

Lasse Pöyhtäri

CNC-PLASMALEIKKAUSKONEEN SUUNNITTELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Huhtikuu 2014**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola-Pietarsaari	Aika Huhtikuu 2014	Tekijä Lasse Pöyhtäri
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi CNC-plasmaleikkauskoneen suunnittelu		
Työn ohjaaja DI Rauli Koistinen	Sivumäärä 23 + 3	
Työelämäohjaaja Tomme Pöyhtäri		
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Himangalla toimivalle Konehuolto Pöyhtäriille. Yrityksen päätuotteita ovat maatalouskoneiden huolto ja metallirakenteiden valmistus.</p> <p>Työn tavoitteena oli suunnitella isompi ja parempi plasmaleikkauspöytä yritykselle. Lisäksi oli huomioitava että koneesta tulisi pienikokoinen, edullinen ja käyttäjäystävällinen.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään termisiä leikkausmenetelmiä ja niiden eroavaisuuksia. Kone mallinnettiin 3d-suunnitteluohjelmalla, josta saatiin myös tarvittavat mittakuvat koneen valmistukseen.</p>		
Asiasanat plasmaleikkaus, tuotekehitys, 3D-mallintaminen,		

ABSTRACT

Unit Kokkola-Pietarsaari	Date April 2014	Author Lasse Pöyhtäri
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Designing of CNC-plasma cutting machine		
Instructor DI Rauli Koistinen		Pages 23 + 3
Supervisor Tomme Pöyhtäri		
<p>This thesis was made for the company Konehuolto Pöyhtäri, which is located in Himanka. Main products of the company are agricultural maintenance and metal fabrication.</p> <p>The objective was to design bigger and better plasma cutting table for this company. Also new machine has to be compact, affordable and user-friendly.</p> <p>Theory part of the thesis explains basics of thermal cutting methods and the differences between them. After that starts designing of the machine, which was made with 3d-modelling software. With this software it was also possible to make production-ready 2d drawings.</p>		
Asiasanat plasma cutting, research & development, 3D-modeling,		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TERMINEN LEIKKAUS	2
2.1 Kaasuleikkaus	2
2.2 Plasmaleikkaus	4
3 KONEEN SUUNNITTELU	6
3.1 Runko	6
3.1.1 Vesiallas	7
3.1.2 Leikkuurivat	9
3.1.3 Lineaarijohteet	11
3.2 Portaali	12
3.2.1 Moottorit ja voimansiirto	13
3.2.2 Lineaarijohde	16
3.3 Z-akseli	16
3.4 Energiansiirtoketjut	17
3.5 Ohjauslaitteet	18
3.6 Plasmaleikkausyksikkö	20
4 POHDINTA	22
LÄHTEET	23
LIITTEET	
LIITE 1. Leikkuri edestä	
LIITE 2. Leikkuri vasemmalta sivulta	
LIITE 3. Leikkuri oikealta sivulta	
KUVIOT	
KUVIO 1. Kaasuleikkausprosessi	3
KUVIO 2. Plasmaleikkausprosessi	5
KUVIO 3. Runko	7
KUVIO 4. Vesiallas	8
KUVIO 5. Vesialtaan tukirunko	9
KUVIO 6. Vesiallas paikoillaan	9
KUVIO 7. Leikkausripojen tuet	10
KUVIO 8. Leikkausrivat	11
KUVIO 9. Lineaarijohteet	12
KUVIO 10. Lineaarijohteet paikoillaan	12
KUVIO 11. Portaalinrunko	13
KUVIO 12. Vaihdelaatikko	15
KUVIO 13. Vaihdelaatikon kiristys	15
KUVIO 14. X-akselin lineaarijohteet	16
KUVIO 15. Z-akselin kokoonpano	17
KUVIO 16. Z-akseli	17
KUVIO 17. Energiansiirtoketjut	18
KUVIO 18. Polttimen automaattinen korkeudensäätöyksikkö	19

KUVIO 19. Mach3 CNC -ohjelmisto	20
KUVIO 20. Hypertherm Powermax 45:n tekniset tiedot	21

1 JOHDANTO

Tein opinnäytetyöni Konehuolto Pöytäriille. Työn aiheena oli suunnitella ja myöhemmin myös toteuttaa CNC-plasmaleikkauskone. Työn tekeminen sisältää suunnittelua ja piirustusten piirtämistä Solidworks 3D -ohjelmalla. Työn idea tuli yritykseltä, koska sen nykyinen plasmaleikkuri on leikkausaltaan liian pieni sen tarpeisiin. Yritys valmistaa paljon erilaisia metallirakenteita ja mekaniikan prototyyppejä, joihin se tarvitsee paljon leikattuja osia. Uuden koneen leikkuuala tulee olemaan 3000 mm x 1500 mm. Tähän kokoon päädyttiin, koska se on hyvin yleisin levykoko. Kone suunniteltiin 3-akseliseksi, mutta ohjausjärjestelmä tukee myös neljättä akselia. Koneessa tullaan käyttämään paineilmaplasmaleikkuria. Uuden koneen myötä yritys voi ryhtyä valmistamaan monipuolisempia tuotteita.

