



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# NUMEERISESTI OHJATTU 3D-JYRSIN

NC-jyrsimen suunnittelu ja toteutus

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Eero Joukainen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

JOUKAINEN, EERO: Numeerisesti ohjattu 3D-jyrsin  
NC-jyrsimen suunnittelu ja toteutus

Mekatroniikan opinnäytetyö, 37 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2014

## TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö käsittelee numeerisesti ohjatun kolmen liikesuunnan puujyrsimen suunnittelua ja rakentamista kotikäyttöön. Laitteen pääkäyttötarkoitus tulee olemaan 3D-mallin mukaisten muottien jyrsiminen puumateriaalista. Työssä perehdytään numeerisesti ohjattuihin laitteisiin yleisellä tasolla ja käsitellään oman laitteen komponenttivalintoihin ja suunnitteluratkaisuihin vaikuttavia tekijöitä.

Työn aikana rakennettu jyrsin on oman rungon päälle rakennettu kompakti kokonaisuus, jonka liikkeitä ohjataan pc-tietokoneella. Tietokoneen ohjausohjelma käsittelee numeerista dataa ja ohjaa sillä laitteen pääohjainkorttia, jolla halutut liikkeet saadaan muutettua jyrsinterän liikkeiksi. Laite on alumiinirunkoinen ja sillä pystyy työstämään suurimmillaan 440 x 385 x 185 mm:n kokoista kappaletta.

Laite rakentui mekaanisesti tavoitteiden mukaiseksi, ja siitä tuli laadukas ja hallittu kokonaisuus. Osa sähkökytkennöistä ja lopullinen koekäyttö jäivät toteutettavaksi myöhempään vaiheeseen. Tämä opinnäytetyö antaa hyvän perustiedon numeerisesti ohjatuista jyrsimistä ja laitteista ja kuvaa vaihe vaiheelta oman laitteen suunnittelua ja rakentumista.

Asiasanat: CNC, NC, numeerisesti ohjattu, jyrsin, mekatroniikka

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

JOUKAINEN, EERO: Numerical controlled 3D-cutting mill  
Designing and building of numerical  
controlled cutting mill

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 37 pages, 3 pages of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

---

This Bachelor's thesis deals with designing and building a numerically controlled woodcutter for home use, with three degrees of freedom. The main use will be cutting molds from wood according to a 3D model. The thesis studies numerically controlled devices in general and deals with the factors behind the component choices and design solutions when designing and building the machine.

The cutter which was built during the work is a compact structure with its own frame. Its movements are driven by a personal computer. The control program of the computer processes the numerical data and controls the main control card that directs the movements of the cutting blade. The frame is built from aluminum and the device can machine a piece of wood as big as 440 x 385 x 185 mm.

The device finished in accordance with the mechanical objectives. A part of the electrical connections and final testing will be carried out later. The thesis gives a good basic knowledge of numerically controlled cutters and devices and it describes designing and building a device of your own, phase by phase.

Key words: CNC, NC, cutter, cutting mill, mechatronics

# SISÄLLYS

JOHDANTO		1
1	NUMEERISESTI OHJATUT TYÖSTÖKONEET	2
1.1	NC:n määritelmä	2
1.2	Historiaa	3
1.3	Käyttökohteet	4
1.4	Hyödyt	4
1.5	Haitat	4
1.6	Tulevaisuus	5
2	NC-JYRSIMIEN PERUSKOMPONENTIT	6
2.1	Jyrsinkoneista koneistuskeskuksiin	6
2.2	Ohjauspaneeli	7
2.3	Työkalunvaihto	8
2.4	Johdejärjestelmä	8
2.4.1	Profiilijohde	9
2.4.2	Pyöröjohde	9
2.4.3	Lineaariyksikkö	10
2.5	Lineaarivaihde	10
2.5.1	Kuularuuvi	10
2.5.2	Rullaruuvi	11
2.5.3	Hammashihna	11
2.5.4	Hammastanko	12
2.6	Mittauselin	12
2.7	Servojärjestelmä	13
2.7.1	Servomoottori	13
2.7.2	Servovahvistin	14
2.8	Askelmoottori	14
2.9	Lähestymiskytkin	15
2.10	Vaihde	15
2.11	Kytkin	15
3	KOTIRAKENTEISET NC-JYRSIMET	17
3.1	Ero kaupallisiin laitteisiin	17
3.2	Tarjolla olevat rakennussarjat	18
3.3	Tiedonhankinta rakentajalle	18

4	OMAN JYRSIMEN TAVOITTEIDEN MÄÄRITTELY	19
4.1	Toiminta	19
4.2	Työstöalue ja -tarkkuus	19
4.3	Kustannukset	20
4.4	Ohjaus	20
4.5	Mekaniikka	20
4.6	Turvallisuus	20
5	JYRSIMEN MEKANIIKAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	21
5.1	Runko	22
5.2	X-liike	23
5.3	Y-liike	24
5.4	Z-liike	25
5.5	Lineaarivaihteet ja hihnavälitykset	25
5.6	Raja-anturit	26
6	JYRSIMEN SÄHKÖKOMONENTIT JA SÄHKÖSUUNNITTELU	28
6.1	Askelmoottorit	28
6.2	Jyrsinkara	28
6.3	Kaapelivedot	29
6.4	Sähkökaappi	30
6.5	Turvakomponentit	31
7	JYRSIMEN OHJAUS	33
7.1	Turvaseinä	33
7.2	Jyrsimen toiminta	34
7.3	Ohjausohjelma	34
8	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	41

## SANASTO

ASCII-teksti	128 merkkipaikan laajuinen tietokoneiden merkistö, joka sisältää ensisijaisesti amerikanenglannissa tarvittavat kirjaimet, numerot, väli- ja erikoismerkkejä sekä eräitä ohjauskoodeja.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (engl. <i>Computer-aided Design</i> ).
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus (engl. <i>Computer-aided manufacturing</i> ).
DIN-kisko	Sähkökeskuksissa ja muissa asennuskoteloissa käytetty standardoitu kisko, johon voidaan kiinnittää sähkökomponentteja.
Jyrsiminen	Työstötapa, jolla poistetaan työstettävästä kappaleesta lastua terää pyörittämällä ja liikuttamalla.
Kara	Lastuavan työstökoneen pääakseli, joka pyörittää terää.
MDF-levy	Puolikova havupuukuitulevy.
NC/CNC	Numeerisesti ohjattu (engl. <i>numerical controlled, computerized numerical controlled</i> ).

Sorvaaminen

Työstötapa, jolla poistetaan työstettävästä, usein pyörähdysmäisestä, kappaleesta lastua pyörittämällä kappaletta sen oman pyörähdysakselinsa ympäri paikallaan pysyvän terän avulla.

Vapausaste

Laitteen tietyn suuntainen liike liikeavaruudessa.

## JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee numeerisesti ohjatun kolmen liikesuunnan jyrsimen suunnittelua ja rakentamista kotikäyttöön.

Idea jyrsimen rakentamiselle sai alkunsa tarpeesta tuottaa helposti ja nopeasti radio-ohjattavien polttomoottorikäyttöisten pienoismalliautojen korimuotteja. Autot ovat 1:5 tai 1:4 pienoiskopioita kaupallisten autojen mitoista, joten muottien muotojen työstäminen käsin on aikaa vievää.

3D-mallin tekeminen autosta on suhteessa käsin tehtyyn muottiin nopeaa, ja siihen on helppo tehdä jälkeinpäin muutoksia. Kun malli on saatu valmiiksi, sen voi siirtää jyrsimen ohjausohjelmaan työstettäväksi. Muotit on tarkoitus jyrsiä MDF-levystä.

Jyrsin myös mahdollistaa lukemattomien muiden esineiden valmistuksen. Päätaavoitteena on, että jyrsimellä voi jyrsiä puuta, mutta sen soveltuvuus pehmeiden metallilevyjen jyrsimiseen saattaa olla myös mahdollista.

Tämä opinnäytetyö pitää sisällään laiterakentamisen mekaniikkasuunnittelua, sähkösuunnittelua ja ohjaussuunnittelua, joten se käsittää mekatroniikan suuntautumisvaihtoehdon keskeisimmät pääosaamisalueet. Suunnitelmat on esitetty tässä työssä kokonaisuudessaan sisältäen myös turvaominaisuudet. Laitte rakentui mekaanisesti Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa. Sähköasennukset ja osa turvajärjestelmistä jäi toteutettavaksi myöhempään vaiheeseen muissa tiloissa.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi numeerisesti ohjattujen laitteiden teoreettista taustaa ja sitä minkälaisia valmiita laitteita on markkinoilla. Sitten esitellään oman laitteen suunnitteluvaiheita, sen ongelmakohtia ja suunnitelmien toteutusta.



# 1 NUMEERISESTI OHJATUT TYÖSTÖKONEET

## 1.1 NC:n määritelmä

NC tulee englanninkielisistä sanoista *numerical control* eli numeerinen ohjaus. Sillä tarkoitetaan työstökoneen automaattista ohjausta numerotiedon pohjalta. NC-nimitystä käytettiin numeerisesti ohjatuista laitteista jo numeerisen ohjauksen keksimisen alkuaikoina, kun ohjelma luettiin reikänauhalla tai -kortilla. Kun tietokoneiden muistit paranivat, alettiin ohjelmatietoja lukea muistilta ja tämä tekniikka erotettiin NC-ohjauksesta termillä CNC (*computerized numerical control*). CNC-termi on vakiintunut yleiseen käyttöön, vaikka siitä onkin nykyään luovuttu ja siirrytty takaisin käyttämään termiä NC. Kaikki noin vuoden 1974 jälkeen hankitut NC-työstökoneet sisältävät jo tietokoneohjauksen, joten sen mainitseminen on menettänyt merkityksensä. (Pikkarainen, Mustonen 2010, 11–13.)

NC-ohjelman koodi on kansainvälisesti standardoitua. Nykyaikainen ohjelma koostuu ASCII-tekstiä sisältävästä tiedostosta. Ohjelma on jaettu työstöratoihin eli moduuleihin ja ohjelma sisältää G-koodia eli koneen ohjaavia toimintoja ja M-koodia, joka huolehtii konekohtaisista kytkentäfunktioista. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 104, 116.)

Esimerkki NC-ohjelman koodista:

*N100 T07*

*N105 M06*

*N110 S850 F220 M03*

*( KIERTEEN M16 REIAN PORAUS PO14 )*

*N115 G00 G43 Z50. H07 M08*

*N120 G99 G81 X0. Y0. Z-12.5 R3.*

*N130 G80 M09*

*N135 G28 Z50. M05*

*N140 G49 G00 X-100. Y200.(Opetushallitus 2014).*

## 1.2 Historiaa

Numeerinen ohjaus on saanut alkunsa 1950-luvun alussa, kun lentokoneen siipikaarien koneistamiseen tarvittavien koneiden kehitys alkoi. Koneille syntyi tarve työstettävien muotojen ollessa hankalia koneistaa käsin, kun monta liikesuuntaa piti ohjata samanaikaisesti. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 20–22.)

Yleensä NC-tekniikan kehitysvaiheet seuraavat yleisen tietotekniikan ja elektroniikan kehitystä. Ensimmäisiä NC-koneita ohjattiin tyhjiöputkien ja analogiapiirien avulla. 1960-luvun puolella yleistyivät relelogiikka ja transistorit, joiden avulla saatiin laitteen vaatimaa lattiapinta-alaa huomattavasti pienennettyä. Ennen noin vuotta 1974 edeltäneissä laitteissa ohjelma luettiin reaaliaikaisesti reikänauhalla tai -kortilta. Ohjelman kirjoittaminen oli hidasta, ja muutoksia tehtäessä jouduttiin ohjelma kirjoittamaan aina uudestaan. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 20–22.)

