



CNC-plasmaleikkurin suunnittelu ja rakentaminen

Joona Annala

Opinnäytetyö, AMK
Toukokuu 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikka

Annala, Joona

CNC-plasmaleikkurin suunnittelu ja rakentaminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2024, 47 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin kolme akselinen CNC-plasmaleikkuri, jolla leikataan teräsvyöleikkeitä, joiden tarve on hyvin akuutti, koska tilaamalla vyöleikkeet alihankkijalta tuotteiden toimitus kestää tyypillisesti noin kaksi viikkoa.

Työssä suunniteltiin suunnittelu ja rakentaminen sekä käyttöönotto. Mekaanisen suunnittelun osalta kiinnitettiin huomiota voimansiirron, moottoreiden valinnan ja moottorikiinnikkeiden suunnitteluun. Ohjelmistoksi valittiin PC-pohjainen ratkaisu LinuxCNC ohjelmistolla ja MESA ohjauskortilla. Teknisiä haasteita kohdattiin ja ratkaistiin työn kuluessa.

Riittävän tarkan, nopean ja helppokäyttöisen CNC-plasmaleikkurin valmistuminen täytti asetetut tavoitteet lopputuloksena. Lisäksi pohdittiin koneen kehitysideoita, joita voitaisiin tulevaisuudessa tehdä, kuten ohjausjärjestelmän parannuksia

Avainsanat (asiasanat)

CNC plasmaleikkuri, CNC, CAD, CAM LinuxCNC

-

Annala, Joona

Design and construction of a CNC-plasma cutter

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2024, 47 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

In this thesis, a CNC-plasma cutter was designed and built with the aim of producing steel sheet cuts, which are in urgent demand as ordering sheet cuts from a subcontractor typically takes about two weeks for delivery.

The work involved designing, building, and commissioning the CNC plasma cutter. The mechanical design focused on power transmission, motor selection, and motor mount design. A PC-based solution using LinuxCNC software and a MESA control card was chosen for the software. Technical challenges were encountered and resolved during the project.

The completion of a sufficiently precise, fast, and easy to use CNC plasma cutter met the set objectives. Additionally, ideas for future improvements to the machine were considered, such as enhancements to the control system.

Keywords/tags (subjects)

CNC plasma cutter, CNC, CAD, CAM, LinuxCNC

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	7
2	Tutkimusmenetelmät ja aiheen rajausta	7
3	CNC ohjaus	8
4	CNC-koneiden ohjausjärjestelmät	9
5	CNC-koneiden voimansiirto.....	11
6	CAD / CAM ohjelmistot	11
7	Plasmaleikkaus verrattuna muihin menetelmiin.....	12
7.1	Plasmaleikkaus	12
7.2	Laserleikkaus	13
7.3	Vesileikkaus	13
7.4	Polttoleikkaus	13
7.5	THC – automaattinen polttimen korkeuden säätö	14
8	Mekaniikan suunnittelu ja toteutus	15
8.1	Moottoreiden valinta	18
8.2	Moottorikiinnikkeiden suunnittelu ja valmistus	22
8.3	Z-akseli.....	23
8.4	Kokoonpano	24
9	Ohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus.....	25
9.1	Ohjauskortin valinta	25
9.2	Sähkökeskuksen suunnittelu ja valmistus	26
9.3	Anturointi	27
9.4	Kaapelointi.....	28
9.5	Turvatoiminnot.....	30
9.6	Plasmapolttimen ohjauksen ja THC toteutus.....	30
10	Ohjelmistot	31
11	Käyttöönotto ja testaus	32
12	Toistotarkkuus testi	34
13	Kehitysideat	36
13.1	Ohjausjärjestelmän kehittäminen.....	36
13.2	Moottoreiden vaihtaminen takaisinkytkennällä varustettuihin	37

14 Pohdinta.....	37
Lähteet	38
Liitteet	38
Liite 1. Piirikaavioiden sivu 1	39
Liite 2. Piirikaavioiden sivu 2	39
Liite 3. Piirikaavioiden sivu 3	40
Liite 4. Piirikaavioiden sivu 4	42
Liite 5. Piirikaavioiden sivu 5	43
Liite 6. Piirikaavioiden sivu 6	44
Liite 7. Piirikaavioiden sivu 7	45
Liite 8. Piirikaavioiden sivu 8	46
Liite 9. Piirikaavioiden sivu 9	47
Liite 10. Antureiden ja toimilaitteiden sijoittelu	48

Kuviot

Kuvio 1. G goodi esimerkki.....	9
Kuvio 2 Inventorilla piirretty karkea 3D malli	16
Kuvio 3 Runkopalkki koneistettuna	17
Kuvio 4 Moottoreiden vääntökäyrä	19
Kuvio 5 Z moottorin momenttikäyrä	21
Kuvio 6 X moottorikiinnike.....	22
Kuvio 7. "kelluva" Z-akseli	23
Kuvio 8. Rungon kokoonpano	24
Kuvio 9 Keskukseen asennettava pohjalevy	26
Kuvio 10 Levyn korkeusanturi	27
Kuvio 11 Induktiivinen kotiasema anturi	28
Kuvio 12 Kaapelit kytkettynä	29
Kuvio 13. Nappikotelo THC simulointia varten	33
Kuvio 14. Testileikkaus käynnissä	34
Kuvio 15. Periaatekuva valokennoanturin käytöstä	36

Käsitteet

Askelmoottori - Askelmoottori on moottori, joka pyörii tietyn askelkulman joka kerta, kun siihen syötetään tietty määrä pulssisignaaleja.

CAD - (Computer-Aided Design) - tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua, jota käytetään koneensuunnittelussa.

CAM - (Computer-Aided Manufacturing) - CAM-ohjelmistoilla luodaan mallinnetusta kappaleesta työstörata, jonka avulla CNC-kone pystyy luomaan mallinnetun kappaleen.

CNC - (Computer Numerical Control) - on menetelmä, jossa tietokoneohjattu järjestelmä käyttää ohjelmoituja koodeja (G-koodi) ohjaamaan työstökoneiden liikkeitä ja toimintoja.

EMC – lyhenne sanoista electromagnetic compatibility ja sillä tarkoitetaan sähköllä toimivan laitteen tai järjestelmän kykyä toimia luotettavasti omassa toimintaympäristössään.

Ethernet - Ethernet on tietokoneverkkojen teknologia, joka mahdollistaa laitteiden välisen tiedonsiirron lähiverkoissa.

G-koodi - Ohjelmointikieli, jota käytetään CNC-koneiden ohjaamiseen. Määrittää liikkeitä, nopeudet ja muut toiminnot.

Servomoottori - Servomoottori on moottori, joka käyttää takaisinkytkentää luodakseen tarkan liikkeen ja nopeuden.

THC – (Torch Height Controller) plasman kaarijännitteen mukaan säätävä polttimen korkeuden ohjaus

1 Johdanto

Työssä oli tarkoituksena suunnitella ja valmistaa CNC-plasmaleikkuri, jolla pystytään valmistaa teräslevyleikkeitä. Toimin itse työn toimeksiantajana ja leikkuri tulee olemaan yritykseni käytössä työn valmistumisen jälkeen. Tarve syntyi siitä, että teräslevyleikkeiden toimitusaika on tyypillisesti noin kaksi viikkoa tilaamisesta ja tarve levyleikkeille saattaa usein prototyyppiä tai korjausosaa valmistaessa olla akuutimpi. Tarkoituksena ei ole kilpailla alihankintakonepajojen kanssa, joiden päätoimi on teräslevyjen leikkaus vaan saada omaan toimintaan leikkeitä nopealla aikataululla, jotta levyleikkeiden saaminen ei muodostu pullonkaulaksi tuotteita valmistaessa.

Valmistettavan laitteen vaatimuksiksi asetettiin vähintään $\pm 1\text{mm}$ leikkuutarkkuus 3-12mm teräslevyillä, joka on riittävä useille hitsattaville osille. Lisäksi koneen täytyy olla varmatoiminen, helpokäyttöinen sekä kohtalaisen helposti siirrettävissä paikasta toiseen.

Syy miksi kone valmistettiin itse eikä hankita valmista laitetta on se, että omiin tiloihin mahtuvia laitteita on niukasti saatavilla eivätkä ne täytä omia vaatimuksiani esimerkiksi siihen liittyen, että osat pystytään tekemään suunnittelusta osien ajamiseen saman ruudun ääressä. Lisäksi saatavilla olevien koneiden hinta oli huomattavasti korkeampi, kuin itse valmistettavan koneen budjetti.

2 Tutkimusmenetelmät ja aiheen rajaus

Työssä käytettiin monitahoista tutkimus- ja kehitysmenetelmien yhdistelmää. Työn alkuvaiheessa hyödynnettiin alan kirjallisuutta, joka tarjoaa yleiskuvan aiheeseen liittyvistä teknologioista, joiden pohjalta suunnittelu pystyttiin aloittamaan. Toteutusvaiheessa pyrittiin perustelemaan omia suunnitteluun liittyviä ratkaisuja ja komponenttivalintoja teoriaan pohjautuen.

Aihe on rajattu CNC-plasmaleikkurin suunnitteluun ja toteutukseen. Leikkausparametrien kuten leikkuunopeuden käsittely sekä teräslevyä kannattelevan pöydän rakentaminen on rajattu työn ulkopuolelle.

3 CNC ohjaus

CNC ohjaus on tietokonepohjainen järjestelmä, jota käytetään työstökoneiden ohjaukseen, kuten esimerkiksi metallisorvi, jyrsinkone tai plasmaleikkuri. CNC-tekniikan avulla pyritään tuotannon automatisointiin. Automatisoinnilla pyritään tehokkaampaan tuotantoon. (Heinonen 2020, 87). CNC-tekniikan etuja ovat mm. tarkkuus ja toistettavuus, verrattuna manuaaliseen työstöön. Yksi operaattori pystyy myös operoimaan useampaa konetta tarvittaessa, joka lisää tuottavuutta vähentyneiden työvoimakustannusten johdosta.

CNC koneita ohjataan G koodilla, joka on CNC-koneiden ohjaukseen tarkoitettu ohjelmointikieli, jota käytetään laajasti CNC koneissa ympäri maailmaa. G-koodi koostuu kolmen laisista peruskomennoista, jotka ovat:

G-Komennot

G-komennot ovat itse toimintoja, kuten linjan tai kaaren piirtäminen. Esimerkiksi G01 on lineaarisen interpoloinnin komento, joka liikuttaa työkalua suoraa linjaa pitkin määriteltyyn pisteeseen. G-komentoja on kahden tyyppisiä modulaarisia ja ei modulaarisia. Ei modulaarinen koodi on voimassa vain niissä lauseissa, joissa se on annettu ja modulaarinen on voimassa niin kauan, että seuraava G-koodi annetaan. (Pikkarainen, E, 1999, 81).

M-Komennot

M-komennot ovat laitekohtaisia toimintoja, esimerkiksi plasmapolttimen päälle asettaminen (M03)

Koordinaatit ja Parametrit

Ohjelma sisältää X-, Y- ja Z-akselien koordinaatit, jotka määrittelevät työkalun sijainnin ja liikkeen. Lisäksi nopeuden määrittämiseen käytetään F komentoa, jossa F kirjainta seuraava luku on syöttönopeus.

G koodi esimerkki

Alla olevassa kuviossa on esimerkki todella yksinkertaisesta G-koodista (ks. kuvio 1), joka piirtää 100x100 neliön ilman mitään hienouksia, kuten suuttimen koosta aiheutuvan railon leveyden kompensointia ja pystyakselin eli Z-akselin liikkeitä.

```
G21 ; Asetetaan mittayksiköksi millimetrit
G90 ; Absoluuttinen ohjelmointi
G92 X0 Y0 ; Asetetaan nykyinen sijainti aloituspisteeksi

M3 ; Plasman sytytys
G4 P1 ; Odota sekunti, että plasmasuihku ehtii puhkaista levyn

G0 X0 Y0 ; Siirry aloituspisteeseen
G1 X0 Y100 F1000 ; Y akseli +100mm asetetaan syötöksi 1000mm/min
G1 X100 Y100 ; X akseli +100mm
G1 X100 Y0 ; Y akseli -100
G1 X0 Y0 ; Palaa takaisin aloituspisteeseen

M5 ; Sammuta plasma
```

Kuvio 1. G-koodi esimerkki

4 CNC-koneiden ohjausjärjestelmät

Valmiissa CNC-koneissa on yleisesti valmistajan oma, CNC-käyttöön erityisesti suunniteltu ohjausjärjestelmä, jossa näyttö ja näppäimistö integroituna. Tällaiset järjestelmät tarjoavat käyttäjäystävällisen käyttöliittymän ja monipuoliset toiminnallisuudet suoraan koneessa. On olemassa myös PC pohjaisia ohjausjärjestelmiä, joissa PC ohjaa moottoreita halutun työstöradan mukaan. PC pohjaisia ohjelmistoja ovat esimerkiksi Mach 3 ja LinuxCNC. Ohjelmistoja on olemassa todella paljon, mutta edellä mainitut ovat yleisiä ja laajasti tunnettuja.