Tässä työssä käydään pääpiirteittäin läpi termisen leikkauksen teoriaa ja koneen pääkomponentit. Tämä kone on suunniteltu erityisesti pienille metallipajoille ja on kokonsa, hintansa ja ominaisuuksiensa takia kilpailukykyinen tuote. Plasmaleikkauspöytiä ei vastaavia ole monta tarjolla Suomessa, joten sen mahdollinen kaupallistaminen pidettiin myös mielessä.

2 TERMINEN LEIKKAUS

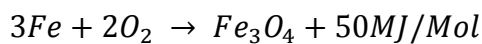
Termisiä leikkausprosesseja käytetään mekaniikan suunnittelussa, laivan rakennuksessa ja prosessiteollisuudessa useimmin kappaleitten tuotantoon ja hitsien esivalmisteluun. Termisiin leikkausmenetelmiin sisältyvät

- kaasuleikkaus
- plasmaleikkaus
- laserleikkaus.

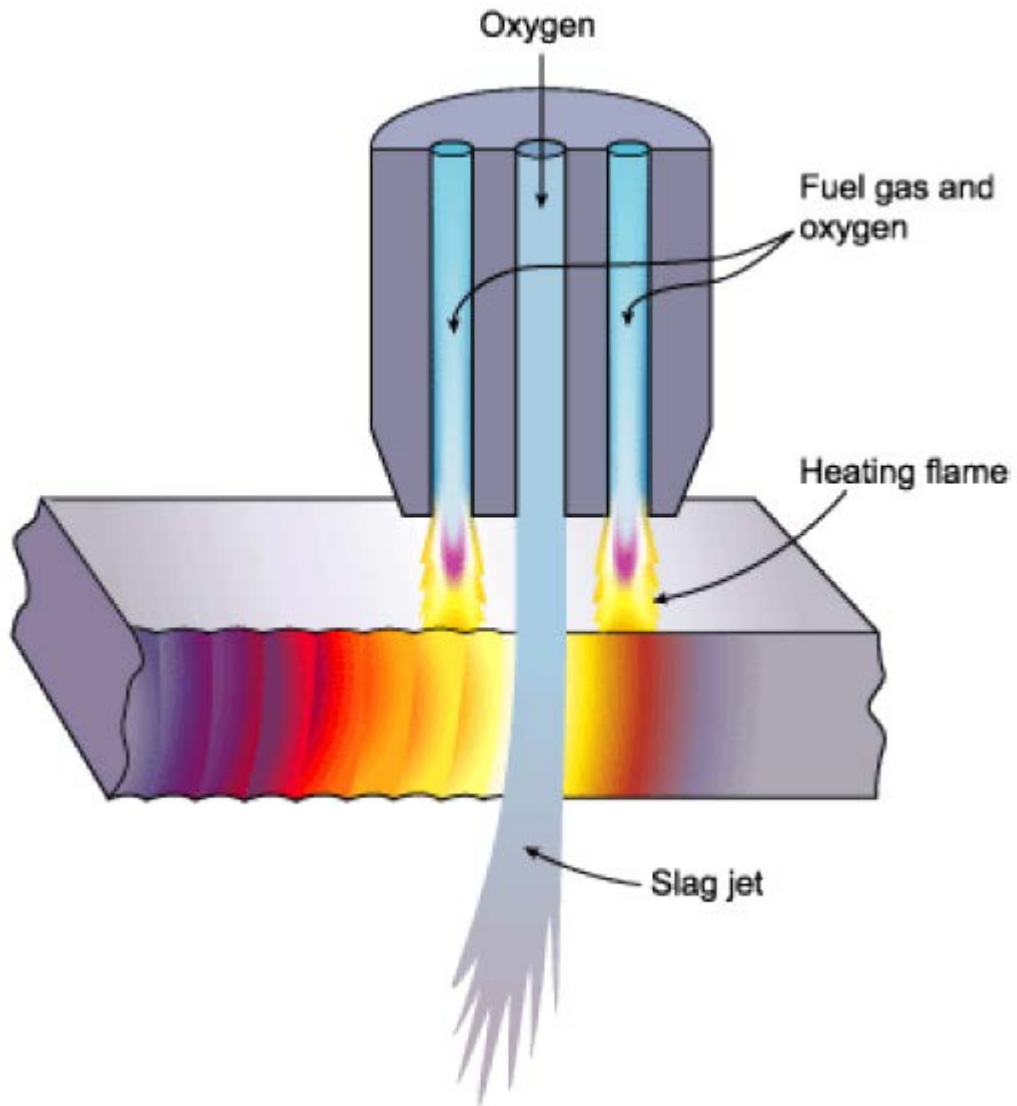
Tässä teoriaosuudessa käydään läpi vain kaasu- ja plasmaleikkausprosessit.

2.1 Kaasuleikkaus

Kaasuleikkaus tapahtuu lämmittämällä rautametallia sen syttymislämpötilaan asti ja polttamalla sitä happisuihkun avustuksella kuten kuviossa 1 on esitetty. Raudan palamisreaktio syntyy 871 °C:ssa ja se on kuvattu seuraavassa kaavassa:



Teoriassa 1 m³ happea tarvitaan tilavuudeltaan 430 cm³:n kokoisen rautakappaleen polttamiseen. Käytännössä 30–40 % metallista sulaa ja lentää pois ilman että se palaa, ja siksi on normaalia, että 1 m³ happea riittää polttamaan 600 cm³ rautaa. (Schrader & Ishennawy 2000, 335.) Kuviossa 1 esitettyssä kaasuleikkausprosessissa happi suihkuu suuttimen keskeltä ja palava polttoaine suuttimen reunoilta lämmittäen kappaleen pintaa.