Ensimmäisissä tietokoneohjatuissa NC-koneissa ohjelma luotiin ohjauspaneelin välityksellä ja se voitiin tallentaa tietokoneen muistiin. Tämän vuoksi ohjelman muokkaus helpottui ja nopeutui paljon. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 22.) Nykyään NC-koneiden ohjelmointitavat voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

manuaalinen ohjelmointi, konepajaohjelmointi ja tietokoneavusteinen ohjelmointi (CAM, computer-aided manufacturing) (Pikkarainen & Mustonen 2010, 106).

### 1.3 Käyttökohteet

Nykyajan teollisuus suosii numeerisesti ohjattuja työstökoneita. Käsiöhdjatut koneet ovat käytössä pääosin vain pienien erien valmistusta varten. Yleisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi koneistuskeskukset, sorvauskeskukset, levyleikkurit ja robotit. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 25.)

### 1.4 Hyödyt

Numeerisella ohjauksella saavutetaan lukuisia etuja verrattuna aikaisempiin tuotantomenetelmiin. Edut ovat huomattavia käsitellessä suuria tuotantomääriä ja monimuotoisia työstettäviä kappaleita. Konkreettisesti selkein hyöty saavutetaan läpimenoajassa. Kun koneistajan ei tarvitse tehdä laskutoimituksia, liikkeiden ohjausta eikä työkalunvaihtoja enää itse, saavutetaan suurta hyötyä ajallisesti. Säästöjä palkkakustannuksissa saadaan, kun koneistajan ei tarvitse koko ajan olla varattuna työstämiseen vaan hän voi tehdä muita töitä samanaikaisesti. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 15 – 16.) Valmistettavien tuotteiden laatu paranee ja tasoittuu ja ainoastaan työstettävän materiaalin ominaisuuksien vaihtelu ja työkalun kulumisen vaikuttavat toistotarkkuuteen (Pikkarainen & Mustonen 2010, 15).

### 1.5 Haitat

Käsiikäyttöisiin koneisiin verrattuna NC-koneiden hankinta- ja huoltokustannukset ovat huomattavasti kalliimpia. Niiden monimutkaisemman rakenteen myötä oman henkilökunnan ammattitaito huoltaa laitteita ei aina välttämättä riitä. Koneistajienkin erikoistuminen samalle koneelle saattaa nousta ongelmaksi sairauspoissaolojen tai työpaikan vaihdon myötä. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 19.)

## 1.6 Tulevaisuus

Perusta NC-ohjaukselle on jo luotu ja koneet kehittyvät nyt vain pienin askelin verrattuna 1900-lukuun. Tulevaisuuden NC-ohjatut koneet tulevat varmasti kehittymään enemmän sulautettujen valmistusjärjestelmien kanssa (FMS). Tietokoneavusteinen ohjelmointi (CAM) tarjoaa myös paljon uusia innovaatioita numeeriselle ohjaukselle. Myös erilaisten kokoonpanojen kasaaminen saattaa yleistyä NC-koneilla tulevaisuudessa. (Control engineering 2013.)

## 2 NC-JYRSIMIEN PERUSKOMPONENTIT

### 2.1 Jyrsinkoneista koneistuskeskuksiin

Alkuaan numeerisen ohjauksen kehitys alkoi monimutkaisen jyrinnän tarpeista. NC-jyrsinkoneista puhuttaessa tarkoitetaan kahden tai kolmen akselin ohjausta pystyyn asennetulla jyrsinkaralla. Kara sijaitsee työstettävän kappaleen yläpuolella, ja se liikkuu kappaleen pysyessä paikallaan. On myös koneita, joissa kara pysyy paikallaan, mutta pöytä liikkuu tai karalla hallitaan vain tietty liikesuunta, esimerkiksi pystysuunta, ja pöydän liikkeillä toteutetaan loput liikkeet. Runkoratkaisut määräytyvät paljolti sen mukaan, mihin käyttöön jyrsin rakennetaan.

Kehityksen myötä jyrsinkoneisiin on tullut lisää liikesuuntia mahdollistaen jyrinterän pääsyn ahtaampiin paikkoihin työstettävässä kappaleessa. Ahiota pyörittävällä liikkeellä mahdollistuu kappaleen sorvaaminen ja jyrsiminen samalla laitteella. Nykyisissä teollisissa jyrsimissä on työkalunvaihto käytännössä aina automatisoitu. Laite hakee tarvittaessa uuden työkalun työkalumakasiinista tai -revolverista. Tällaisia numeerisesti ohjattuja jyrsimiä, joissa on kolme liikesuuntaa tai enemmän ja työkalun vaihto toimii automaattisesti, kutsutaan koneistuskeskuksiksi. Koneistuskeskuksille on myös tyypillistä, että ne voidaan yhdistää sulavasti muihin tuotantokoneisiin, jolloin ne ovat joustavien valmistusjärjestelmien (FMS) osia. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 25.) Teollisuusrobotteja käytetään myös jyrsimiseen. Niillä voidaankin työstää hyvin vaikeita muotoja johtuen niiden useasta vapausasteesta. Kuvassa 1 on 5-akselisella koneistuskeskuksella työstetty kypärä (Pikkarainen & Mustonen 2010, 35).



KUVA 1. 5-akselisen koneistuskeskuksen työstämä alumiininen kypärä (Facebook 2014)

## 2.2 Ohjauspaneeli

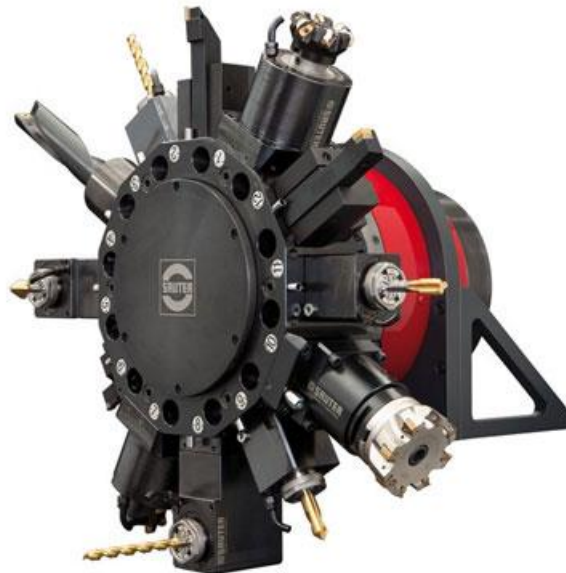
Ohjauspaneelilla (KUVA 2) voidaan tehdä haluttu työstöohjelma syöttämällä laitteelle koodia näppäimistön kautta. Ohjauspaneelilta hallitaan koneen kaikkia toimintoja. Jos ohjelma tehdään tietokoneavusteisesti (CAM), niin valmis ohjelma syötetään lopulta koneen ohjauspaneeliin, jonka kautta sitä ajetaan. Ohjauspaneeli koostuu yleensä näytöstä, näppäimistöä, ohjauspainikkeista ja rullista. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 84.)



KUVA 2. Ohjauspaneeli (Wikipedia 2014)

### 2.3 Työkalunvaihto

Työkalut eli lastuavat terät voidaan asettaa makasiiniin tai revolveriin. Makasiinia eli työkalujen välivarastoa käytettäessä työkalut haetaan omasta pisteestään aina kulloistakin työstövaihetta varten. Tämä on hidasta, mutta mahdollistaa useamman työkalun varastoimisen. Makasiiniin varastoidut työkalut täytyy myös tunnistaa esimerkiksi koodaamalla tai pitämällä työkalut aina samoissa paikoissa. Revolverin (KUVA 3) etuna on sen työkalunvaihtonopeus. Siinä työkalut on kiinnitetty pyöritettävän akselin päähän, jolloin akselia pyörittämällä saadaan haluttu työkalu kohdalleen. Työkalujen määrä on revolverissa rajattu paljon pienempään kuin makasiinissa. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 64 – 65.)



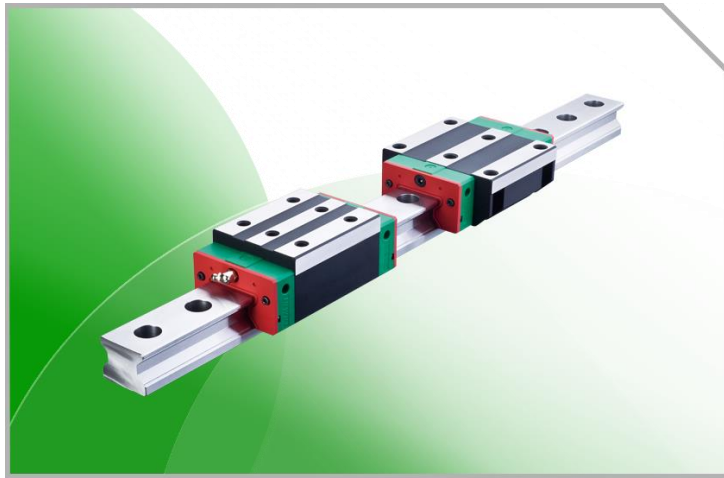
KUVA 3. Revolveri (Interempresas 2014)

### 2.4 Johdejärjestelmä

Johdejärjestelmä luo perustan koneistuskeskukselle. Se mahdollistaa rungon osien liikkeen toisiinsa nähden, ja niitä voidaan pitää koneen tärkeimpinä osina. Johdejärjestelmältä vaaditaan hyvää geometrista tarkkuutta, jäykkyyttä, välyksettömyyttä, kulumiskestävyyttä, vaimennusominaisuuksia ja pientä vakiona pysyvää kitkaa. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 54.)

### 2.4.1 Profiilijohde

Profiilijohteille (KUVA 4) ominaista on hyvä jäykkyys ja kuormankantokyky. Ne voidaan asentaa runkoa vasten koko matkaltaan tukevoittaen rakennetta entisestään. Profiilijohteet ottavat kuormaa vastaan jokaisesta suunnasta lukuun ottamatta niiden liikesuuntaa ja niillä voidaan toteuttaa pitkiä liikematkoja. Profiilijohde on teollisuuskoneissa lähes aina käytetty johdemalli. (Schaeffler Finland Oy 2014a.)



KUVA 4. Hiwin profiilijohde (Hiwin 2014)

### 2.4.2 Pyöröjohde

Pyöröjohde (KUVA 5) koostuu pyöreästä akselista, jonka päällä laakeri liikkuu. Akseli voi olla umpiakseli, onttoakseli tai täysin tuettu. Täysin tuetussa akselissa laakeriholkin täytyy olla avoin. Se lisää johteen jäykkyyttä, mutta nostaa laakerin kestävyysvaatimuksia. Pyöröjohteen etuina on sen keveys ja erilaisiin käyttökohteisiin soveltuvuus. (Schaeffler Finland Oy 2011b.)

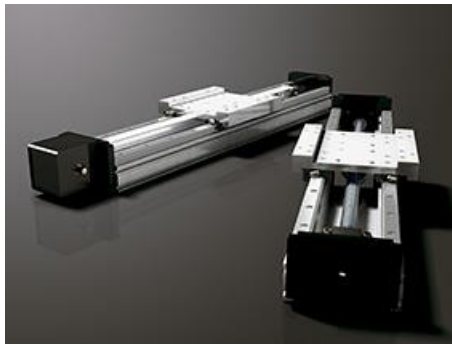


KUVA 5. Täysin tuettu pyöröjohde (Thomson 2014)



### 2.4.3 Lineaariyksikkö

Lineaariyksikkö (KUVA 6) on kokonaisuus, joka sisältää rungon, johteen ja lineaarivaihteen. Pisimmälle viedyissä lineaariyksiköissä on mukana myös toimilaite. Lineaariyksikön etuina on sen helppo asennettavuus ja suunnittelutyön vähentyminen, mutta niiden hinta on yleensä korkeampi, kuin komponenttien yksittäishintojen summa. (Airila 1993, 7/62.)