PC:n ohjatessa CNC-konetta PC:n ja moottorinohjaimien väliseen kommunikointiin voidaan käyttää LPT-porttia eli vanhanaikaista printteriporttia, johon kytketään kaapeli, jota pitkin viedään anturitiedot, lähdöt ja moottoreiden ohjauspulssit piirikortille, josta signaalikaapelit viedään edelleen moottorinohjaimille, toimilaitteille ja antureille. Toinen tapa käyttää PC:tä ohjaukseen on se, että PC kommunikoi CNC koneeseen asennetun kortin kanssa Ethernetia käyttäen. CNC-koneessa oleva kortilta jaetaan vastaavalla tavalla signaalit. Etuna Ethernet kortissa on yleisesti ottaen monipuolisemmat toiminnot ja laajennettavuus. Esimerkiksi MESA:n valmistamiin Ethernet kortteihin on saatavilla laajennus kortteja, joilla saadaan tarpeen mukaan lisää toimintoja toteutettua.

CNC-koneissa käytetyt moottorityypit

CNC-koneiden liikkeiden voimanlähteenä käytetään tyypillisesti servomoottoreita. Servomoottori on moottori, jota ohjataan takaisinkytkennän avulla. Tämä tarkoittaa, että moottorin asema ja nopeus mitataan jatkuvasti ja vertaillaan haluttuun nopeuteen ja asemaan. Takaisinkytkennän avulla moottorin ohjausjärjestelmä voi tehdä tarvittavat korjaukset sen toimintaan. Servomoottoreita käytetään tyypillisesti sovelluksissa, joissa vaaditaan tarkkaa liikettä ja nopeaa reagointia, kuten robotiikassa, CNC-koneissa ja teollisuusautomaation laitteissa.

Toinen käytetty moottorityyppi on askelmoottori. Askelmoottori on sähkömoottori, joka liikkuu askelittain. Se jakaa täyden kierroksen useisiin tasakokoisiin askeliin, ja sen asema voidaan määrittää tarkasti askelimpulssien lukumäärän avulla. Askelmoottorit ovat suosittuja sovelluksissa, joissa tarvitaan tarkkaa paikoitusta eikä vaadita takaisinkytkentää tai kovia kierrosnopeuksia. Askelmoottorit ovat yleisesti ottaen huomattavasti edullisempia kuin servomoottorit. (Lackey 2018.)

5 CNC-koneiden voimansiirto

CNC-koneissa moottoreiden tuottama voima halutaan muuttaa lineaariliikkeeksi ja tähän tarkoitukseen tarvitaan voimansiirto, joka toteuttaa pyörimisliikkeen muutoksen lineaariliikkeeksi. Yleisimpiä toteutustapoja ovat hammastanko ja ratas yhdistelmä, kuularuuvi ja trapetsikierre.

Hammastanko ja ratas -yhdistelmä tarjoaa ratkaisun sovelluksiin, joissa vaaditaan suuria nopeuksia ja kestävyyttä. Tämä järjestelmä on yksinkertainen, kestävä ja kustannustehokas, mikä tekee siitä hyvän ratkaisun suurikokoisiin ja raskaisiin CNC-koneisiin. Haittapuolena on kuitenkin tarkkuuden heikkeneminen, koska järjestelmässä voi esiintyä välystä, mikä vaikuttaa negatiivisesti tarkkoihin työstösovelluksiin.

Kuularuuvit taas tarjoavat erittäin korkean tarkkuuden ja toistettavuuden, mikä tekee niistä parhaan valinnan sovelluksiin, joissa tarvitaan erittäin tarkkoja liikkeitä. Alhaisen kitkan ansiosta ne tarjoavat tasaisen ja tehokkaan voimansiirron, mutta toisaalta kuularuuvit ovat kalliimpia ja vaativat enemmän suojausta pölyä ja likaa vastaan kuin muut vaihtoehdot. (Anselmo 2010.)

Trapetsiruuvit ovat kustannustehokkaita ja kestäviä raskaita kuormia vastaan, mutta ne kärsivät korkeammasta kitkasta ja alhaisemmasta nopeudesta, mikä rajoittaa niiden käyttöä korkean tarkkuutta ja nopeutta vaativissa sovelluksissa.

6 CAD / CAM ohjelmistot

Nykyään G-koodi luodaan useimmiten CAM-ohjelmistoilla käsin kirjoittamisen sijaan. CAM-ohjelmistot ottavat CAD-ohjelmistolla piirretystä kuvasta ja luovat siitä työstöradan, jonka ne mukauttavat konetyypille sopivaksi post-prosessorin avulla. Post-prosessori mahdollistaa konekohtaiset asetukset, kuten esimerkiksi CNC-plasmaleikkurin tapauksessa polttimen nollauksen levyn pintaan anturia käyttäen ennen leikkuun aloitusta.

CAM ohjelmiston käyttö parantaa huomattavasti tehokkuutta ja tarkkuutta, koska se automatisoi monia manuaalisia vaiheita ja vähentää virheiden mahdollisuutta. CAM-ohjelmistot voivat myös optimoida työstöratoja ja -parametreja, mikä johtaa parempaan suorituskykyyn ja lopputulokseen. (CAD / CAM software. N.d)

7 Plasmaleikkaus verrattuna muihin menetelmiin

Tässä käsitellään leikkausmenetelmiä, joita olisi mahdollista hyödyntää kiinnittämällä leikkuupää rakennettavaan CNC-koneeseen ja vertaillaan niitä valittuun leikkausmenetelmään eli plasmaleikkaukseen. Vertailussa kiinnitetään huomiota lähinnä kustannuksiin, leikkuutarkkuuteen ja nopeuteen.

7.1 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on metallien leikkausmenetelmä, joka käyttää plasmakaarta metallin sulattamiseen ja leikkaamiseen. Leikkaus tapahtuu elektrodin ja työkappaleen välille syntyvän valokaaren vaikutuksesta. (Plasmaleikkaus. N.d.) Plasmaleikkuri tuottaa erittäin kuumaa ja keskitettyä plasmakaarta. Kun kaari koskettaa metallia, se sulattaa metallin ja voimakas ilmavirta puhalttaa sulaneen metallin pois leikkauskohdasta.

Materiaalit: Plasmaleikkaus soveltuu käytännössä kaikille sähköä johtaville materiaaleille.

Nopeus: Nopeampi kuin polttoleikkaus monissa sovelluksissa, erityisesti ohuemmissa materiaaleissa.

Leikkauslaatu: Tuottaa suurempaa lämpömuokkausaluetta kuin laserleikkaus, mikä voi vaatia jälkikäsittelyä.

Kustannus: Yleensä edullisempi käyttöön verrattuna laserleikkaukseen, erityisesti paksujen materiaalien kohdalla.

7.2 Laserleikkaus

Materiaalit: Monipuolinen, voi leikata sekä metalleja että muita materiaaleja, mukaan lukien muovit ja puu.

Nopeus: Erittäin tarkka ja nopea, erityisesti ohuissa ja keskipaksuissa materiaaleissa.

Leikkauslaatu: Tuottaa erittäin tarkan leikkausreunan ja pienen lämpömuokkausalueen.

Kustannus: Laitteiston ja käytön kustannukset ovat yleensä korkeammat kuin plasmaleikkauksessa.

7.3 Vesileikkaus

Materiaalit: Erittäin monipuolinen, voi leikata lähes mitä tahansa materiaalia, mukaan lukien metallit, kivi, lasi ja muovit.

Nopeus: Nopeus on yleensä hitaampi kuin laser- tai plasmaleikkauksessa.

Leikkauslaatu: Ei aiheuta lämpömuokkausaluetta, jolloin materiaalin ominaisuudet säilyvät muuttumattomina.

Kustannukset: Käyttökustannukset voivat olla korkeat, erityisesti korkeapainepumppujen ja leikkuussa käytettävän hiekan osalta.

7.4 Polttoleikkaus

Materiaalit: Soveltuu pääasiassa hiiliteräksen leikkaamiseen.

Nopeus: Nopeus on yleensä hitaampi kuin plasmaleikkauksessa, erityisesti ohuemmissa materiaaleissa.

Leikkauslaatu: Leikkauslaatu ja tarkkuus ovat yleensä heikompia kuin muiden menetelmien.

Kustannukset: Alhaiset käyttökustannukset, mutta rajoittunut materiaalien ja paksuuden osalta.

7.5 THC – automaattinen polttimen korkeuden säätö

THC (Torch Height Controller) on laite, joka mittaa plasmaleikkurin kaarijännitettä. Mitä suurempi etäisyys plasmapolttimen ja materiaalin välillä on, sitä korkeampi on kaarijännite ja päinvastoin. Tämän mittauksen perusteella pystytään ohjaamaan plasmapolttimen korkeutta Z-akselia ajamalla siten, että etäisyys pysyy vakiona, vaikka levy ei olisi täysin suora tai suorassa X- tai Y-akseleiden suunnassa. (Plasma CNC and THC (torch height control) with PlanetCNC. N.d.).

Polttimen korkeuden säätöön kaarijännitteen mukaan on kolmen laisia laitteita:

- Digitaaliset UP, DOWN ja ARC OK signaalit ohjauslogiikkaan antavia, joiden avulla ohjauslogiikka tietää ohjata poltinta ylös tai alas.

- Suoraan moottorinohjaimelle meneviä pulsseja manipuloivia, joissa THC itse ohjaa Z-akselin moottoria leikkuun aikana.

- Plasman kaarijännitteen muuntimilla toteutettuja, jotka muuntavat kaarijännitteen ohjauskortin lukemaan muotoon, jonka jälkeen mittausta voidaan käyttää säätöön.

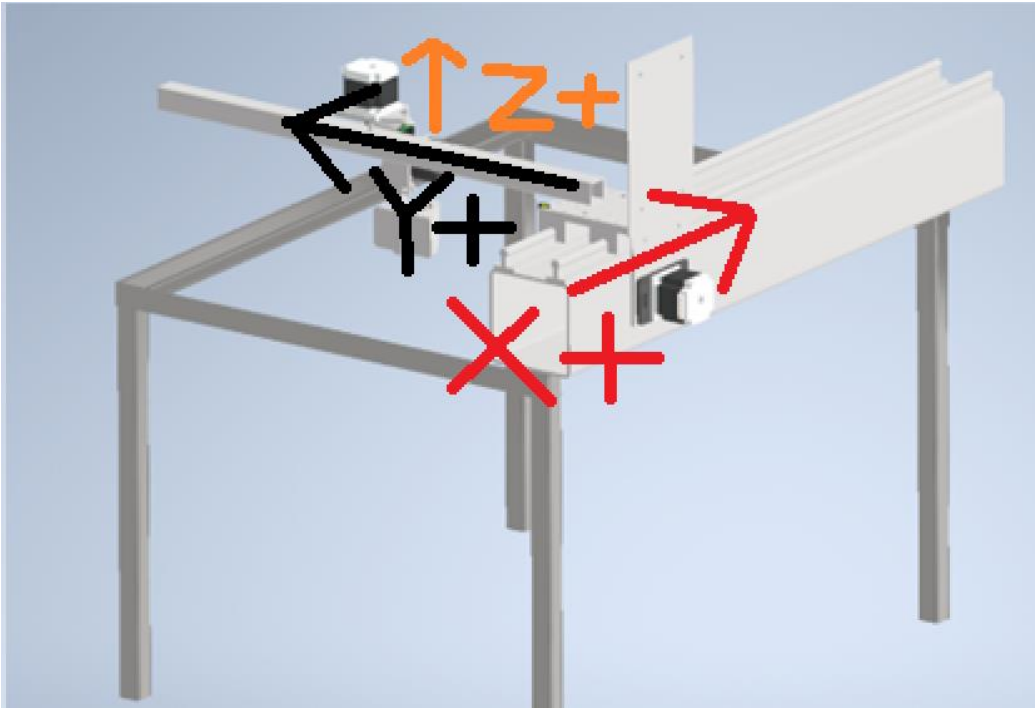
8 Mekaniikan suunnittelu ja toteutus

Mekaniikan suunnittelussa arvioitiin erilaisten runkorakenteiden soveltuvuutta tarkastelemalla olemassa olevia koneita ja tekemällä runkorakenteesta 3D malli. Lähtökohtana oli se, että mekaanisen toteutuksen pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja kustannustehokas toteuttaa. Mekaniikka suunniteltiin siten, että tekniikka eli koneen liikkuvat osat sekä ohjausjärjestelmä on irrotettavissa yhtenä pakettina.

Liikkeiden toteutuksessa päädyttiin ratkaisuun, että yhdessä runkopalkissa on X-akselin johteet kiinni. X-akselin johteilla kulkevissa kelkoissa on kiinni pienempi neliöputkipalkki 90 asteen kulmassa X-akseliin nähden ja tässä putkipalkissa on Y-akselin johde kiinni. Y-akselin johteella kulkevassa kulkassa on kiinni Z-akseli, jonka kulkassa poltin on kiinni.

Tällaisessa toteutuksessa Y-akseli on tuettuna vain toisesta päästä, mutta Y-akselin liikkeen ollessa ainoastaan 500mm liikkeeltään ei tuentaa molempiin päihin tarvita. Lisäksi etuna tässä toteutuksessa on se, että levyä kannatteleva pöytä on mahdollista pitää täysin erillisenä osana, johon runkopalkki liitetään pulttiliitoksien.

