

Pasi Niskanen

CNC-JYRSIMEN RAKENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Marraskuu 2015

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö	Aika	Tekijä/tekijät
YLIVIESKA	Marraskuu 2015	Pasi Niskanen
Koulutusohjelma		
Tuotantotalous		
Työn nimi		
CNC-jyrsimen rakennus ja käyttöönotto		
Työn ohjaaja	Sivumäärä	
DI Heikki Salmela	25 + 3	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa harrastustoimintaan CNC-jyrsin, jolla saa jyrsittyä kappaleita puusta, muovista ja alumiinista. Tavoitteena oli saada kappale jyrsittyä Cad-kuvasta. Työssä oli huomioitava komponenttien edullisuus ja koneen helppokäyttöisyys. Tästä johtuen on jouduttu soveltamaan jossain määrin käytettyjen koneiden osia.</p> <p>Kirjoitusvaiheessa ei markkinoilla ollut sopivan hinta-laatusuhteen omaavaa jyrsintä harrastekäyttöön. Markkinoilta löytyneet koneet olivat, joko liian kalliita tai pöytäkoko oli liian pieni. Ainoaksi vaihtoehdoksi jäi rakentaa kone itse käyttäen omaa tietotaitoa ja hakea tietoa ongelmakohtiin. Tässä työssä ei ole ollut ulkopuolista rahoitusta vaan kone rakentui omalla rahoituksella.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään koneen rakennuksen vaiheita ja käyttöönottoa. Koneen käyttöönottoon liittyviä ongelmia ja niiden ratkaisuja. Koneesta on mallinnettu osia 3D-suunnitteluohjelmalla, joista saatiin myös osakuvat puuttuville komponenteille.</p>		

Asiasanat

CNC, CAM, G-koodi, Jyrsin, Koneensuunnittelu

ABSTRACT

Unit	Date	Author
CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES YLIVIESKA UNIT	November 2015	Pasi Niskanen
Degree programme		
Industrial management		
Name of thesis		
Construction and commissioning of a CNC machine		
Instructor	Pages	
DI Heikki Salmela	25 + 3	
<p>The objective of this thesis was to design and build a CNC-milling machine, which can mill pieces from wood, plastic and aluminium. The Main goal was to mill a piece on the basis of a Cad-picture. The affordability of the components and the ease of use of the machine had to be taken into account. Therefore some second-hand parts were used.</p> <p>At the time of writing the thesis there was no suitable milling machine by the price and quality range for hobby use available in the market. The machines in the market were either too expensive or the size of the table was too small. The only option left was to build one's own machine based on one's own knowledge and find information for solving problematic situations. There were no external funding, but the machine was based on the author's own funding.</p> <p>In the theoretical part the phases of building a machine and the introduction of a machine, the problems in the introduction and the solutions. The machine has a few parts that were modeled with 3D design software, with the help of which also the partial images of the missing components were created.</p>		

Key words

CNC, CAM, G-code, milling, mechanical engineering

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CNC	Computeterized Numerical Control eli tietokoneohjattu numeraalinen ohjaus.
CAD	Computer-aided Design eli tietokoneen avulla tapahtuva suunnittelu.
CAM	Computer-aided manufacturing eli tietokoneavusteinen työstöratujen valmistus.
MDF	Medium Density Fibreboard eli keskitiheä kuitulevy.
HTD	High Torque Drive eli tässä tapauksessa suuren vääntömomentin kestävä hammashihna.

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	1
2. TYÖN TAVOITTEET	2
2.1. Rajaukset	2
3. NC- JA CNC-TEKNIikka	3
3.1. CNC-Sovellukset	3
3.2. Ohjelmointi	4
4. RUNGON SUUNNITTELU JA RAKENNUS	5
4.1. Lineaarijohteet	7
4.2. X-akseli	8
4.3. Y-akseli	9
4.4. Z-akseli	9
4.5. Moottorit	9
4.6. Voimansiirto	10
4.7. Karamoottori ja jäähdytys	13
5. OHJAUSELEKTRONIIKKA	14
5.1. Ohjauskortti	15
5.2. Askelmoottorihjain	16
5.3. Muuntajat	17
5.4. Raja-anturit	18
6. KÄYTTÖÖNOTTO JA MOOTTORIEN SÄÄTÖ	18
6.1. Käyttöliittymä	21
7. JATKOJALOSTUS JA PARANNUSKOhteET	22
8. YHTEENVETO	23

LÄHTEET	23
----------------	-----------

LIITTEET

LIITE 1. Askelmoottorihjaimen teknisettiedot

LIITE 2. Ensimmäinen 2.5D-työstö

KUVIOT

KUVIO 1. Esimerkki CNC-jyrsimen G-koodista.	4
KUVIO 2. 3D-mallinnus rungosta	5
KUVIO 3. Kuulajohteen periaatekuva.	5
KUVIO 4. X-akselin askelmoottorin kiinnitysrauta	8
KUVIO 5. NEMA34 askelmoottorityypin mitoituskuva	9

KUVIO 6. Hammashihnaprofiili HTD	10
KUVIO 7. Z-akselin hammashihnakäyttö	11
KUVIO 8. Ohjauselektronikan kytkentäkaavio	13
KUVIO 9. Ohjainkortin liitännät	14
KUVIO 10. Askelmoottorihjaimen askellus valinnat	15
KUVIO 11. Virtalähde	16
KUVIO 12. Y-akselin raja-anturi	17
KUVIO 13. Askelmoottorin asetuslehti	18
KUVIO 14. Käyttöliittymä	20
KUVIO 15. Kone valmiina	22

1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa kolmiakselinen CNC-jyrsin harrastuskäyttöön. Pöydän rakennetta mietittäessä päädyin portaalityyppiseen rakenteeseen, jossa X-akselilla sijaitsee karamoottori eli Z-akseli ja työstöpöytää liikuttaa Y-akseli. Rakenteen valintaan vaikutti oleellisesti myös edullisesti saadut käytetyn CNC-koneen kuulajohteet, jotka määrittivät koneen työstöalan ja rungonkoon.

Rakenteen valinnassa päädyin halpaan rakenneteräkseen ja hitsaukseen. Rakenteita mietittäessä, on valittu riittävä seinämävahvuus ajatellen puun ja muovin kevyttä työstöä. Lisäksi teräsrunkoon haettiin lisää massaa ja tärinän vaimennusta lisäämällä hiekkaa putkien sisään. Runkorakenteessa on otettu myös huomioon mahdollinen moottorien vaihto isompiin, sekä välitysten muutos kuula-ruuveille. Työssä huomioitiin myös päivitettävyyks neljännelle akselille komponenttien valinnassa.

Opinnäytetyön valintaan liittyi vahvasti halu päästä toteuttamaan oma CNC-jyrsin, josta olisi myös tulevaisuudessa hyötyä erilaisissa projekteissa. CNC-jyrsimen rakennus on myös tarpeeksi haastava työ opinnäytetyöksi.

2. TYÖN TAVOITTEET

Työn tavoitteena oli saada toimiva ja helppokäyttöinen CNC-jyrsin. Koneen mekaniikan ja ohjauksen oli toimittava saumattomasti yhteen, jotta tavoitteeseen päästään. CNC-jyrsin on prototyyppi ja varmuutta koneen toiminnasta ei alkuvaiheessa ollut. Projektin edetessä varmuutta alkoi löytymään, kun erilaiset komponentit toimivat oletetulla tavalla yhteen. Tästä syystä komponenttien valintaan piti kiinnittää erityistä huomiota ja käyttää paljon aikaa ns. taustatyöhön.

CNC-jyrsimen käyttöominaisuudet ovat varsin monipuoliset. CNC-jyrsimellä voidaan ajaa kappaleita irti levytavarasta tai umpiainehioista, tasopintojen jyrsintä, upotukset yms. Kolmiakselisella CNC-jyrsimellä työstömahdollisuuksia on 2D- ja 2.5D-työstö, joilla pärjää jo useimmissa tapauksissa. Mahdollista on myös vaihtaa pienillä muutoksilla jyrsinpään tilalle plasmapolttin sovitekappaleella, jolloin olisi käytössä CNC-ohjattu plasmaleikkuri. Ominaisuuksia siis on riittävästi harrastekäyttöön.

2.1. Rajaukset

Laitteen kaupallinen käyttö ja laitteen kaupallistaminen ei kuulu tämän työn tavoitteisiin. Työn tavoitteisiin ei myöskään kuulu plasmaleikkurin tai minkään muun lisälaitteen soveltaminen koneeseen tai sen testaus. Kyseessä on ainoastaan prototyyppi ja sen testaus. Työn dokumentoinnissa ei myöskään käydä yksityiskohtaisesti jokaista työvaihetta läpi.