KUVA 6. THK:n lineaariyksikkö (THK 2014)

## 2.5 Lineaarivaihte

Lineaarivaihte muuntaa moottorin pyörivän liikkeen suoraviivaiseksi liikkeeksi. Jokaisella liikesuunnalla on oman lineaarivaihteensa.

### 2.5.1 Kuularuuvi

Kuularuuvivaihteessa (KUVA 7) kierteistettyä akselia pyöritetään siinä olevan mutterin pyörimisen ollessa estettynä, jolloin mutteri liikkuu akseliin nähden. Mutterin ja akselin välissä on kuulia, jotka liikkuvat kierteen mukana, mutta palautuvat palautuskanavaa pitkin takaisin mutterin sisällä kiertoan. Kuularuuvia käytetään pääasiassa vaihteena numeerisesti ohjatuissa laitteissa. Sen etuja ovat pieni kitka, tasainen ja nykimätön liike. Sen välitys saadaan esikiristyksen ansiosta lähes olemattomaksi. (Airila 1993, 7/55.)



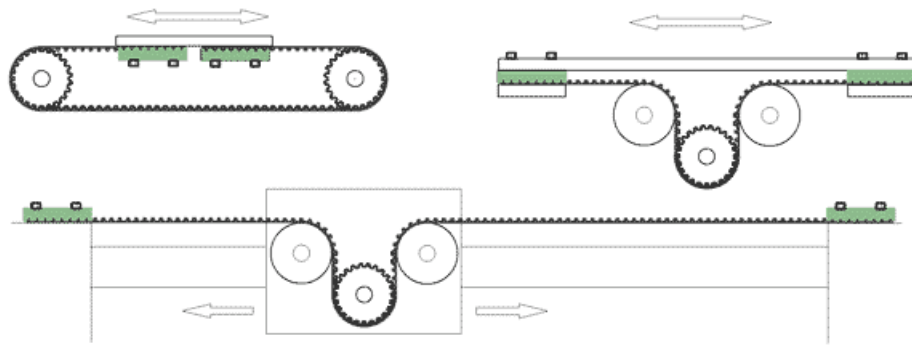
KUVA 7. THK Kuularuuveja (THK 2014)

### 2.5.2 Rullaruuvi

Rullaruuveissa käytetään kuularuuvien kuulien sijasta ruuveja, jotka takaavat isomman kosketuspinta-alan ja tätä myötä suuren kuormankantokyvyn. Rullaruuvi on myös hyvä valinta likaisiin olosuhteisiin. (Airila 1993, 7/59.)

### 2.5.3 Hammashihna

Hammashihnalla (KUVA 8) toteutetaan yksinkertainen ja huoltovapaa lineaarivaihte. Siinä hammashihna lukitaan johteissa liikkuvaan kelkkaan ja pyöritetään hihnaa vähintään kahden hammasrattaan välissä. Hammashihnaa käytettäessä tarvitaan usein myös suurempi välitysvaihte hammasrattaan ja moottorin välille. Hammashihnalla saadaan helposti toteutettua pitkiä liikkeitä. Hammashihnan voi korvata myös ketjikäytöllä. (Airila 1993, 7/62.)



KUVA 8. Hammashihnakäyttöjä (Motionco 2014)

#### 2.5.4 Hammastanko

Hammastangolla (KUVA 9) on melkein samat ominaisuudet, kuin hammashihnellakin. Siinä moottoriin kiinnitetty hammasratas liikuttaa kiinteää johteeseen tai runkoon kiinnitettyä hammastankoja. Hammastanko on yksinkertainen, ja siinä on vähiten liikkuvia osia verrattuna muihin lineaarivaihdetohtoihin.



KUVA 9. Hammastankoja ja -pyöriä (SKS Group 2014)

#### 2.6 Mittauselin

Mittauselimiä eli antureita käytetään suljetuissa ohjauspiireissä mittaamaan kunkin liikeakselin luistin sijaintia johteessa. Se varmistaa, että moottorille tulevat

liikekäskyt toteutuvat ja ohjaus korjaa käskyjä tarvittaessa. Avoimissa ohjauspiireissä ei käytetä mittaustietoa vaan oletetaan, että moottori on tehnyt sille ohjatun liikkeen ohjauksen mukaan.

Mittausmenetelmiä on kahta eri tyyppiä: inkrementaalinen- ja absoluuttinen menetelmä. Inkrementaalisisessa menetelmässä mittalaite antaa jokaisen liikutun yksikköaskeleen jälkeen pulssin ja pulsseja laskemalla saadaan luistimen asema tietoon. Nollapistettä voidaan siirtää laskennallisesti. Absoluuttisessa menetelmässä ollaan koko ajan selvillä luistin kulloisestakin asemasta annetun nollapisteen suhteen. Mittalaite on asennettu kiinteästi koneen järjestelmään, joten nollapisteen siirto ei ole helppoa. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 40.)

Anturit voidaan jakaa digitaalisiin antureihin ja analogisiin. Digitaalisia käytetään mieluummin analogisten sijasta, koska ne eivät tarvitse erillistä analogia-muuntajaa anturin ja ohjauksen välille. Digitaaliset anturit perustuvat valoanturin lukemiin pyörivältä koodikiekolta tai lineaariselta mittasauvalta. Analogisissa antureissa tuotetaan absoluuttisesti muuttuva suure esimerkiksi jännitteen avulla. Analogisia antureita ovat esimerkiksi resolverit ja indyctosynit. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 36 – 44.)

## 2.7 Servojärjestelmä

Servojärjestelmä koostuu servomoottorista, servovahvistimesta ja anturista. Moottori suorittaa sille annetun ohjaustiedon mukaisen liikkeen, ja anturi antaa tiedon servovahvistimelle luistimen tilasta. Vahvistin laskee annetun ohjausarvon ja anturin antaman tilatiedon erotuksen ja pyrkii asettamaan sen nolnaan moottoria ajamalla. Mitä suurempi on vahvistimen laskema erotus, niin sitä voimakkaammin servomoottoria ajetaan, jotta saavutetaan nollaerotus. Servojärjestelmän etuja ovat sen hyvät dynaamiset ominaisuudet ja tarkkuus. (Airila 1993, 5/1.)

### 2.7.1 Servomoottori

Servomoottorit (KUVA 10) muistuttavat ulkoisesti ja rakenteellisesti tavallisia moottoreita. Usein servomoottoreihin on integroitu jokin matkan mittauselin

(Pikkarainen, Mustonen 2010, 47). Servomootoreita on rakenteeltaan DC-servomootoreita, harjattomia DC-servomootoreita ja AC-servomootoreita (Airila 1993, 5/4).



KUVA 10. Siemensin servomootoreita (Siemens 2014)

### 2.7.2 Servovahvistin

Servovahvistin on tasajännitelähde moottorin, anturin ja ohjauksen välissä. Sen päätehtäviä on säätää moottorin ankkurivirtaa ja pyörimisnopeutta. Se vahvistaa moottorin liikkeitä ohjearvon ja mittausarvon erotuksen mukaan. (Airila 1993, 5/16.)

### 2.8 Askelmoottori

Askelmootoreita ei käytetä aktiivisesti numeerisesti ohjatuissa laitteissa. Niitä käytetään enemmän pienissä laitteissa, esimerkiksi tulostimissa. Askelmootoreilla on hyvin tarkka ja varma toistotarkkuus, jonka vuoksi niitä käytetään avoimissa ohjauspiireissä ilman takaisinkytkentää. Askelmoottoria ohjataan ohjauspulsein (askelin), joista jokainen pulssi toteuttaa asteittaisen liikkeen moottorissa. Mootoreita on paljon erikokoisia ja eri askelmäärällä. Toistotarkkuuden takaamiselle on tärkeää, ettei moottorille kohdistu hetkellistäkään ylikuormaa. Ylikuormitustilanteissa on mahdollisuus moottoria ohjaavien pulssien

hukkaamiselle, jolloin liike ei toteudu halutunlaisena. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 47.)

## 2.9 Lähestymiskytkin

Mekaanisia rajakytkimiä käytetään liikeakseleiden päädyissä pysäyttämään liike, jos laite ajetaan liian lähelle rajojaan. Mekaanisia kytkimiä suositaan niiden varmatoimisuuden ja edullisuuden vuoksi. Induktiivisia kytkimiä käytetään toistuviin ja tarkkoihin paikoituksiin, esimerkiksi jos halutaan paikoittaa jyrsimen kara tarkasti kotiasemaan. Induktiiviset kytkimet (KUVA 11) tunnistavat luotettavasti vain metallin muutamien millien etäisyydeltä. (Airila 1993, 4/3 – 4.)



KUVA 11. Induktiivisia lähestymiskytkimiä (Sick 2014)

## 2.10 Vaihde

Vaihteet liitetään yleensä osana servojärjestelmään, kun halutaan ohjata tarkkoja ja nopeampoisia liikkeitä. Tarkkuus ja riittävät dynaamiset ominaisuudet ovat keskeisiä mekatronikkavaihteen ominaisuuksia. Vaihde pienentää tai suurentaa välityssuhdetta moottorin ja lineaarivaihteen välissä. (Airila 1993, 7/27.)

## 2.11 Kytkin

Kytkimet (KUVA 12) siirtävät vääntömomenttia akselilta toiselle. Joustavaa kytkintä käytetään pehmentämään koneenelimille tulevaa kuormaa kiihdytystilanteissa. Joustavan kytkimen asteittainen jousto voi olla 2 – 11 astetta sen tekemättä kuitenkaan huomattavaa viivettä liikkeeseen. Kiinteät kytkimet

toimivat vain koneenelimien kytkentälaitteina. (Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Seppänen & Suosara 2006, 288 – 290.)



KUVA 12. Erilaisia kytkimiä (Zero-Max 2014)

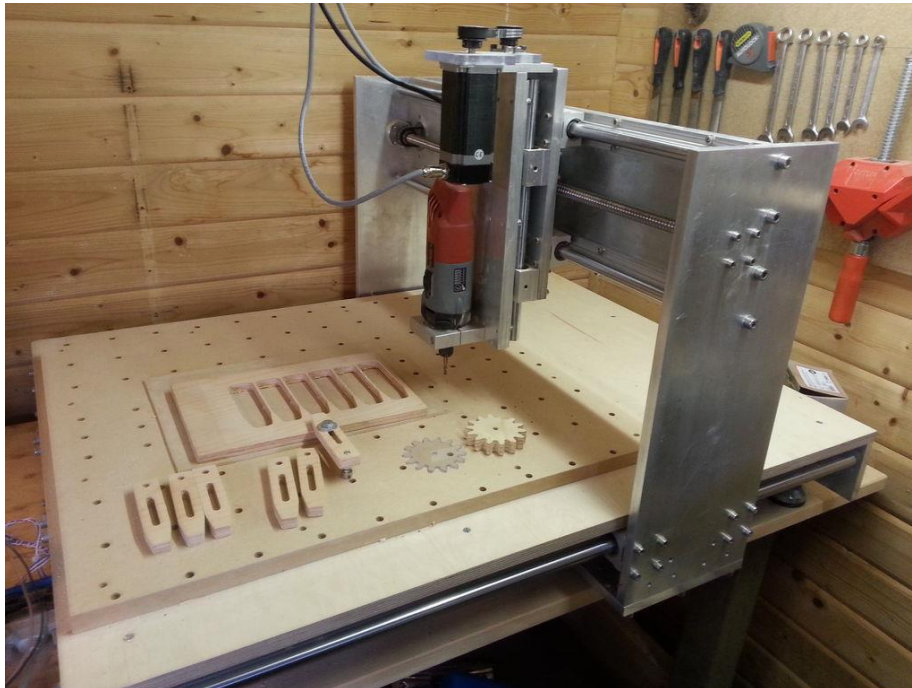
### 3 KOTIRAKENTEISET NC-JYRSIMET

#### 3.1 Ero kaupallisiin laitteisiin

Teollisuudessa käytössä olevat NC-jyrsimet ovat monipuolisia ominaisuuksiltaan, tarkkoja ja kalliita. Rakentamisen taustalla onkin yleensä kulujen minimoiminen, josta myös seuraa laitteen ominaisuuksien karsiutuminen.