Johteina päätettiin käyttää kuulajohteita. Kuulajohteiden kitkakerroin on noin 1/50 osa perinteiseen johteeseen verrattuna, kitkakerroin on tyypillisesti noin 0.005-0.01 (COLLINS. N.d.) Kuviossa 2 on esitetty rakenne ja akseleiden liikesuunnat.



Kuvio 2 Inventorilla piirretty 3D malli

8.1 Voimansiirron toteutus

Voimansiirtotavaksi valittiin X- ja Y-akseleille hammastanko ja ratas, koska toteutustapa on yksinkertainen, edullinen ja sillä saavutetaan riittävä nopeus. Kuularuuvilla toteutettuna liike olisi tarkempi, mutta koneen liike / moottorin kierros on pienempi kuularuuvia käytettäessä joten ratas hammastanko yhdistelmällä päästään suurempaan nopeuteen. Etenemän ollessa suurempi / moottorin kierros teoreettinen tarkkuus heikkenee, mutta kokemuksen mukaan tavanomaisella plasmaleikkurilla toteutettuna suurempi virhe lopputuotteessa tulee itse plasmaleikkurin säädöistä sekä leikkausparametreistä, joten ei ole niinkään väliä onko pöydän teoreettinen toistotarkkuus 0.01mm vai 0.05mm. Z-akselilla voimansiirto toteutettiin trapetsiruuvia käyttämällä, koska se on Z-akselin lyhyelle liikkeelle yksinkertaisempi toteuttaa eikä trapetsiruuvien käytöstä johtuva pienempi maksiminopeus haittaa liikematkan lyhyyydestä johtuen.

Runkopalkin koneistus

Runkopalkin koneistukseen käytettiin manuaalijyrsintä sekä tasopintojen oikomiseen että reikien poraamiseen. Poraamisessa käytettiin apuna CAD mallista saatuja reikien koordinaatteja ja digitaalisia mittalaitteita. Alapuolella kuviossa 3 on esitetty kuva koneistetusta runkopalkista.



Kuvio 3 Koneistettu runkopalkki

8.2 Moottoreiden valinta

Moottoreina käytetään tässä projektissa askelmoottoreita niitten edullisen hinnan takia. Moottoreiden mitoittamisessa ja valinnassa täytyy ottaa huomioon lähinnä moottorin paikoitustarkkuus ja momentin tuotto. Askelmoottoreissa on yleisesti moottorin koosta riippumatta 200 askelta / kierros, mutta tarkkuutta pystytään lisäämään mikroaskelluksella, jonka avulla moottorinohjain pilkkoo askeleet pienempiin osiin. Mikroaskellusta käyttämällä saadaan tasaisempi liike ja parempi paikoitustarkkuus. Käyttämällä esimerkiksi edullista TB6600 moottorinohjainta voidaan käyttää maksimissaan 6400 askelta per kierros, joka tarkoittaisi 47mm lineaarisella etenemällä / moottorin kierros noin 7 millin tuhannesosan teoreettista paikoitustarkkuutta. Momentin tarvetta käsitellään ja lasketaan seuraavassa osiossa.

Lasketaan ensin X liikkeen tuottamiseen tarvittava momentti.

- Kelkan paino: $m=8\text{kg}$
- Haluttu kiihtyvyys: $a= 3\text{m/s}^2$
- Etenemä yhdellä moottorin kierroksella: Etenemä=48mm
- Kuulajohteen kitkakerroin: $F_{\text{kitka}}= 0.005$
- Putoamiskiihtyvyys 9.81m/s^2
- Haluttu maksiminopeus 15m/min

$$F = ma.$$

Kiihdytykseen tarvittava voima ilman kitkaa = 24N

$$F_{\text{kitka}} = \mu \times m \times g$$

Kitkavoima = 0.39N

$$F_{kok} = F_a + F_{kitka}$$

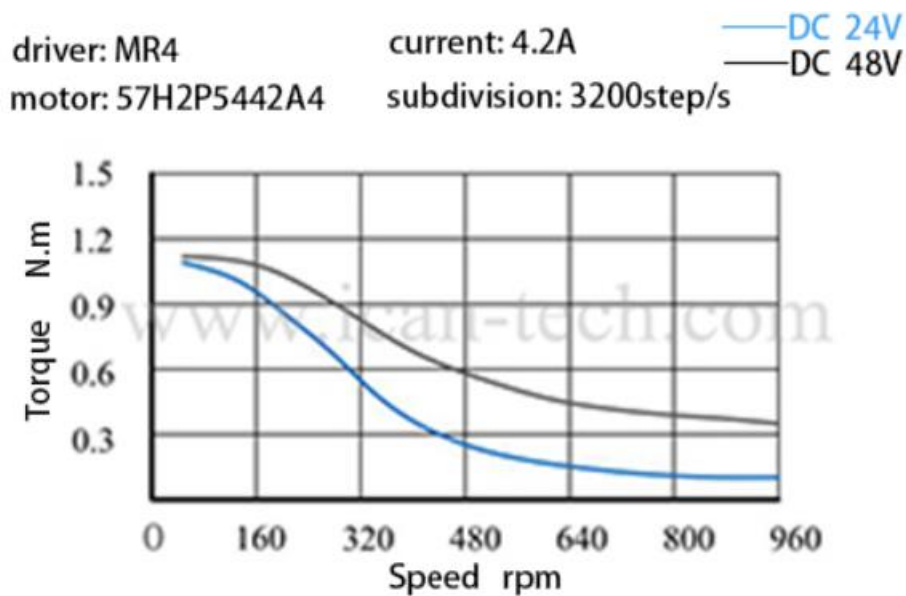
Kokonaisvoima = 24.39N

$$T = \frac{F_{kok} \cdot Etenemä}{2\pi}$$

Tarvittava momentti = 0,194Nm

Varmistuskerroin 2.5 kerrottuna noin. 0.5Nm

Tämän jälkeen tarkastelin minkälaisia moottoreita olisi saatavilla kohtuuhintaan sekä mitä moottoreita löytyisi valmiiksi hyllystä. Omasta varastosta löytyi moottorit ja ohjaimet joiden momentti-käyrä on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4 Moottoreiden vääntökäyrä (Ican Motor N.d)

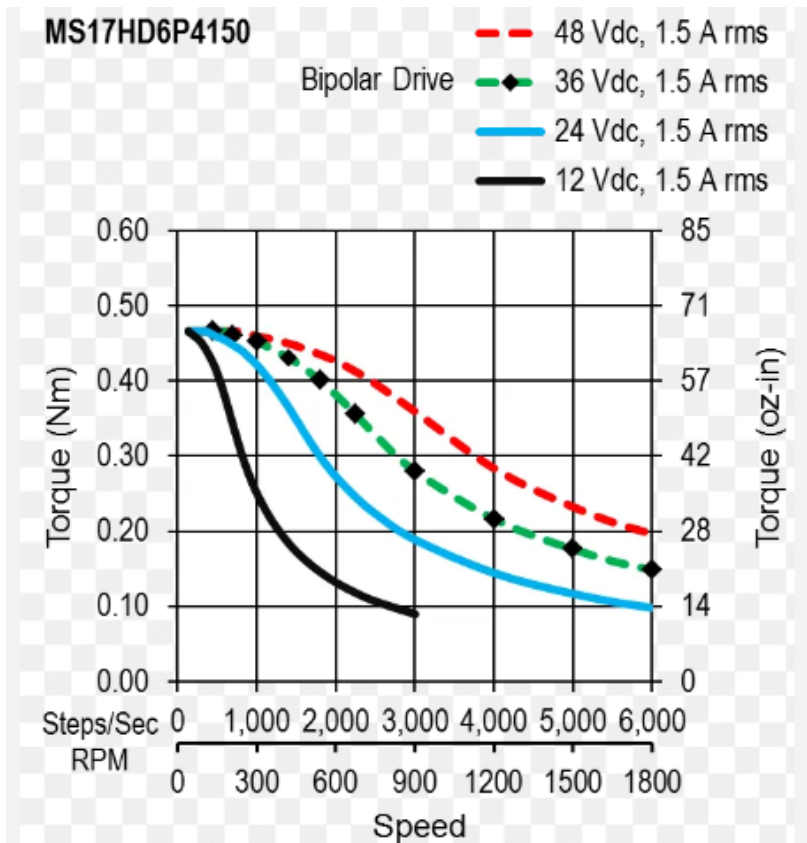
Kuvaajasta lukemalla selviää, että askelmasta saadulla 0.5Nm Moottori voitaisiin kiihdyttää halutulla kiihtyvyydellä, 3A virralla ja 24V jännitteellä noin. 500rpm asti ennen kuin moottorin tuottama momentti on pienempi, kuin kuorman vaatima momentti varmuuskertoimineen. Eli X liike pystyttäisiin kiihdyttämään yli 20000mm/min, joka on tässä tapauksessa enemmän kuin riittävä. 3mm teräslevylle suositeltu leikkuunopeus on 6000mm / min (Hypertherm. N.d). 3mm teräslevy on ohuimpia levyjä, mitä todennäköisesti tulen leikkaamaan, joten suurempaa nopeutta ei leikkaamiseen tarvita. Toki nopeat pikaliikkeet nopeuttavat ohjelman suoritusta esimerkiksi siirryttäessä seuraavaan levyn puhkaisukohtaan. Y akselilla etenemä / kierros on sama, kuin X-akselilla, mutta kelkan massa pienempi, joten samanlainen moottori riittää hyvin myös Y-akselille. Z-akselilla nopeuden ja kiihtyvyyden tarve on huomattavasti vähäisempi, koska liike on niin lyhyt (70mm) Momentin tarpeen laskukaava on muuten täysin sama, mutta on otettava huomioon myös painovoimasta aiheutuva lisämomentin tarve nostoliikkeessä. 16.6 mNm eli 0.0166Nm Samaa varmuuskerrointa 2,5 käyttämällä saadaan momentin tarpeeksi noin 0.42Nm

Z akselin momentin tarpeen määrittämisessä käytettiin seuraavia arvoja

Haluttu kiihtyvyys 600mm/s²

Haluttu nopeus 2000mm/min

Moottoriksi valitsin varastosta löytyneistä moottoreista kompaktin kokoisen moottorin, jonka momenttikäyrä on esitetty alla olevassa kuviossa (kuvio 5).

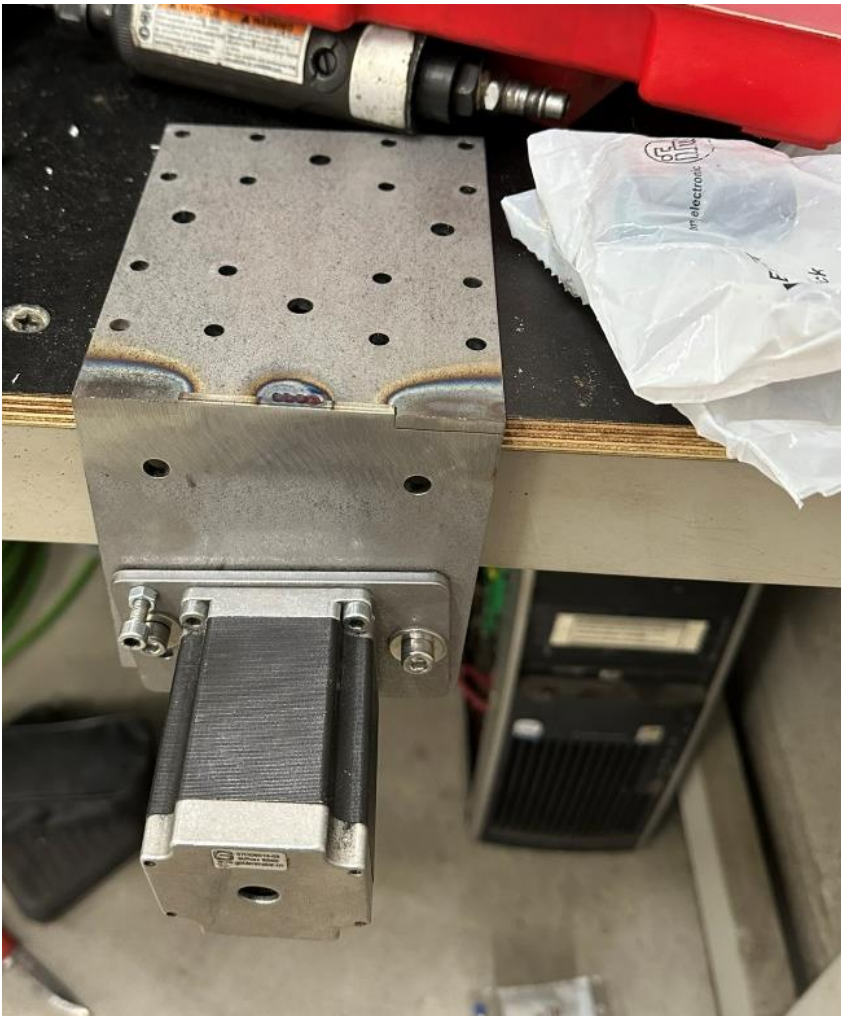


Kuvio 5 Z moottorin momenttikäyrä (Symtek N.d)

Kuvaajasta voidaan todeta, että momentti riittää noin 280rpm nopeuteen, joka on enemmän kuin Z-akselilla tarvittu nopeus. Laskennat ovat kuitenkin epätarkkoja, koska esimerkiksi johteiden linjausvirheestä johtuen kitkakerroin saattaa olla huomattavasti korkeampi, joka on yksi syy käyttää varmuuskerrointa. On erityisen tärkeää, että moottoreiden tuottama momentti riittää varmasti käytettäessä askelmoottoreita ilman takaisinkytkentää, koska mikäli jossain tapauksessa moottorin kuorma on suurempi kuin tuotettu momentti moottori ei liiku sille määritettyjä askeleita. Tämän seurauksena paikkatietoon tulee virhettä ja koneen toistotarkkuus heikkenee.

