



Mikko Kauraniemi

CNC-jyrsimen suunnittelu ja valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

13.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Mikko Kauraniemi
Otsikko: CNC-jyrsimen suunnittelu ja valmistus
Sivumäärä: 32 sivua
Aika: 13.5.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Lehtori Timo Tuominen

Työn aiheena oli suunnitella ja valmistaa pienehkö kolmiakselinen CNC-jyrsinkone. Projektin myötä tavoitteena oli kerätä kokemusta materiaali- ja rakennetekniikasta sekä laitteissa käytettävistä komponenteista. Tavoitteena oli myös sisäistää kokonaisuus, mitä osa-alueita koneen rakentaminen ja käyttäminen sisältää.

Työssä käydään lyhyesti läpi tarvittavat komponentit ja kerrotaan niiden toimintaperiaatteet. Runkorakenteen valintaa ja sen toteutusta pohditaan vertailemalla eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia.

Projektissa valmistuu toimintavalmis jyrsinkone, jonka toimintaa päästään testamaan tämän työn aikana. Koneen toiminnasta kerrotaan työn lopussa.

Avainsanat: CNC, CAD, CAM

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Mikko Kauraniemi
Title: Building of CNC Mill
Number of Pages: 32 pages
Date: 13 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation
Supervisors: Timo Tuominen, Lecturer

The purpose of the thesis work was to design and manufacture a small three-axis CNC milling machine. The goal was to get experience in material and structural technology, as well as familiarize with the components used in the devices. A further goal was to get some knowledge about all different parts that are included in the building process, as well as about using the CNC milling machine.

In the thesis, it is considered what should be taken into account when building a CNC milling machine. Different components and structural options are compared.

As result, a ready to use milling machine was produced. The operation of the machine is explained in the end of the thesis.

Keywords: CNC, CAD, CAM

Sisällys

1	Johdanto	1
2	CNC-jyrsimen toiminta	1
3	Koneen suunnittelu	3
4	Rakentamisessa käytettäviä mittalaitteita	5
5	Runko	9
5.1	Jäykkyys ja resonointi	9
5.2	Materiaali	9
5.3	Kokoonpano	10
5.4	Jännitteiden poisto teräksestä	10
6	Lineaarijohteet, kuularuuvit ja laakerit	12
6.1	Lineaarijohteiden asennus	14
6.2	Kuularuuvien asennus	15
7	Sähkökomponentit	17
7.1	Ohjainyksikkö	18
7.2	Askelmoottorit ja ajurit	19
7.3	Jyrsinmoottori	22
7.4	Taajuusmuuttaja	22
7.5	Virtalähteet	23
7.6	Rajakytkimet	23
7.7	Sulakkeet ja katkaisijat	25
7.8	Hätäpainikkeet ja turvatoiminnot	26
7.9	Johdot	26
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

1 Johdanto

Tässä työssä käydään läpi kolmeakselisen CNC-jyrsinkoneen suunnittelu ja valmistus. Kone suunniteltiin ja rakennettiin ennen tämän työn kirjoitusta, noin vuoden kestäneellä ajanjaksolla. Työssä esiteltävä kone on tätä kirjoitettaessa lähes valmis ja täysin toimintakykyinen. Kone on kuitenkin protomalli ja siihen on tullut projektin aikana joitakin muutoksia.

Työn tarkoituksena on esitellä koneen rakentamisessa huomioitavia seikkoja, sekä käydä läpi koneen sisältämät komponentit. Työssä esitellään myös rakentamisessa hyödyllisiä ja välttämättömiä työvälineitä. Tavoitteena on että lukija saa käsityksen projektin toteuttamisesta, varsinkin jos hän on itse aikeissa rakentaa vastaava laite.

Projektin ehkä haastavin osio oli rakentaa laitteen runko tavalla, joka täyttää sille asetetut vaatimukset jäykkyyden ja mittatarkkuuden osalta. Mittatarkkuuden saavuttamiseksi käytetään yleisesti aina koneistettuja osia. Tässä työssä kuitenkin pohditaan vaihtoehtoisten keinojen käyttöä, jotta kone olisi edullisempi toteuttaa.

Merkittävänä yhteistyökumppanina projektissa on toiminut muun muassa lineaarijohteita ja kuularuuveja myyvä yritys, Movetec Oy. Heiltä on tullut paljon apua ja tietoutta komponenttien valinnoissa. Heidän kanssaan on myös pohdittu koneen toteutustapaa. VEM motors Finland Oy sekä Yaskawa Finland auttoivat puolestaan taajuusmuuttajiin liittyvissä ohjeistuksissa ja hankinnoissa.

2 CNC-jyrsimen toiminta

CNC-lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Computer Numerical Control ja tarkoittaa tietokoneen suorittamaa numeerista ohjausta. Nämä ohjaukset voidaan syöttää jyrsimen ohjainyksikölle kirjoittamalla ne manuaalisesti, tai ohjainyksikkö saa ne valmiiksi jyrsittävän osan suunnittelussa käytettävältä CAD-

piirustusohjelmalta. Kirjainyhdistelmä CAD (Computer-Aided Drafting) tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua.

Jyrsinkone ei kuitenkaan pysty suorittamaan työstöjä suoraan tämän ohjelman piirustuksilla. CAD-ohjelmalla piirretty kuva siirretään vielä CAM-ohjelmalle, joka muuttaa piirustuksen sellaiseen tiedostomuotoon jonka pohjalta jyrsinkone osaa työstää osan. Kirjainyhdistelmä CAM (Computer-Aided Manufacturing) tarkoittaa tietokoneavusteista valmistusta.

Työstötapahtumassa kone liikuttaa jyrsinmoottoria x-, y- ja z-akselin suunnassa tietokoneen antamien käskyjen mukaan. Tässä kolmiakselisen jyrsimen tapauksessa jyrsittävä aihio pysyy paikallaan.

CAD-ohjelmat

Vuosien saatossa CAD-ohjelmien käyttö on muuttunut käyttäjäystävällisemmiksi, ja pienellä tutustumisella ohjelmilla onnistuu helposti piirtämään monimutkaisiakin osia. Ohjelmien käytöstä on mm. Youtube-videopalvelussa opetusvideoita. Esimerkkinä Fusion 360-ohjelman käyttöön opastava, vuonna 2022 tehty videosarja: Learn Fusion 360 in 30 Days for Complete Beginners [1]. Tässä projektissa on käytetty CAD-ohjelmia Solidworks, sekä Fusion 360. Solidworks on huomattavasti arvokkaampi ohjelma. Sen vuosilisenssi 2023 oli noin 5000 euroa, kun taas Fusion 360 vuosilisenssi oli noin 500 euroa.

Molemmissa ohjelmissa on myös CAM-valmistusohjelma. Tässä projektissa on ollut käytössä vain Fusion 360 CAM, ja se on ainakin osoittautunut hyväksi ja helppokäyttöiseksi. Ohjelman piirustustilasta vaihdetaan napin painalluksella valmistustilaan määrittämään työstön parametrit.

CAM-valmistusohjelma

Kun piirustus on luotu CAD-ohjelmalla, tulee se vielä ajaa CAM-ohjelman läpi, jossa määritetään kaikki työstöön liittyvät parametrit työstökoneelle. Näitä ovat mm. jyrsinterän pyörimisnopeus, jyrsintäliikkeen nopeus, sekä kiihdytysten ja hidastusten nopeus. Ohjelmassa määritetään myös se, kuinka paljon terä poistaa

materiaalia kerralla ja millä tavalla. Käytännössä tässä ohjelmassa määritetään aivan kaikki työstön vaiheet ja työstöliikkeet työstökoneelle. Työstöparametrit voidaan asettaa jokaiseen jyrshintäkohtaan yksilöllisesti, eli arvojen ei täydy pysyä samoina jyrshintän alusta loppuun. Nämä käskyt syötetään valmiisiin kenttiin parametreinä ja valitaan alavetovalikoista halutut vaihtoehdot työstön toteutukselle.

Tehdessä näitä asetuksia CAM-ohjelmassa tulee kuitenkin olla tietoinen työstettävästä materiaalista ja selvittää kyseiselle materiaalille sopivat työstöparametrit. Näihin löytyy tietoutta koneistusoppaista, ja aihealue on erittäin laaja. Kun kaikki parametrit on määritetty, CAM-ohjelma luo tiedoston, jonka mukaan työstökoneen ohjainyksikkö osaa suorittaa käskyt.

3 Koneen suunnittelu

Ennen koneen suunnittelun aloittamista tulisi miettiä, mitä, ja minkä kokoista koneella on tarkoitus jyrshiä. Pehmeitä materiaaleja työstettäessä koneen osiin ei kohdistu niin suuria voimia kun työstettäessä esimerkiksi terästä. Jos on tiedossa että jyrshintävät materiaalit ovat pehmeitä, on turha rakentaa koneeseen tarpeettoman tukevaa rakennetta. Jos tarkoituksena taas on kovien materiaalien työstö, niin koneen rakenteen tulee kyetä vastustamaan työstöstä syntyviä voimia.