Nykyään kotirakenteisten NC-laitteiden suosio on noussut, kun ohjelmien saatavuus kotikäyttöön on lisääntynyt ja tarvittavien komponenttien hankkiminen helpottunut lähinnä tarjonnan kasvaessa. Hankintakustannukset ovat murto-osa verrattuna teollisuuden laitteisiin.

Kotirakenteiset NC-laitteet ovat usein pieniä työpöydän päälle sopivia laitteita (KUVA 13), toisin kuin teollisuuden suuret laitteet, joita voidaan siirtää vain nostokoneiden avulla. Kotitekoisilla laitteilla ei ole suuria käyttöjännitteitä, ja niitä voi tarpeen mukaan siirtää helposti. Joidenkin laitteiden rungot on rakennettu puusta sen halvan hinnan ja helpon käsiteltävyyden vuoksi. Niiden ohjaus tapahtuu tietokoneen avulla, joten niissä ei yleisesti ole mitään ohjauspainikkeita.



KUVA 13. Eräs kotitekoinen NC-jyrsin (Instructables 2014)



### 3.2 Tarjolla olevat rakennussarjat

Usein kotirakenteisten laitteiden rakennus aloitetaan keräämällä kaikki tarvittavat komponentit. On myös vaihtoehtona ostaa valmiita paketteja, jolloin vain kasaustyö suoritetaan itse. Suomessa vastaavia rakennussarjoja ei löydy myytävänä, mutta ulkomaalaisilta verkkosivuilta löytyy sopivia rakennussarjoja. Tässä kolme rakennussarjoja tarjoavaa verkkosivustoa:

<http://www.mydiycnc.com/>

<http://gocnc.de/>

<https://www.buildyourcnc.com/>

### 3.3 Tiedonhankinta rakentajalle

Kotikäyttöisen jyrsimen rakentamista suunnittelevalla olisi hyvä olla perustiedot sähkötekniikasta, mekaniikasta ja NC-laitteiden perustoiminnasta. NC-laitteista löytyy hyvin tietoa kirjallisuudesta, mutta kotirakenteisista laitteista löytyy hyvin vähän tietoa, jos ollenkaan. Ohjeet rakentamisesta painottuvatkin Internet-sivuille ja Internetin-keskustelupalstoille. Hyviä vinkkejä saa myös henkilöiltä, jotka ovat aikaisemmin rakentaneet vastaavia laitteita.

Itse käytin yhtenä tietolähteenä suomalaista CNC-Tekniikka-Internet-keskustelufoorumia. Maailmanlaajuisesti suurin foorumi aiheeseen on Cnc-Zone. Muita hyviä tietolähteitä ovat seuraavat:

<http://www.instructables.com/id/Building-a-CNC-router/#step0>

<http://www.cncroutersource.com/homemade-cnc-router.html>

## 4 OMAN JYRSIMEN TAVOITTEIDEN MÄÄRITTELY

### 4.1 Toiminta

Päätavoitteeni projektin alussa oli suunnitella ja rakentaa automaattisesti toimiva jyrsin, joka jyrsee tietokoneelle syötetyn 3D-mallin mukaisen tuotteen lastuavalla jyrksinterällä. Laitteeseen tulee kolme toisiinsa nähden kohtisuoraa liikesuuntaa, joiden avulla liikutetaan pyöritettävää jyrksinterää. Jyrstittävä kappaleaihio kiinnitetään työstöpöytään.

Asetin tavoitteeksi tehdä kompaktin ja viimeistellyn laitteen, jonka osat ovat laadukkaasti työstettyjä ja toimivia.

### 4.2 Työstöalue ja -tarkkuus

Jyrsimen suunnittelussa rajaavat tekijät olivat budjetti ja sitä myötä työstettävän kappaleen maksimikoko. Koska laitteesta ei saanut tehdä liian suurta, jolloin sen kustannukset olisivat nousseet liian korkeiksi, piti työstettävän kappaleen ääriimitat saada määritettyä.

Muottiteknisistä syistä työstettävän RC-auton korimuotti tulee jakaa eri osiin, joten ääriimitoille voidaan laskea arvot  $\frac{1}{4}$  auton suorakaiteen muotoisesta tilavuusmitasta. Määritin tämän perusteella, että suurimmillaan työstettävä kappale olisi pituudeltaan (X-akseli) 383 mm, leveydeltään (Y-akseli) 275 mm ja korkeudeltaan (Z-akseli) 138 mm.

Jyrsimen työstötarkkuus määräytyy moottorin pienimmästä mahdollisesta liikkeestä, vaihteesta ja lineaarivaihteesta. Moottorin pienin liike on askelmoottorin kohdalla yhden pulssin suorittama kiertymä moottorin akselilla. Vaaditun tarkkuuden tavoitteeksi asetin alle puolen millimetrin työstötarkkuuden, eli valmiin työstetyn kappaleen tuli vastata 3D-mallia korkeintaan 0,5 mm:n mittaheitolla.

### 4.3 Kustannukset

Suunnittelun suurin rajaavin tekijä oli projektin kustannukset. Pyrin säästämään materiaaleissa käyttämällä Lahden ammattikorkeakoulun käytettyjä materiaaleja ja osittain myös romumateriaalia kierrätyskeskuksesta. Haastavaa oli tehdä mekaniikkasuunnittelua erikoiskomponenttien pohjalta, kun ei voinut valita vakiokomponentteja luettelosta.

### 4.4 Ohjaus

Alusta asti tavoitteena oli hoitaa laitteen ohjaus tietokoneen avulla. Valmiita ohjausohjelmia löytyy Windows-käyttöjärjestelmälle useita ja Linux-käyttöjärjestelmälle LinuxCNC.

### 4.5 Mekaniikka

Mekaanisesti laitteen tuli seistä omilla jaloillaan, jolloin työstöpöydän alle saa sijoitettua sähkökaapin ja laitetta voi käyttää optimaaliselta työskentelykorkeudelta.

Päämateriaaliksi valitsin alumiinin sen keveyden ja helpon työstettävyyden vuoksi. Runko tuli rakentumaan alumiiniprofiilista ja alumiinilevystä.

Osien työstämisen tulisin suorittamaan itse Lahden ammattikorkeakoulun tiloissa.

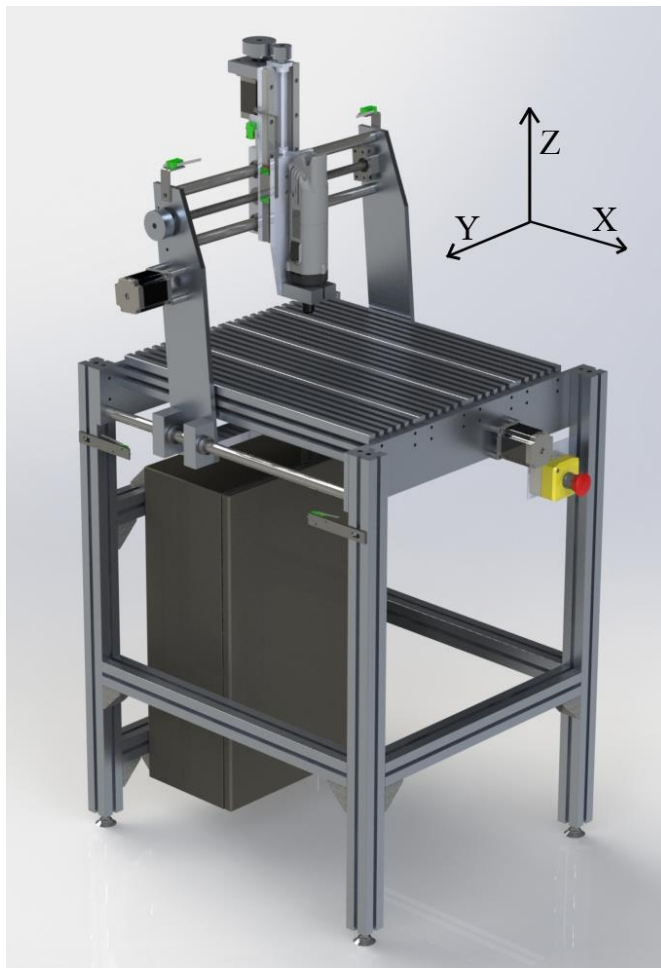
### 4.6 Turvallisuus

Lähtökohtana oli, että laite tulisi olemaan täysin sähköturvallinen ja koneen käydessä yleinen turvallisuus suojattaisiin laitteen ympärille tulevalla läpinäkyvällä suojaseinämällä.

## 5 JYRSIMEN MEKANIIKAN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Toteuttamani yläjyrsin on kolmiakselinen laite, jossa liikesuuntien moottoreina toimivat 4 Nm:n askelmoottorit, joiden voimat välittyvät johteille lineaariruuvien välityksellä. Jyrsinmoottorina laitteessa on teholtaan 1050 W:n jyrsinkara. Työstöalue laitteella on X-akselin suunnassa 440 mm, Y-akselin suunnassa 385 mm ja Z-akselin suunnassa 185 mm.

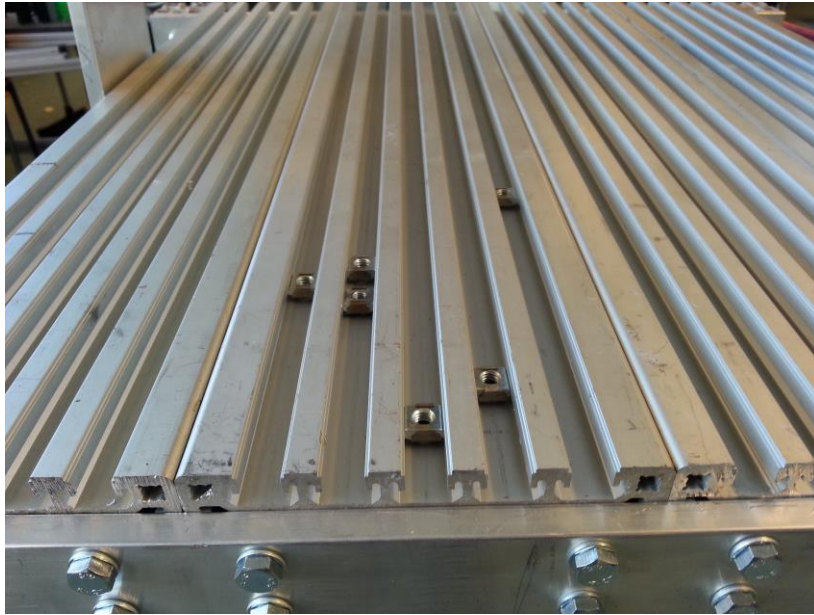
Suunnittelun aputyökaluna käytin SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmaa. Mallinsin valmiit osakomponentit tietokoneelle ja niiden avulla suunnittelin kiinnityskappaleet. SolidWorks-ohjelman käytöstä oli suuri apu suunnittelussa. Sen avulla sai tarkasteltua, miten komponentit sopivat toisiinsa, ja ohjelmasta sai helposti työstömitat työstettäville kappaleille. Kuvassa 14 on laitteen 3D-malli ja sen liikesuunnat.