8.3 Moottorikiinnikkeiden suunnittelu ja valmistus

Moottorikiinnikkeiden suunnittelu on yksi keskeinen osa mekaniikkaa hammastankoa käytettäessä, koska hammastanko on vaikea saada täysin suoraan ja kulumisesta aiheutuu helposti välystä, joka näkyy leikattavissa kappaleissa. Tämä ongelma voidaan ratkaista ainakin suurimmilta osin asentamalla moottori siten, että moottorin akselilla olevaa ratasta vedetään jousella kohti hammastankoa. Tässä projektissa se toteutettiin kääntyvällä kiinnikkeellä, joka on näkyvissä kuviossa 6.



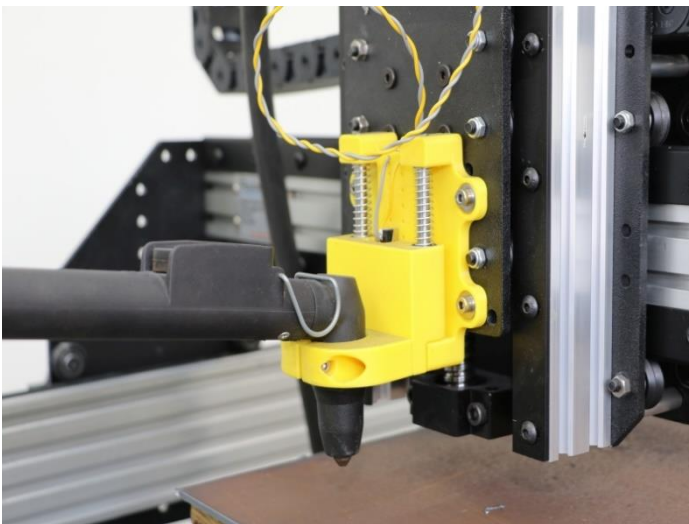
Kuvio 6 X-akselin moottorikiinnike

8.4 Z-akseli

Z-akseli on akseli, jolla säädetään plasmapolttimen korkeutta. Z akselista täytyi tehdä mahdollisimman kevyt, koska palkki jossa Z-akseli on kiinni ei ole tuettuna kuin toisesta päästä. Z-akselissa käytettiin johteina 10mm pyöröjohteita ja 10mm trapetsiruuvia moottorin pyörinnän muuttamiseksi lineaariliikkeeksi.

Plasmaleikkauksen aikana THC:lla varustettu CNC-plasmaleikkuri säättää polttimen korkeutta automaattisesti, mutta polttimen ollessa pois päältä ennen leikkuun aloitusta levyn pinnankorkeus täytyy hakea anturitietoa käyttäen, koska polttimen ollessa pois päältä ei saada kaarijännitteestä mitaustietoa, jonka avulla voitaisiin tietää polttimen korkeus.

Polttimen nollaus anturointi toteutettiin siten, että Z-akselin liikkuvaan kelkkaan lisättiin ”kelluva” osa, jossa poltin on kiinni. Käytännössä tämä toteutettiin lineaarijohteella, jousella ja mikrokytkimellä. Poltinta nollattaessa poltin ajetaan päin levyä, jolloin ”kelluva” osa joustaa ja anturi vaikuttaa. Tämän jälkeen Z akselia ajetaan ohjelmassa määritellyn parametrin verran ylöspäin, jonka jälkeen nollaus tehdään. Kuviossa 7 periaatekuva ”kelluvasta” osasta.



Kuvio 7. "kelluva" Z-akseli (Plasma CNC and floating Z axis with PlanetCNC. N.d)

8.5 Kokoonpano

Kokoonpanossa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon pulttiliitoksia, että osat voitaisiin tarvittaessa vaihtaa uusiin niiden kuluessa. Alla olevassa kuviossa näkyy runko lähes valmiiksi asti kokoonpantuna.

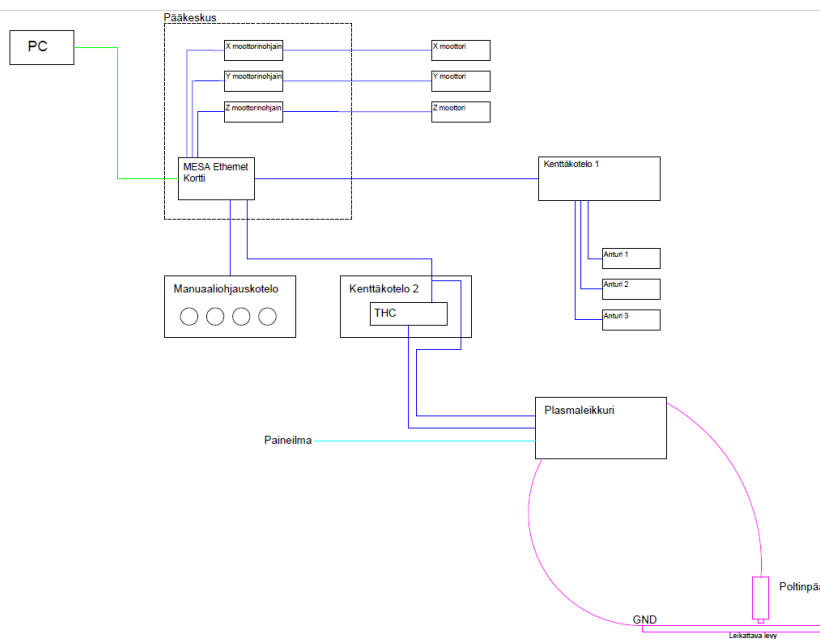


Kuvio 8. Rungon kokoonpano

9 Ohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

9.1 Ohjauskortin valinta

Ohjauksessa käytettiin PC tietokonetta, koska se mahdollistaa sen, että voidaan mallintaa mallintaa, tehdä työstörata ja ajaa kappale samaa tietokonetta käyttäen. Tietokoneeseen asennettiin ilmainen linuxCNC ohjelmisto ja Ohjauskorttina käytettiin MESA 7i96s korttia, joka antaa moottorin ohjaimille pulsseja, joiden avulla moottorinohjaimet ohjaavat moottoreita. Tämä nimenomainen kortti valikoitui siksi, että se on kohtuuhintainen ohjauskortti riittävällä määrällä digitaalisia tuloja ja lähtöjä. Lisäksi MESA kortit ovat LinuxCNC yhteensopivia ja niistä löytyy runsaasti käyttäjäkokemuksia. MESA 7i96s kortilla olisi mahdollista ajaa 5 akselia, joten kaksi jää ainakin toistaiseksi käyttämättä. Tuloja ja lähtöjä on mahdollista lisätä tarvittaessa ostamalla laajennuskortti ja liittää se edellä mainittuun korttiin. Kuviossa 9 on havainnollistettu ohjausjärjestelmän rakennetta.



Kuvio 9 Periaatekuva ohjauksesta

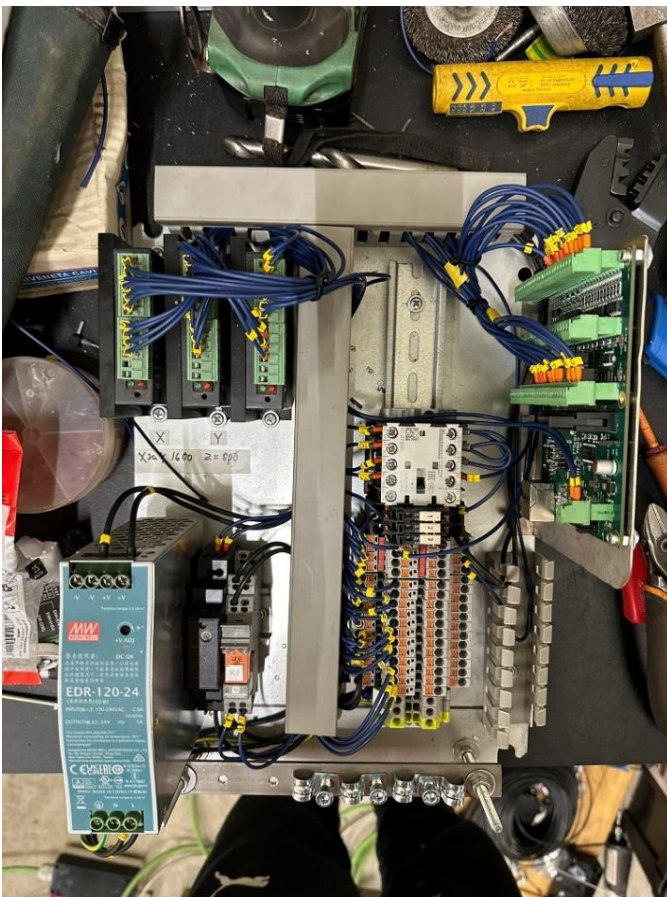
Koneeseen päätettiin lisätä myös painonappikotelo X- ja Y-akselien manuaaliajoa varten, koska nappikoteloä käyttäessä on helpompi nähdä koneen liikkeit yhtäaikaaisesti kuin tietokoneen kautta konetta ajaessa. Nappikotelo helpottaa esimerkiksi silloin, kun nollakohta halutaan asettaa levyvaihdon jälkeen uudelleen.

9.2 Sähkökeskuksen suunnittelu ja valmistus

Sähkökeskus kasattiin teräskoteloon kotelon mekaanisen kestävyiden ja EMC suojauksen takia.

Keskukseen asennettiin maadoitettu kisko, johon kytkettiin kaapelien vaipat.

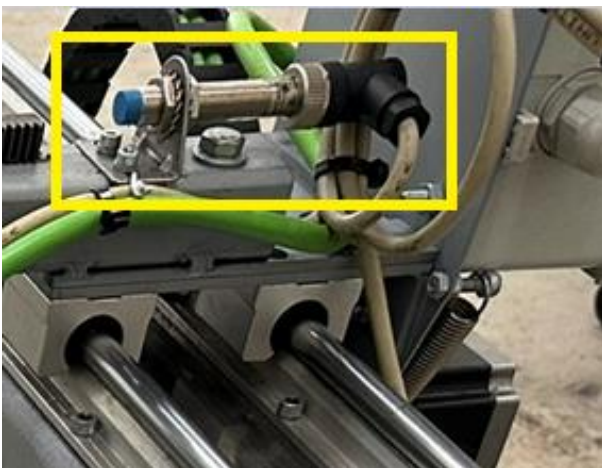
Johdotuksessa käytettiin johtokourua siistin lopputuloksen saamiseksi. Asennuskaapeleita varten asennettiin riviliittimet, jotta mahdollisimman suuri osa työstä olisi tehty jo pohjalevyn asennukseen mennessä. Kuviossa 7 havainnollistettu pohjalevyn rakenne.



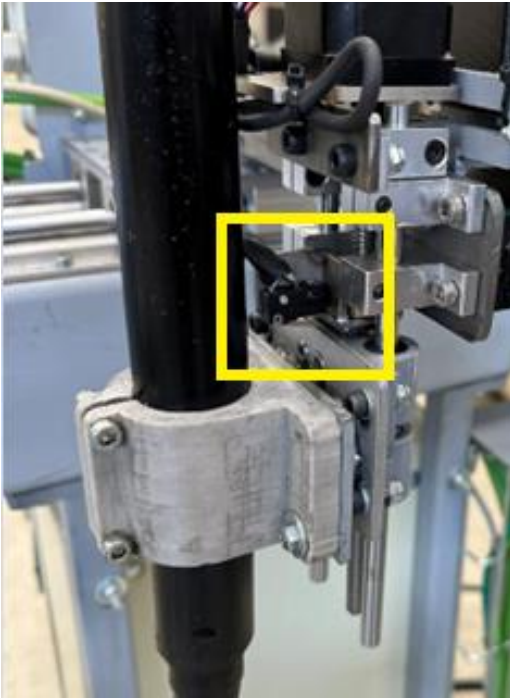
Kuvio 10 Keskukseen asennettava pohjalevy

9.3 Anturointi

Antureiksi tarvittiin kotiasema anturit, joiden avulla kone ajaa referenssiasemaan. Näin kone varmistaa paikkatietonsa aina käynnistettäessä. Tähän tarkoitukseen käytettiin induktiivisia lähestymisantureita (ks. kuvio 8), jotka eivät vaadi kosketusta vaikuttuakseen, vaan tunnistavat metallisen kohteen läheltä. Induktiivista M12 anturia käytettäessä anturi tunnistaa kohteen maksimissaan noin 8mm päästä. Z akselille rakennettiin anturointi, jonka avulla tunnistetaan leikattavan levyn pinnankorkeus (ks. kuvio 9). Tunnistus tapahtuu siten, että poltin ajetaan hitaalla vauhdilla levyä päin. Tämän jälkeen polttimeen rakennettu joustava osa joustaa ja jousto saa mikrokytkimen vaikuttamaan. Vaikuttumisen jälkeen poltinta ajetaan LinuxCNC:ssä asetetun parametrin verran ylöspäin puhkaisukorkeuteen, jonka jälkeen ohjelma asettaa polttimen päälle ja pystyy aloittamaan leikkaamisen.