3. NC- JA CNC-TEKNIikka

Numeerinen ohjaus NC on lyhenne sanoista Numerical control eli numeerisesti ohjattu. Numeraalista ohjausta pidetään ohjauksena, jossa siirtotieto liikkuu numero muodossa. Ensimmäiset NC-koneet tulivat käyttöön lentokoneen siipien valmistuksessa yhdysvalloissa 1950-luvun alussa. Siipien kaarevat muodot vaativat tarkkuutta ja paljon toistoja, joihin numeraalisesti ohjatuista koneista oli suuri apu. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 20.)

Myöhemmin vuosina NC-tekniikkaa kehitettiin entisestään paremmaksi ja vuonna 1965 otettiin käyttöön ensimmäinen kone, jossa oli työkalunvaihto ominaisuus. CNC eli computerized numerical control otettiin käyttöön vuonna 1974. CNC-koneessa oli siihen aikaan pieni tietokone, sekä ohjelmamuisti. CNC-tekniikka mahdollisti mittatarkan toiston, sekä eri ohjelmien tallennuksen. Tallennuksen ansiosta koneen käyttö helpottui, eikä tuttua kappaletta tarvinnut ohjelmoida uudelleen ja uudelleen. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 13.)

Koneiden kehitys on kulkenut käsikädessä yleisen tietotekniikan huimassa kehityksessä. Nykypäivän työstökoneet ovat melkein kaikki numeerisesti ohjattuja, sekä erinlaisilla lisälaitteilla varustettuja. Tietoliikenne yhteydet ovat tulleet CNC-koneisiin jäädäkseen. Nykyään lähes kaikki ohjelmat siirtyvät koneisiin tietoverkon kautta. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 20-21.)

3.1. CNC-Sovellukset

CNC-koneita käytetään yleisesti teollisuudessa hyvin erinlaisissa kohteissa. Tyypillisimmissä tehtävissä CNC-koneita käytetään erinlaisten kappaleiden koneistukseen. Nykyään porauksiin ja jyrsintöihin hankitaan pääsääntöisesti koneistuskeskuksia. Koneistuskeskuksessa on nimensämukaisesti paljon samassa laitteessa mm. automaattinen työkalunvaihto, työkalumakasiini ja vähintään kolmen akselin yhtäaikainen numeerinen ohjaus. Tyypillisimmät koneistuskeskukset ovat kolmi-akselisia, mutta löytyy myös neljästä kuuteen

akselisia koneita. Puuteollisuudessa olevat työstökeskukset ovat usein hyvin moni puolisia akseleita, sekä työstökaroja löytyy useita. (Pikkarainen & Mustonen 2010, 25-27.)

CNC-koneita löytyy nykyään varsin monenlaisista tehtävistä. Metalliteollisuudessa koneita käytetään kappaleiden työstöihin, leikkauksiin, taivutuksiin ja hitsaukseen. Putkistojen rakentajat käyttävät koneita putkistojen taivutuksiin ja hitsaus operaatioihin. Puutekniikka käyttää koneita lähinnä sahauksiin ja työstöihin.

Lista käyttökohteista on todella pitkä ja voikin sanoa, että on enää harvoja teollisuuden aloja, joissa ei käytetä CNC-koneita. Useimpien kotoakin löytyy kone, joka käyttää CNC-tekniikkaa, tyypillisimpänä esimerkkinä erinlaiset tulostimet.

3.2. Ohjelmointi

CNC-koneita ohjelmoidaan nykyisin G- ja M-koodeilla. Koodista selviää paikkatiedot, työkalut, kierrosnopeudet ja erilaiset muut käskyt. Koodit tehdään nykyään pääsääntöisesti CAD/CAM ohjelmistoissa ja siirretään työstökeskukselle. Ohjelmistoissa tehtävät työstöt voidaan simuloida ennen siirtämistä työstökeskukselle. Simuloinnissa huomataan mahdolliset törmäykset ja virheelliset työstöt, näin säästyy aikaa ja koneet pysyvät kunnossa. Osa pienemmistä helpoista työstöistä tehdään silti vielä käsin ohjelmoimalla tai työstökeskuksessa olevalla ohjelmistolla. Käsin ohjelmointi vaatii koneen käyttäjältä tietotaitoa, eikä se usein onnistu ilman kokemusta koodin teosta. Kuviossa 1 on ote erään CNC-jyrsimen G-koodista.

```

(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T21 | 3. FLAT ENDMILL-3MM | H21 )
G21
G0 G17 G40 G49 G80 G90
T21 M6
G0 G90 G54 X85. Y7.468 A0. S18000 M3
G43 H21 Z5.
Z3.
G1 Z-2.6 F140.
G3 X82. Y10.468 I-3. J0. F360.
X79. Y7.468 I0. J-3.
X82. Y4.468 I3. J0.
X85. Y7.468 I0. J3.
G0 Z5.
X52.5 Y58.202
Z3.
G1 Z-2.6 F140.
G3 X49.5 Y61.202 I-3. J0. F360.
X46.5 Y58.202 I0. J-3.
X49.5 Y55.202 I3. J0.
X52.5 Y58.202 I0. J3.
G0 Z5.
X85. Y72.468
Z3.
G1 Z-2.6 F140.
G3 X82. Y75.468 I-3. J0. F360.
X79. Y72.468 I0. J-3.
X82. Y69.468 I3. J0.
X85. Y72.468 I0. J3.
G0 Z5.
X20.
Z3.

```

KUVIO 1. Esimerkki CNC-jiirsimen G-koodista.

4. RUNGON SUUNNITTELU JA RAKENNUS

Koneen suunnittelussa kiinnitin huomiota edullisuuteen ja käytettyjen osien hyödyntämiseen. Koneen työstöpöydän koko tulisi olla vähintään 500mm x 500mm. Tähän ajatukseen sopi käytettynä saadut kuulajohteet, joilla työstöalaksi muodostui 630mm x 630mm. Johteet myös määräsivät koneen runkorakenteen ulkomitat. Rungon suunnittelussa on otettu huomioon myös mahdollinen leikkuunestealtaan tila, rungon alaosassa. Rungon suunnittelussa käytin apuna Solidworks 2013 ohjelmaa. Kuviossa 2 hahmotelma rungosta.

Rungon ylemmän osan materiaaliksi valikoitui Ruukin rakenneteräs S355J2H. Teräsputken profiilina käytettiin neliön mallista teräsputkea koossa 100 mm x 100 mm x 6mm. Rungon alaosaan käytettiin paksumpi seinämäistä rakenneterästä koossa 100mm x 100mm x 10mm. Näin painopistettä pyrittiin saamaan alemmaksi ja massaa kasvatettua.



KUVIO 2. 3D-mallinnus rungosta (Solidworks 2013)

Rungon massan lisäämiseksi oli monia ehdotuksia teräskuulasta betoniin, mutta päädyin tavalliseen hienoon hiekkaan olemattoman hinnan ja täytön helppouden vuoksi. Putkien sisukset täytettiin hiekalla ja täyttövaiheessa hiekka tampattiin tiiviiksi putkeen. Putket suljettiin hitsaamalla teräslaipat putken päähän. Rungon hitsauksessa oli kiinnitettävä huomiota lämmön aiheuttamaan vääntelyyn. Tätä pyrin ottamaan huomioon runkotolppien hitsauksessa.

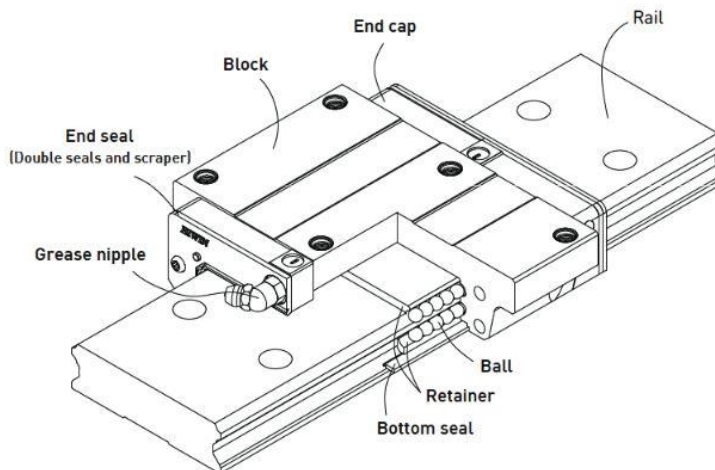
Hitsaus suoritettiin lyhyillä 20mm saumapituuksilla. Alarungon päälle tuli X-akselin pystytolpat kiinni hitsaamalla. Lopuksi hitsasin runkoon 45 asteen kulmassa olevat tukipalkit tukemaan X-akselin pystytolppia. Jyrsinkoneiden rungoilta vaaditaan mittatarkkuutta ja suoruutta, jotta koneista voidaan tehdä mittatarkkoja. Yleensä rungot työstetään hitsauksen jälkeen jyrsimällä suurella jyrsinkoneella kokorunko

yhdensuuntaiseksi. Tässä tapauksessa jyrinnästä olisi tullut sen verran kallista jyrsimen koon puolesta, että päädyin vaihtoehtoiseen ratkaisuun.