KUVIO 1. Kaasuleikkausprosessi (Oxyfuel-cutting-process-and-fuel-gases 2000.)

Asetyleeni ja propaani ovat yleisiä polttoaineita niiden kuumen ja säädettävän liekin ansiosta. Sitä mukaa kuin metalli on palanut ja lentänyt pois, poltinta liikutetaan tasaisesti eteenpäin suunnitellun leikkauskuvion mukaan. (Schrader & Ishennawy 2000, 335.)

Kaasuleikkaus vaatii neljä perusasiaa toimiakseen:

- Metallin syttymislämpötilan on oltava matalampi kuin sen sulamispiste, muuten materiaali sulaa pois, ennen kuin leikkaus voi alkaa.
- Oksidien sulamislämpötilan on oltava matalampi kuin niitä ympäröivän materiaalin sulamislämpötila, jotta oksidit voidaan puhaltaa happisuihkulla pois.

- Palamisreaktion metallin ja happisuihkun välillä on oltava riittävä pitääkseen yllä syttymislämpötilaa.
- Metallista ei saa höyrystyä paljon epäpuhtauksia, jotteivät ne laimenna happisuihkua. (Metalwebnews 2000.)

Kaasuleikkauksen yleisin käyttökohde on paksut teräslevyt erityisesti 30 mm:stä aina 1500 mm:iin asti. Levyjä voidaan pinota myös päällekkäin leikkauksen ajaksi. Kaasuleikkausta käytetään paljon hitsausrailojen esivalmisteluun sekä hammasrattaiden, korvakkeiden ja monimutkaisten rakenneosien valmistamiseen. Toinen erittäin suuri osa-alue kaasuleikkauksessa on romumetallin paloittelu. Jauhekaasuleikkaus on erikoismenetelmä, jota käytetään ruostumattomissa teräksissä, valuraudassa ja ei-rautametalleissa. Koska ne sisältävät tulenkestäviä oksideja, niiden leikkaus on mahdotonta perinteisillä menetelmillä. (Metalwebnews 2000.)

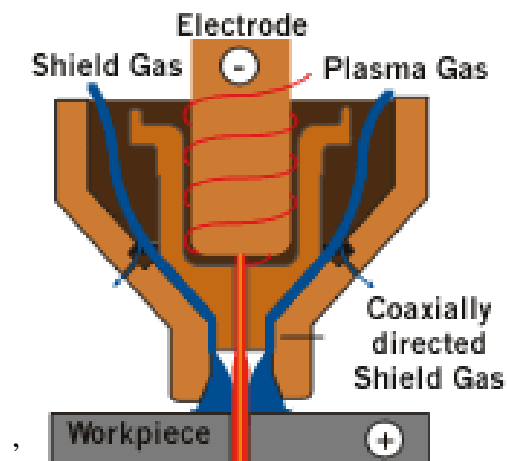
Kaasuleikkaus on helposti automatisoitavissa, ja siksi se onkin vielä nykypäivänä hyvin yleinen leikkausmenetelmä. Yleisesti leikkauksessa käytetään monipoltinjärjestelmää suurilla sarjoilla leikatessa kaasuleikkauksen hitauden vuoksi. Parhaan leikkauslaadun saavuttaminen vaatii erittäin kokeneen koneen käyttäjän. Leikkauskaasujen paineen säädöt, polttimen kohdistus, esilämmityksen kesto, leikkausnopeudet ja oikean leikkaus suuttimen valinta ovat asioita, jotka kokeneen käyttäjän tulee osata valita, jotta operaatio olisi edullinen ja laadukas. (Schrader & Ishennawy 2000, 337.) Kaasuleikkaus on edelleen edullisin leikkausmenetelmä paksuille materiaaleille, mutta hitaiden leikkuunopeuksien ja kalliiden kaasujen takia vähemmän käytetty menetelmä ohuilla materiaalivahvuuksilla.

2.2 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on sulatusleikkausmenetelmä, siinä kuumaa plasman lämpöenergiaa hyväksikäyttämällä sulatetaan levyyn railo. Tämän jälkeen sulanut metalli puhalletaan pois käyttämällä plasmakaasun kineettistä energiaa. Plasma itsessään on aineen neljäs olomuoto, joka saavutetaan, kun kaasu kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, jolloin se ionisoituu ja alkaa johtaa sähköä. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2011, 263.) Plasmaleikkausprosessi, jota käytetään sähköä johtavien metallien leikkaamiseen, hyödyntää edellä mainittua sähköä johtavaa kaasua siirtääkseen energiaa virtalähteestä polttimen kautta lei-

kattavaan materiaaliin kuten kuviossa 2 on esitetty. Perusplasmaleikkausjärjestelmä sisältää virtalähteen, kaaren sytytysjärjestelmän ja leikkauspolttimen. Nämä komponentit tuottavat järjestelmän sähköisen energian, kaasun ionisoinnin ja prosessin kontrolloinnin, joita vaaditaan laadukkaan ja tuottavan leikkauksen luomiseen. (Hypertherm 2013.)