Kuvio 11 Levyn korkeusanturi



Kuvio 12 Induktiivinen kotiasema anturi

9.4 Kaapelointi

Kaapelien valinnassa täytyy ottaa erityisesti huomioon häiriösuojaus, koska plasmaleikkuri aiheuttaa paljon sähköisiä häiriöitä ympäristöönsä. Käyttämällä suojattua symmetristä kaapelia, häiriöt saadaan pysymään pois järjestelmästä. Kaapelin suojavaipan on oltava jatkuva, esimerkiksi kytkentäkotelolla kaapelia jatkettaessa täytyy pitää huoli, että suojavaippa jatketaan toimilaitteelle asti. (Koivisto, Ylinen, Björkman, Honkala, Marttila, Kettunen, Konttinen & Taimisto 2018). Kaapelien vaipat kytkettiin maadoitettuun rimaan. Havainnollistettu kuviossa 11.



Kuvio 13 Kaapelit kytkettynä

Kaapeloinnissa käytettiin pääasiassa 4x2x1 taipuisaa parikierrettyä kaapelia, joka on sekä erilliset että yhteissuojattu. Lisäksi kaapeli on taipuisaa, joten sitä pystytään käyttämään energiansiirtoketjussa. Samaa kaapelia pystyttiin moottoreiden pienestä koosta johtuen käyttämään signaalitietojen lisäksi myös moottoreiden kaapelointiin, koska koneessa käytetyille moottoreille riittää sama johtimen poikkipinta-ala kuin antureille. X kelkkaan asennettiin kytkentäkotelon, josta jaettiin anturorinnit sekä moottorikaapelit Y ja Z akseleille, jotta kaikkia signaali- sekä moottorikaapeleita ei tarvitse tuoda pääkeskuksesta asti, vaan voidaan käyttää runkokaapelia pääkeskuksen ja kytkentäkotelon välillä ja kytkentäkotelolla jakaa omat kaapelit antureille sekä toimilaitteille.

9.5 Turvatoiminnot

Turvatoiminnoiksi tarvittiin hätäseis piiri, joka pysäyttää kaikki liikkeet. Hätäseis painike täytyy olla aina käyttäjän ulottuvilla, jotta koneen liikkeet ja plasmapoltin pystytään pysäyttämään välittömästi, kun havaitaan vaaratilanne. Hätäseis voidaan painaa päälle joko LinuxCNC käyttöliittymässä tai painamalla fyysistä hätäseis painiketta. Turvapiirin tarkempi toiminta selitetty seuraavassa kappaleessa.

Turvapiiri rakennettiin siten, että painettaessa hätäpysäytystä LinuxCNC käyttöliittymässä kone lopettaa ohjelman suorituksen ja on valmis jatkamaan ohjelman suoritusta käyttäjän klikattua kuitausta LinuxCNC:ssä. Painettaessa fyysistä hätäseis painiketta turvarele lakkaa vetämästä katkais-ten jännitesyötön moottorinohjaimille sekä plasman ohjausjännitteen. Myös ohjauslogiikkaan tulee tieto turvapiirin katkeamisesta, joka pysäyttää ohjelman suorituksen vastaavalla tavalla, kuin ensimmäisessäkin skenaariossa. Fyysisen hätäseis napin painamisen jälkeen täytyy hätäseis piiri kuitata fyysisestä kuitauspainikkeesta (S10, PK1 kannessa) kuitaamisen jälkeen merkkivalo (H10, PK1 kannessa) pitäisi syttyä ja tämän jälkeen ohjelman suoritus on mahdollista käynnistää uudelleen kuitaamalla LinuxCNC:ssä ja painamalla starttia tietokoneen ruudulta. Liitteenä olevista piirikaavioista on myös mahdollista selvittää turvapiirin sähköinen toiminta (liitteet 1-9)

9.6 Plasmapolttimen ohjauksen ja THC toteutus

THC:n toteutukseen valittiin laite, jolle tuodaan kaarijännite plasmalta ja jolta saadaan digitaaliset signaalit CNC ohjausjärjestelmään, koska kyseiseltä laitteelta on saatavissa MOVE UP ja MOVE DOWN signaalien lisäksi myös ARC OK signaali, jota ei käyttämästäni plasmaleikkurista saa suoraan ulos. Asentamalla digitaalisilla signaaleilla varustettu THC plasmaleikkurin viereen ja pitämällä plasman kaarijännitteen mittausjohtimet mahdollisimman lyhyinä pystytään pitämään leikkuupöydän ohjauskoteloon tulevat häiriöt minimissä. Lisäksi käyttämästäni THC:sta (Proma 150) on runsaasti hyviä käyttäjäkokemuksia ja laitteen toimitusaika on lyhyt. Laite toimii seuraavalla tavalla:

-ARC OK signaali tämä kertoo ohjauslogiikalle, että plasman valokaari on syttynyt

-MOVE UP signaali kertoo, että polttimen täytyy liikkua ylöspäin.

-MOVE DOWN signaali kertoo, että polttimen täytyy liikkua alaspäin.

Itse laitteessa on säädöt jännitteelle, jolla ARC OK signaali annetaan, säätö viiveelle kaaren sytytyksen jälkeen, jolloin THC ei anna ohjaussignaalia ajaa ylös tai alas. todennäköisesti tämä parametri on sitä varten, että kaarijännite saattaa vaelttaa sytytyksessä, eikä polttimen korkeutta haluta säätää sytytyksen aikana sen mukaan. Lisäksi laitteelle pitää antaa kaarijännitteen tavoitearvo ja hystereesi eli suurin sallittu eroarvo tavoitejännitteeseen ennen kuin MOVE UP/MOVE DOWN signaali annetaan.

THC sähköinen toteutus

Plasmapolttimen ohjaus ja virtalähteestä tarvittava kaarijännite saadaan tässä tapauksessa virtalähteen takana olevasta ”CNC” liittimestä. Virtalähteen lähelle asennettiin kytkentäkotelo. (liitteenä olevissa piirikaavioissa kotelon tunnus KK2), jonne kaarijännitemittaus ja polttimen ohjaus pinnit tuotiin, koska ei haluttu tuoda plasman kaarijännitteessä olevia häiriötä samaan keskukseseen ohjauslogiikan kanssa. Lisäksi mittaus on tarkempi lyhyemmillä johtimilla.

10 Ohjelmistot

Ohjelmistona käytetään LinuxCNC ohjelmistoa. LinuxCNC on ilmainen ja sillä pystyy ajaa jopa 9 akselia. CAM ohjelmaksi valitsin SheetCAM:in, koska siitä löytyy itseltäni jo hyviä kokemuksia.

SheetCAM:ista on olemassa Linux versio, joka on ilmainen eikä siinä ole koodin rivimäärä rajoituksia. (Windows ilmaisversiossa rajoitus 180 riviä) Ensimmäiset CAD kuvat leikkeistä piirrän Invento-

rilla tai AutoCAD:illa, koska niistä löytyy kokemusta, mutta tarkoitus on ladata myös plasman ohjaustietokoneelle FreeCAD ohjelmisto. FreeCAD on ilmainen Linux yhteensopiva ohjelmisto, josta löytyy reilusti ominaisuuksia. Ohjelmistojen asentamisen jälkeen kappale saadaan nopeasti CAD kuvasta valmiiksi leikkeeksi ilman tiedonsiirtoa eri tietokoneiden välillä.

11 Käyttöönotto ja testaus

Sähköjen päälle kytkemisen jälkeen testattiin turvapiiri sähköisesti toimivaksi. Seuraavaksi luotiin koneelle oma LinuxCNC konfiguraatio, johon syötettiin tietoja kuten ohjauskortin tyyppi, IP osoite ja IO tiedot mikä pinni on kytketty mihinkin. Konfiguraation tekemisen jälkeen testattiin digitaaliset tulot ja lähdöt. Tulojen ja lähtöjen testauksen jälkeen testattiin moottorien pyörimissuunnat ja tehtiin suunnan muutos ohjelmasta tarvittaessa. Moottorinohjaimista on valittavissa montako askelta moottori ottaa yhdellä kierroksella. Tämän asetuksen säädin 1600 askeleeseen per kierros X ja Y akselilla. Z akselin asetin 800 askeleeseen per kierros. X ja Y akseleilla vetorattaan ollessa noin 15mm halkaisijaltaan etenemä on $15\text{mm} * \pi \approx 47\text{mm}$ asetettiin tämän LinuxCNC:hen etenemäksi / kierros ja testattiin koko liikematkan alueella, miten todellinen liikematkta vertautuu haluttuun liikematkkaan ja näiden erotuksesta korjauskertoimilla päästiin riittävään tarkkuuteen. Z-akselilla trapsiruvuin nousu on 10mm, josta saatiin laskettua pulssien määrä moottorin kierrosta kohden.

Liikkeiden kalibroinnin jälkeen testasin ajaa kotiasemaan eli akseleiden nollakohtaan, jossa induktiiviset lähestymiskytkimet sijaitsee. Onnistuneen kotiasemaan ajon jälkeen tehtiin ensimmäinen testiajo G koodilla. Ensimmäistä koodia ajettaessa ei vielä leikattu vaan ainoastaan ajettiin rata levyn päällä. Koska poltin ei ollut päällä niin THC oli pois päältä kaarijännitteen puuttumisen vuoksi. Kaikki näytti toimivan hyvin tässä kohtaa, joten seuraava askel oli testata THC:n kanssa. Ei kuitenkaan haluttu leikata vielä levyä vaan kytkettiin THC:n tilalle painonappikotelo, jolla pystyttiin

simuloimaan THC:lta saatavia signaaleja. Tällä ratkaisulla pystyttiin toteamaan, että signaalit toimivat oikein ja pystyttiin asettamaan silmämääräisesti sopiva nopeus polttimen korkeuden säätöön leikkuun aikana



Kuvio 14. Nappikotelo THC simulointia varten

Edellä mainittujen testien jälkeen tehtiin ensimmäiset testileikkuut 6mm teräslevylle. Paineilma säädetty noin 5bar, nopeus 1000mm/min ja leikkausvirta 50A.



Kuvio 15. Testileikkaus käynnissä

Testileikkeikkeitä tuli ensimmäisiksi testileikkeiksi hyviä. Samanlaisissa osissa, joita leikattiin kuusi kappaletta oli reikä, joka CAD kuvan mukaan piti olla 51mm halkaisijaltaan. Leikatuissa osissa reiän suurin poikkeama tavoitemitasta oli noin 0.5mm

12 Toistotarkkuus testi

Plasmaleikkurin virtalähteen ja polttimen valinta sekä leikkausparametrien testaus on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, vaikka edellä mainituilla asioilla voi olla merkittävää vaikutusta toistotarkkuuteen. Täytyy kuitenkin pystyä osoittamaan, että kone toimii riittävällä tarkkuudella siitä huolimatta. Myöhemmin käyttövaiheessa on mahdollista optimoida leikkuuparametrejä ja testata erilaisia polttimia leikkuujäljen ja tarkkuuden parantamiseksi.

Testissä testattiin, miten tarkasti kone pystyy leikkaamaan kuusi samanlaista kappaletta. Testileikkeet tehtiin 3mm teräslevystä ja muotona on yksinkertainen neliön muotoinen laippa, jossa on reikä keskellä. Osien mittaus suoritettiin digitaalisella työntömitalla. Työntömitan näytön erottelutarkkuus on 0.01mm ja valmistaja ilmoittaa mittaustarkkuudeksi $\pm 0,02$ mm. Tulokset näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Testileikkeiden mittaustulokset

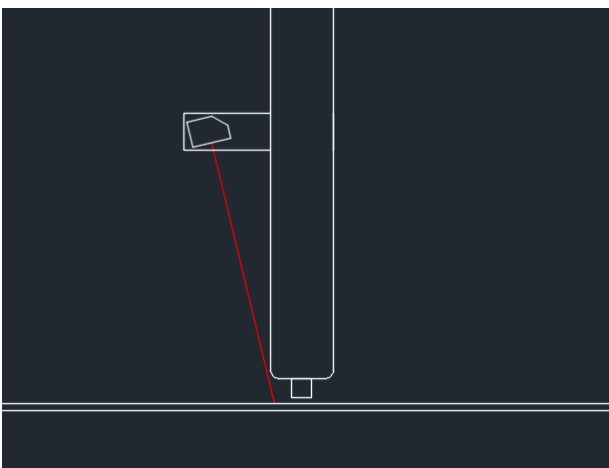
TESTILEIKKEET						
	Suunnitellut			Toteutuneet		
	X-tavoite-mitta	Y-tavoite-mitta	Reiän tavoite-mitta	X-suuntainen mitta	Y-suuntainen mitta	Reiän koko
OSA 1	70,00	70,00	40,00	69,85	69,46	40,35
OSA 2	70,00	70,00	40,00	69,99	69,86	40,34
OSA 3	70,00	70,00	40,00	69,96	69,84	40,18
OSA 4	70,00	70,00	40,00	69,90	69,32	40,14
OSA 5	70,00	70,00	40,00	69,80	69,61	40,33
OSA 6	70,00	70,00	40,00	69,72	69,32	40,49
Suurin poikkeama tavoitemittasta				0,28	0,68	0,49

Vaikuttaisi siltä, että leikkuri on tehnyt leveämmän leikkuurailon kuin pitäisi, koska ulkopuolelta leikatut osat eli ulkomitat ovat liian pieniä ja sisäpuolelta leikatut liian suuria. Railon oletettua suurempi leveys voisi johtua esimerkiksi väärin määritetystä leikkuurailon leveyden parametrasta tai väärästä leikkuunopeudesta. Leikkeiden tarkkuus täyttää kuitenkin odotukset jo nykyisellään.