Johdekelkat säädettäisiin pulteilla ja sovitepaloilla niin lähelle suoraan, kuin kohtuullisesti mittakellolla pääsee. Jyrinpään kiinnityksen jälkeen ajetaan jyrsimellä Y-akselilla oleva alumiininen johdekelkka yhdensuuntaiseksi X-akselin kanssa. Kelkan päälle tuleva työstöpöytä ajetaan niin ikään yhdensuuntaiseksi ja näin päästään kohtuulliseen tulokseen ilman kallista rungon jyrintää.

4.1. Linearijohteet

Kuulajohteet kestävät suuria kuormia, sekä ovat erittäin tarkkoja. Kuulajohteille ominaista on myös pieni kitkakerroin, joka vaihtelee eri merkeillä 0,02-0,3 μ . Runkoon johteiksi kaikille akseleille valikoitui käytetyt, mutta hyvässä kunnossa olevat IKO:n valmistamat kuulajohteet. Kaikki kuulajohteet olivat saman levyisiä vain pituudet vaihtelivat. Kuviossa 3 on kuulajohteiden periaatekuva.



KUVIO 3. Kuulajohteen periaatekuva. (Oy Mekanex Ab 2015.)

Käytetyt kuulajohteet ovat olleet servokäytössä matkapuhelin teollisuudessa. Tähän koneeseen moottoreiksi on tulossa askelmoottori tekniikkaa, joten päivitys varaa siis

löytyy. X- ja Y-johteiden mitat ovat 1050 mm x 90mm ja liikevara 630 mm. Johdekelkoissa on sovitepalat kuularuuvien mutterille ja reikäpiirit valmiina kiinnityksille. Johteet olivat kiinnitettyinä valurautaisiin runkosovitteisiin, jotka oli koneistettu sopimaan moduulirakenteisiin. Näitä hyödyntäen säästy työtäikää, sekä johteet sai kiinnitettyä suoraan runkoon ilman suurempia hitsaus ja mittaongelmia. Johdepalkkien kiinnitys tapahtui runkoon kahdeksalla M10(8,8) kuusiopultilla.

4.2. X-akseli

X-akseli tuli horisontaalisesti työstöpöydän eli Y-akselin yläpuolelle. Akselin vasempaan päähän tuli askelmoottorisovite, joka puuttui. Jouduin valmistamaan uuden sovitekappaleen Y-akselin mallin mukaan. Sovitekappaleen materiaaliksi valitsin 10mm kylmävalssatun teräslevyn laserleikattuna ja hitsaamalla kasattuna. X-akseliin tulee pulttaamalla kiinni Z-akseli, joka on hieman lyhempi mitä X- ja Y-akseli. Johteelle joutui koneistamaan myös sovitepalan kuulamutterin kiinni-tykselle. Kuviossa 4 moottoripukki hitsattuna.



KUVIO 4. X-akselin askelmoottorin kiinnitysrauta hitsattuna.

4.3. Y-akseli

Y-akseli tuli vertikaalisesti X-akseliin alle. Akselin takaosaan tuli myös askelmoottorisovite ja hammashihnakäyttö. Johdekelkkaan tuli 20mm teräslevy pulttikiinnityksellä, josta tuli työstöpöydän runkolevy. Tämä levy jysrittiin suoraksi koneistamossa, levyyn porasin vielä reikäpiirit kulutuslevylle. Kulutuslevy asennettiin teräslevyn päälle myöhemmin kuudella M8(8.8) kuusiokolopultilla. Kulutuslevynä toimi väliaikaisesti 25mm MDF-levy (Medium Density Fibreboard), joka tullaan korvaamaan alumiinisella T-uralevyllä tulevaisuudessa. Testivaiheessa MDF:n voi kiinnittää kappaleita suoraan ruuvaamalla mikä helpottaa eri asetusten haussa.

4.4. Z-akseli

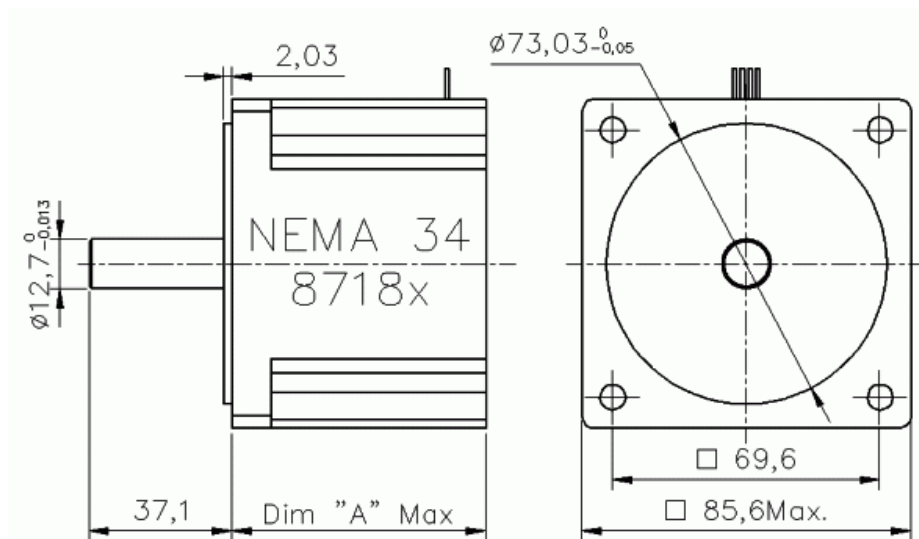
Z-akseli kiinnittyi X-akselin johdekelkkaan pulttikiinnityksellä. Akselin yläpäähän tuli askelmoottorille sovitte ja hammashihnakäyttö. Kuularuuvien laakerointi oli johteessa toteutettu johteen päihin asennettavilla sovittepalloilla, jotka siirsivät kuularuuvien päätylaakeroinnit johteen vasemmalle puolelle. Alapuolen päätylaakerointi tulee muuttumaan tulevaisuudessa, koska laakerointi vie tilaa Z-liikkeeltä jopa 50mm. Laakerointia muuttamalla saavutetaan suurempi Z-liikkeen työvara. Z-akselille tuli valualumiininen kiinnityspanna karamoottorille. Karamoottori tuli johdekelkkaan kiinni neljällä M8(8.8) pultilla. Liittestä 2 voi havainnollistaa liian pientä työvara Z-liikkeessä.

4.5. Moottorit

Moottoreiksi CNC-jyrsimissä valitaan yleensä servokäyttöiset moottorit. Servokäyttöisissä moottoreissa on hyvinä ominaisuuksina mm. liikkeiden nopeus ja mittatarkkatoisto. Moottoreista löytyy valmiina pulssianturi, josta saa tarkan paikoitustiedon konekäytössä. Huonoina puolina harrastekäytössä servomoot-

toreissa on hinta. Servomootorit ja niiden ohjaukorkortit ovat huomattavasti kalliimpia, kuin askelmootoritekniikka. Tästä johtuen servotekniikka joutui hyllytetyksi heti alussa tekniikkaa mietittäessä.

Askelmootoritekniikka on halpaa ja nykyään melko luotettavaa. Askelmootorien toiminta perustuu sähköpulsseihin, joita lähetetään ohjainkortin kautta. Askelmootorien kooksi valikoitui NEMA 34 mootorit. Mootoritkin löytyi käytettynä erittäin edullisesti. Uutenakaan kolme moottoria tuskin olisi maksanut muutamaa sataa euroa enemmän. Moottoreista selvisi, että ne olivat Italialaisia ja käyttövirta oli 3A. Moottoreiden muut tekniset tiedot jäivät hieman epäselviksi etsinnästä huolimatta. Prototyyppi koneen ollessa kyseessä, koneenmoottoreiden vaihto tulee ajankohtaiseksi tulevaisuudessa, mikäli mekaniikka toimii muuten oikein. Kuvio 5 selvittää NEMA 34 moottorin mitoitusta.



