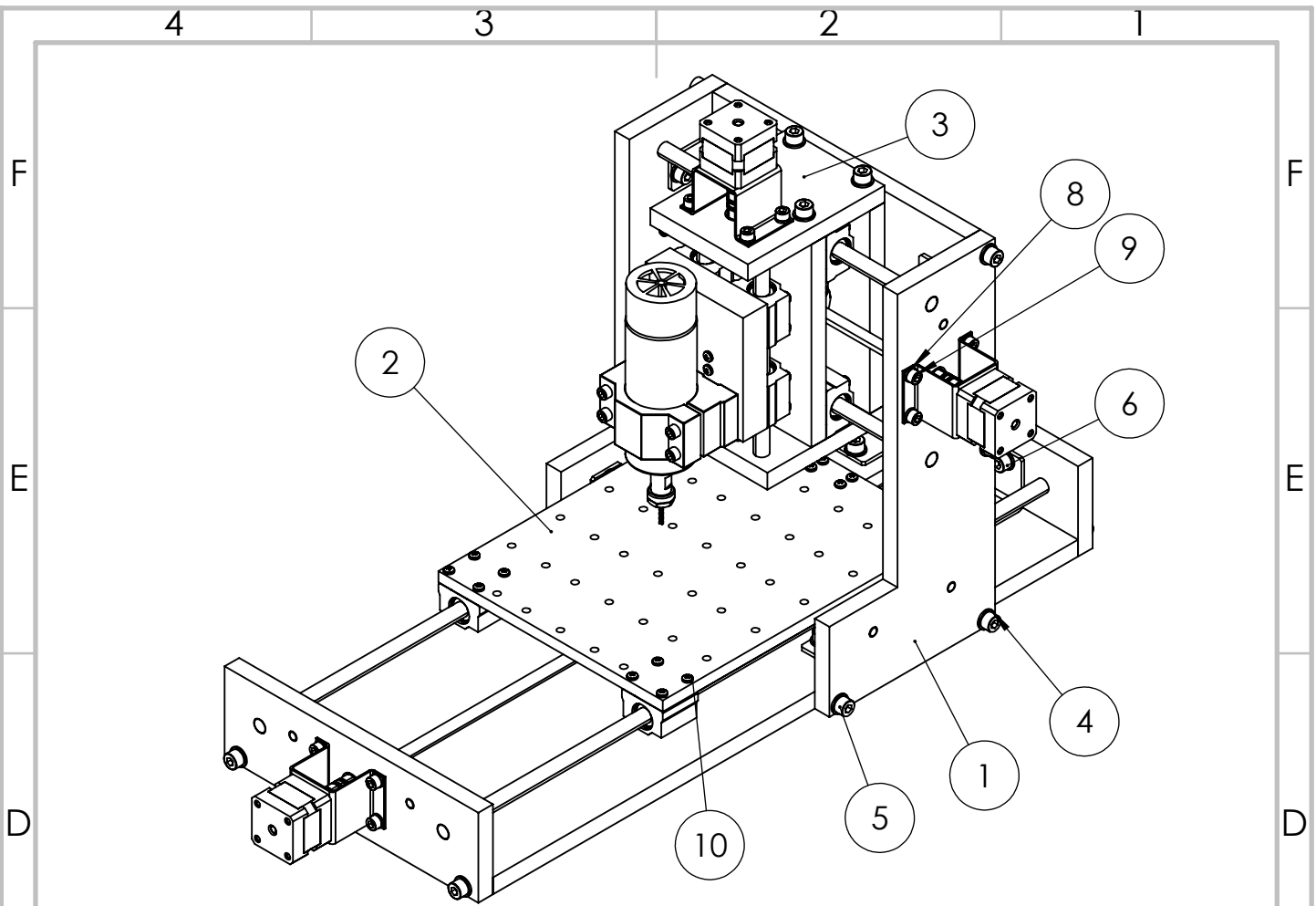
Mittakaava: 1:10



Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Työstöpöydän levy		1
2	Lineaarilaakeri		4
3	X-akselin trapetsiruuvi		1

Nimi	Alikirjoitus	Pvmr	Kokoonpanon nimi:		
Suunnittelija	Bochkov Iliia	20.10.2018	Työstöpöydän kokoonpano		
			Piirustus numero	5	A4
			Massa:	Miittakaava: 1:5	





Numero	Osan nimi	Kuvaus	Määrä
1	Rungon kokoonpano		1
2	Työstöpöydän kokoonpano		1
3	Z-akselin kokoonpano		
4	M8 aluslevy		44
5	M8x50 pultti		20
6	M8x20 pultti		24
7	M3x8 pultti		12
8	M6 aluslevy		12
9	M6x16 pultti		12
10	M4x30 pultti		71

Nimi	Alikirjoitus	Pvmr	Kokoonpanon nimi:
Suunnittelija	Bochkov Ilija	20.10.2018	<b>Kaiveruskone</b>
			Piirustus numero
			<b>6</b>
			A4
		Massa:	Mittakaava:1:10