13 Kehitysideat

13.1 Ohjausjärjestelmän kehittäminen

Aivan alun perin runko oli suunniteltu kaksi akseliseksi, jolloin puuttuvan Z akselin takia liikuteltava massa olisi ollut pienempi. Nyt kun koneessa on myös Z akseli Y akselin ollessa ajettu maksimiin + suunnassa eli mahdollisimman kaukana kiinnityspisteestä poltinta nollatessa Y akselin runko jous-
taa silminnähden. Asia ei ole sinällään vaikuttanut leikkuujälkeen huomattavasti, mutta se saattaa kuluttaa koneen mekaanisia osia liiaksi, joten suunnittelin käyttäväni polttimen nollaukseen koh-
teesta heijastavaa valokennoa. Valokennoa käytettäessä poltinta ei tarvitsisi ajaa lainkaan levyyn kiinni ja tällöin mekaniikkaa ei tarvitsisi rasittaa kohtuuttomasti. Mahdollisia ongelmia valokennon käytössä voi kuitenkin tulla vaihtelevista materiaaleista, jotka voivat vaikuttaa tunnistusetaisyys-
teen. Polttimen nollauksen avulla saatu aloituskorkeus, ei kuitenkaan ole mahdottoman kriittinen käytettäessä THC:tä, koska nollauskorkeus vaikuttaa ainoastaan levyä puhkaistaessa, koska kaari-
jännitteen ollessa päällä THC säättää polttimen korkeutta. Toinen mahdollinen ongelmaksi muo-
dostuva tekijä on leikkauksesta aiheutunut pöly. Anturin linssin pölyntyessä anturi ei välttämättä tunnista levyä ja ajaa sitä päin. Pahimmat törmäystilanteet voitaisiin välttää sillä, että nykyinen nollausanturi pidettäisiin toiminnassa, jolloin kone pystyisi nollaamaan polttimen tarvittaessa myös nykyisellä tavalla valokennoanturin ollessa likainen. Alla olevassa kuvassa havainnollistettu valokennoanturin käyttöä.



Kuvio 16. Periaatekuva valokennoanturin käytöstä

13.2 Moottoreiden vaihtaminen takaisinkytkennällä varustettuihin

Paikkatieto on pysynyt toistaiseksi hyvin osia leikatessa, mutta tehdäkseen koneesta varmemman, voisi käyttää moottoreita, joissa on takaisinkytkentä. Se onnistuisi melko helposti, koska saatavilla on takaisinkytkennällä varustettuja moottoreita, jotka sopivat suoraan samoihin kiinnikkeisiin ja moottorinohjaimetkin mahtuisivat nykyisten tilalle. Mahdollisesti energiansiirtoketjut joutuisi kuitenkin vaihtamaan kokoa isommiksi enkoodereiden kaapeleita varten. Z moottorin vaihtamista en pidä kovinkaan tarpeellisena, koska Z akselissa on jo takaisinkytkentä leikkuun aikana tapahtuvalle säädölle toteutettuna THC:lta saaduin signaalein.

14 Pohdinta

Opinnäytetyössä pyrittiin noudattamaan raportointiohjetta ja käyttämään luotettavimpia lähteitä, joita kyseisestä aiheesta oli löydettävissä, mutta hyödynnettiin myös aikaisemmin hankittua omaa osaamista aiheesta. Aihe oli sen verran laaja, että kaikkien asioiden riittävän syvälinen käsittely aiheutti eniten vaikeuksia.

Työn tuloksena valmistui toimiva ja käyttötarkoitukseen hyvin sopiva plasmaleikkuri kohtuullisin kustannuksin melko nopeasti. Leikkuria rakennettaessa osavaltioihin vaikutti vahvasti se mitä osia oli jo valmiiksi saatavilla, koska aina uusia osia tilattaessa toimitusajat saattavat olla pitkiä ja voivat pitkittää projektia, jonka aikataulu suunnittelusta toteutukseen oli suhteellisen lyhyt.

Kone täyttää tavoitteet helppokäyttöisyyden osalta, koska sillä pystytään suunnittelemaa osia, tekemään työstöratia ja ajamaan kappaleita saman ruudun äärestä. Tarkkuusvaatimus täyttyi myös toistotarkkuus testillä todennettuna. Koneen luotettavuutta on vaikea arvioida, kun kone on ollut käytössä vasta lyhyen aikaa, mutta toistaiseksi ei ole ollut ainuttakaan teknistä vikaa.

Lopputuloksena siis syntyi kriteereihin sopiva kone, joka on riittävän tarkka, nopea ja helppokäyttöinen, joten se sopii käyttötarkoitukseensa hyvin.

Lähteet

Anselmo, M. 2010. How do Rack-and-Pinion Drives Stack up Against Other Linear Motion Systems? Artikkel Machine Design verkkosivulla. Viitattu 25.5.2024. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831764/how-do-rack-and-pinion-drives-stack-up-against-other-linear-motion-systems>.

CAD / CAM software. N.d. Artikkel Autodesk verkkosivulla. Viitattu 25.5.2024 <https://www.autodesk.com/solutions/cad-cam>.

Collins, D. N.d. What are the differences between plain and rolling linear guides?. Viitattu 21.2.2024. <https://www.linearmotiontips.com/differences-between-plain-and-rolling-linear-guides/>.

Ican Motor N.d. Nema 23 moottorin datalehti. Viitattu 3.4.2024 <https://ican-motor.com/product/2phase-stepper-motors-nema23/#tab-id-4>.

Improve plasma cut quality with these CNC steel and metal cutting tips. N.d. Artikkel plasmaleikkurivalmistajan nettivustolla. Viitattu 3.4.2024 <https://www.hypertherm.com/en-US/resources/articles/basic-tips-to-improve-plasma-cut-quality/>.

Plasmaleikkaus. N.d. Artikkel Ionix.fi verkkosivulla. Viitattu 28.2.2024. <https://www.ionix.fi/teknologia/plasmatyosto/plasmaleikkaus/>.

Heinonen, M. 2020, Koneistustekniikka, Painos 1, Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Koivisto, P. Ylinen, T, Björkman, M, Honkala, A, Marttila, H, Kettunen, L, Konttinen, Taimisto, S. 2018. EMC ja rakennusten sähkötekniikka, Espoo: Sähköinfo Oy

Pikkarainen, E. 1999, NC tekniikan perusteet, Helsinki: Opetushallitus.

Plasma CNC and THC (torch height control) with PlanetCNC. N.d. Artikkel PlanetCNC verkkosivulla. Viitattu 25.3.2024. <https://planet-cnc.com/plasma-cnc-and-thc-torch-height-control-with-planetcnc/>.

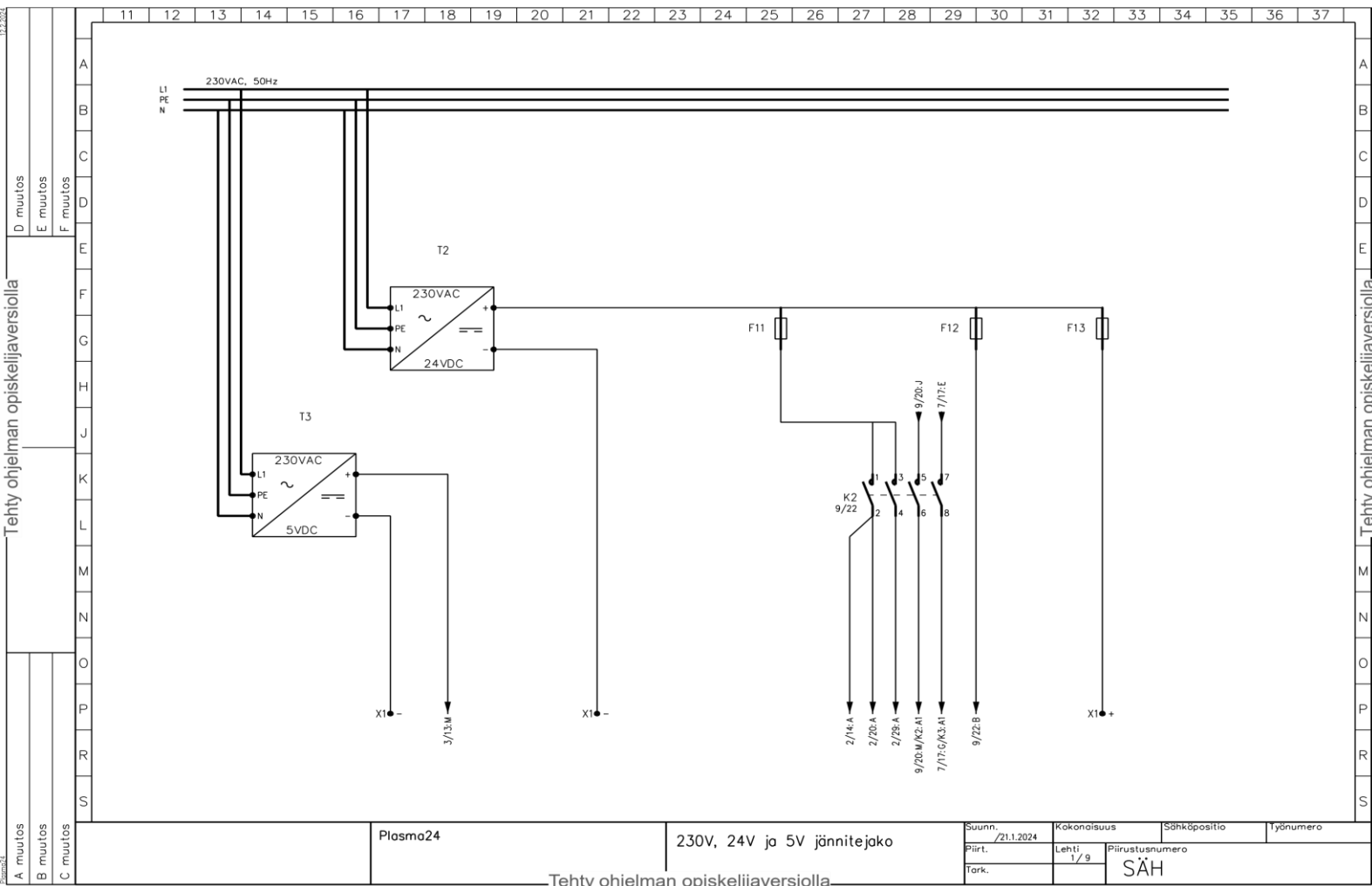
Plasma CNC and floating Z axis with PlanetCNC. N.d. Artikkel PlanetCNC verkkosivulla. Viitattu 9.5.2024. <https://planet-cnc.com/plasma-cnc-and-floating-z-axis-with-planetcnc/>.

Symtek N.d. Nema17 askelmoottorin datalehti. Viitattu 3.4.2024. https://www.symtek.com.tw/wp-content/uploads/2019/03/MS17HD_1.8D.pdf.