KUVA 14. 3D-malli jyrsimestä ja liikesuunnat

## 5.1 Runko

Lähtökohta oli, että laite tulee seisomaan omilla jaloillaan. Valitsin runkomateriaaliksi alumiiniprofiilit niiden hyvien kiinnitysominaisuuksien vuoksi. Pöytälevyksi valitsin myös alumiiniprofiilit. Pöytälevyn profiili oli malliltaan 60 x 120 mm, ja siinä oli valmiiksi urat kappaleiden kiinnitystä varten (KUVA 15).



KUVA 15. Pöytäprofiilin urakiinnitykset

Pääsääntönä voidaan pitää, että rungon päämateriaali valitaan sen mukaan, mitä materiaalia jyrsimellä tullaan työstämään. Rungon tulee olla yhtä kestävää tai kestävämpää materiaalia, kuin työstettävä materiaali (Instructables 2014). Valitsin oman jyrsimeni päämateriaaliksi alumiinin, koska se on kevyttä, sitä on helppo työstää ja siitä saa rakennettua tarpeeksi jäykän rungon puunjyrsimiseen ja ehkä myös ohuiden alumiinilevyjen leikkaamiseen.

Rungon suunnittelu ja rakentaminen eteni vaihe kerrallaan. Ensin suunnittelin ja toteutin pöydän ja jalat ja siihen liittyvän X-akselin liikkeen. Tämän jälkeen etenin Y-liikkeeseen ja viimeisenä suunnittelin ja toteutin Z-liikkeen.

## 5.2 X-liike

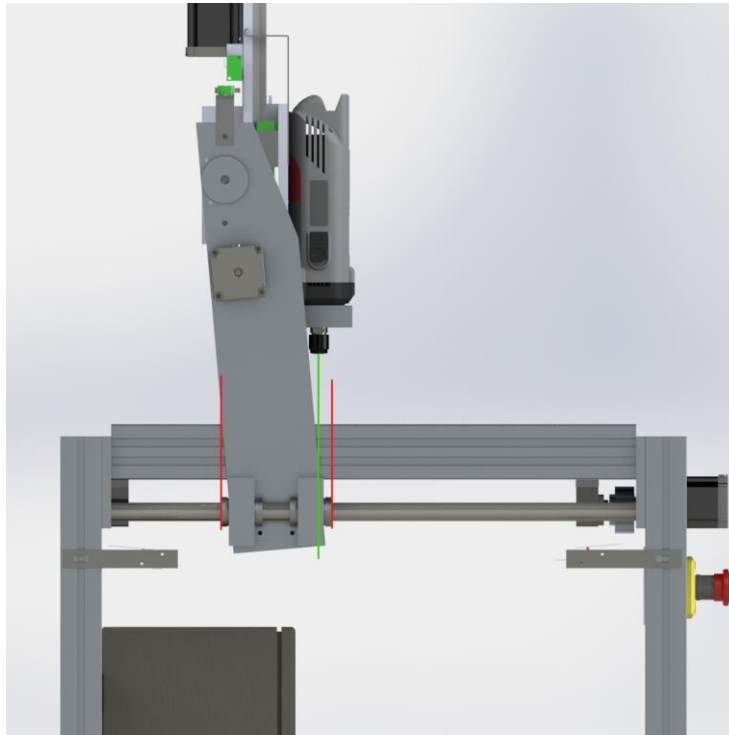
X-suunnan liike oli kaikkien liikkeiden niin sanottu perusta, sillä muut liikkeet kiinnittyivät X-liikkeen kelkkaan (KUVA 16) ja toivat sille painonsa. Johteiksi valitsin kaksi 20 mm:n pyöröjohteita, jotka tulivat kiinnitettäväksi päistään rungon alumiinilevyyn. Pyöröjohteet tulivat kummallekin puolelle työstöpöytää ja kumpaankin johteeseen tuli kaksi laakeriholkkia. Lineaarivaihteena käytin suurinoina lineaariruuvia, joka tuli työstöpöydän alapuolelle pyöröjohteiden väliin. Lineaariruuvien keskittäminen johteiden välille on tärkeää, jotta voima ei välity johteille toispuoleisesti ja liikkeestä tulee tasainen.



KUVA 16. X-suunnan mekaniikka

Suunnittelin johteisiin kiinnittyvän liikkuvan rungon alumiinilevyistä, jotka kiinnittyivät X-suunnan lineaarijohteiden laakeripesiin. Alumiinilevyt nousevat viistosti pöydän alatasolta ylöspäin. Viistous johtuu siitä, että sain maksimoitua työstöpinta-alan. Menetin X-suunnan työstöpituudessa joka tapauksessa johteiden laakerien päätypintojen välisen matkan. Sijoittamalla jyrsimen terän keskipisteen tämän laakerien päätypintojen välisen alueen sisälle sain pidettyä menetety piteuden minimissään. Kuvasta 17 näkyy vihreällä viivalla osoitettuna, miten

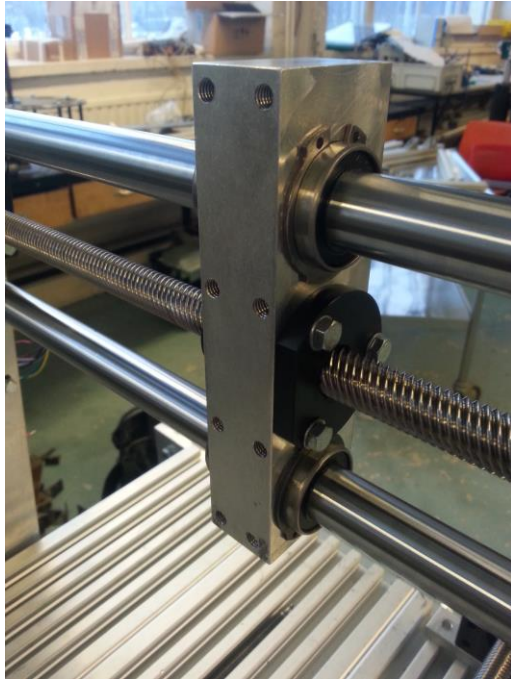
jrnsimen terän keskipiste sijoittuu punaisten viivojen väliin. Punaiset viivat rajaavat työstöpituuden käyttämättömän alueen.



KUVA 17. Pystyrungon viistous

### 5.3 Y-liike

Y-liikkeen johteiksi ja lineaarivaihteeksi tulivat samat, kuin X-suunnallekin. Johteita tuli kaksi kappaletta, ja kummallekin tuli yksi laakeriholkki. Sijoitin lineaariruuvien johteiden väliin. Laakerien kiinnitystä varten tein laakeripesän (KUVA 18), johon kiinnitin laakeriholkit puristusliitoksella ja varmistin sokkareilla. Kiinnitin laakeripesään myös lineaariruuvien mutterin.



KUVA 18. Y-liikkeen laakeripesä

#### 5.4 Z-liike

Pystyliikkeen eli Z-suunnan toteutin kahdella profiilijohteella ja lineaarivaihteena käytin kuularuuvia. Z-liikkeellä oli tärkeä saada jysinterän alapinta nostettua y-liikkeen laakeripesää korkeammalle ja saada terä laskettua lähelle pöytäpintaa. Haastavaa oli saada vanhasta sorvista purettu kuularuuvi kiinnitettyä Y-liikkeen runkoon ja saada ruuvi toimimaan hyvin.

#### 5.5 Lineaarivaihteet ja hihnavälitykset

X- ja Y-liikkeellä on samanlaiset 20 mm/kierros nousulla olevat lineaariruuvit. Koska nousu on niin suuri, oli hyvä asettaa moottoreiden ja lineaarivaihteen välille tasoittava hihnavälitys sopivalla välityssuhteella.

X- ja Y-akseleilla moottorin hihnapyörä on 10 hampainen ja lineaariruuvin hihnapyörä on 30 hampainen.

Näistä tiedoista voidaan laskea hihnapyörien alennuskerroin kaavalla 1:

$$Kerroin = \frac{10}{30} = \frac{1}{3} \quad (1)$$



Kertoimen ja lineaariruuvin nousun tulosta saadaan todellinen nousu kaavalla 2:

$$\text{Todellinen nousu} = \frac{1}{3} \times \frac{20 \text{ mm}}{\text{kierros}} \approx 6,667 \text{ mm/kierros} \quad (2)$$

Z-liikkeen kuularuuvilla on 20 kertaa pienempi nousu kuin X- ja Y-liikkeiden lineaariruuveilla eli 2mm/kierros.

Z-akselin moottorin hihnapyörä on 36 hampainen ja kuularuuvin hihnapyörä on 20 hampainen.

Näistä tiedoista voidaan laskea hihnapyöröiden korotuskerroin kaavalla 3:

$$\text{Kerroin} = \frac{36}{20} = 1,8 \quad (3)$$

Kertoimen ja lineaariruuvin nousun tulosta saadaan todellinen nousu kaavalla 4:

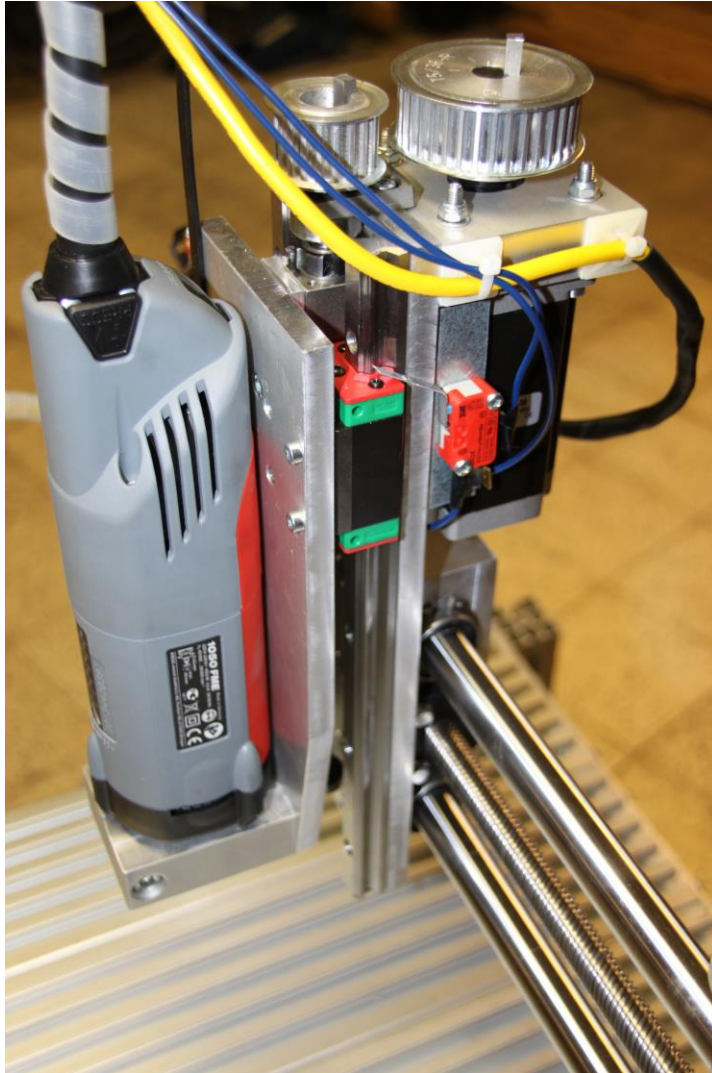
$$\text{Todellinen nousu} = 1,8 \times \frac{2 \text{ mm}}{\text{kierros}} = 3,6 \text{ mm/kierros} \quad (4)$$

Valitsin vaihdetyypiksi hihnavälityksen, koska se on edullinen ja oikein asennettuna lähes välyksetön. Hihnat ovat hammaskooltaan T5 ja ne ovat 16 mm leveitä. Hihnat ovat katkaistu oikeaan mittaan ja liitos on tehty liimaamalla päät kaksikomponenttiliimalla. Tällä menetelmällä on riskinsä, sillä hihna on paljon herkempi katkeamaan, kuin oikeaan mittaan valmistettu hihna. Hihnojen kiristys toteutetaan moottorin kiinnitystä säätämällä. Jokaiselle moottorille on tehty kiinnitysurat joissa on noin 6 mm säätö.