Virtalähde on vakiovirtatasasähkövirtalähde. Avoimen virtapiirin jännite on normaalisti 240–400 voltin välillä. Virran määrä (ampeerit) määrää järjestelmän leikkauskapasiteetin. Virtalähteen tehtävä on ylläpitää oikea energiamäärä kaasun ionisoinnin jälkeen. Kaaren sytytysjärjestelmä on suurtaajuusgeneraattori, joka tuottaa 5000–10 000 voltin vaihtovirran 2 megahertsin taajuudella. Jännitettä käytetään muodostamaan virtatiheydeltään suuri kaari polttimen sisällä, joka ionisoi kaasun muodostaen plasman. Polttin sisältää elektrodin ja suuttimen, ja se myös tuottaa jäähdytyksen (kaasu tai vesi) kyseisille osille. Suutin ja elektrodi muodostavat ja ylläpitävät plasmasuihkua. (Hypertherm 2013.) Kuvio 2 selventää asiaa.



KUVIO 2. Plasmaleikkausprosessi (Plasma cutting 2004.)

3 KONEEN SUUNNITTELU

CNC-koneen rakennus koettiin tarpeelliseksi Konehuolto Pöytäarin yrityksessä kasvaneen kysynnän takia. Vanha leikkuri on käynyt jo liian pieneksi ja hitaaksi laajentuneen asiakunnan takia. CNC-plasmaleikkurin suunnittelu aloitettiin työn teettäjän kanssa palaverilla, jossa mietittiin ominaisuuksia, joita koneessa tulee olla. Leikkuupöydän koon tuli olla niin iso, että siihen mahtuu 3000 x 1500 mm levy. Muita koneen ominaisuuksia olisivat edullisuus, käyttäjäystävällisyys ja laatu. Konetyypiksi valittiin portaalimallinen rakenne jotta, levyjen lastaus ja purku olisi mahdollisimman helppoa. Portaalimalli on kone, jossa pituussuuntaiset lineaarijohteet on sijoitettu koneen molemmille sivuille. Pituusjohteet päätettiin sijoittaa leikkuupöydän kylkeen, jotta koneesta saataisiin kompakti.

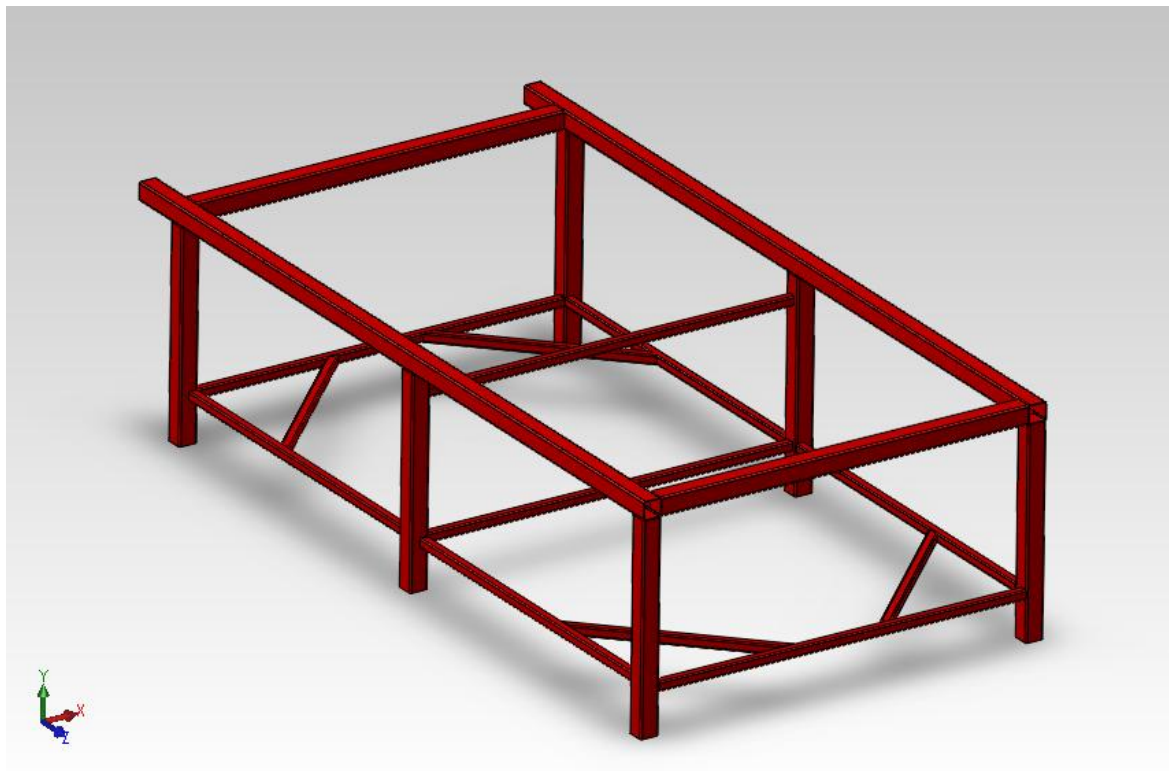
Leikkuupöytä suunniteltiin toimimaan myös vesialtaana, sillä sen tarve katsottiin suuremmaksi kuin alaimupöydän. Vesiallas on erillinen kaukalo, joka on sijoitettu koneen rungon sisälle. Leikkuurivat, jotka kannattelevat leikattavaa levyä, on myös sijoitettu vesialtaan sisälle. Vesialtaan idea on sitoa jopa 80 % leikkauksessa syntyviä kaasuja, pölyjä sekä melua. Veden pinta pidetään leikkauksen ajan korkeintaan 10 mm:n päässä leikattavasta levystä.