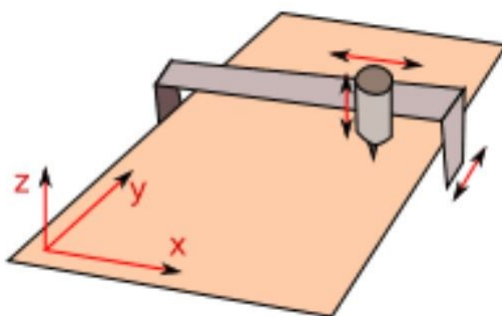
Kannattaa lisäksi pohtia, kuinka tarkka koneen pitää olla. Esimerkiksi puusepänteollisuudessa ei ole tarvetta saavuttaa sadasosamillin työstötarkkuuksia. Mitä tarkemmaksi koneen haluaa, vaatii se komponenteilta parempaa laatua, koneen rungolta suurempaa tukevuutta ja kaikkien osien asennuksessa suurempaa tarkkuutta ja huolellisuutta.

Runkorakenne

Huolimatta työstettävien materiaalien asettamista vaateista, jäykkä ja resonoinmaton koneen runko on aina tavoiteltava asia. Se mahdollistaa kaikkiin työstettäviin materiaaleihin paremman työstöjäljen, aiheuttaa vähemmän melua

työstettäessä, sekä pidentää jysinterien käyttöikä. Runkorakenteen vahvuuteen voi vaikuttaa paljon materiaalivalinnoilla, mutta myös rungon geometria on hyvin tärkeä. Suunnittelussa täytyy pyrkiä eliminoimaan pitkien vipuvarsien syntymistä sekä sijoittaa tukipisteet optimaalisiin kohtiin. Pitkiä etäisyyksiä ilman tukipistettä tulisi välttää.

Tämän koneen runkorakenteeksi valikoitui portaalimalli, jossa jysinterä liikkuu kolmen akselin suunnassa ja työstettävä kappale pysyy paikallaan. Rakenne valikoitui osaltaan sen vuoksi, että portaalimallinen ratkaisu tuntui sopivan paremmin liikuteltavaan konseptiin, ja tällä ratkaisulla oli helpompi toteuttaa suurempi työstöala. Alla olevassa kuvassa 1 on havainnollistettu portaalimallin toimintaperiaate.



Kuva 1. Portaalimallin havainnekuva [2].

Koneen piirtäminen CAD-ohjelmalla

Koneen piirtäminen on järkevää tehdä CAD-piirustusohjelmalla. Näin kaikista osista syntyy sellaiset piirustukset, joiden avulla osia voi myös helposti teettää niin halutessaan. Ohjelmassa piirretään osa kerrallaan ja niitä lisätään kokoonpanopiirustukseen. Siitä näkee koko ajan, kuinka osat asettuvat toisiinsa ja miltä tekele näyttää kolmiulotteisena. Osien mittasuhteita on myös erittäin helppoa muuttaa ainoastaan syöttämällä uudet mitat ohjelmaan. Osia ei tarvitse piirtää uudelleen.

Monessa CAD-ohjelmassa osille voidaan määrittää tarkasti haluttu materiaali. Materiaalivalinnan mukaan ohjelma osaa kertoa osan massan. Lisäksi osalle voidaan tehdä rasituskokeita ohjelman simulaattorissa. Tällä voi havainnollistaa esimerkiksi eri materiaalivahvuuksien vaikutuksia.

Yksi suuri etu näissä ohjelmissa on myös liikeratojen tarkastaminen. Piirretyt osat eivät ole ainoastaan staattisesti paikallaan piirustuksessa, vaan niitä voidaan liikuttaa tietokoneen hiirellä raahaamalla annettujen määritysten mukaisesti.

4 Rakentamisessa käytettäviä mittalaitteita

Varsinaisessa rakentamisessa on hyvä olla apuna tiettyjä mittalaitteita, jotta osat saa asemoitua tarkasti kohdilleen. Näiden kaikkien hankkiminen kerralla vaatii jo jonkin verran investointia, mutta ne ovat rakentamisessa täysin välttämättömiä.

Työntömitta

Hyvälaatuinen digitaalinäytöllä varustettu työntömitta on ehkä projektin käytetyin mittalaite. Digitaalinäyttö helpottaa käyttämistä paljon. Väsyneet silmät ja mahdollisesti puutteellinen valaistus voi hankaloittaa analogisen mitan asteikon lukua luotettavasti.

Mittakello

Mittakello, tai heittokello, on erittäin kätevä ja tarpeellinen mittalaite, kun tarkastellaan pintojen välisiä etäisyyksiä ja suoruuksia. Mittakelloon kannattaa myös hankkia kuvassa 2 näkyvä magneetilla kiinnittyvä jalusta, jolla mittalaitteen saa kiinnitettyä haluttuun paikkaan. Mittakellojen mittayksikkönä voi olla 0,01 mm tai 0,001 mm.



Kuva 2. Mittakello magneettijalustalla [3].

Tarkkuusvesivaaka

Tarkkuusvesivaaka on käytännössä kuin tavallinen vatupassi, mutta vain huomattavasti tarkempi. Se reagoi hyvin pieniin muutoksiin, ja siinä on useampiviivainen mitta-asteikko tuloksen lukemiseksi. Vaaka on noin 200 mm pitkä ja varsin raskas. Näitä vesivaakoja on saatavilla erilaisella tarkkuudella. Tähän projektiin oli saatavilla kuvassa 3 näkyvä vaaka, jonka yksi mittaviivan väli tarkoittaa metrin matkalla 0,02 mm:n poikkeamaa. Asteikon viivat ovat sen verran kaukana toisistaan, että on helppoa lukea sadasosan poikkeamat tähtäämällä kuplan puoliväliin viivoja.

Tämä työkalu on erikoisesti tarpeen kohdistettaessa lineaarijohteita saman suuntaisiksi. Mittalaitteen voi kalibroida uudelleen, ja kannattaa tarkastaa laitteen toiminta ennen mittausten aloittamista. Kalibrointi menee pois kohdiltaan hyvin helposti, jos mittalaite saa pienenkin kolauksen. Kalibrointi suoritetaan yksinkertaisesti tarkastamalla mittaus samasta kohtaa uudelleen kääntämällä mittalaite tasan 180 astetta. Mittaustulosten tulisi olla täysin yhtenevät, tai laite täytyy kalibroida. Kalibrointi tapahtuu säätöruuvista, mutta se reagoi niin herkästi pienimpäänkin liikkeeseen, että säätö menee helposti yli.



Kuva 3. Tarkkuusvesivaaka [4].

Graniittiviivain (Granite straight edge)

Pintojen suoruuksien tarkistamiseen tarvitaan jokin mahdollisimman suora referenssitaso. Kuvassa 4 on graniitista valmistettu viivain. Graniitti ei lämpölaajene ilman lämpötilojen mukaan samoin kuin metalliset versiot. Siksi sitä voidaan pitää luotettavampana mittojen tarkistuksessa. Laadukkaan viivaimen poikkeama pysyy metrin matkalla millimetrin tuhannesosan sisällä.



Kuva 4. Verkkokauppa Amazonin graniittiviivain [5].

Mittausten suorittaminen

Mittauksia suorittaessa täytyy aina paneutua huolellisesti tapahtumaan. Mittaus huolimattomasti antaa todennäköisesti virheellisen tuloksen ja on näin ollen turha tai jopa haitallinen toimenpide. Luottaen väärään mittaustulokseen voi alkaa korjata jotain, joka oli täysin kohdillaan, ja päätyä huonontamaan tilannetta.

Jotta voisi saada oikeita mittaustuloksia, ensimmäiseksi mitattavien pintojen, sekä mittalaitteiden pintojen tulisi olla täysin puhtaat. Pieni näkymätön pöly työntömitan leukojen välissä vääristää mittaustulosta helposti millimetrin sadasosia. Niinpä kaikkien mittalaitteiden ja mitattavien pinnat tulisi aina pyyhkiä puhtaaksi nukkaamattomalla liinalla ennen mittausta.

Myös mittaustekniikkaan kannattaa kiinnittää huomiota. Mittaa vaikka jonkin akselin paksuus työntömitalla kymmenen kertaa samasta kohdasta ja vertaa tuloksia keskenään. On hyvin tyypillistä, että mittaustuloksissa on vähintään sadasosien poikkeamia. Tämä johtuu siitä, että jos työntömitan leukojen pinnat eivät joka mittauksella ole sataprosenttisesti samansuuntaiset mitattavan pinnan kanssa, antaa mittaus liian suuren tuloksen.