## 5.6 Raja-anturit

Ääri rajoille käytin raja-antureina mekaanisia antureita. Anturit tulivat jokaisen liikkeen päätyihin noin senttimetrin päähän todellisesta mekaanisesta päätyrajasta. Kiinnityksessä oli huomioitava, että anturin päälle kytkemä haitta, kytki anturin siten päälle, että anturi ei joutunut puristukseen vaan haitta voitiin ajaa anturin mekaanista kieltä vasten sivusta. Käytin haittoina hyväkseni rungon muotoja ja asensin antureille omat kiinnikkeet. Z-liikkeelle (KUVA 19) jouduin tekemään erillisen haitan, mikä kytkee alaraja-anturin päälle. Anturit pysäyttävät

ohjausohjelman aktivoituessaan, jolloin mekaanisiin päätyrajoihin törmäämiseltä ja sitä myötä laiterikoilta vältyttäisiin.



KUVA 19. Z-liikesuunnan yläraja-anturi päälle kytkeytyneenä

## 6 JYRSIMEN SÄHKÖKOMONENTIT JA SÄHKÖSUUNNITTELU

Liikkeiden toteuttamiseen hankin moottorit ja niille sopivat ohjauskomponentit valmiina pakettina. Päätin ostaa askelmoottoripaketin Isossa-Britanniassa toimivalta NC-laitteisiin erikoistuneelta verkkokaupalta. Siihen kuuluu kolme askelmoottoria, pääohjainkortti, kolme moottorinohjainkorttia ja 36 V:n virtalähde.

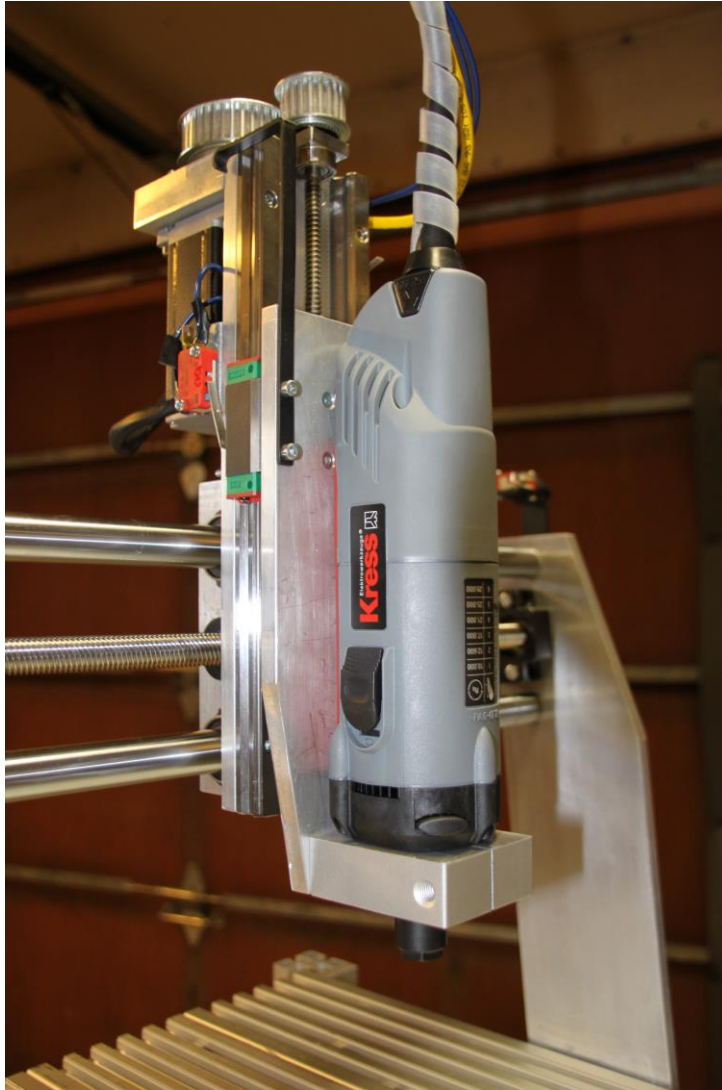
### 6.1 Askelmoottorit

Lineaariliikkeiden moottoreiksi valikoituivat askelmoottorit niiden halvemman hinnan ja yksinkertaisen ohjauksen vuoksi. Moottorit ovat NEMA-23-standardin mukaiset ja niillä on vääntöä 4 Nm. Moottorit ovat käämitykseltään bipolaariset.

Moottorit voidaan kytkeä moottorinohjainkorttiin sarja- tai rinnankytkennällä. Yksinkertaisesti jaoteltuna sarjakytkennällä saa käyttöön maksimimomentin hitailla nopeuksilla ja rinnan kytkennällä pienemmän momentin, mutta suuremmat liikenopeudet (Linengineering 2014). Valitsin kytkentätavaksi sarjaan kytkennän, koska tärkeämpää oli saavuttaa maksimimomentti, kuin saada aikaan nopeat liikkeet.

### 6.2 Jyrsinkara

Jyrsinkaraksi, eli lastuavaa terää pyörittäväksi moottoriksi, valitsin Kressin 1050 FME-1 -mallisen ilmajäähdytteisen jyrsinkaran (KUVA 20). Sen nopeusalueita saa säädettyä portaattomasti 5 000 – 25 000 kierrokseen/min. Kressin jyrsinkarat ovat laajalti käytettyjä kotirakenteisissa laitteissa ja ne ovat helposti kiinnitettävissä runkoon. Moottorin käynnistuspainikkeen saa lukittua ON-asentoon, mikä oli myös yksi valintakriteereistä. Jyrsinkaraa varten tulee sähkökaappiin oma kontaktiohjattu pistorasia, jota pystyy ohjaamaan tietokoneen ohjausohjelman avulla.

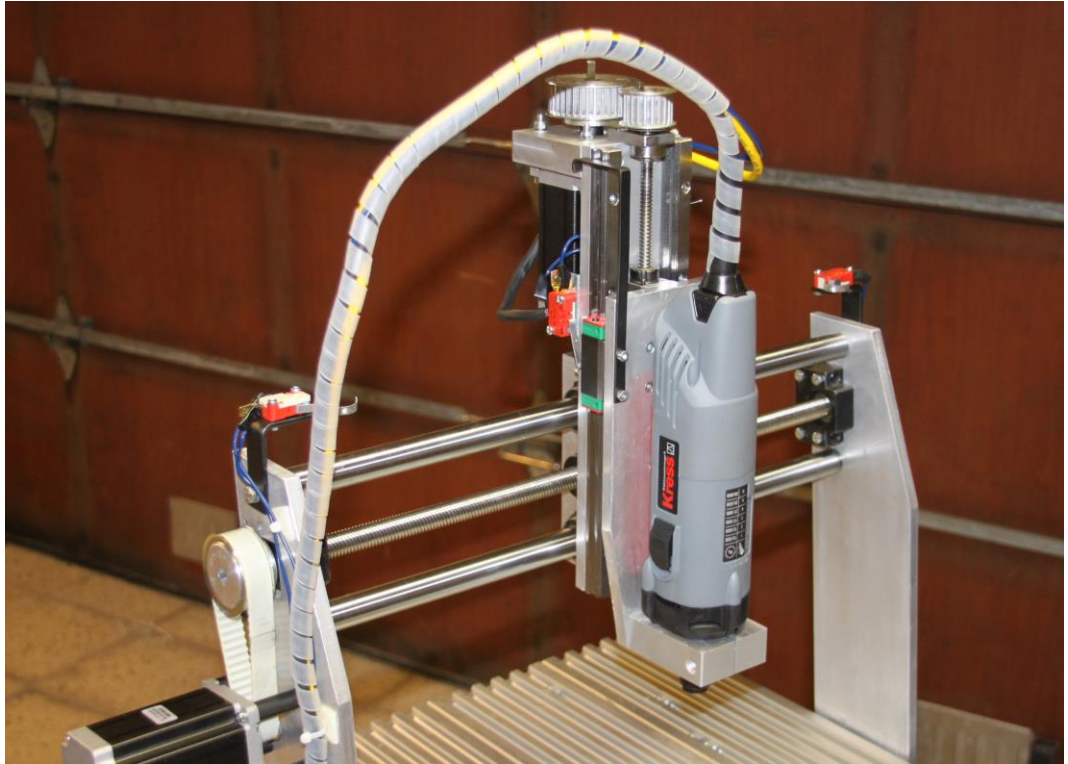


KUVA 20. Kress 1050 FME-1 jrsinkara

### 6.3 Kaapelivedot

Moottoreilta, jrsinkaralta ja ääriantureilta tuli vetää kaapelit sähkökaapille.

Käytin vapaana roikkuvien kaapeliniippujen yhdistämiseen ja kasassa pitämiseen johtospiraalia (KUVA 21). Sen avulla kaapelit sai pidettyä pois kelkkojen liikkeiden edestä. Kiinnitin kaapeliniiput runkoon nippusidekiinnikkeillä.

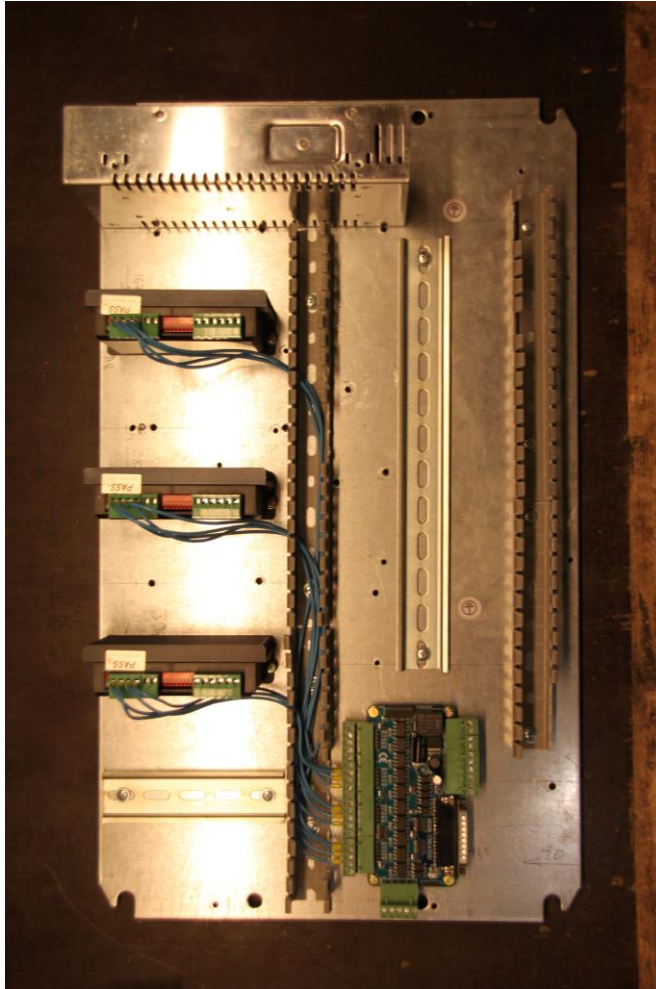


KUVA 21. Kaapelispiraalilla tuetut kaapelit

#### 6.4 Sähkökaappi

Sähkökaappina jyrsimessä on Rittalin metallirakenteinen kaappi kooltaan 600 x 380 x 210 mm. Kaapissa on saranoidut ovet ja ovilukot. Kaappi sijoittuu jyrsimen profiilirungon sisäpuolelle, ja sinne tulevat ja sieltä lähtevät kaapelit tuodaan kaapin päällä olevasta läpivientiaukosta. Kytkimen ja painonapit sijoitetaan kaapin ovikanteen ja jyrsinkaraa ohjaava pistokerasia sijoitetaan kaapin kylkeen ulkopuolelle.