KUVIO 5. NEMA34 askelmootorityypin mitoituskuvaa (Servo-Drive Technology GmbH 2015)

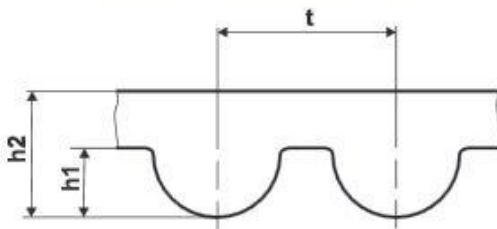
4.6. Voimansiirto

Voimansiirrossa vaihtoehtoina olisi ollut muutamia eri ratkaisuja. Yhtenä näistä olisi ollut moottorin kytkentä suoraan kuularuuvien päähän ns. sulakkeen kanssa, joka

särkyä vikatilanteessa. Moottorien teknisettiedot olivat kuitenkin niin epäselvät käyttömomentin osalta, että päädyin lopulta hammashihnakäyttöön.

Hammashihnakäytössä välityksiä voi vaihtaa helposti ja edullisesti mikäli näyttää siltä, ettei voima riitä kuljettamaan johteita. Hammashihna toimii myös sulakkeena vikatilanteessa ja estää mahdolliset materiaaliset tuhot. Hammashihnoja löytyy monia malleja ja materiaaleja. Päädyin lopulta Challenger merkkisen HDT (High Torque Drive) M5 tarkkuus-luokan hammashihnaan, 15mm leveydessä. Kuviossa 6 hammashihnaprofiili ja mitoitusperiaate.

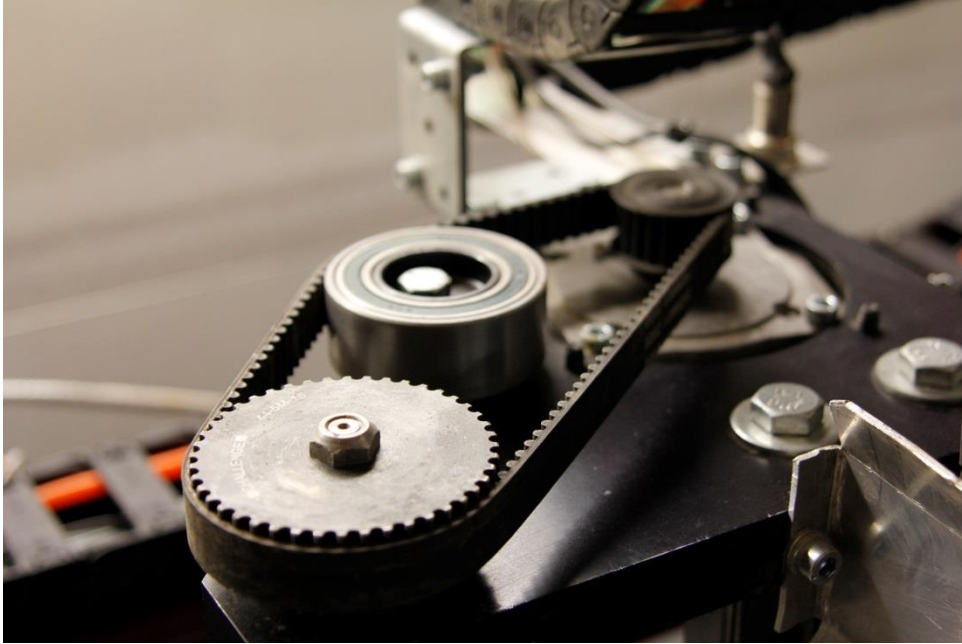
HAMMASHIHNAPROFIILI HTD



KUVIO 6. Hammashihnaprofiili HTD (Oy Mekanex Ab 2015.)

HTD hammashihna koostuu lasikuitulankavahvisteisesta neopreenikumista, joka kestää käyttöä erittäin hyvin. Hammashihnakäytössä lähdin aluksi välityssuhteesta 1:2, joka osoittautui riittäväksi X- ja Y-akseleilla. Z-akselilla välitystä jouduin muuttamaan 1:3, jotta moottori jaksoi toimia myös upotuksien jyrkässä ja pikaliikkeillä. (Oy Mekanex Ab 2015.)

Hammashihnojen kiristykseen käytin luotettavia epäkeskokiristimiä, jollaisia löytyy yleisesti auton moottoreiden jakohihna käytöistä. Kiristimissä on säätövaraa hammashihnan pituuden muutoksiin mahdollisten välitysmuutosten vuoksi. Kuvio 7 selittää kiristimen toimintaperiaatetta.



KUVIO 7. Z-akselin hammashihnakäyttö

Kuularuuviksi X-akselille valikoitui 16mm halkaisijalla ja 5mm nousulla oleva kaksoiskierre ruuvi. Kuularuuvin valmistaja on Saksalainen ISEL ja se saapui laakeripinnat koneistettuna. Kuularuuvi oli tehtaalla karkaistu ja kiillotettu koneellisesti, kovuudeksi luvataan 60 +/- 2 HRC. (Roboty Oy 2015.)

Koneistin itse laakeripesät ja kiinnikkeet X-akselin johderunkoihin. Y-akselille valitsin hieman vahvemman Kiinalaisen 25mm halkaisijalla ja 5mm nousulla olevan kuularuuvin. Kiinalainen kuularuuvi oli materiaalistaan hieman pehmeämpi ja noin kolmekertaa halvempi mitä Saksalainen ruuvi. Kuularuuvin osalta säästäminen näkyy luultavasti tulevaisuudessa kulutuskestävyydessä negatiivisesti. Tarkkuudeksi Kiinalaiset lupasivat C7, eli virhe 300mm matkalla olisi noin 0,05mm.

Käytin kuularuuvin laakeripinnat koneistettavana, sekä tein itse laakeripesät ja kiinnikkeet johderunkoon. Z-akselin kuularuuvi tuli johteiden mukana ja oli merkiltään Japanilainen Tsubaki. Kuularuuville oli myös laakeripesät ja mutterin kiinnikkeet valmiina rungossa. Halkaisija Z-akselin kuularuuvilla oli 15mm ja nousu 5mm.

4.7. Karamoottori ja jäähdytys

Karamoottoriksi valikoitui Kiinalainen ER20 kartiolla oleva 2,2 Kw tehoinen, sekä taajuusmuuntajalla ohjattu suurnopeuskara. Markkinoilla olevista karamoottoreista tämä oli edullisimmista päästä alle 1000€ karamoottoreista. Karassa on myös vesijäähdytys, joten lämpötilojen kanssa ei tule ongelmia lisäksi se on tästä syystä myös hiljainen käytössä. Karamoottorin kierrosalue on 0 – 24000 r/min, joka riittää useimpiin jrsintöihin.

Karamoottorille tuli 3kw taajuusmuuntaja, jolla voidaan ohjata karan kiihtyvyyksiä, kierrosnopeutta ja paljon muita parametreja. Taajuusmuuntajasta saa ulostulona kierrosnopeuden, sekä käynnistyksen ja pysäytyksen. Taajuusmuuntajaa ohjataan sarjaportin välityksellä, jossa käytin RS232 USB-adapteria. Adapterille löytyy valmiita ajureita tietokoneeseen karakäyttöä ajatellen. Tällä adapterilla käytetään taajuusmuuntajaa, sekä määrätään kierrokset Mach3:n kautta.

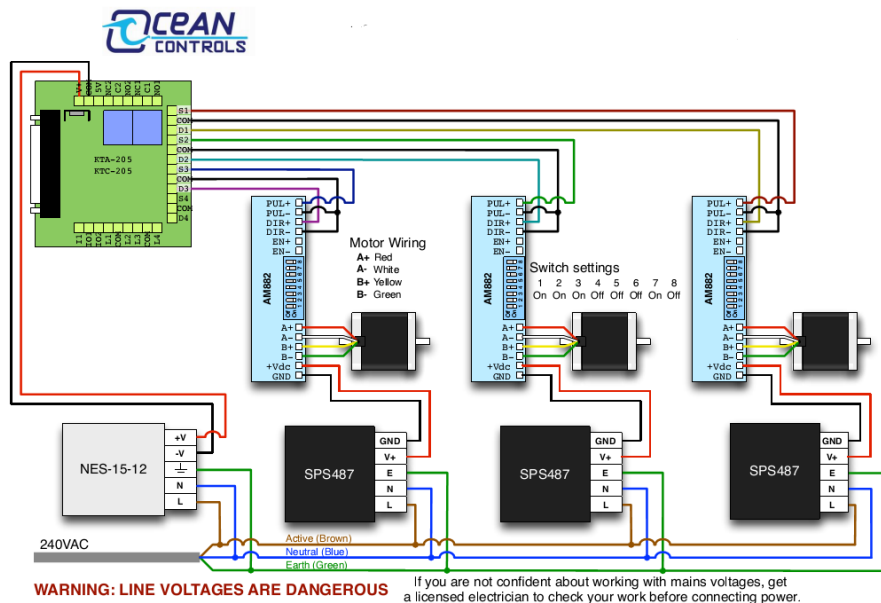
Jäähdytys karamoottorissa tapahtuu pienen tuulettimella varustetun messinkisen 200mm x 200mm x 40mm vesijäähdyttimen, sekä 12v vesipumpun avulla. Glykoolipohjaista jäähdytinnestettä järjestelmään menee noin kaksi litraa. Kokeilussa 1h käytöllä ei karan lämpötila noussut juuri 30°C yläpuolelle, joten jäähdytys on riittävä pitkäkestoisempiinkin ajoaikoihin. Lisäksi tuulettimelle tulee lämpötila-anturi, joka käynnistää tuulettimen tarvittaessa.