Varsinkin työntömitalla mitatessa on helppo myös manipuloida mittausta niin, että saa mitan näyttämään haluamansa tuloksen. Tämä tapahtuu niin että mitaava henkilö tietää, paljonko mitan tulisi olla. Mitatessaan hän voi esimerkiksi puristaa mittaa hieman kevyemmin, ja kun näytössä lukee oikea lukema, hän ei purista enää kovempaa, vaan toteaa, että mitta on juuri oikea. Jos hän olisi puristanut vielä aavistuksen kovempaa, olisi mitta voinut näyttää vaikka kolme sadasosaa pienemmän tuloksen. Puristamalla liian kovaa mitta taas helposti ajautuu väärään mittausasentoon. Samaa mittaustuloksen manipulointia voi suorittaa muuttamalla mittalaitteen asentoa mittauksen aikana. Tämä on yleensä tahatonta käyttäytymistä, mutta johtaa virheellisiin mittaustuloksiin.

Mittalaitteet siis aina antavat tuloksen vaikka sadasosa millimetrin tarkkuudella näytöllä, mutta se ei tarkoita, että mittaustulos on paikkansa pitävä. Tämä on hyvä pitää mielessä mittauksia tehdessä, eikä luottaa sokeasti varsinkaan yhden mittaustuloksen lukemiin. Mittaukset olisikin hyvä suorittaa useampaan kertaan ja verrata tuloksia keskenään [6].

5 Runko

5.1 Jäykkyys ja resonointi

Jyrsinkoneen rungon tulisi olla mahdollisimman tukeva, jotta se ei antaisi periksi, kun siihen kohdistuu jyrsinnän aikana rasiuksia. Jäykkyys ei ole rungolle ainoa vaade. Pelkästään jäykkä materiaali ei ole aina välttämättä paras ratkaisu kaiken suhteen. Teräsputkella voi olla hyvä jäykkyys taivutettaessa, mutta se voi resonoida eli väristä helposti. Tämän huomaa, kun lyö vaikka vasaralla teräsputkeen, ja se jää soimaan. Materiaalin oma jäykkyys tavallaan mahdollistaa tämän resonoinnin. Pehmeämpi materiaali ei välttämättä resonois, mutta ei olisi myöskään yhtä jäykkä, eikä sillä välttämättä saavutettaisi riittävää tukevuutta.

Yleensä tukevissa metallijyrsinkoneissa on raskas valurautarunko. Se on jäykkä, ja sillä eliminoidaan myös työstöä haittaavat värinät. Esimerkiksi teräsputken resonointia voi vähentää, jos sen täyttää vaikkapa hiekalla. Tästä yksi johdannainen on, että teräs- tai alumiinirunko valetaan hiekasta ja epoksihartista tehdyn massan sisään. Tällä pyritään siihen, että metallia vasten oleva huonosti resonoiva materiaali estäisi myös metallin resonoimisen. Koneen käytössä aiheutuvat värinät aiheuttavat työstöjälkeen huonolaatuisuutta ja lyhentävät terien sekä koneen käyttöikä. Nämä värinät, eli resonoinnit, ovat jokaiselle koneelle yksilöllisiä.

5.2 Materiaali

Alumiinirunko olisi ollut vaihtoehtoista kevein ja helpoin toteuttaa. Alumiiniputket ovat melko siistejä ja tasalaatuisia hankittaessa, joten niistä olisi ollut helpoin tehdä visuaalisesti siisti runko. Alumiinin jäykkyys on kuitenkin monin verroin terästä heikompaa, ja sen takia se karsiutui pois. Myös kierteytysten kestävyys alumiiniputkessa oli kyseenalaista.

Rungon materiaaliksi valikoitui s355, kulmikas rakenneteräsputki. Teräsputken puolesta puhui sen suuri jäykkyys sekä mahdollisuus tehdä siihen kestäviä kierteytyksiä. Huonoja puolia olivat materiaalin paino siirreltävyyttä ajatellen

sekä kuumavalssattujen rakenneputkien epätasalaatuisuus. Tämä on seurausta siitä, että putkia käsitellään ja säilytetään myyjien toimesta hyvin vaihtelevasti.

Teräsputket ovat monesti jo hankittaessa valmiiksi ruosteessa, joten ne joutuu puhdistamaan huolellisesti. Lisäksi teräsputkissa on mahdollisesti sisäisiä jännitteitä valmistuksen jäljiltä. Jännitteiden purkautuminen ilman manipulointia vie vuosia, joten on olemassa vaara, että putket muuttavat muotoansa vuosien saatossa. Tämä luonnollisesti vaikuttaa rungon mittasuhteiden tarkkuuteen.

Rungon valaminen graniittiepoksin sisään olisi tuottanut teräsputkirungostakin visuaalisesti hienon ja viimeistellyn näköisen rungon, mutta sen tuomat hyödyt arveluttivat. Kuinka paljon se olisi vaimentanut resonointia ja paljonko vaikutus olisi näkynyt työstöjäljessä? Se olisi ainakin tehnyt koneesta huomattavasti raskaamman, mikä olisi vaikeuttanut siirrettävyyttä.

5.3 Kokoonpano

Teräksisten runkoputkien liittämässä toisiinsa oli kaksi vaihtoehtoa: hitsata putket toisiinsa, tai käyttää pulttiliitoksia. Hitsauksessa on se ongelma, että se aiheuttaa materiaalin suuren vääntyilyn ensin kuumetessaan ja sitten jäähtyessään [7]. Käytännössä mikään valmiiksi suora ei ole enää suora hitsauksen jälkeen. Tästä syystä tämän rungon kokoonpanometodiksi valikoitui pulttiliitokset.

5.4 Jännitteiden poisto teräksestä

1960-luvulla Bonal Technologies [8] kehitti Meta-Lax-jännitystenpoistomenetelmän teräsrakenteille. Jännitteiden poistoa teräksistä alettiin tutkia jo ennen 1950-lukua Yhdysvaltain laivastossa sekä Saksan sotateollisuudessa. Jännitteiden poistossa metallirakennetta väräytetään tietyllä taajuudella sopivan ajan. Tämä tärinä poistaa metallirakenteen jännitteet. Jännitteiden poistumista ja muuttumista voi tarkastella täräytettävän rakenteen tärinän muuttuvana taajuutena. Tarkasteluun soveltuu esimerkiksi kiihtyvyyssanturi, jonka ulostuloa analysoidaan oskilloskoopilla. Jännitteiden

poiston aikana taajuus muuttuu jännitteiden poistuessa, ja lopulta kun taajuus jämähtää paikoilleen, voidaan todeta jännitteiden poistuneen. Tärinän lähde täytyy pitää prosessin ajan vakiona. [8.]

Epoksin käyttö liitoksissa

Koska rakenneteräsputkien pinnat eivät ole suoria ja tasaisia, niiden yhteenliittäminen pulttien kanssa on ongelmallista. Putkien pinnat tulisi työstää liitoskohdista ensin täysin tasaisiksi. Muutoin pinnat voivat jäädä liitoskohdista keikkuviksi, eikä niiden välille muodostu hyvää tukea. Jos liitospinnat ovat epätasaisia niin pulttien kiristyessä putki mahdollisesti vääntyy ja jännittyy. Näitä jännitteitä ei kaivata, koska ne voivat muuttua ajan saatossa, ja pieninkin muutos voi aiheuttaa runkoon vääntymisiä.

Jos ei ole mahdollista työstää pintoja laadukkaasti tasaisiksi, niin yksi keino on laittaa liitettävien metallipintojen väliin epoksihartsia. Liitosten välissä olevan epoksin annetaan ensin kovettua täyteen kovuuteen, ja vasta sen jälkeen liitokset puristetaan pulteilla tiukasti toisiinsa.

Pulteilla kasatessa olisi hyvä lisäksi lukita liitokset esimerkiksi useammalla kartiosokalla, jolloin ne eivät pääse rasituksessa vinksautamaan. Pultin reikä ja pultti eivät ole koskaan tasan samankokoisia, ja väliin jää klappia. Tämä mahdollistaa liitoksen liikkumisen, jos liitokseen kohdistuva voima ylittää liitoksessa pulttien puristuksesta aiheutuvan kitkan.

Kartiosokkaa varten on liitettäviin osiin porattu samalle kohtaa reiät. Kun osat ovat vastakkain ja reiät kohdikkain, reikä kalvetaan kartiokalvaimella. Molempien osien reiät kalvetaan siis yhtä aikaa, niin että kalvain lävistää molemmat osat ja aikaansaa yhtenevällä kulmalla viistetyn, kiilamaisen aukon.

6 Lineaarijohteet, kuularuuvit ja laakerit

Lineaarijohteet

Jyrsinkoneen liikeradat mahdollistetaan lineaarijohteilla. Lineaarijohteet ovat metallisia kiskoja, joissa liukuu laakeroitu kelkka. Kiskot kiinnitetään alustaan ruuvaamalla ja kiskoissa liukuviin kelkkoihin taas kiinnitetään koneen osa, jota halutaan liikuttaa. Nämä johteet ja laakerit mahdollistavat tasaisen liikeradan hyvin pienellä kitkalla rasituksenkin alla.