Kuvassa 22 näkyy komponenttien sijoittelu sähkökaapin asennuslevylle. DIN-kiskoille sijoitetaan sulakkeet, turvakomponentit ja riviliittimet. 24 V:n virtalähde tulee erilliseen keskukseen.



KUVA 22. Sähkökaapin asennuslevy pääkomponentit asennettuina  
 Kaapissa on sähkökomponenttien ylikuumentumisen suojaksi kaksi ilmanvaihtoaukkoa. Toinen sijaitsee kaapin alaosassa viileää ilmaa vastaanottavana aukkona ja toinen aukko sijaitsee kaapin yläosassa, josta kaapin sisällä oleva kuumailma pääsee luonnollisella kierrolla poistumaan. Alaosan aukossa on myös asennusvalmius tuulettimelle, jos sille syntyy myöhemmin tarvetta. Ilmanvaihtaukoissa on ilmaa läpäisevät suodattimet, jotka voidaan tarvittaessa vaihtaa.

## 6.5 Turvakomponentit

Laitteessa tulee olla hätä-seis-katkaisin, jota painamalla virransyöttö liikemootoreille ja jyrsinkaralle katkaistaan. Hätä-seis-katkaisimessa on kahdennettu normaalisti kiinni oleva kosketin. Hätä-seis-katkaisimen ylös

nostamisen jälkeen laite ei saa käynnistyä uudelleen vaan hätä-seis-katkaisu täytyy kuitata erillisestä reset-painikkeesta, minkä jälkeen voidaan painaa start-painiketta, joka ohjaa taas virran moottoreille. Tämä toteutetaan erityisen turvareleen avulla.

Koska useimmat kontaktorit ja turvareleet toimivat 24 V:n ohjausjännitteellä eikä laitteessa jo olevalla virtalähteen tuottamalla 36 V:n jännitteellä, niin turvakomponentit tarvitsevat oman 24 V:n virtalähteensä.

Sähköpiirustukset ovat liitteenä (LIITTEET 1 ja 2).

## 7 JYRSIMEN OHJAUS

Jyrsimen ohjaus sisältää sähkökaapin painikkeet ja kytkimet ja liikkeiden ohjauksen kannettavalla tietokoneella. Tietokone on kytketty laitteeseen rinnakkaisliitäntä kaapelilla ja ainoastaan tietokoneen avulla pystyy ajamaan akseleita tai jyrsinkaraa.

### 7.1 Turvaseinämä

Turvatoimenpiteenä jyrsimen ympärille on sijoitettava suojaava, akryylilevystä ja metallirungosta rakentuva, levyseinä, joka estää mahdollisesti rikkoontuvien teräkappaleiden tai muiden vastaavien lastujen lentämisen ihmisiä päin (KUVA 23). Levyseinä tulee olemaan kevyt ja helposti siirrettävä. Seinämä peittää jyrsimen jokaiselta sivulta ja siihen tulee kolme saranoitua kulmaa. Yksi kulma tulee jäämään auki mahdollistaen jyrsimen käytön. Kulma suljetaan ennen, kuin jyrsimellä aloitetaan työstö.



KUVA 23. Jyrsin ja turvaseinämä



## 7.2 Jyrsimen toiminta

Jyrsimen sähkökaapin kannessa sijaitsee pääkytkin, start-painike, stop-painike ja kuittaus-painike. Laitteen kyljessä on hätä-seis-katkaisin. Jyrsimistä aloittaessa jyrsin kytketään pistokkeella sähköverkkoon ja tietokone ja sen ohjausohjelma käynnistetään. Jännite kytkeytyy laitteen virtalähteille vasta kytkettäessä pääkytkin päälle. Tämän jälkeen painettaessa start-painiketta kytkeytyy jännite ohjauksorteille ja moottoreille. Jos edellisellä käyttökerralla on painettu hätä-seis-katkaisinta ja sen painiketta ei ole nostettu ylös ja kuitattu vikaa kuittaus-painikkeella, niin täytyy nämä toimenpiteet tehdä käynnistysluvan saamiseksi.

Jyrsittävän kappaleen aihio on kiinnitettävä pöytään laitteen ollessa jännitteetön, eli laitteen pääkatkaisin täytyy olla kytketty pois päältä. Kun kappale on hyvin kiinnitetty pöytään, voi jyrsimen kytkeä päälle ja paikoittaa jyrsimen terän tietokoneen ohjausohjelmalla haluamaansa lähtöpisteeseen. Tämän jälkeen voi jyrsinkaran pääkytkimen kytkeä päälle. Pääkytkimen päälle kytkeminen ei vielä käynnistä terän pyörimistä. Pyörimisen saa käynnistettyä tietokoneen ohjausohjelmasta kauko-ohjatusti. Jyrsimellä voi nyt suorittaa työstön.

Työstön jälkeen terän pyöriminen pysäytetään ohjausohjelmasta ja kytketään jyrsinkaran pääkytkin pois päältä. Ennen työstetyn kappaleen poistoa täytyy painaa sähkökaapin stop-painikkeesta. Pääkatkaisimen voi samalla kytkeä myös pois päältä, jos jyrsintä ei aiota enää käyttää.

## 7.3 Ohjausohjelma

Ohjausohjelmana tulen käyttämään Mach3-nimistä Microsoft Windows -käyttöjärjestelmälle tehtyä ohjausohjelmaa. Ohjelma muuntaa NC-koodin moottoreiden ohjauspulsseiksi. NC-koodi luodaan erillisellä CAM ohjelmalla. Mach3-ohjelma pystyy myös muodostamaan HPGL-, BMP-, JPG- ja DXF-tiedostotyypeistä suoraan NC-koodia. Ohjelman alkuasetuksina siihen syötetään tiedot moottoreiden askelmääristä, lineaariliikkeen määrästä suhteessa moottorin pulsseihin ja ohjainkorttiin kytketyt tulolaitteet, esimerkiksi raja-anturit ja ulkoiset pysäytyskytkimet. Lisäksi määritetään pääohjainkortin tiedot ja rinnakkaisliitäntäkaapelin signaalipinnien kytkentäjärjestys.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada rakennettua omaan käyttöön tietokoneella ohjattu kolmen vapausasteen puujyrsin. Työ lähti liikkeelle aiheeseen ja NC-laitteiden teoriapohjaan tutustuen ja jatkui siitä mekaniikkasuunnitteluun ja lopuksi sähkösuunnitteluun. Projekti on kokonaisuutenaan ollut haastava, monipuolinen ja opettavainen. Aikataulu pysyi työn alkuvaiheessa suunnitelman mukaisena. Ainoastaan työn loppupuolella tuli yllättävää lisäajan tarvetta, josta seurasi, että laite jäi vaille sähkökaapin kytkentöjä ja testausta.

Jyrsinlaitteen testaamisen esteeksi muodostui työn loppuvaiheessa hätä-seis-piirin turvakomponenttien tarvitsema erisuuruinen käyttöjännite, kuin hankkimani virtalähde olisi pystynyt tuottamaan. Sähkökaapin kytkentöjä varten tarvittu lisäaika ja komponenttien hankkimiseen tarvittu lisäbudjetti eivät riittäneet loppupuolen lyhyelle aikavälille. Työ on kuitenkin tarkoitus lähitulevaisuudessa toteuttaa suunnitelmien mukaisesti loppuun.

Nykyisellään jyrsinlaite ei ole turvamääräysten mukainen ja sitä ei saa käyttää. Laitteen tulee olla Euroopan unionin laatiman konedirektiivin vaatimusten mukainen. Laitteen käyttöönotto vaatii turvajärjestelmän toteuttamisen ja sen suunnitelmien dokumentoinnin, sähköalan ammattilaisen tekemän käyttöönottotarkastuksen ja käyttäjille laadittavat käyttöohjeet laitteesta. Turvallisuuden toteuttaminen tulee tehdä riskianalyysin pohjalta, jota laitteelle ei ole vielä tehty.

Työn etenemisjärjestys muodostui ensin mekaniikkasuunnittelusta, josta siirryin vaiheittain toteuttamisen ja suunnittelemisen välillä eteenpäin. Tämä malli toimi hyvin mekaniikkasuunnittelussa, mutta sähkösuunnittelu olisi pitänyt suunnitella alusta loppuun eikä pienempi kokonaisuus kerrallaan. Tällä olisi säästyttävä loppupuolen yllättäviltä suunnittelumuutoksilta.

Lähtökohtaisesti pidin haastavimpana ohjaussuunnittelua ja sitä, miten sen toteuttaa, koska ohjauspuolesta minulla ei ollut alustavasti paljoa tietoa. Haastavimmaksi muodostui kuitenkin sähkösuunnittelu ja sen toteutus. Mekaanisen suunnittelun puolella ongelmat olivat konkreettisia ratkaista, ja siltä

aihealueelta minulla oli aikaisempaa kokemusta, jota pystyin suunnittelussa ja toteutuksessa hyödyntämään.

Asetetut tavoitteet toteutuivat laitteen mekaniikassa, ja siitä tuli laadukas ja kompakti kokonaisuus (KUVA 24). Ensimmäiseksi itse tehdyksi laitteeksi vastaa lopputulos hyvin tavoitetta ja olen siihen tyytyväinen. Myös laitteen sähkö- ja ohjauspuoli tulevat rakentumaan tavoitteiden mukaisiksi lähitulevaisuudessa.



KUVA 24. Jyrsin kokonaisuudessaan

Jyrsimen pääkäyttö tulee olemaan puunjyrsintää 3D-mallin mukaisesti. Tulevaisuuden päivitystarpeena laitteelle voi olla puruimurin integroiminen jyrsinkaraan, joka pienentää huomattavasti työstöstä syntyvää pölyn leviämistä. Muita jatkotoimia jyrsimelle voi olla tietokoneen liittämistavan muuttaminen rinnakkaisliitännästä USB-liitännäksi ja 3D-tulostuksen mahdollistaminen jyrsimellä. Muuntaminen 3D-tulostimeksi vaatii muovin pursotuspään kiinnittämistä jyrsinkaran tilalle, lämmitettyä pöytälevyä tulosteelle ja joitakin ohjauspuolen ohjelmamuutoksia.

Kaiken kaikkiaan projekti on ollut todella mielenkiintoinen ja syventänyt koulussa oppimiani taitoja. Tämä opinnäytetyö tarjoaa hyvän peruspohjan automaattisista jyrsimistä ja NC-ohjatuista laitteista kiinnostuneille, ja toivon sen olevan apuna tulevaisuudessa omaa laitettaan rakentaville. Omaa jyrsintä tai NC-ohjattua laitetta rakentamaan aloittavalle suosittelenkin tekemään hyvät suunnitelmat niin mekaniikasta, sähköistyksestä kuin ohjauspuolesta. Hyvillä suunnitelmilla näkee edeltä mahdolliset ongelmakohdat, ja niiden avulla on helppo rakentaa lopullinen laite.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet:

Airila, M. 1993. Mekatroniikka. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen P. & Suosara, E. 2006. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.

Pikkarainen, E. & Mustonen, M. 2010. Numeerisesti ohjatut työstökoneet. 2. uudistettu painos. Tampere: Opetushallitus.