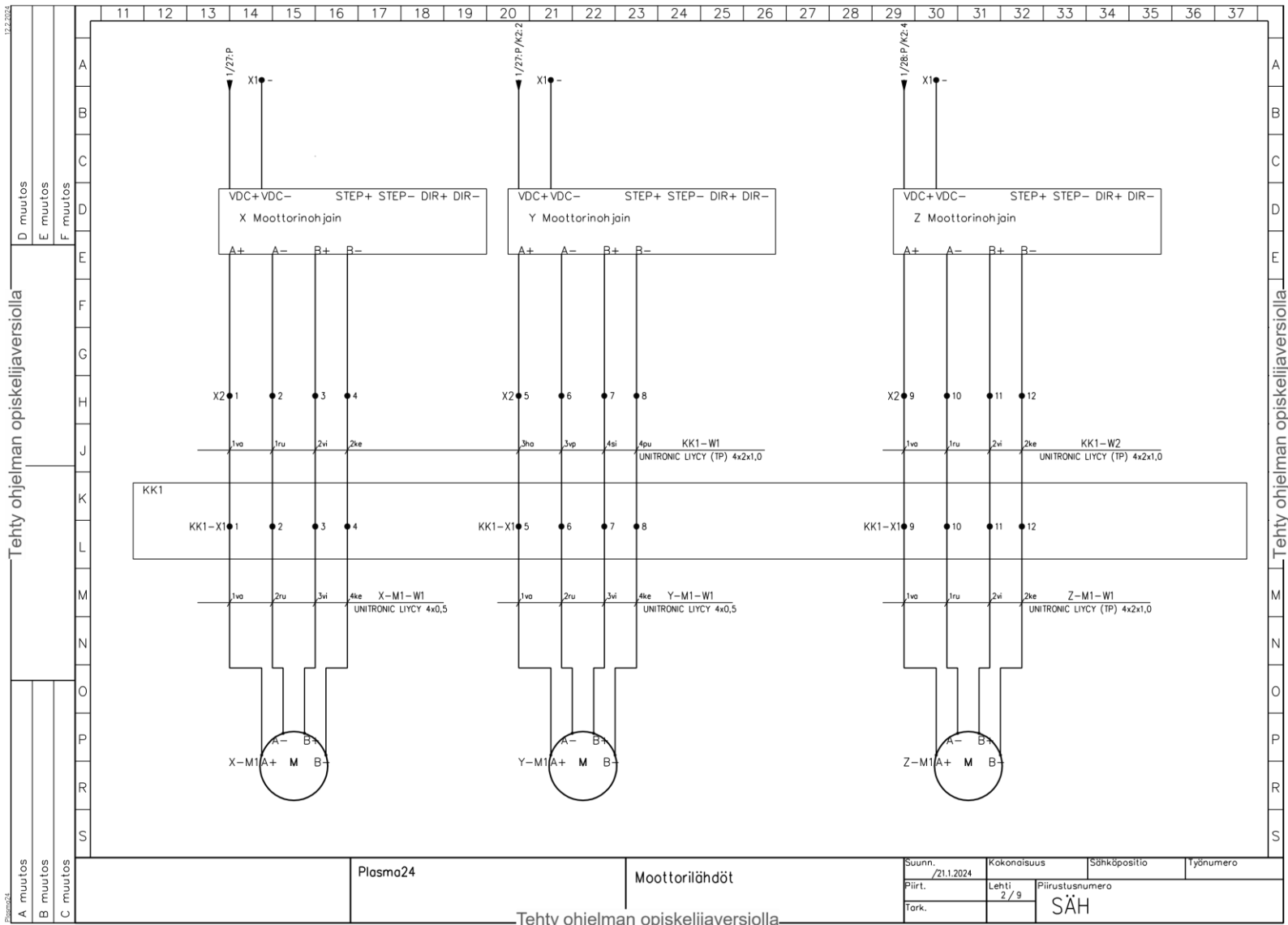
Lackey, B. 2018, Stepper and Servo Motor Tradeoffs. Artikkel Machine Design verkkosivulla. Viitattu 25.5.2024. <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21836868/stepper-and-servo-motor-tradeoffs>.

Liitteet

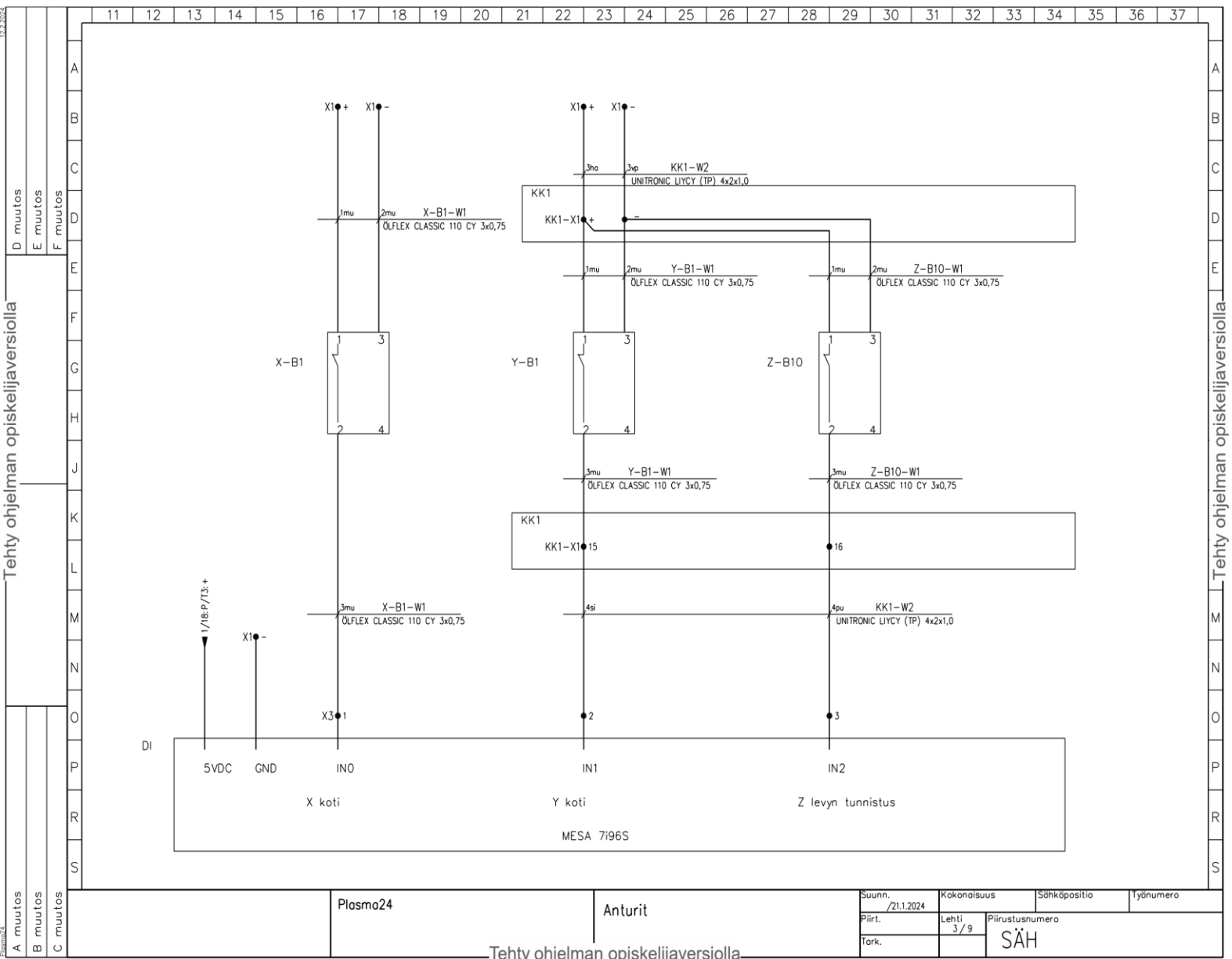
Liite 1. Piirikaavioiden sivu 1



Liite 2. Piirikaavioiden sivu 2



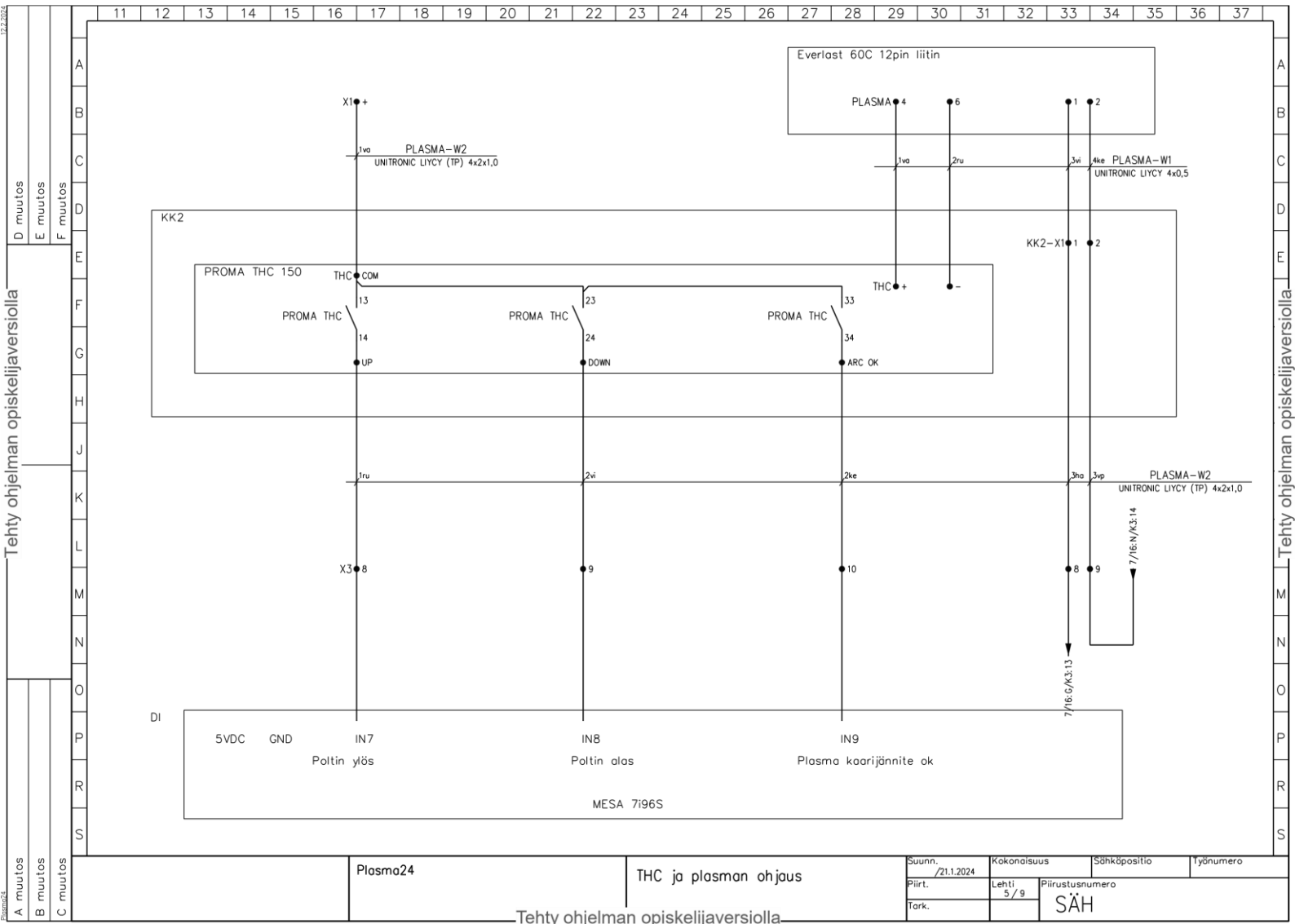
Liite 3. Piirikaavioiden sivu 3



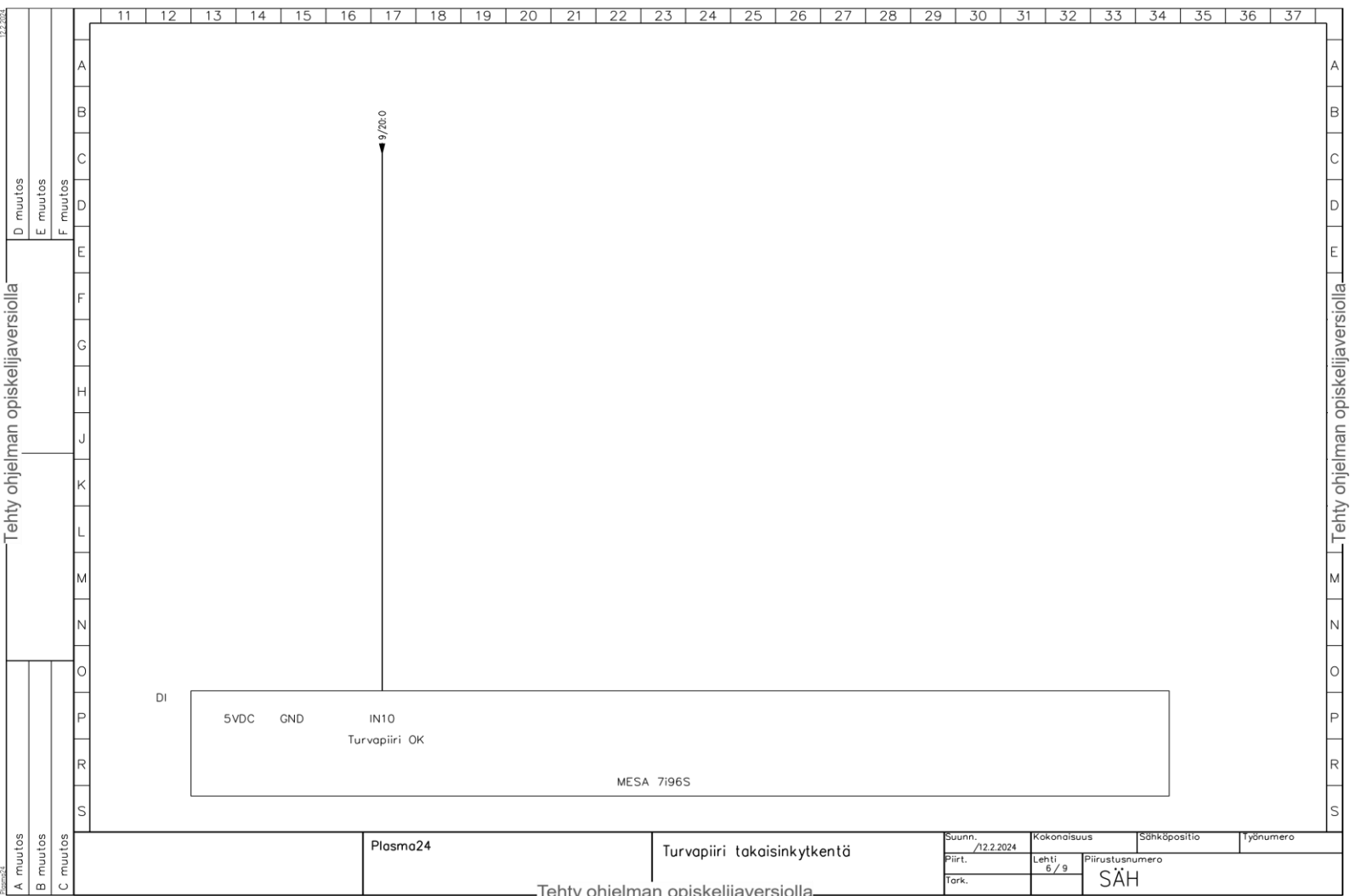
A muutos	enty ohjelman opiskelijaversiolia	D muutos
B muutos		E muutos
C muutos		F muutos