3.1 Runko

Koneen runko mallinnettiin käyttämällä yleisimpiä putkipalkkikokoja niin kehikossa kuin jaloissakin. Runko muodostuu suorakaiteen muotoisesta kehikosta, kuudesta jalasta sekä jäykisteputkista. Kehikon ja jalkojen materiaaleiksi valitsimme Ruukin putkipalkin 80 x 80 x 5 sen helpon saatavuuden, hintatason ja laadun takia. Palkin paksun seinämän ansiosta pystymme tekemään kierteet suoraan palkkiin, mikä helpottaa asennustyötä. Paksu seinämävahvuus vähentää hitsauksessa syntyviä muodonmuutoksia mikä on myös tärkeä asia. Jäykisteputkit valitsimme myös Ruukin valikoimasta ja päädyimme putkipalkkiin 40 x 40 x 3. Kuviossa 3 on esitetty rungon rakenne.

Koska putkipalkkien kylkien tasomaisuus on riittävä haettavaan leikkuutarkkuuteen verrattuna ei niitä tarvitse koneistaa vaan lineaarijohteet voidaan kiinnittää suoraan palkin kyl-

keen. Kaikki palkit koneistetaan oikeaan mittaan, jotta kehikon ristimitta saadaan varmasti oikeisiin toleransseihin. Pöytään suunniteltiin tarkoituksella hieman pitemmäksi kuin olisi tarpeen, jotta leikkuupää voidaan ajaa pois tieltä materiaalin lastauksen ajaksi.



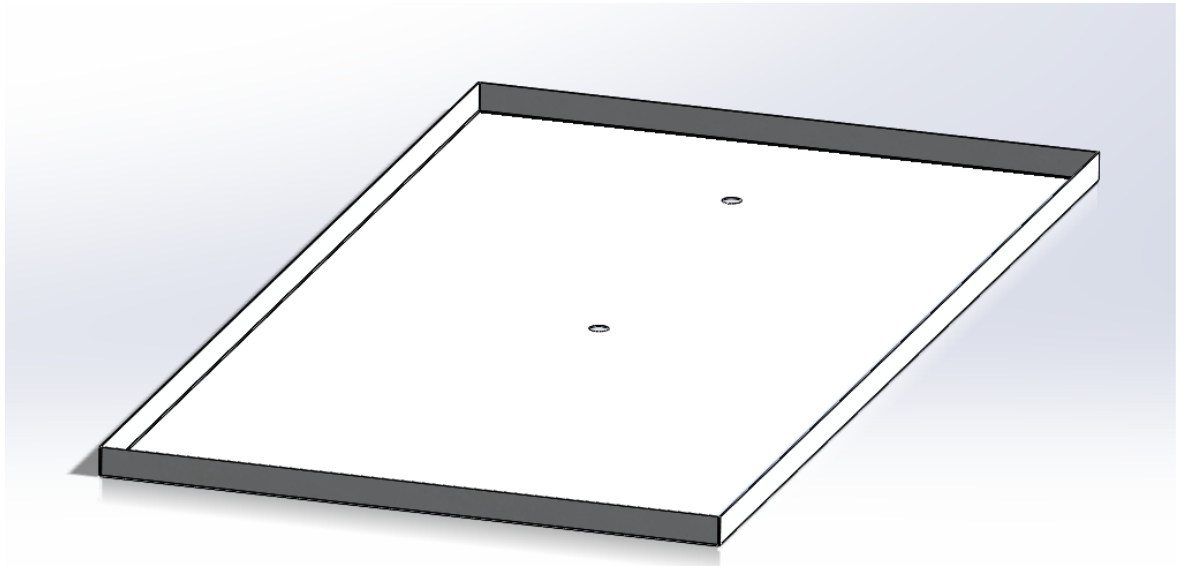
KUVIO 3. Runko

3.1.1 Vesiallas

Seuraava tärkeä asia oli vesiallas ja sen suunnittelu. Vesialtaan käyttöön päädyttiin sen edullisuuden ja kompaktin rakenteen takia. Se myös vähentää leikkauksessa syntyvää melua. Toinen vaihtoehto oli alaimupöytä, joka olisi ollut kalliimpi vaihtoehto, koska se olisi vaatinut suuritehoisen imurin, jolla leikkauksessa syntyvät höyryt imettäisiin pois. Alaimupöydän käyttö ei vähennä leikkauksessa syntyviä ääniä, mikä myös vaikutti valintaamme. Listasimme asiat, jotka piti ottaa huomioon altaan suunnittelussa, sen oli oltava

- kompakti
- integroitu runkoon
- helppo täyttää ja tyhjentää
- valmistusmateriaaliltaan alumiinia.