Lineaarijohteita on monia eri kokoisia. Sopiva kokoluokka valitaan tarvittavan rasituksen keston mukaan. Kuvassa 5 on esimerkkinä useampia erikokoisia Hiwin-valmistajan johteita. Valmistajan sekä myyjäliikkeen sivuilla on taulukot kunakin lineaarijohteen ja sen laakerin rasituksen kestoista [9]. Osaava kauppias osaa myös neuvoa oikeiden tuotteiden valinnassa.

Johteissa ja laakereissa on samalla valmistajallakin eri tarkkuusluokkia, jotka määrittävät muun muassa kuinka paljon välystä laakerin ja kiskon välillä saa maksimissaan olla. Koneen haluttu työstötarkkuus määrittää käytettävän lineaarijohteen ja sen laakerin tarkkuusluokan.



Kuva 5. Hiwin-valmistajan lineaarijohteita laakereineen [9].

Kuularuuvit

Kuularuuveilla toteutetaan lineaarijohteen kelkkojen päällä olevan rakenteen liike. Ne ovat siis voimansiirto moottorin ja liikutettavan rakenteen välillä. Kuularuuvi on toiminnaltaan kuin kierretanko, jossa on mutteri. Kierretanko lukitaan paikalleen niin että se pääsee vain ainoastaan pyörimään ja pidetään mutterista kiinni niin että se ei pääse pyörimään. Tässä tapauksessa, kun kierretankoa pyöritetään, niin mutteri liikkuu tangossa. Tämä on kuularuuvien toimintaperiaate voimansiirtona.

Kuularuuvi eroaa kierretangosta siinä, että sen kierteet ovat kuulalaakerin kuulalle sopivat kulkuväylät. Kuularuuvissa kulkeva mutteri on kuulamutteri, jonka sisällä rullaavat metalliset kuulat samalla periaatteella kuin lineaarijohteen laakerissa.

Samoin kun lineaarijohteissa on myös kuularuuveissa monta eri kokoluokkaa ja tarkkuusluokkaa. Kuvassa 6 on Hiwin kuularuuveja eri kokoluokissa. Ruuveihin ja muttereihin kohdistuvat voimat määrittävät sopivan kokoluokan. Tarkkuusluokka valitaan halutun tarkkuuden ja budjetin mukaan.



Kuva 6. Hiwin-valmistajan kuularuuveja [10].

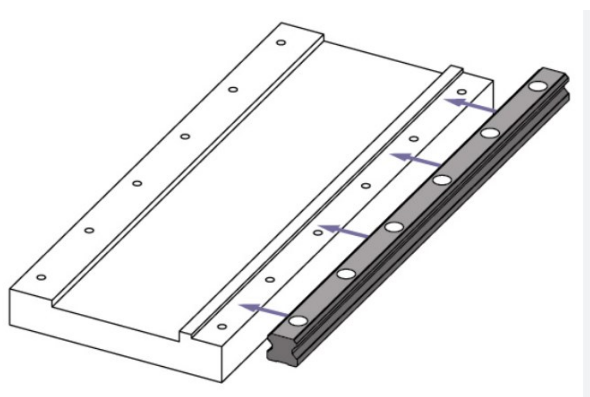
Kuularuuveja on saatavilla samassa kokoluokassa useammalla eri nousulla. 2010 merkinnällä varustettu kuularuuvi tarkoittaa, että ruuvien halkaisija on 20 mm ja nousu on 10 mm. Kun kuularuuvia pyörytetään yksi kierros, kuulamutteri etenee ruuvissa 10 mm. 1605 tarkoittaa 16 mm halkaisijaltaan olevaa ruuvia, jossa kuulamutteri etenee yhdellä kierroksella 5 mm. Nousun valinnassa

täytyy huomioida, kuinka nopeasti koneen osien halutaan liikkuvan eli minkälaisia työstönopeuksia koneelta haetaan. Tässä täytyy taas huomioida askelmootorin kierrosalue ja millä kierroksilla moottoria on edullista käyttää.

6.1 Lineaarijohteiden asennus

Lineaarijohteet täytyy asentaa runkoon niin että ne ovat täysin suorassa joka suuntaan. Tämä määrittää täysin, miten suoraa jyrskinkoneen liikeradat ovat. Pienikin mutka lineaarijohteessa johtaa saman mutkan siirtymiseen työstettävään kappaleeseen.

Lineaarijohteet eivät itsessään ole luotisuoria. Niiden lopullinen suoruus tulee siitä, että ne asennetaan täysin suoraksi. Tämä vaatii täydellistä suoruutta alus- talta, johon ne asennetaan. Johdekiskot asennetaan monesti myös täysin suo- raa sivua vasten. Näin niillä on kaksi tukipintaa, joihin nojata. Sen lisäksi, että tällä varmistetaan kiskon suoruus, tukipinnat estävät kiskon liikkumisen rasituk- sen alaisena. Kuvassa 7 on esitetty piirroksella tämä kiinnitystapa. Monesti yh- den suunnan liikeradalla on kaksi lineaarijohdetta. Tässä tapauksessa yleensä riittää vain toisen kiskon tuenta sivusuunnassa. Toisen kiskon sivuttaissuoruus varmistetaan asennusvaiheessa ottamalla mittaa tuetusta kiskosta. Tässä käy- tetään apuna heittokelloa.



Kuva 7. Lineaarijohteen asennus [11].

Valmistetussa jyrsinkoneessa lineaarijohteiden alustaksi valettiin epoksihart-
sista noin 4 mm paksu ja 40 mm leveä kakku. Hartsia valettiin siis teräsputken
pinnalle. Tämän jälkeen kovettuneen epoksin pinta hiottiin täysin tasaiseksi.
Korkeusheitot jäivät metrin matkalla kahden sadasosamillin sisään. Epoksiin
kohdistuu tässä voimia, jotka vaativat vain puristuksen kestoja. Täysin kovettu-
neella epoksihartilla on riittävä puristuksenkesto, jotta sitä voidaan käyttää tä-
hän tarkoitukseen. Sama pätee muissakin koneen kohteissa, missä epoksia on
käytetty.

On kaksi syytä, miksi tämä epoksikerros lisättiin ja sen pinta tasoitettiin. Miksi ei
tasoittaisi suoraan teräsputken pintaa? Ensinnäkin epoksin työstäminen on huo-
mattavasti nopeampaa ja helpompaa kuin teräsputken pinnan työstäminen.
Toiseksi, kun teräsputken pinnasta alkaa poistaa materiaalia, poistuu siitä myös
mahdollisia jännityksiä tai jännityksiä vastustaneita kerroksia. Käytäntö osoitti
tämän tässä projektissa. Eräs keskeltä koholla ollut putken pinta koitettiin hioa
tasaiseksi. Kävikin niin, että sitä mukaa kun putken keskeltä poisti materiaalia
välttämällä samalla putken lämpenemisen operaatiossa, putki päätyi olemaan en-
tistä enemmän koholla keskeltä. Putkessa oli selkeästi jännitteitä, jotka pyrkivät
taivuttamaan sitä. Kun taipumista vastustavaa materiaalia poistettiin, putki pääsi
taipumaan.

Vaikka runko on rakennettu rakenneteräsputkista jotka eivät ole mittatarkkoja,
sillä ei ole merkitystä esimerkiksi lineaarijohteiden asennuksen tarkkuuteen.
Kunhan vain niiden pintojen suoruus, joille komponentit asennetaan, on tarvitta-
van hyvä.

6.2 Kuularuuvien asennus

Kuularuuvit tulee asentaa niin, että ne ovat täysin samansuuntaiset lineaarijoh-
teiden kanssa. Laakereiden kiinnityspintojen tulee olla täysin suorat ja täysin
kohtisuorassa lineaarijohtimeen nähden. Poikkeamat samansuuntaisuudesta ai-
heuttavat ylimääräisiä rasituksia kuularuuville, siinä kulkevalle kuulamutterille,
lineaarijohteille ja monille muille komponenteille. Ylimääräinen rasitus aiheuttaa

tehohäviötä liikkeen suorittamisessa ja kuluttaa komponentit loppuun ennenaikaisesti.

Kuularuuvin molemmissa päissä on kuulalaakeriyksiköt, joiden varassa ruuvi pyörii. Kuularuuvin päät sorvataan sopiviksi valituille laakeriyksiköille. Tämä vaatii tarkkaa koneistusta ja kannattaa teettää esimerkiksi tuotteita myyvässä yrityksessä.