### Elektroniset lähteet:

Control engineering. 2013. Future of CNC [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.controleng.com/single-article/future-of-cnc/619b7e15e27990e7382a638ed0dca242.html>

Instructables. 2014. Building a CNC router [viitattu 21.3.2014]. Saatavissa: <http://www.instructables.com/id/Building-a-CNC-router/step1/The-design/>

Linengineering. 2014. Step motor Basics [viitattu 21.3.2014]. Saatavissa: [http://www.linengineering.com/contents/stepmotors/pdf/product\\_guides/lin\\_rg\\_stepmotorbasics.pdf](http://www.linengineering.com/contents/stepmotors/pdf/product_guides/lin_rg_stepmotorbasics.pdf)

Opetushallitus. 2014. NC ohjelman rakenne ja NC koodit [viitattu 12.3.2014]. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/NCkoodit.html#tyostorata>

Schaeffler Finland Oy. 2014a. Profiilijohteet [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: [http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products\\_services/linear\\_products/monorail\\_guidance\\_systems/monorail\\_guidance\\_systems.jsp](http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products_services/linear_products/monorail_guidance_systems/monorail_guidance_systems.jsp)

Schaeffler Finland Oy. 2014b. Pyöröjohteet [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: [http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products\\_services/linear\\_products/shaftguidance/wellenfuehrungen.jsp](http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products_services/linear_products/shaftguidance/wellenfuehrungen.jsp)

Kuva lähteet:

Kuva 1. Facebook. 2011. DAISHIN SEIKI CORPORATION [viitattu 19.3.2014].

Saatavissa:

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=241348512589286&set=a.241348229255981.57373.207979972592807&type=3&theater>

Kuva 2. Wikipedia. 2007. MCFH 40 CNC - control panel [viitattu 19.3.2014].

Saatavissa: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MCFH\\_40\\_CNC\\_-\\_control\\_panel\\_%281%29.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MCFH_40_CNC_-_control_panel_%281%29.jpg)

Kuva 3. Interempresas. 2014. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.interempresas.net/MetalWorking/Articles/53106-Revolver-with-integrated-propulsion-of-tools.html>

Kuva 4. Hiwin. 2014. QR Series [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.hiwin.com/html/linear%20guideways/qr.html>

Kuva 5. Thomson. 2014. 1Cx Continuous Support RoundRail Linear Guide System [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

[http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/linear\\_guides/roundrail/1cx\\_continuoussupport.php](http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/linear_guides/roundrail/1cx_continuoussupport.php)

Kuva 6. THK. 2014. LM Actuator [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.thk.com/?q=eng/node/233>

Kuva 7. THK. 2014. Ball Screw [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.thk.com/?q=eng/node/247>

Kuva 8. Motionco. 2014. Open length belting [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

[http://www.motionco.co.uk/timing-belts-open-length-belting-c-25\\_38\\_49.html](http://www.motionco.co.uk/timing-belts-open-length-belting-c-25_38_49.html)

Kuva 9. SKS Group. 2014. Hammaspyörät ja hammastangot [viitattu 19.3.2014].

Saatavissa:

<http://www.sks.fi/www/Content19F197&id=72DDC3E3AEFCC422C2257BD6003AFD6D?gclid=CNnuoM74nr0CFcH2cgodlyoAag>

Kuva 10. Siemens. 2014. Servomotors 1FK7 [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/motors/motion-control-motors/simotics-s-servomotors/simotics-s-1fk7/Pages/simotics-s-1fk7.aspx>

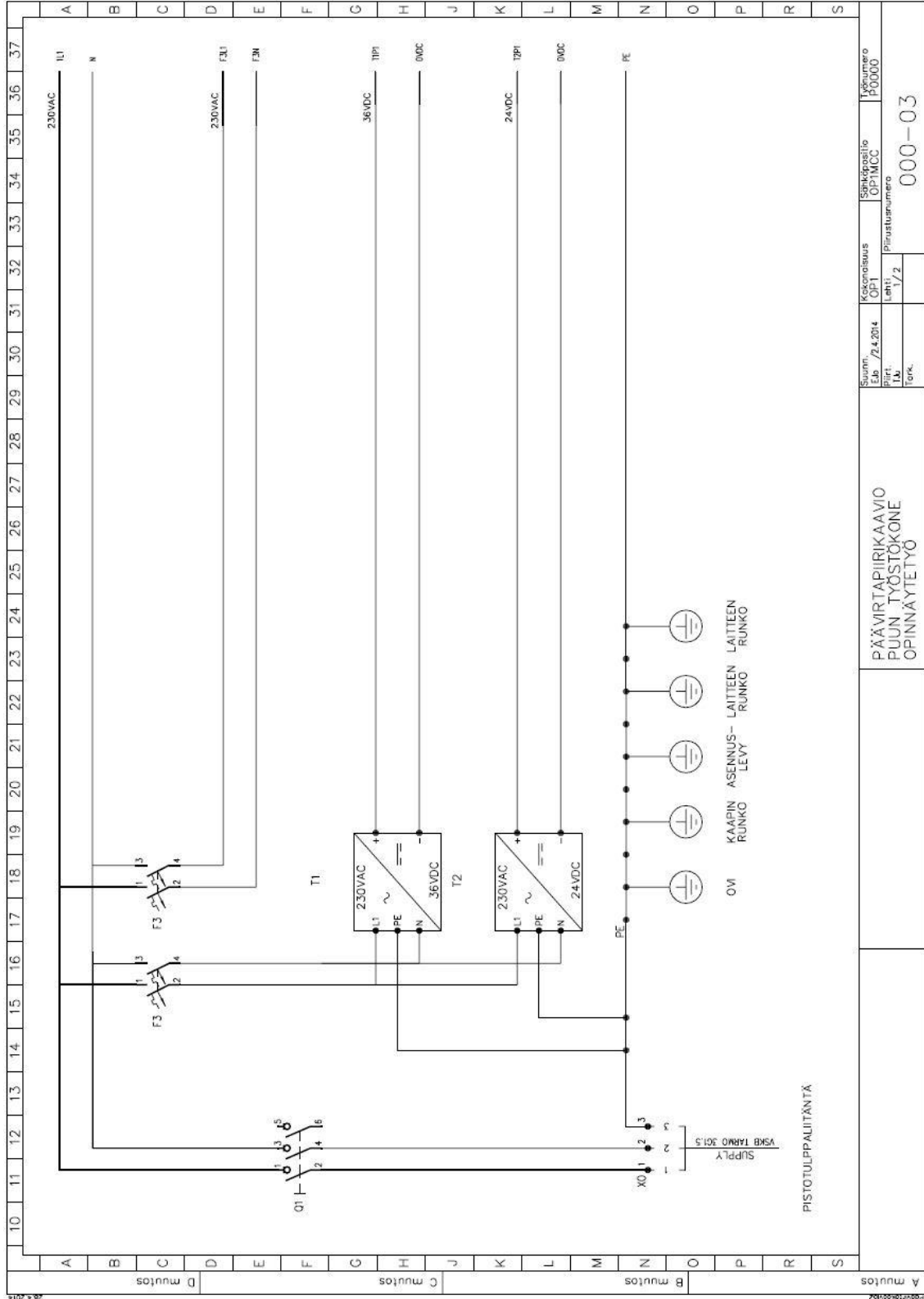
Kuva 11. Sick. 2014. Inductive proximity sensors [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: [http://www.sick.com/group/EN/home/products/product\\_portfolio/industrial\\_sensors/Pages/inductive\\_proximity\\_sensors.aspx](http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/Pages/inductive_proximity_sensors.aspx)

Kuva 12. Zero-Max. 2014. Flexible Shaft Couplings [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.zero-max.com/flexible-shaft-couplings-c-1-l-en.html>

Kuva 13. Instructables. 2014. Building a CNC router [viitattu 21.3.2014]. Saatavissa: <http://www.instructables.com/id/Building-a-CNC-router/>

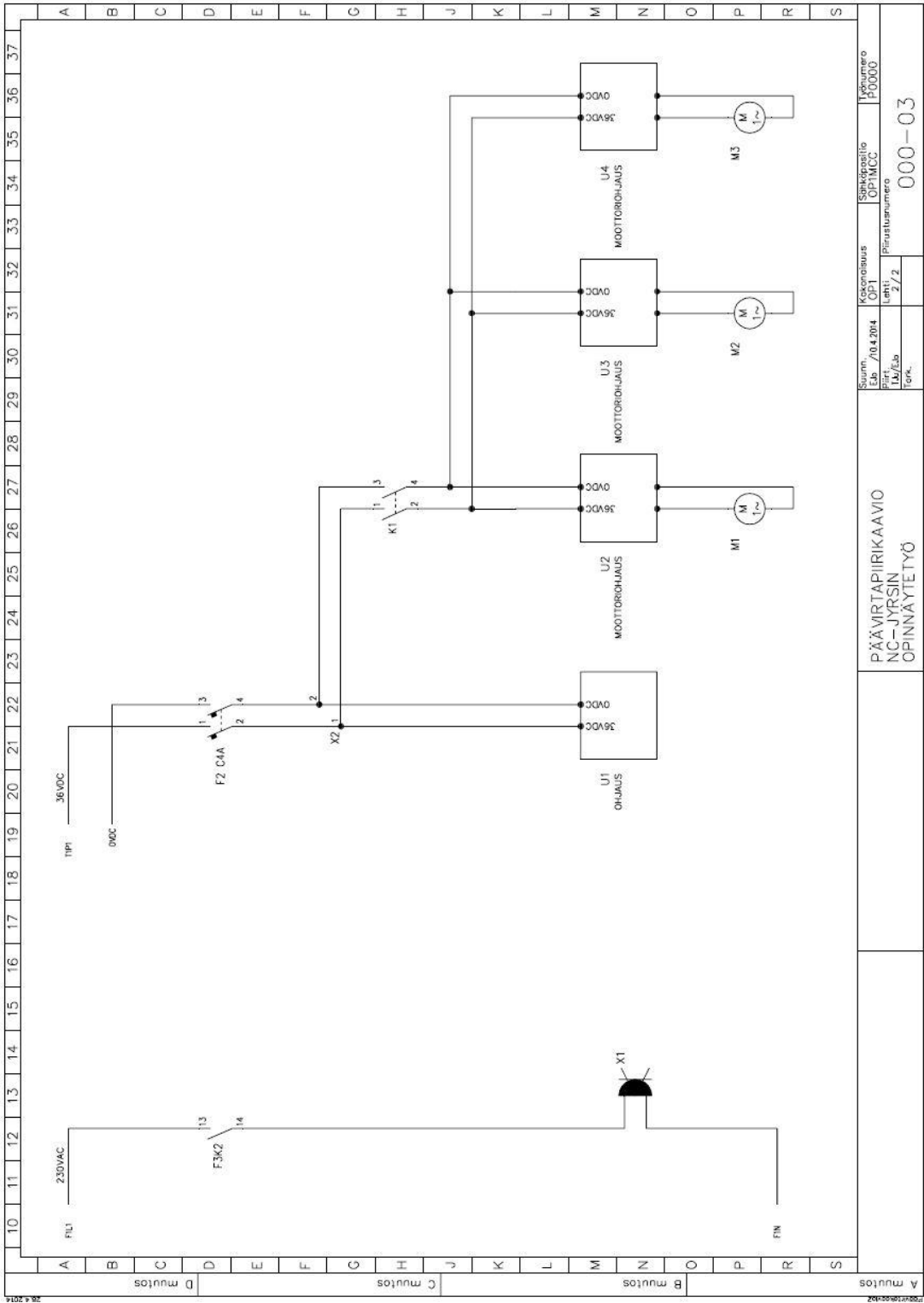
LIITTEET

LIITE 1/1. Päävirtapiirikaavio





LIITE 1/2.



A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	
A muutos		D muutos		C muutos		B muutos											

PÄÄVIRTAPIIRIKAAVIO NC-JYRSIN OPINNAYTEITYÖ		Kokonaismäärä OP1		Sähköpaikka OP1MCC		Hyönteinen P0000	
Suunn. / 7.10.2014		Lisäsuunnitelma 1/1/2		Pääsuunnitelma 2/2		000-03	