Karamoottorin sähköistyksessä tuli ottaa huomioon taajuuksien muuttamisesta aiheutuvaa häiriötä muille komponenteille, joten taajuusmuuntajalta karamoottoriin menevä sähkökaapeli oli häiriösuojattava hyvin. Sähköverkosta muuntajalle menevään sähköjohtoon suositeltiin magneettista häiriösuodatinta. Päätin lisätä suodattimen mikäli häiriöitä järjestelmässä ilmenee myöhemmin.

5. OHJAUSELEKTRONIIKKA

Ohjauselektronikka koostuu kolmesta pääkomponentista, joita ovat: ohjainkortti, askelmoottoriohjainkortit ja muuntaja. Korttien valmistajia on paljon kuten myös erilaisia toteutustapoja. Osalla komponenttien valmistajista on ratkaisu, jossa on samassa ns. emolevyssä kaikille moottoreille askelmoottoriohjaimet. Tästä mallista on kerrottu huonoja kokemuksia lämmön poisjohtamisesta ja onpa tämän mallin ohjainkortteja sen takia palanutkin. Päädyin mm. tästä syystä valitsemaan itselleni erilliset askelmoottoriohjaimet. Tässä ratkaisussa saa asennettua tarvittaessa vaikka jokaiselle ohjaimelle oman tuulettimen. Kuviossa 8 on kytkentämalli erilliselle ohjainkorttiratkaisulle.

Komponenttien hankinnassa oli tarkoitus ostaa pakettiratkaisu Saksalaiselta toimittajalta, mutta pitkien selvittelyjen jälkeen päädyin hankkimaan osat yksitellen Kiinasta lähinnä hinnan ja erittäin suuren tarjonnan vuoksi. Niinpä tässä työssä päädyin Kiinalaiseen korttiratkaisuun. Hankintoja tehdessä seurasin tarjouksia, servotekniikasta mikäli päivitys osoittautuu tarpeelliseksi.

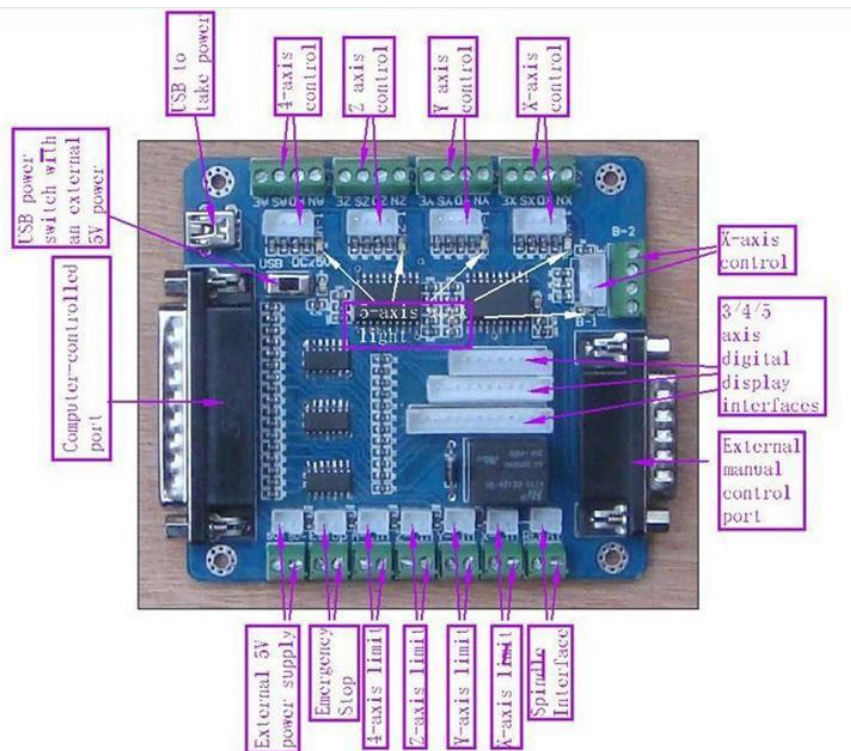


KUVIO 8. Ohjauselektronikan kytkentäkaavio. (Ocean Controls 2015)

5.1. Ohjauskortti

Järjestelmässä tiedon tietokoneelta ensimmäisenä ottaa vastaan ohjainkortti, jolla ohjataan muita kortteja ja rajakytkimiä. Kortista löytyy lähdöt rajakytkimille, sekä hätäseispiirille. Valinnaisena on myös rele karamoottorin käynnistykseen, sekä relekäyttö leikkuunesteen pumpulle. Tässä tapauksessa karamoottorin rele jäi käyttämättä, koska taajuusmuuntajaa ohjataan erillisellä RS232 ohjainkortilla USB-portin kautta.

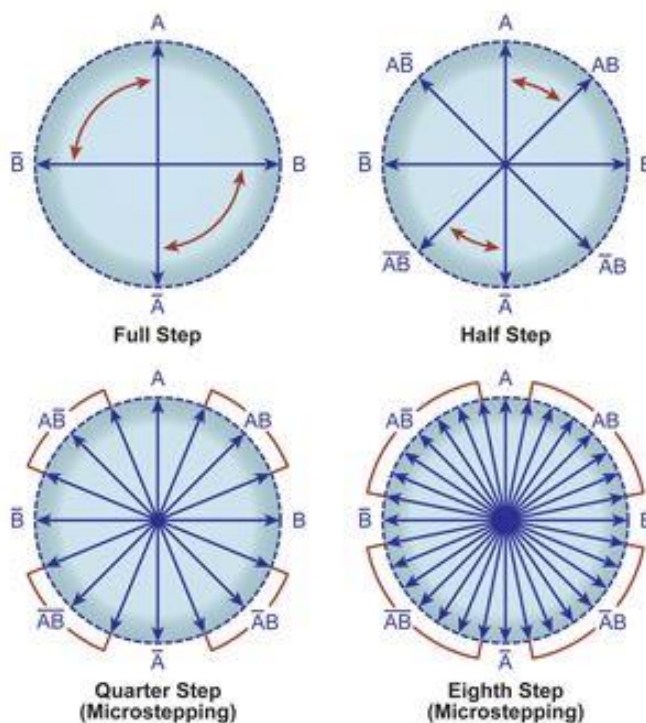
Ohjainkortilla on myös muita tehtäviä ohjausjärjestelmässä. Ohjainkortti suoja tietokonetta mahdollisilta virtapiikeiltä mitä saattaa tulla vikatilanteessa. Kortti toimii siis sulakkeena, eikä vikatilassa osia rikkoudu tietokoneesta. Kortista on mahdollista saada akseleiden paikkatiedot erilliselle digitaaliselle näytölle, mikäli sille on tarvetta. Ohjainkortissa on valmiudet viidelle akselille, mutta tässä tapauksessa käyttöön otetaan vain kolme. Kuviossa 9 ohjainkortin liittännät.



KUVIO 9. Ohjainkortin liittännät (Goodluckbuy 2015)

5.2. Askelmoottorihjain

Askelmoottorien ohjaukseen käytetään erillisiä askelmoottorihjaimia. Eri moottorikoolle löytyy erikokoisia kortteja ampeereiden mukaan. Korteissa on mahdollista valita täysi askellus, puoliaskellus tai mikroaskellus. Kuvio 10 selvittää askelluksien erot graafisesti. Näistä mikroaskellus on kaikista tarkin ja sitä käytetään tässäkin työssä.



KUVIO 10. Askelmoottorihjaimen askellus valinnat (Allegro MicroSystems LLC 2015)

Koneen rakenteesta riippuen mikroaskelluksella päästään myös todella tarkkoihin toleransseihin. ST-M5045 ohjainkortti on paljon käytetty malli omavalmisteissa CNC-koneissa. Ohjainkorttiin on parannettu lämmönjohtavuutta alumiinisellä jäähdytys-elementillä ja näin tehokkuutta on saatu parannettua edellisiin malleihin nähden. Korttien lämmön poistosta huolehtii yksi tietokoneen 15cm tuuletin, joka

tässä kokoonpanossa riittää. Korteille tulee oma virta muuntajan kautta, tässä tapauksessa 36v ja 3A (Roboter Bausatz- Shop 2015.)