Kuularuuvin toisessa päässä on kuvassa 8 näkyvä, niin sanottu kiinteän pään laakeri. Tämä laakeri ottaa vastaan ruuviin kohdistuvat sivuttaissuuntaiset sekä pituussuuntaiset voimat. Tässä laakeriyksikössä on normaalin kuulalaakerin lisäksi myös painekuulalaakeri.



Kuva 8. Kiinteän pään laakeriyksikkö [12].

Ruuvin toisessa päässä oleva laakeriyksikkö on taas niin sanottu vapaan pään laakeri. Tässä yksikössä on vain normaali kuulalaakeri. Tämä kuulalaakeri on lukittu lukitusrenkaalla ruuviin paikalleen. Laakeria ei ole kuitenkaan lukittu yksikön laakeripesään. Laakeripesä on laakerille hieman ylipitkä, putkimainen rakenne. Laakerin sovitus on laakeripesään jämpä, mutta kuitenkin sellainen, että se pääsee liikkumaan laakeripesässä pituussuunnassa.

Tämä toteutus on siitä syystä, että käytettäessä jyrskkonetta varsinkin pidempiä aikoja kuularuuvien ja kuulamuttereiden välinen pieni kitka saa aikaan kuularuuvien lämpenemisen. Tästä seuraa lämpölaajeneminen, ja kuularuuvi piteenee. Tämän pitenemisen täytyy voida purkautua johonkin, ja vapaan pään laakeriyksikkö mahdollistaa tämän. Lämpölaajeneminen on hyvin voimakas liike, ja jos lämpölaajeneva osa ei pääse vapaasti laajenemaan, se yleensä hajottaa jotakin.

7 Sähkökomponentit

Sähkökeskus

Koneen sydämenä toimii sähkökeskus, tai ohjauskeskus. Tähän on aseteltu kaikki jyrskoneelle sähköä syöttävät komponentit sekä kaikki koneen ohjaus. Tästä keskuksesta lähtee johdoilla kytkennät jyrskoneen askelmoottoreille, jyrskimoottorille sekä antureille.

Komponenttien asettelu keskukseseen kannattaa tehdä huolella. Sijoittelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset häiriövirrat sekä varsinkin komponenttien jäähtyminen. Koteloon tulee järjestää riittävä tuuletus, ja kuumenevat komponentit tulee sijoittaa niin, että niiden ympäri pääsee kiertämään riittävän hyvin jäähdytysilma. Keskuksen jäähdyttämiseksi koteloon asennettiin 4 kpl halkaisijaltaan 120 mm olevia tuulettimia. Kaksi tuuletinta tuo ilmaa sisään, ja kaksi vie ilmaa ulos. Lisäksi virtalähteissä sekä taajuusmuuntajassa on vielä omat integroidut tuulettimet lisänä. Koteloon sisään olisi hyvä lisätä lämpötilamittari, joka hälyttäisi lämpöjen liiallisesta noususta. Tämä puuttuu vielä toistaiseksi tästä keskuksesta.

Kuvassa 9 on keskuksen koteloksi valikoitunut malli. Tarkoitukseen valittiin mahdollisimman kompakti kotelo, johon kaikki komponentit mahtuivat. Kotelossa kaikki tulot ja lähdöt ovat samalla sivustalla. Kotelossa ei ollut mitään läpivientejä valmiiksi. Kotelo oli kuitenkin muovia, ja siihen oli helppo tehdä läpivientiaukot.



Kuva 1. Valmistuneen koneen ohjauskeskus.

7.1 Ohjainyksikkö

Ohjainyksikkö on CNC-jyrsimen aivot, joka jakaa käskyt toimilaitteille ja käsittelee antureilta saadut tiedot. Ohjainyksikkö koostuu mikropiiristä ja sarjasta sisääntuloja sekä uloslähtöjä.

Uloslähtöihin kytketään askelmootoreiden ajureille lähtevät signaalit, taajuusmuuttajalle lähtevät jyrsinmoottorin ohjaukaskäskyt, mahdollisten leikkuunestepumppujen ohjaus sekä ohjausreleiden signaalit. Sisääntuloihin kytketään kaikki liikeratojen rajakytkimet, lämpötila-anturit ja hälytyssignaalit.

Tämän koneen ohjainyksiköksi valikoitui kuvassa 10 näkyvä MASSO G3 5-axis. Se on itsenäinen yksikkö, eikä se tarvitse toimiakseen erillistä tietokonetta. Ohjaimesta on saatavilla eri versioita, joissa jyrsinkoneen ohjaus on 3-, 4-, tai 5-akseliselle jyrsimelle. Tähän valikoitui 5-akselinen versio, koska kone on tarkoitus jatkossa täydentää 5-akseliseksi lisäämällä siihen 2-akselinen työstöpöytä. Yksikköön kytketään näyttö ja tehdään muut laitekytkennät. Verrattuna muihin kilpailijoihin MASSO G3:ssa oli erittäin runsaasti sisään- ja ulostuloja.

Tämä yksikkö toimii myös plasmaleikkurin, laserleikkurin tai sorvin CNC-yksikkönä. Laitteessa on oma käyttöliittymä jokaiselle näistä työstökoneista, ja käyttöliittymän valinta tehdään laitteen käynnistyessä. Tähän projektiin valikoitui ohjainyksiköksi valmis ratkaisu, koska muutoin tämä osa-alue olisi vienyt liikaa aikaa ja muita resursseja.



Kuva 10. MASSO G3 [13].

7.2 Askelmoottorit ja ajurit

Askelmoottori

Askelmoottorit ovat sähkömoottoreita, joilla jyrskoneessa pyöritetään kuularuuveja ja aikaansaadaan liikeratojen liike. Moottoreita on monia eri kokoisia, ja ne on kategorisoitu nimikkeillä Nema. Esimerkiksi Nema 17, Nema 23, Nema 24 tai Nema 34. Numero tarkoittaa moottorin halkaisijan kokoluokkaa. Kaikissa saman luokan moottoreissa on kiinnitysreiät samalla standardietäisyydellä, ja näin voi turvallisesti hankkia uuden, toisen valmistajan moottorin, ja se sopii samoille kiinnityksille. Moottorin pituus voi tosin samassa kokoluokassa vaihdella paljonkin.

Moottoreiden nimi tulee siitä, että ne pyörivät askel kerrallaan. Tämän askeleen moottori ottaa saatuaan ohjainyksiköltä moottorin ajurin läpi ajetun signaalin. Tässä projektissa on käytetty hyvin yleisiä, 1,8 asteen askeleilla pyöriviä moottoreita. Jotta moottorin akseli pyörähtäisi tasan yhden kierroksen, tulee moottorille saapua 200 kappaletta askelkäskyä. $200 \times 1,8 \text{ astetta} = 360 \text{ astetta}$. Tällä toimintatavalla voidaan määrittää hyvin tarkasti liikkeen määrä, joka on jyrskoneen toiminnan perusedellytys.

Jyrskoneen käyttötarkkuutta ja toimintavarmuutta voidaan lisätä valitsemalla askelmoottoreiksi suljetun silmukan askelmoottori. Tämä eroaa tavallisesta askelmoottorista siinä, että moottoriin on integroitu enkooderi, joka tarkkailee moottorin liikkeitä. Kuvassa 11 on tässä projektissa kaikilla akseleilla käytetty moottori. Enkooderi lähettää ajurille signaalin jokaisesta otetusta askeleesta jonka moottorin akseli todellisuudessa pyörähtää. Jos enkooderin luku ei täsmää annettujen askelkäskyjen määrään, niin ajuri laukaisee hälytyksen ja pysäyttää moottorin. Tästä menee tietysti myös hälytys ohjainyksikölle, joka pysäyttää jyrskinnän.

Ilman tällaista suljetun silmukan takaisinkytkentää ohjainyksikkö ei voi tietää mistään, onko askelmoottori todellisuudessa liikkunut sen verran kuin sen on käsketty. Koneen käytössä voi helposti syntyä tilanne, jossa rasitus on

hetkellisesti liian kova, jotta askelmoottori pysyisi perässä. Tämä voi johtua liian rajusta materiaalin otosta jyrsinnässä tai yrityksestä käyttää liian nopeita liikkeitä. Liian nopeissa liikkeissä jyrsinnässä muodostuu suuri liike-energia, joka voi olla liikaa askelmoottorien voimalle, etenkin liikkeen muuttaessa suuntaa.

Mikäli askelmoottori jättää askeleen välistä ja jyrsinkone jatkaa ohjelmoitua työstöä eteenpäin, niin koko loppujyrsinnän ajaksi työstökoordinaatiston asemoi työstettävään aihioon siirtyä, ja jyrsintä epäonnistuu. Suljetun silmukan järjestelmällä tämä vältetään. On perusteltua käyttää vain enkooderilla varustettuja askelmoottoreita.