Vesiallas suunniteltiin valmistettavaksi yhdestä levystä hitsaustarpeen vähentämiseksi. Allas suunniteltiin Solidworks- ohjelman Sheetmetal- puolella, koska tämä ohjelma antaa suoraan levitetyn leikkauskuvan, joka helpottaa altaan valmistusta. Materiaaliksi valittiin 3 mm:n 5052 merialumiini. Levyn reunat kantattiin ylös, joten hitsattavia saumoja jäi vain neljä kulmaa. Tämä näkyy hyvin kuviossa 4.

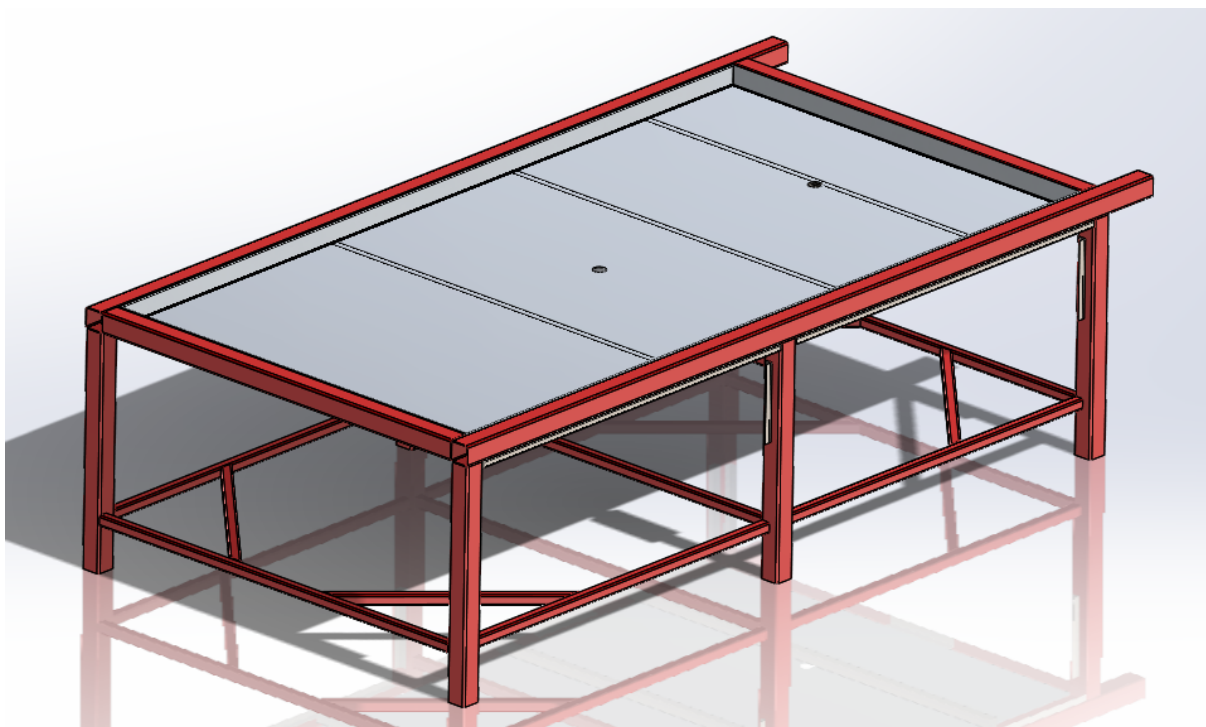


KUVIO 4. Vesiallas

Altaan laskettu tilavuus on noin 400 litraa, joten se pitää myös tukea hyvin, siksi piirrettiin 3 kappaletta 40 x 40 x 3 -putkipalkkia ja neljä kolmiopalaa, joiden päällä allas makaa. Runkoon lisättiin myös 25 x 25 -kulmarautoja, joihin kiinnitetään kylkipellit sekä hammastangot. Kuviot 5 ja 6 selventävät asiaa.