5.3. Muuntajat

Yleisesti CNC-koneissa käytetään suuria rengassydänmuuntajia, sekä suuria kondensaattoreita. Hankinnan lähtökohtana oli käytettävyys, asennuksen helppous, sekä edullinen hinta. Virtalähteeksi löysin hakkuriteholähteen, jolla on hyvä hyötysuhde ja pitkä käyttöikä. Kuviossa 11 on 400w hakkuriteholähde, jota tässä työssä käytettiin. Mallivalikoima muuntajissa oli varsin suuri, joten sopiva virtalähde löytyi kohtalaisen helposti. Kokoonpanossa moottoreiden virtalähteeksi valikoitui tuulettimella ja ylikuorma-suojalla varustettu 48v ja 8.6A tasavirtalähde. (Wehpower 2015.)

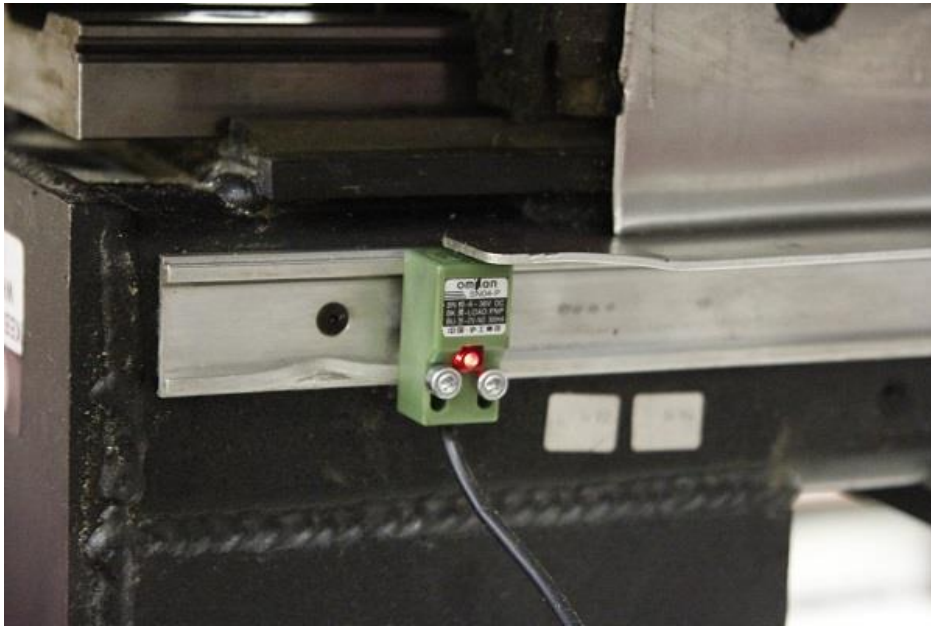


KUVIO 11. Virtalähde (Yueqing Weihao Electronic Co., Ltd 2015)

Toiseksi muuntajaksi tuulettimille, sekä 5v/12v pienille virroille tuli tavallinen tietokoneen 400w virtalähde. Tämä virtalähde käyttää myös karamoottorin vesipumppua. Muuntajan teho riittää myös mahdollisten päivitysten varalle.

5.4. Raja-anturit

Raja-antureina käytetään monenlaisia kytkimiä, luultavasti yleisimpiä ovat mikrokytkimet ja induktiiviset anturit. Tässä työssä käytin induktiivisia antureita akseleiden rajakytkiminä. Antureille rakensin alumiiniset lähestymislevyt, joissa on huomioitu pieni vara akselin maksimiliikkeeseen nähden. Joten vaikka kone menisi vauhdilla kohti rajaa, on hieman liukumisvaraa ennen mekaanista kosketusta. Raja-antureita tuli koneeseen kaikkiaan kuusikappaletta, jokaiselle akselille kaksin kappalein. Kuviossa 12 on havaittavissa jäljelle jäänyt vara, ennen mekaanista kosketusta, sekä raja-anturi toiminnassa.



KUVIO 12. Y-akselin raja-anturi

6. KÄYTTÖÖNOTTO JA MOOTTORIEN SÄÄTÖ

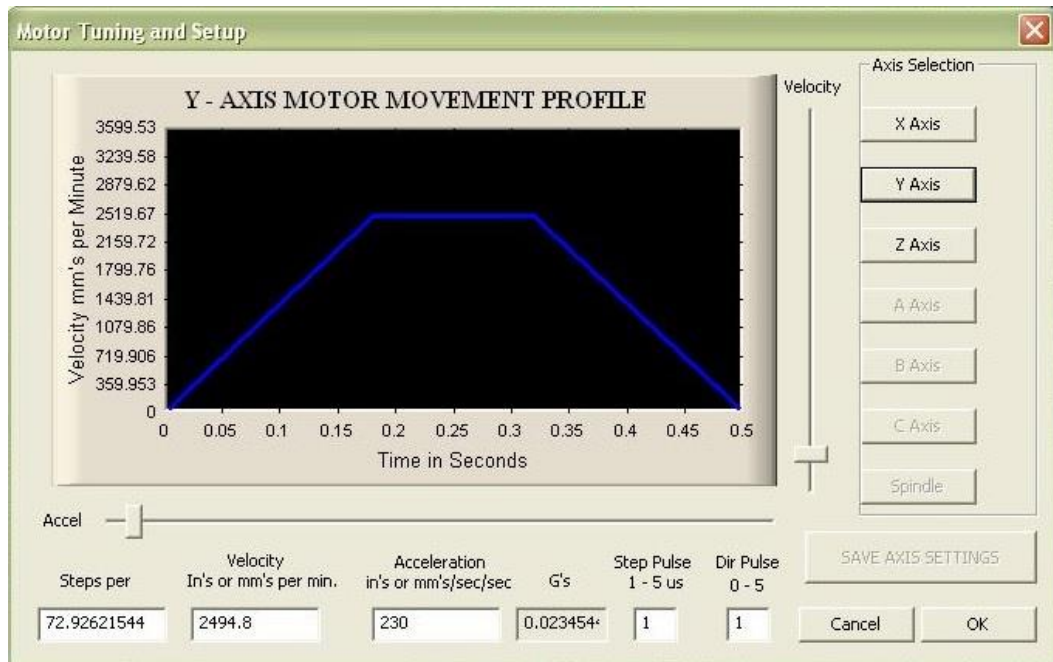
Koneen ensimmäisessä käyttöönotossa haettiin oikeita säätöjä askelmoottori-ohjaimille ja muuntajille. Asekelmoottoreiden tehonsäätö perustuu käytettyyn

jännitemäärään. Tässä tapauksessa jännitemäärä rajoitettiin 36v jännitteen jäädessä reilusti alle maksimiarvojen. Askelmoottoreille tarkoitettua muuntajasta säädettiin käytettöjännitteeksi 36v. Askelmoottorihjaimista säädettiin käyttöön mikroaskellus säätöpinnejä kääntämällä, myös muut arvot tarkistettiin ennen käynnistystä.

Karamoottorin taajuusmuuntajaan oli asetettava maksimikierrokset, sekä ase-tukset ohjainkorttia varten ennen koneen testausta. Taajuusmuuntajaan lisätään arvot moottorin pysäyttämistä, sekä käynnistyksestä. Taajuusmuuntajan oh-jaamiseen käytettävällä RS232 USB-kortille oli myös asennettava ajurit, jotta käskyt saadaan taajuusmuuntajalle asti.

Elektroniikan muuten toimiessa alkaa koneen asetusten haku. Aluksi on säädettävä moottorien tehokäyrien hakeminen kohdalleen. Tämä tapahtuu Mach3:n käyttöliittymässä olevalla ”*Motor Tuning*” toiminnolla. Kuviossa 13 esitetään ”*Motor Tuning*” valikko. Säätekäyrää muuttamalla saadaan haettua maksimikihtyvyydet ja kulkunopeudet moottoreille. Osalle moottoreista saattaa löytyä valmiit tiedot maksimiarvoista eri kuulakäytöistä, mutta tässä tapauksessa oli arvot haettava kokeilemalla.