Moottorin valinta muotoutuu siitä, paljonko tehoa siltä laskelmien mukaan vaaditaan. Tähän vaikuttaa se, kuinka raskasta kuormaa sen täytyy liikuttaa ja kuinka nopeasti. Askelmoottorien kohdalla on hyvä huomioida, että ne kuluttavat virtaa, vaikka ne eivät pyörisikään. Tämä perustuu siihen, että moottorin täytyy pitää asentonsa rasituksen alla, vaikka se olisi paikallaan.



Kuva 11. Nema 24, suljetun silmukan askelmoottori [14].

Ajurit

Askelmoottori vaatii toimiakseen kyseiselle moottorille tarkoitetun ajurin. Ajuri on fyysinen, elektroninen laite, joka syöttää askelmoottorin käämeille virtaa ja saa aikaan moottorin pyörivän liikkeen. Ajuri saa ohjainyksiköltä ensiksi viestin,

kumpaan suuntaan moottorin tulisi pyöriä ja montako askelta sen tulisi ottaa. Tämän jälkeen ajuri syöttää virtaa askelmoottorin käämeille juuri oikeassa järjestyksessä.

Samalle moottorille voi olla saatavilla monta sopivaa erilaista ja eri valmistajan ajuria. Ajurien ominaisuuksissa on kuitenkin paljon eroja. Toiset ajurit kykenevät pyörittämään askelmoottoria paljon juoheammin kuin jotkut toiset. Näillä juoheammin toimivilla on askelmoottorin ääni selkeästi hiljaisempi, ja sen lisäksi askelmoottori tärisee käytettäessä vähemmän. Tämä vaikuttaa rungon resonointeihin omalta osaltaan. Ajureissa on valintakytkimiä, joilla saa valittua moottorin pyörimissuunnan, halutun mikroaskellusmäärän sekä eri ohjainyksiköiden käyttämän toimintametodin. Kuvassa 12 näkyy ajurin päässä olevat valintakytkimet.

Mikroaskelluksella moottori saadaan ottamaan pienempiä askeleita kuin mihin se on varsinaisesti suunniteltu. Tämä aikaansaadaan siten, että ajuri jakaa moottorin käämeille virran niin, että edellinen käämi vastustaa roottoria ottamasta täyttä askelta. Riippuen kuinka virta jaetaan käämeille, määritetään askeleen suuruus.

Monesti ajureissa on myös USB-liityntä, jonka kautta ajurin toimintaa voi säätää tietokoneella toimivan käyttöliittymän avulla. Säädettäviä parametrejä on esimerkiksi moottorille syötettävän virran määrä eri tilanteissa, kuten paikallaan pidettäessä. Suljetun silmukan askelmoottori vaatii omanlaisen ajurin. Ajurissa täytyy olla vastaanotto enkooderin lähettämille signaaleille.



Kuva 12. Nema 24 askelmoottorin ajuri [15].

7.3 Jyrsinmoottori

Tähän koneeseen käytetään korkeakierroksista, 220 voltin jännitteellä toimivaa 2,2 kilowatin tehoista kolmivaihemoottoria. Moottorin maksimikierrosnopeus on 24 000 rpm. Moottorin maksimivääntö on noin 1 Nm, ja se saavutetaan kierrosalueella 12 000 – 24 000 rpm. Tosin vääntökäyrä on valmistajan ilmoittama, ja se voi olla suuntaa antava. Alkuun hankittiin testimielessä moottorista edullinen versio, joka päivitettiin myöhemmin parempaan. Kaikissa tämän työn kuvissa on vielä tämä edullinen versio kiinnitettynä.

Moottorin valintaan vaikuttaa mitä aikoo jyrsiä ja kuinka tehokkaasti sekä koneen kyky kantaa moottori. Liian heiveröiseen runkoon ei kannata kiinnittää liian tehokasta moottoria, koska runko antaa silloin periksi voimille, jotka moottori saa aikaiseksi. Moottorin valinnassa täytyy myös miettiä, minkälainen sähköverkko on käytössä siellä, missä jyrsinkonetta käytetään. Kun normaalisti asuinrakennuksissa on maksimissaan 16 A:n sulakkeet pistorasioissa, rajoittaa tämä käytettävän moottorin kooksi noin 3 kW. Silloin tämä yksi 16 A:n pistoke on kokonaan jyrsinmoottorin käytössä.

Moottorin kierrosalue on myös riippuvainen jyrsittävästä materiaalista. Puuta jyrsittäessä 6 mm halkaisijaltaan olevalla terällä, on 24 000 rpm sopiva kierrosnopeus. Sen sijaan samankokoisella terällä terästä jyrsittäessä kierrosten tulisi olla yli puolet vähemmän. Terästä jyrsittäessä myös jyrsinmoottorin suurempi vääntö olisi hyödyllinen.

7.4 Taajuusmuuttaja

Jyrsinmoottori on kolmivaihemoottori, ja se tarvitsee toimiakseen taajuusmuuttajan. Taajuusmuuttajalla moottorille syötettävän vaihtovirran taajuutta voidaan pienentää tai suurentaa ja näin säätää moottorin pyörimisnopeutta. Taajuusmuuttajalla mahdollistetaan myös moottorin jouhea käynnistyminen ja pysähtyminen. Taajuusmuuttajalla toteutetaan lisäksi moottorin turvatoiminnot.

Jyrsinmoottori voi toimia tyypillisesti jännitteellä 230 V tai 380 V. Taajuusmuuttaja tulee valita niin että se antaa halutun jännitteen. Taajuusmuuttaja tulee myös mitoittaa niin että se pystyy antamaan moottorille tarpeeksi virtaa. Taajuusmuuttajan taajuusvaste täytyy sovittaa moottorin käyttämiin taajuuksiin.

Tässä projektissa käytettiin kuvassa 13 olevaa taajuusmuuttajaa jonka taajuusalue on 0–400 Hz. Muuttaja toimii 220 voltin yksivaihevirralla. Se muuttaa yksivaiheisen virran kolmivaihevirraksi.



Kuva 13. Yaskawa V1000-taajuusmuuttaja [16].

7.5 Virtalähteet

Koneen kaikki muut sähkökomponentit, paitsi jyrsinmoottori, toimivat tasavirralla. Näin ollen tarvitaan tasavirtaa tuottavia virtalähteitä. Askelmoottorit ovat ylivoimaisesti suurimmat virtasyöpöt, ja niille on varattu kaksi kappaletta 48 V:n ja 10 A:n virtalähdettä. Lisäksi kaikille muille sähkökomponenteille on varattu yksi 12 V:n, 3 A:n virtalähde.

7.6 Rajakytkimet

Jyrsinkoneen kaikki liikkeet tulee rajoittaa niin, etteivät koneen osat pääse missään tapauksessa liikkumaan niille varattuja liikeratoja pitemmälle. Tähän tarvitaan jonkinlainen sensori antamaan ohjainyksikölle viestin siitä, että liikkeen maksimiraja on saavutettu. Maksimirajojen täytyy aina olla lyhyemmät kuin todelliset liikkeen maksimirajat, koska liike täytyy pysäyttää hallitusti askelmoottorien toimesta, ennen kuin koneen osat törmäävät toisiinsa. Sensorimallin tulisi

olla normaalisti suljettu versio. Tämä tarkoittaa että sensorin lähettämä signaali on päällä, kunnes kytkimen lauettua signaali katkeaa. Ohjainyksikkö reagoi tähän putoavaan signaaliin. Tämä toteutustapa on turvallisempi, koska se paljastaa sensorin virtapiirin vikaantumisen. Katkennut johto aiheuttaa viestin ohjainyksikölle liikkeen pysäyttämiseksi, samoin mitä tekisi katkaisijan normaali laukeaminen.

Rajakytkiminä voi käyttää montaa erilaista kytkinmallia. Kytkin voi olla esimerkiksi kuvan 14 pieni mikrokytkin, jossa on katkaisijana toimiva vipu. Koneen liikkuva osa painaa vipua katkaisurajalla.



Kuva14. Mekaaninen mikrokytkin vipukatkaisijalla, jossa rulla [17].

Toinen vaihtoehto on käyttää kapasitiivista tai kuvassa 15 olevaa induktiivista rajakytkintä. Ne tunnistavat tunnistusalueelle tulevan esineen ilman kontaktia. Induktiivinen tunnistaa vain metallisia kohteita ja kapasitiivinen myös muita materiaaleja. Näissä on se etu, että niissä ei ole liikkuvia osia ja ne toimivat hyvin likaisemmissakin olosuhteissa.



Kuva 15. Induktiivinen rajakytkin [18].

Molemmat katkaisijatyytit tulisi asemoida niin, että vaikka kone ajaisi hiukan rajasta yli, katkaisija ei jäisi puristuksiin ja hajoaisi. Kone nimittäin saattaa ajautua

rajasta yli, jos liike tapahtuu kovalla nopeudella. Silloin askelmoottorit eivät saa liikettä pysäytettyä täysin, liike-energian ollessa liian suuri.