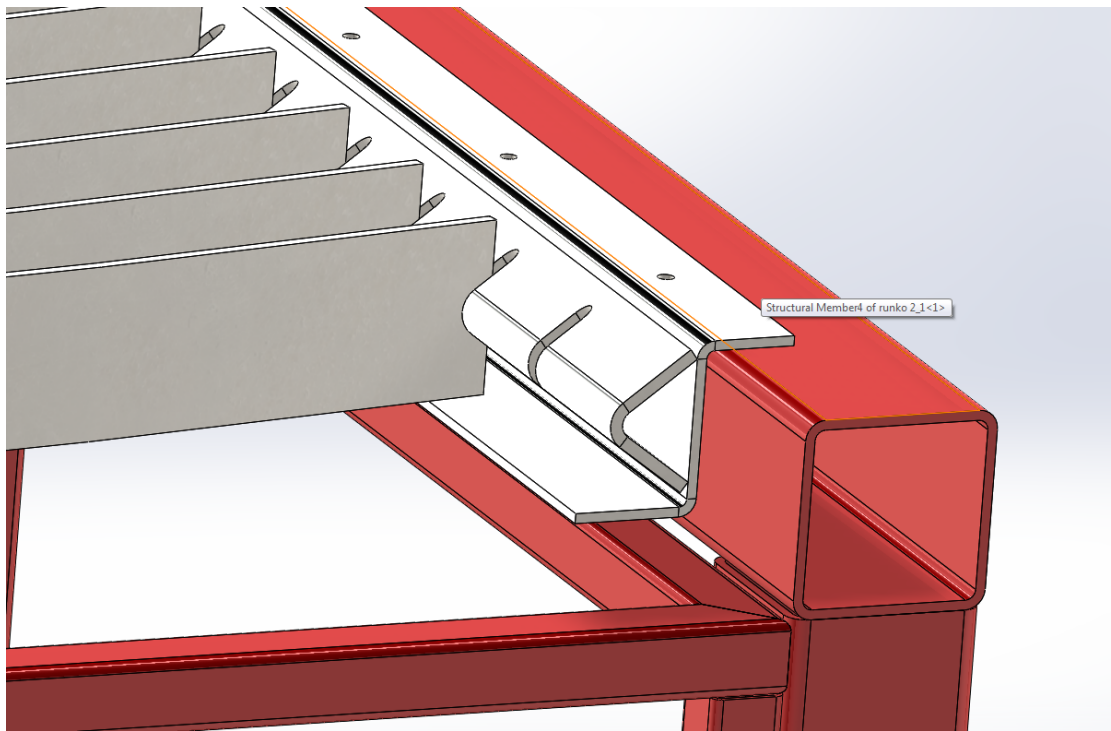
KUVIO 5. Vesialtaan tukirunko



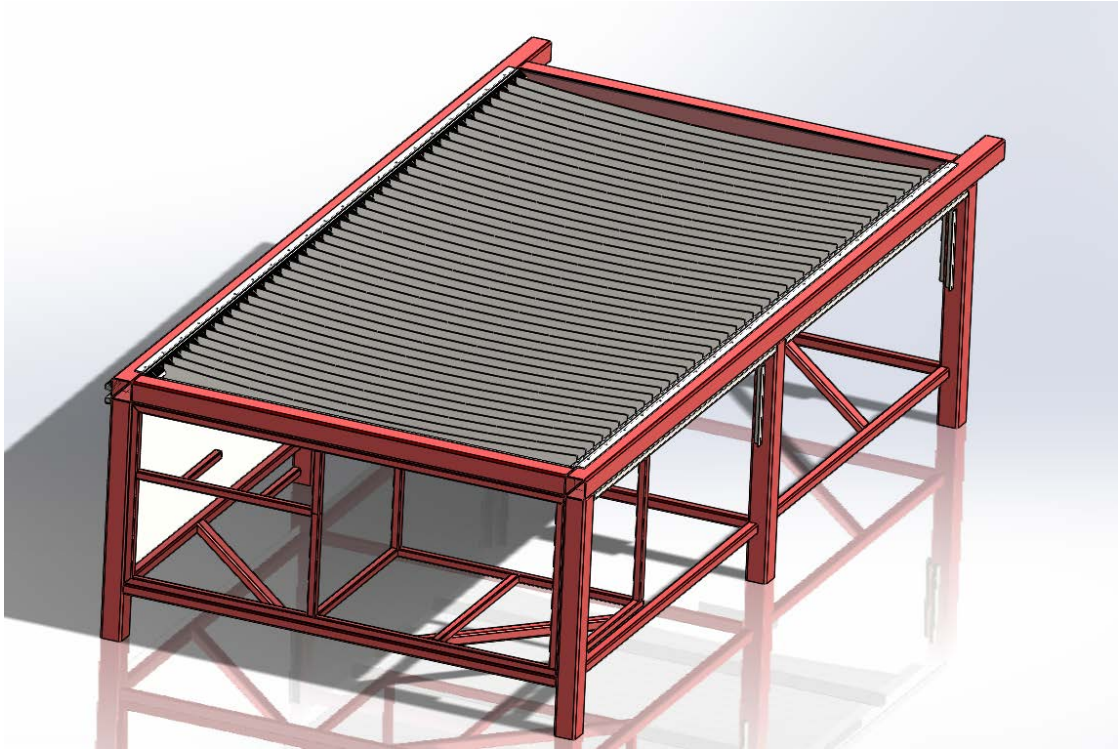
KUVIO 6. Vesiallas paikoillaan

3.1.2 Leikkuurivat

Seuraavaksi suunniteltiin leikattavaa levyä kannattelevat rakenteet. Rakenne koostuu lattarautoista taivutetuista leikkuurivoista ja lovetuista profiileista, joiden päälle materiaali voidaan laskea. Rakennelman tulee olla tukeva, koska leikattava levy voi painaa jopa 700 kg. Materiaalia kannattelee 43 kappaletta esijännitettyä 70 x 5 -lattarautaa. Esijännityksellä tarkoitetaan sitä että kaikki lattaraudat on leikattu ylimittaan, joten paikalle laitettaessa ne hieman taipuvat kaarelle. Tämä vähentää rautojen lämpövetelyä leikatessa. Leikkuurivat suunniteltiin myös vaihdettaviksi, koska ne kuluvat käytössä, jolloin kuluneet rivit aiheuttavat tarkkuusvirheitä leikkaukseen. Kuvista 7 ja 8 näkee runkoon kiinnitetyt profiilit, jotka kantataan levystä ja niihin hitsataan lovettu v-profiili, joka pitää lattaraudat paikoillaan.