Moottorien kiihtyvyyssäyrää muuttamalla saadaan pikaliikkeeseen nopeutta, toisaalta taas vääntöä menetetään. Kiihtyvyyssäyrä muodostui tässä tapauksessa hyvin lineaariseksi. Moottorien maksiminopeus haettiin kokeilemalla se arvo, milloin moottori ei enää pysy halutussa vauhdissa vaan hukkasi askeleet kesken ajon. Tästä arvosta moottorien tehokäyrää pudotettiin noin 20 % varmuus-kertoimeksi.



KUVIO 13. Askelmoottorin asetuslehti (Mach3 2015)

Moottorien säätökäyrien ollessa lähellä optimia on haettava moottorien ja kuularuuvien mitoitus kohdalleen. Tämä tapahtuu niin ikään Mach3:n käyttöliittymästä löytyvällä toiminnolla, jossa asetetaan haluttu matka minkä akseli liikkuu ja tämän jälkeen tarkistusmitataan matka minkä akseli liikkui.

Tämä mittaustulos siirretään ohjelmaan ja näin ohjelma laskee itse askelluksen kohdalleen, eikä mekaanista laskentaa tarvitse käyttää. Tämä mittaus toistetaan muutamia kertoja, jotta ollaan varmoja mittauksen tarkkuudesta. Käytin viimeisessä mittauksessa mittakelloa, jolla pääsee tässä tapauksessa 0.1mm tarkkuuteen. Ohjelman laskujen perusteella yksi kierros vastaa noin 72.926 askelta, jolla päästään tarkkuuteen ~0.1mm. Tämä tarkkuus riittänee harraste- jrsintöihin mainiosti.

Asetusten ollessa muuten kunnossa on koneelle asetettava raja-anturit käyttöön, sekä referenssipisteen määrittäminen. Referenssipisteen voi valita kahdella tavalla; ohjelmallisesti tai anturipohjaisesti. Ohjelmallinen referenssipisteen valinta tapahtuu ajamalla akselit haluttuun pisteeseen ja määrittämällä referenssipiste tähän kohtaan. Anturipohjaisessa referenssiajossa kone ajaa haluttuun suuntaan niin pitkäksi, että anturi antaa signaalin, näin on referenssipiste määritetty. Mittasau-

vattomassa askelmoottori käytössä on kone ajettava jokaisessa käynnistyksessä referenssiin, jotta kone tietää paikkansa.

6.1. Käyttöliittymä

Käyttöliittymänä on erityisesti Amerikassa paljon yritysten ja harrastelijoiden keskuudessa käytetty lisenssillä toimiva Mach3. Ohjaukset Mach3:esta löytyy jyrshintään, sorvaukseen ja plasmaleikkaukseen. Ohjattavia akseleita saa olla käytössä kuusi kappaletta. Ohjelmaan on edullinen lisenssi ja siihen löytyy paljon ilmaisia lisäosia, kuten G-koodin teko-ohjelma pienille jyrsinnoille.

Käytöltään Mach3 on hyvin yksinkertainen ja helposti opittava. Ohjelmaan on helppo lisätä eri lisäosia, kuten vaikka kameratoiminto, jolla voi seurata pitkien ajojen aikana koneen työskentelyä esim. toimistosta. Asetuslehdet ovat yksin-kertaiset ja helposti ymmärrettävissä. Kuviossa 14 on käyttöliittymän perusvalikko.



KUVIO 14. Käyttöliittymä (Newfangled Solutions LLC 2015)

Ohjelmasta löytyy toimintoina: ohjelma ajo, käsikäyttöinen ajo, työkalun mittaus toiminto, offsetin haku ohjelmapohjaisesti, sekä asetus valikot. Ohjelma ajossa voidaan ajaa valmiiksi prosessoitua G-koodia miljoonaan riviin asti. (Newfangled Solutions LLC 2015.)

7. JATKOJALOSTUS JA PARANNUSKOHTEET

Koneeseen on suunnitteilla neljäsliike eli A-akseli, joka tulee sijoittumaan Y-akselilla olevan pöydän päälle pika-kiinnikkeillä. Neljännen akselin lisäys mahdollistaa pyöreiden kappaleiden valmistuksen helposti yhdellä kiinnityksellä ja näin parantaa mittatarkkuutta, useiden kiinnitysten jäädessä pois.

A-akselin toteutus tulee olemaan omaa suunnittelua ja runko-osat työstetään 30mm paksusta alumiinista, jossa yhdistyy keveys sekä jäykkyys. Pääosat A-akselille koostuvat runkolevystä. 100mm kolmileukaisesta sorvin pakasta, laakeroinnista, sekä hihnavälitetystä askelmoottorista.

Suunnitteilla on myös koneen ohjaamiseen käytettävän näytön, näppäimistön ja hiiren sijoittaminen koneeseen kiinteästi asennettavaan ohjainpylvääseen. Näin pylvästä voi käännellä tarpeen mukaan esimerkiksi nollapisteen otossa. Tämä lisäys vaatii myös koneeseen jonkinlaiset lastusuojat, jotta terävät lastut eivät pääse tekemään vahinkoa ohjauspaikan siirtyessä lähemmäksi konetta. Kuula-ruuveille on myös asennettava palkeet suojaamaan ruuveja lastuvirralla. Palkeiden asennuksen jälkeen on johteiden rasvaus menetelmät mietittävä uusiksi.

Y-akselin alle on suunnitteilla ruostumattomasta teräksestä valmistettu lastujen, sekä nesteen keräys laatikko, omalla suodattimella ja takaisin kierrätyspumppulla. Tämä mahdollistaa myös leikkuunesteillä koneistamisen. Työstöpöytään on tulossa alipainekiinnitys levymäisten kappaleiden ajon helpottamiseksi. Alipaine-

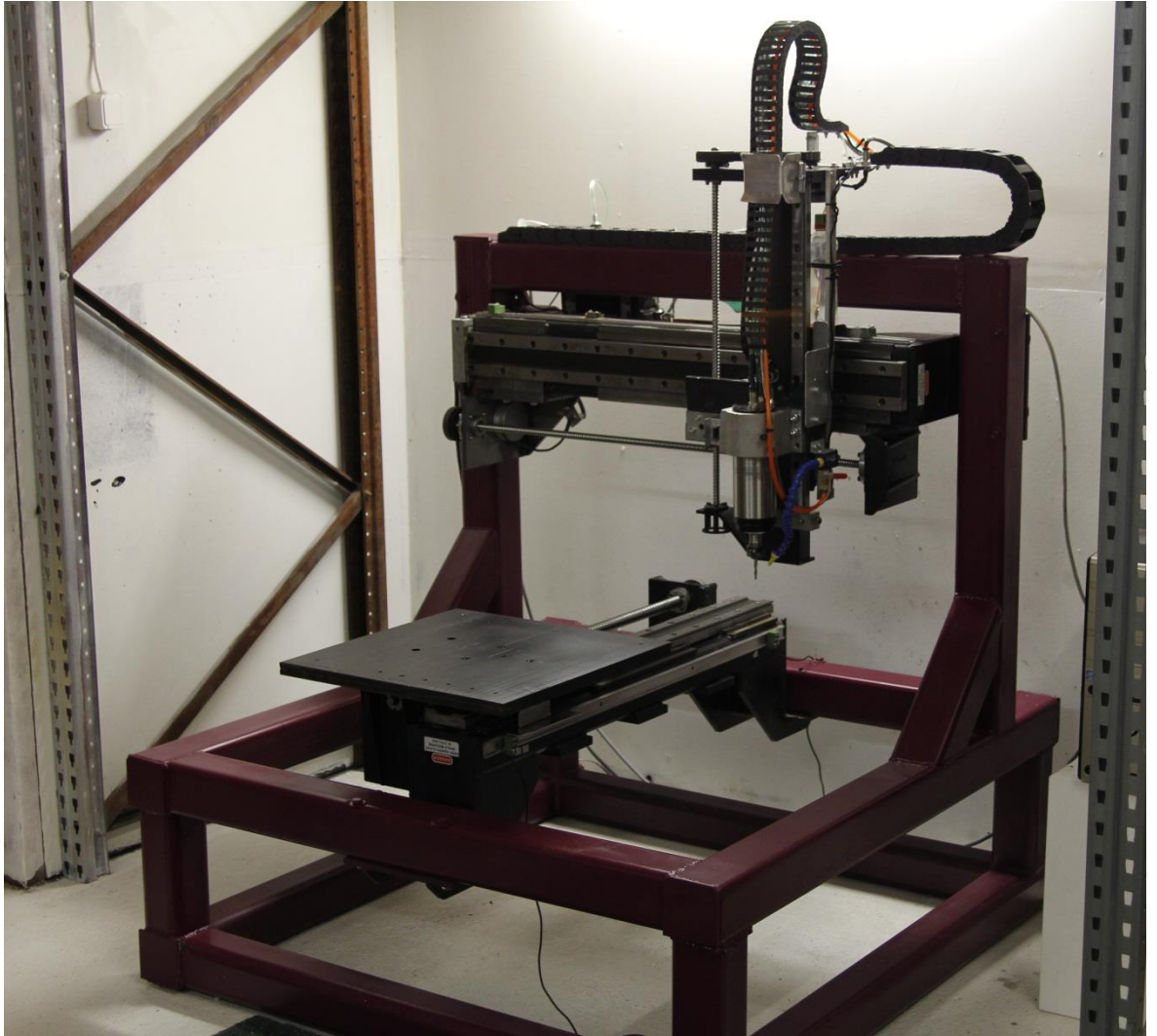
kiinnittimeen tulee pieni alipainepumppu, sekä uritettu työstöpöytä, johon kappale rajataan tiivistenauhalla.

8. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimiva prototyyppi, joka vastaa toiminnaltaan sille asetettuja vaatimuksia. Omat tavoitteeni työssä saavutettiin ja jopa paikoin ylittyivät onnistuneiden komponenttivalintojen johdosta. Erityisesti koneen tarkkuus yllätti positiivisesti. Toimivaa prototyyppiä on helppo jatkojalostaa tulevaisuudessa, sekä parantaa mahdollisia heikkoja kohtia. Kuviossa 15 on CNC-jyrsin lopullisessa kokoonpanossa valmiina jysintään. Liitteissä on kuva koneella tehdystä ensimmäisestä 2.5D-työstöstä.

Koneen valmistus ja toimintaan saattaminen ei ollut itsestään selvää. Ongelmia aiheutti mm. komponenttien valinta ja yhteen sovittaminen, sekä myös koneen liikuttelussa oli ongelmia koneen painon johdosta. Loppuvaiheessa koneen elopaino oli laskennallisesti noin 600kg tietämällä. Koneen valmistus tapahtui pääosin autotalli projektina, jossa oli käytössä käsityökalujen lisäksi pieni sorvi ja hitsauskone. Laitekannan puuttuessa lähinnä jysintöjä ja pitkiä sorvauksia joutui teettämään muualla.

Tämän työn kokemuksista on varmasti tulevaisuudessa hyötyä erilaisten ongelmien ratkaisuisissa. Komponenttien valintaprosessi oli varsin opettava ja virheistä sai kirjaimellisesti maksaa. Projektin onnistumisen johdosta on suunnitteilla lisää koneita mm. manuaalisen sorvin muutos CNC-sorviksi. Prototyypinä tämän tyylliset koneet eivät todennäköisesti ole koskaan valmiita, eikä tässäkään tapauksessa tule poikkeusta.



KUVIO 15. Kone valmiina

LÄHTEET

Newfangled Solutions LLC. 2015. Mach3. Saatavissa:

<http://www.machsupport.com/software/mach3/>. Viitattu: 8.8.2015

Oy Mekanex Ab. 2015. Hammashihnapyörät. Saatavissa:

http://www.mekanex.se/pdf/fi/kk_d1/kap_1/hammashihnapyorat-kuggrem-hjul.pdf.

Viitattu: 10.10.2015

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

Roboter Bausatz-Shop. 2015. ST-M5045 2M542 Microstep Driver 4.5A.

Saatavissa: <https://www.roboter-bausatz.de/292/st-m5045-2m542-microstep-driver-4.5a>. Viitattu: 5.10.2015

Roboty Oy. 2015. Kuularuuvit. Saatavissa: <http://www.roboty.fi/Kuularuuvit.htm>.

Viitattu: 10.10.2015

Yueqing Weihao Electronic Co Ltd. 2015. S-350. Saatavissa:

<http://wehopower.com/products/s-350-ID23.html>. Viitattu: 5.10.2015

2-Phase stepper Motor Driver ST-M5045

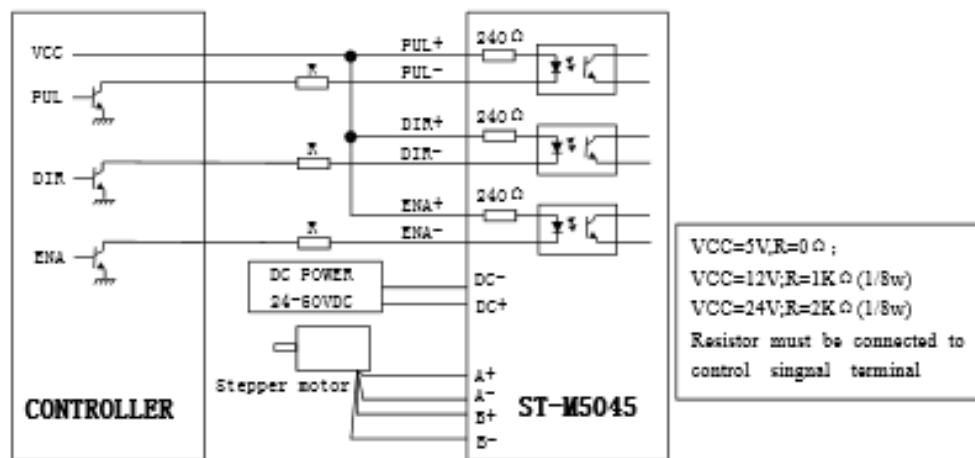
Characteristics:

1. DC power input type: 24V~50V
2. Output current: 1~4.5A
3. Microstep: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 5, 10, 25, 50, 125, 250
4. Protect form : Overheated protect, Short-voltage, over-voltage, over-current protection
5. The maximum pulse rate is 300KHZ.
6. Dimensions: 120mm*92mm*33mm
7. Weight: <280g.
8. Working environment: Temperature-15~40°C Humidity<90%.

I/O Ports:

1. DC+: DC power positive pole
Note: Must guard against exceeding 50V, so as not to damage the module.
2. DC-: DC power cathode
3. A+, A-: Stepping motor one winding
4. B+, B-: Stepping motor other winding
5. PUL+, PUL -: Stepping pulse input+5V (Rising edge effective , rising edge duration >10μS)
6. DIR +, DIR-: Stepping motor direction input, voltage level touched off, high level forward , low level reverse
7. ENA+, ENA-: motor free

Typical Connection



Switch Choice:

1. Microstep choice:

Microstep	Pulse/rev. (for 1.8° motor)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	400	ON	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	ON	ON	OFF	ON
16	3200	ON	OFF	OFF	ON
32	6400	ON	ON	ON	OFF
64	12800	ON	OFF	ON	OFF

LIITE 1 2/2

128	28600	ON	ON	OFF	OFF
256	51200	ON	OFF	OFF	OFF
5	1000	OFF	ON	ON	ON
10	2000	OFF	OFF	ON	ON
25	5000	OFF	ON	OFF	ON
50	10000	OFF	OFF	OFF	ON
125	25000	OFF	ON	ON	OFF
250	50000	OFF	OFF	ON	OFF

2. Current choice:

Peak current	Reference current	SW1	SW2	SW3
1.0A	0.71A	ON	ON	ON
1.5A	1.07A	OFF	ON	ON
2.0A	1.43A	ON	OFF	ON
2.5A	1.79A	OFF	OFF	ON
3.0A	2.14A	ON	ON	OFF
3.5A	2.50A	OFF	ON	OFF
4.0A	2.86A	ON	OFF	OFF
4.5A	3.21A	OFF	OFF	OFF

3. Full current or half current choice:

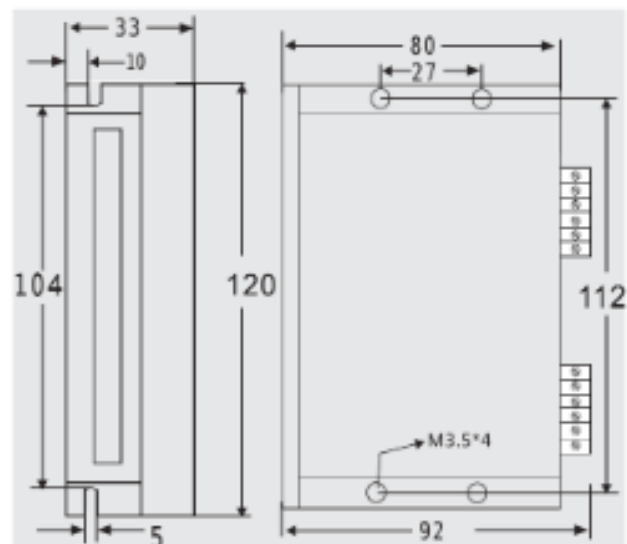
SW4:OFF = Half current ; ON = Full current;

4. Pulse choice:



Usually default setting is step + direction.

Dimension



LIITE 2