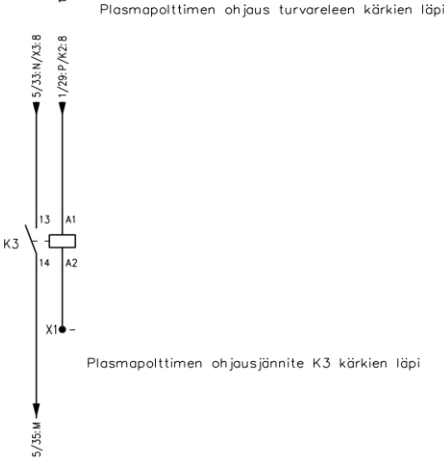
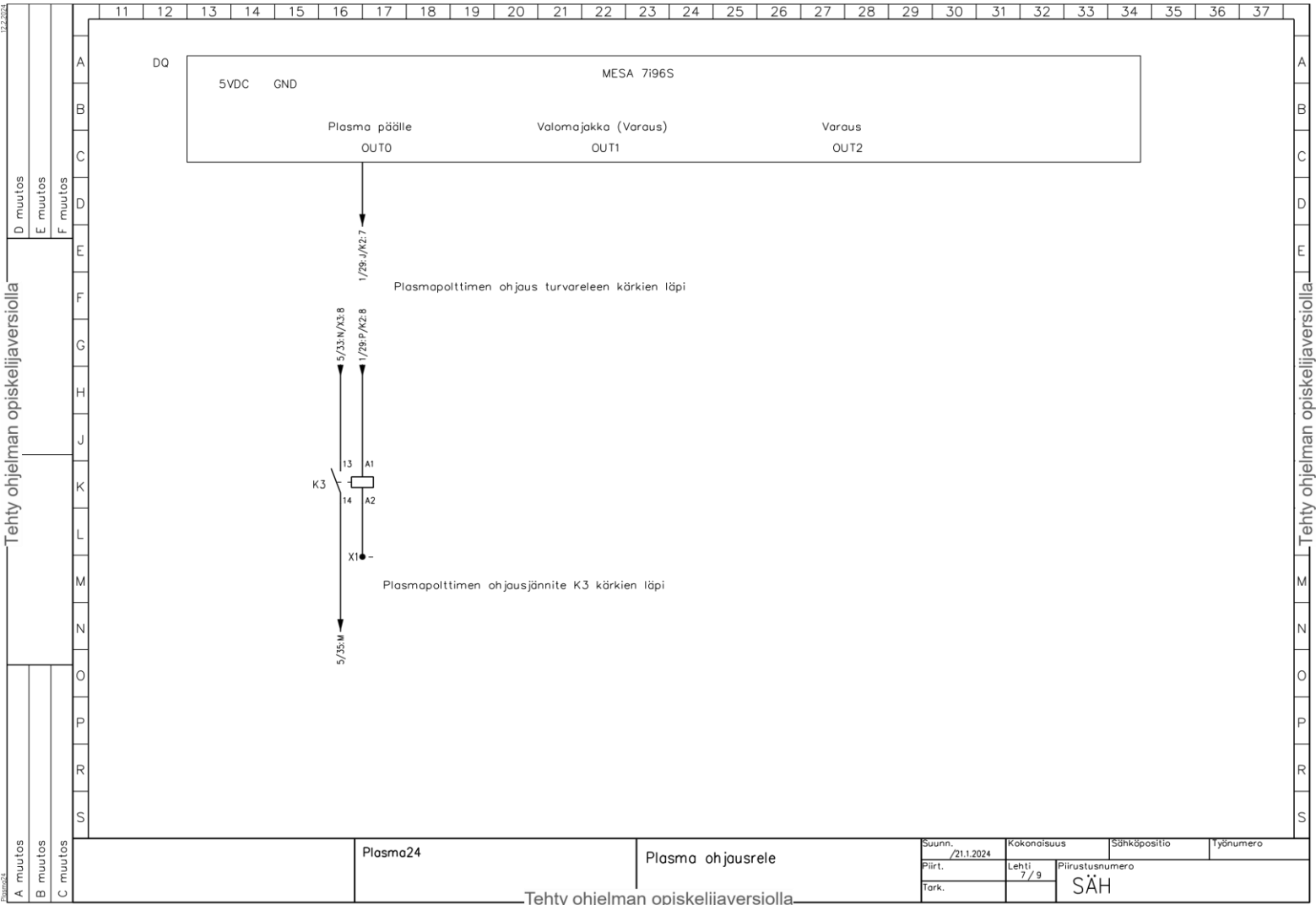
Liite 5. Piirikaavioiden sivu 5



Liite 6. Piirikaavioiden sivu 6



Liite 7. Piirikaavioiden sivu 7

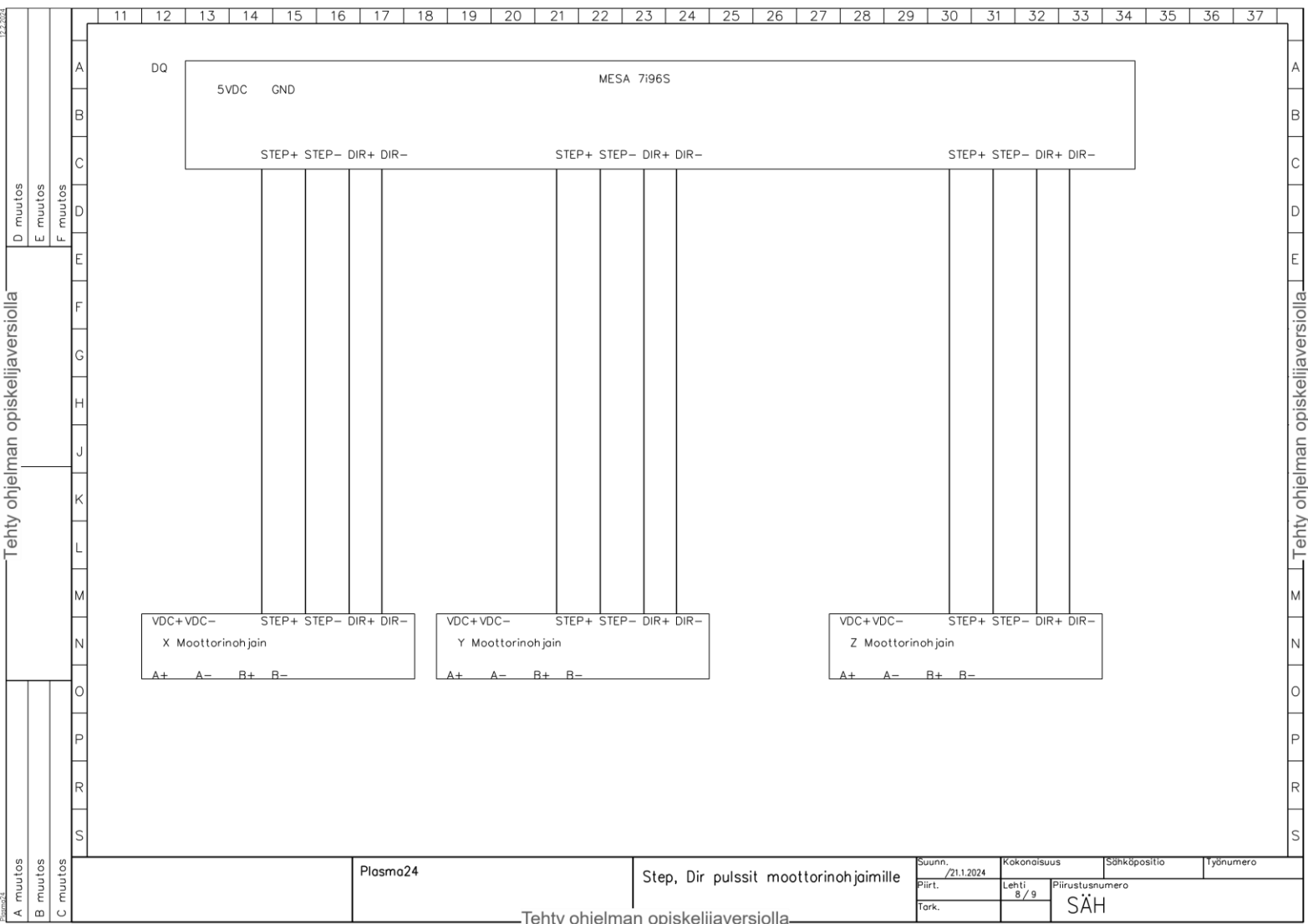


Plasma24

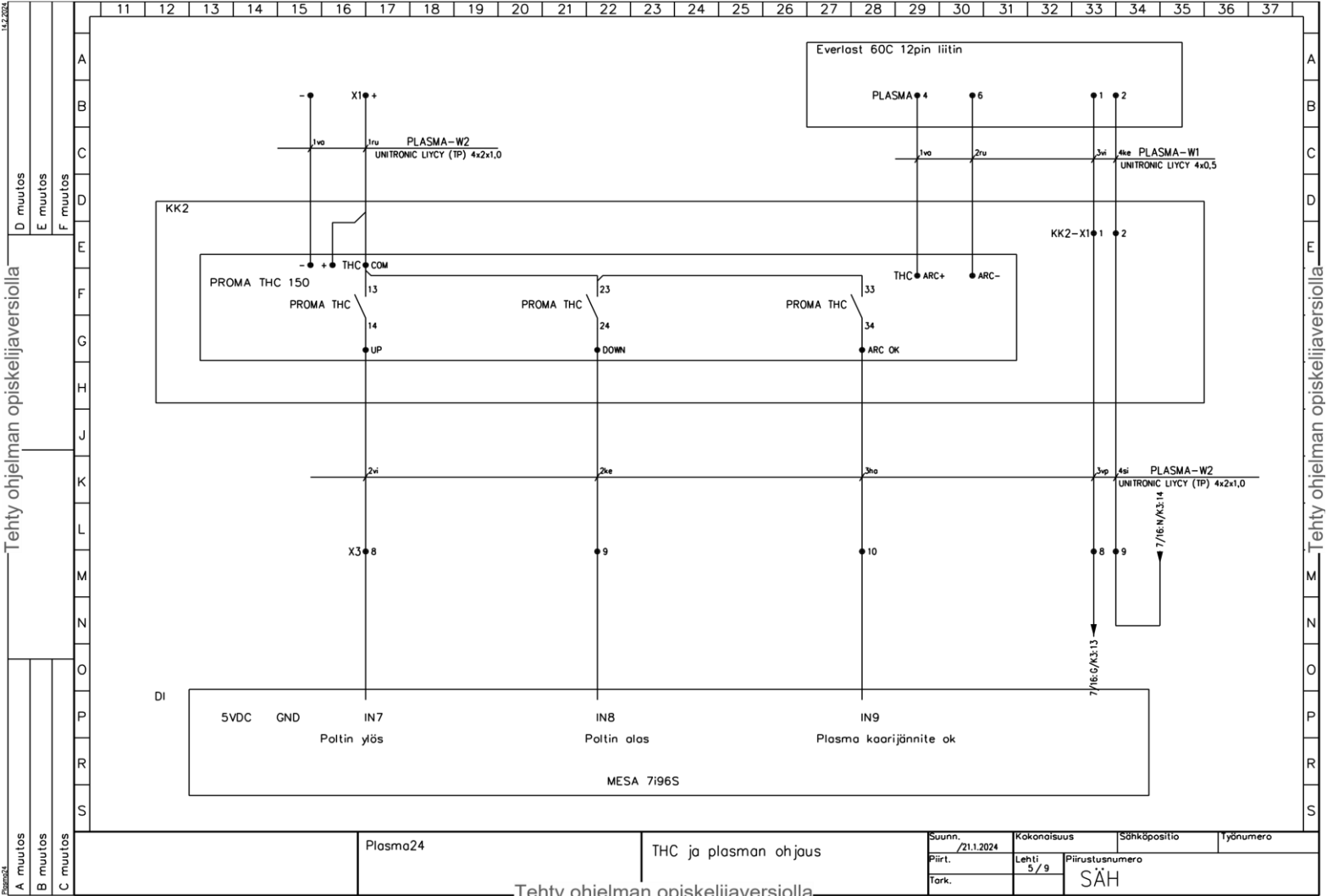
Plasma ohjausrele

Suunn.	/21.1.2024	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt.		Lehti	7 / 9	Piirustusnumero
Tark.				SÄH

Liite 8. Piirikaavioiden sivu 8



Liite 9. Piirikaavioiden sivu 9



Liite 10. Antureiden ja toimilaitteiden sijoittelu