Näitä kytkimiä kutsutaan kovien rajojen kytkimiksi. Ne antavat ohjainyksikölle viestin, että ollaan todellakin viimeisellä rajalla, jota ei saisi ylittää. Kone yrittää pysäyttää liikkeen parhaan kykynsä mukaan.

Ohjainyksikköön määritetään lisäksi niin sanotut pehmeät rajat, jotka tarkoittavat, että koneelle voidaan kertoa maksimissaan liikuttavat etäisyydet joka akselille. Käytössä kone osaa automaattisesti hidastaa liikkeen ennen tätä pehmeää rajaa. Näin pysäytykset toimivat hallitusti.

Kovien rajojen kytkimiä käytetään myös koneen kotiutussensoreina. Kun kone käynnistetään, sillä ei ole mitään käsitystä, missä kohtaa sen liikeradoilla asiat ovat. Aina ensimmäiseksi koneen käynnistyessä se kotiutetaan. Tässä toimenpiteessä kone ajaa jokaisen akselin sovittuun suuntaan niin pitkälle, kunnes akselilla oleva kovan rajan rajakytkin pysäyttää liikkeen. Näin muodostuu koneen nolla-origo, ja kone tietää aina jatkossa, missä se on. Kotiutus täytyy suorittaa rauhallisella nopeudella, koska sen tavoite on, ettei kovien rajojen kytkimiä ohi-tettaisi.

7.7 Sulakkeet ja katkaisijat

Koneen sähköjärjestelmään kannattaa sijoittaa suojakatkaisijat, eli sulakkeet. Sulakkeilla suojellaan sähkölaitteita sekä johtoja ylikuormitukselta. Tämän koneen ohjausyksikön sähköjärjestelmässä kaksi 16 A:n sähkön sisääntuloa menevät ensin pääkatkaisijalle ja siitä pääsulakkeille. Pääkatkaisija toimii myös kaiken virran koneesta katkaisevana hätäkatkaisijana. Pääsulakkeilta virta vie-dään riviliittimille, josta virta jaetaan kullekin sähkölaitteelle uuden sulakkeen kautta.

7.8 Häätäpainikkeet ja turvatoiminnot

Hätäkatkaisijoita voi sijoittaa järjestelmään useampiakin, ja ainakin yhden tulisi olla aina konetta käytettäessä helposti tavoitettavissa. Hätäkatkaisijan sähköpiirin toteutus tulee aina olla sellainen, että katkaisijan ollessa normaaliasennossa sen läpi kulkee signaali. Kun hätäkatkaisija laukaistaan, katoava signaali laukaisee hätäpysäytyksen. Tällä varmistetaan, ettei piirissä oleva huono kosketus tai katkennut johto estä hätäsignaalin kulkeutumista. Jos piirissä johto katkeaa, laukeaa hätäpysäytyskin. Tällöin piirin vikaantuminen tulee ilmi. Muutoin ei olisi mitään varmuutta, että painettaessa hätäpysäytystä piirissä on kaikki kunnossa ja hätäpysäytys todella toimii.

On monia vaihtoehtoja toteuttaa hätäpysäytys. Tyypillisesti ohjainyksikölle vietään hätäpysäytyksessä signaali, ja ohjainyksikön tulisi pysäyttää kaikki koneen toiminta. Monesti signaalilla ohjataan myös jotain releitä tai kontaktoria, joka katkaisee virrat jossain kohtaa järjestelmää. Toteutuksia voi olla päällekkäinkin useita.

On tärkeää tiedostaa, miten mikäkin toteutus toimii ja onko siinä vikaantumismahdollisuus. Jos hätäpysäytyksen jättää ainoastaan sen varaan, että ohjainyksikkö katkaisee kaiken toiminnan hätätilanteessa, on sen varassa, että ohjainyksikkö toimii kuten sen olettaisi toimivan.

Jos hätäpysäytys on toteutettu releillä tai kontaktoreilla, on niidenkin vikaantuminen mahdollista. Pitkään kiinni olevat, virtaa johtavat kontaktipinnat voivat taikertua yhteen esimerkiksi kosteuden vaikutuksesta hapettumalla tai hitsaantamalla kiinni huonosta kontaktista aiheutuneesta vastuksesta ja siitä aiheutuneesta lämmöstä.

7.9 Johdot

Järjestelmässä käytettävät johdot tulee mitoittaa pinta-alaltaan niin että niiden johtamiskyky on riittävän hyvä eikä synny ylimääräistä vastusta. Johdon täytyy olla johdinalaltaan riittävän suurta, ja on turvallisempaa valita aina hieman liian

suuri vaihtoehto. Siitä ei ole lähinnä muuta haittaa kuin että johdot vievät enemmän tilaa ja ovat jäykempiä kuljettaa vienneissä. Yksittäisessä koneessa hinta ei kustannuksena kasva nimeksikään.

Jyrsinkoneessa kulkee hyvin pienivirtaisia ja matalajännitteisiä signaaleja, esimerkiksi rajakytkinten ja ohjainyksikön välillä. Toisaalta samoissa vienneissä kulkee muissa johdoissa korkeataajuuksista ja korkeajännitteistä suurempaa virtaa, kuten taajuusmuuntajan ja jyrsinmoottorin välillä.

Virta aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä, ja suurempi korkeajännitteinen virta aiheuttaa suurempia häiriöitä. Korkeataajuuksinen virta on omiaan häiriönaiheuttajana. Häiriöt voivat aiheuttaa monenlaista vikatoimintaa sähkölaitteissa, vaikkapa vikasignaaleja ohjainyksikölle antureiden sisääntuloissa.

Kaikissa häiriöherkissä vienneissä kannattaa käyttää häiriösuojattuja kaapeleita. Näissä on suojaava metallieriste, joka tulee maadoittaa asianmukaisesti. Varsinkin taajuusmuuntajan ja jyrsinmoottorin kaapeli kannattaa valita käyttötarkoitukseen sopivaksi. Hyvä häiriönpoisto saavutetaan käyttämällä symmetristä moottorikaapelia. Kaapelissa kulkee kolme pääjohdinta ja kolme maajohdinta. Kuvassa 16 on esitetty kuinka kaapelin päästä katsottuna johdinryhmät on pinottu kolmion mallisesti. Tällä saavutetaan se, että kaapelit keskenään kumoavat aiheuttamiaan magneettikenttiä, ja tasaisesti jakautunut maadoitus myös poistaa häiriövirtoja.

Tähän koneeseen valikoitui Onnisen [19] valikoimasta symmetrinen moottorikaapeli, joka oli tarkoitukseen turhan järeätä, mutta tällöin ei valikoimassa ollut ohuemmilla johtimilla varustettua kaapelia. Käytetyssä kaapelissa pääjohtimet ovat jokainen pinta-alaltaan 2,5 neliömillimetriä ja maajohtimet 0,5 neliömillimetriä.



Kuva16. Symmetrinen moottorikaapeli [19].

Johtojen holkitus

Sähköliitännöissä tehdessä kannattaa kaikki monisäikeiset johdot holkittaa pääteholkilla. Tässä operaatiossa kuoritun, monisäikeisen johdon päähän puristetaan tarkoitukseen suunnitelluilla pihdeillä johtimen kokoon sopiva metallinen putkiholkki. Pihdit puristavat neljästä suunnasta yhtä aikaa, ja näin lopputuloksesta tulee tasaisesti puristettu. Tämä varmistaa, että kaikki johtimen säikeet pysyvät nipussa eikä kytkentöjä tehdessä aiheudu oikosulkuvaaraa, kun liittimen ulkopuolelle ei jää pilkottamaan epähuomiossa johtimen säikeitä. Ohuin tässä projektissa käytetty johdin oli pinta-alaltaan 0,25 neliömillimetriä siitä syystä, että pienimmät tällöin saatavilla olleet pääteholkit olivat tälle paksuudelle.

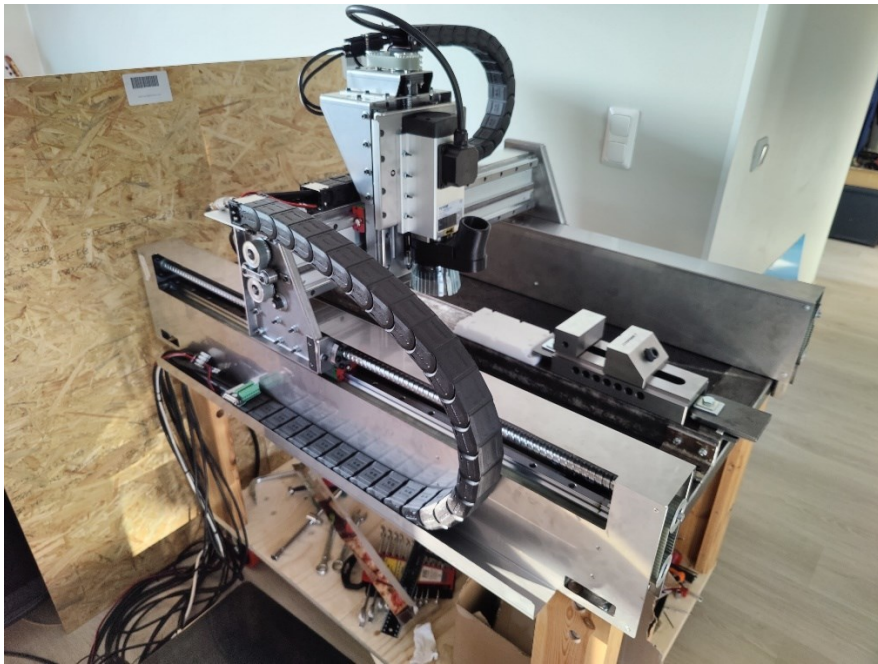
Pääteholkkeja saa myös kätevinä lajitelmina, joissa on useamman kokoisia holkkeja. Eniten käytettyjä kokoja kannattaa hankkia omiin pusseihin pakattuina. Kuvan 17 holkkisarjan mukana tulee myös puristuspihdit.



Kuva 17. Pääteholkkilajitelma ja puristuspihdit [20].

8 Yhteenveto

Projektissa valmistui kuvassa 18 oleva, suunnitelmien mukainen CNC-jyrsinkone. Tämän koneen rakennusprojekti oli selkeästi suurempitoinen ja enemmän aikaa vievä, mitä oli alkuun osattu arvioida. Suurimman haasteen toi lineaarijohteiden ja kuularuuvien asennusalojen suoristaminen. Yksistään lineaarijohteiden kiinnityskohtien tasoittaminen vei viikkoja.



Kuva 18. Projektissa valmistunut jyrsinkone.

Myös sähkö- ja ohjausjärjestelmän suunnittelu oli luultua suurempi tehtävä. Tehtävä olisi varmasti ollut helpompi, jos kaikki komponentit olisi hankittu yhdeltä toimittajalta ja saatu tähän sieltä myös auttavaa tietoutta. Kaikkien komponenttien hankinta eri paikoista ja niiden yhteensovittaminen kuitenkin lisäsi ymmärrystä järjestelmän toiminnasta.

Valmistunut kone vastasi odotuksia. Projekti osoitti että vajavaisemmallakin konekannalla voi rakentaa osia ja liitoksia tarkasti. Projekti oli erittäin opettavainen koska siinä joutui hankkimaan tietoutta monesta eri osa-alueesta.

Konetta on pystytty testaamaan vasta vähän. Sillä on toistaiseksi tehty vain muutama koejyrsintä. Jyrsittävinä materiaaleina olivat muovi sekä alumiini. Molempien työstö onnistui hyvin. Koneen rakenne on riittävän tukeva ainakin alumiinin työstöön, mutta teräksen työstö on vielä kokeilematta.

Lähteet

- 1 Day 1 of Learn Fusion 360 in 30 Days for Complete Beginners. 2022. Verkkoaineisto. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=d3qGQ2utl2A&t=622s> 2.7.2022. Katsottu 12.4.2024.
- 2 Carl Paton. 2021. CNC Machine. Verkkoaineisto. <<https://carlpaton.github.io/2021/03/cnc-machine/>>. Luettu 13.4.2024.
- 3 Mittakellosarja IP54. Verkkoaineisto. Torafors. <https://www.torafors.com/product/952/mittakellosarja-ip54-80kg?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw2uiwBhCXARIsACMvIU1omYyC-AMTnS4bvPVrWjVENwrRDPmn9chni6rk_KWq-BIO62seknbwaAqJREALw_wcB>. Luettu 13.4.2024.
- 4 Diesella-tarkkuusvesivaaka. Verkkoaineisto. Protools. <<https://www.protools.fi/Kulmamittaus/Diesella-tarkkuusvesivaaka>>. Luettu 13.4.2024.
- 5 INSIZE 4147-1000A Granite Straight Edge. Verkkoaineisto. Amazon. <<https://www.amazon.com/INSIZE-4147-1000A-Granite-Straight-Length/dp/B01GKZ29K2>>. Luettu 13.4.2024.
- 6 Robinson, Scott & Baczewski, Mike. 2009. Precision measurement 101. Verkkoaineisto. The Fabricator. <<https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/testingmeasuring/precision-measurement-101/>>. 24.3.2009. Luettu 20.9.2023.
- 7 Distortion. 2017. Verkkoaineisto. Australian Welding Institute. <<https://welding.org.au/welding/distortion/>>. 1.1.2017. Luettu 12.4.2024
- 8 Our history. Verkkoaineisto. Bonal Technologies. <<https://www.bonal.com/about-us/our-history.html>>. Luettu 20.9.2023.

- 9 Kuulajohdeet. Verkkoaineisto. Movetec Oy. <<https://movetec.fi/tuote/kuulajohdeet/>>. Luettu 25.9.2023.
- 10 Valssatut kuularuuvit. Verkkoaineisto. Movetec Oy. <<https://movetec.fi/tuote/valssatut-kuularuuvit/>>. Luettu 25.9.2023.
- 11 Linear Guide Rail Installation Procedures. 2017. Verkkoaineisto. Rockford Ball Screw. <https://rockfordballscrew.com/download/Linear_Guide_Installation_Procedures.pdf>. Luettu 13.4.2024.
- 12 Kiinteän pään laakerit. Verkkoaineisto. Movetec Oy. <<https://movetec.fi/tuote/kiinteanpaan-laakerit/>>. Luettu 13.4.2024.
- 13 Masso. Verkkoaineisto. Masso. <<https://www.massocom.au/>>. Luettu 20.8.2023.
- 14 S Series Nema 24 Closed Loop Stepper Motor 4Nm. Verkkoaineisto. Stepper Online. <<https://www.omc-stepperonline.com/s-series-nema-24-closed-loop-stepper-motor-4-0-nm-566-56oz-in-encoder-1000ppr-4000cpr-24hs40-5004d-e1000>>. Luettu 13.4.2024.
- 15 Y Series Closed Loop Stepper Driver 0-7A 24-50VDC. Verkkoaineisto. Stepper Online. <<https://www.omc-stepperonline.com/y-series-closed-loop-stepper-driver-0-7-0a-24-50vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor-cl57y>>. Luettu 13.4.2024.
- 16 V1000-Sarja. Verkkoaineisto. Yaskawa. <https://www.yaskawa.fi/tuotteet/ac-taajuusmuuttajat/perinnetaajuusmuuttajat/seriesdetail/serie/v1000-sarja_515>. Luettu 13.4.2024.
- 17 Mikrokytkin 16 A 250 VAC Rullalipalla. Verkkoaineisto. Partco. <<https://www.partco.fi/fi/saehkoemekaniikka/kytkimet/mikrokytkimet/20211-mkk-16a-rulla.html>>. Luettu 14.4.2024.

- 18 Heschen Inductive Proximity Switch with Sensor. Verkkoaineisto. Amazon. <https://www.amazon.de/-/en/Inductive-Proximity-LJ12A3-4-Z-AY-Detector/dp/B071JVDV83/ref=sr_1_1?crid=3RMYCJB8DF25E&dib=eyJ2IjoiMSJ9.YYS7ANPE52E29jOQY4Mja_47h6FUT_Aw-HWGMQkaHZKweTmCbv_ta3pXN_Y9X9LleLuFDFCG_WSXS3qKHmGQaVbXq0y-S8Q6W7QDfkgSV9lQp4soymecGVsMj3yr9ma-ZunCyx_wbIVe0IFBTfm_SS0uvau4uFoNUkdhloZlghAko-RlnxF0XCvdqK4nl737ERJeA1Tr3L9sUMw6XjV6srARiWKK8n0clbHh-usFICsFIZ2Z9qAoXcBMvU-keKy47xmNFMtLk2qnNA_tCvH2kXV0zFcm2RA5RUGpi4FSZ6eY.0AyM_FBsjlT0YtUV8YFxFtV5uGSCOSYOUN1B5xgJo3E&dib_tag=se&keywords=heschen+induktiver+sensor&qid=1713083103&srefix=heschen+inductive+sensor%2Caps%2C92&sr=8-1>. Luettu 14.4.2024.
- 19 Moottorikaapeli-HF EMC 2XSLCHK-J. Verkkoaineisto. Onninen. <<https://www.onninen.fi/elettrotek-moottorikaapeli-hf-emc-2xslchk-j-3x2-5-3x0-5-s-mu-cca/p/CGT554?term=9237051>>. Luettu 14.4.2024.
- 20 Pääteholkkilajitelma + Pihdit neliöpuristuksella. Verkkoaineisto. Partco. <<https://www.partco.fi/fi/saehkoetarvikkeet/paeaeteholkit/24517-logilink-wz0068.html>>. Luettu 14.4.2024.