KUVIO 7. Leikkausripojen tuet

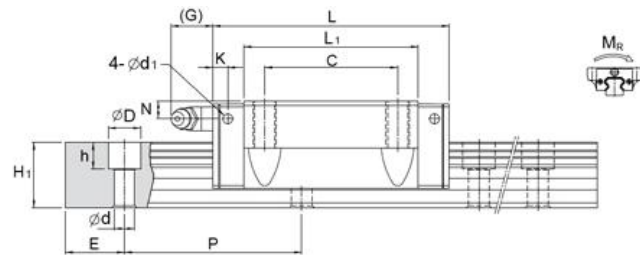


KUVIO 8. Leikkausrivat

3.1.3 Linearijohteet

Pöydän kaikkien akselien liikkeet toteutettiin linearijohteilla. Linearijohteita on tarjolla monenlaisia lähes kaikkiin mahdollisiin sovelluksiin. Tämän pöydän johteiksi valittiin PMI linear motion systemsin valmistamat profiilijohteet pois lukien z-akselissa käytetyt pyöröjohteet. Linearijohteet ovat pintakarkaistuja ja siksi pitkäikäisiä. Johteissa kulkevat kelkat on kuulaketjutyyppiä, joten kitka on erittäin pieni, jopa $0,002-0,003\mu$.

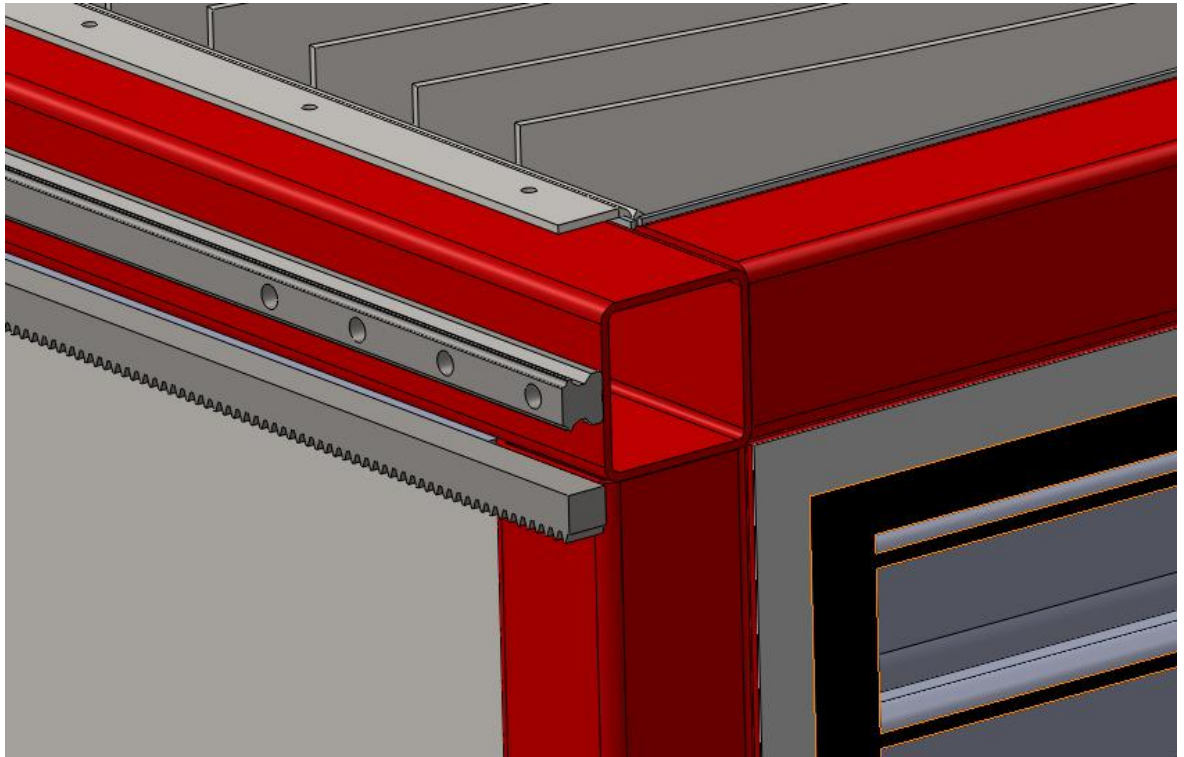
Linearijohteiksi valittiin MSA-sarjan johteet ja kelkat, jotka pystyvät tarjoamaan pienen lepokitkan ja hyvän tarkkuuden myös suurilla leikkuunopeuksilla, joita plasmaleikkauksessa käytetään. MSA-sarjan johteet on myös mahdollista asentaa palkkien kylkeen ilman että laakeroinnin ikä lyhenee. Johteiden valintaan vaikuttivat myös edullinen hinta ja hyvä saatavuus. Oheisessa kuviossa 9 on esitelty johteiden mitat. Y-akselille valittiin MSA25A-johdetyyppi ja x-akselille MSA30A-johdetyyppi.



MSA 25A	36	70	81.6	23.5	6.5	57	45	M8 × 16	59	11	16	6	12	5.8	3.3	G-M6
MSA 25LA			100.6						78							
MSA 30A	42	90	97	31	8	72	52	M10 × 18	71.4	11	18	7	12	6.5	3.3	G-M6
MSA 30LA			119.2						93.6							

KUVIO 9. Linearijohteet

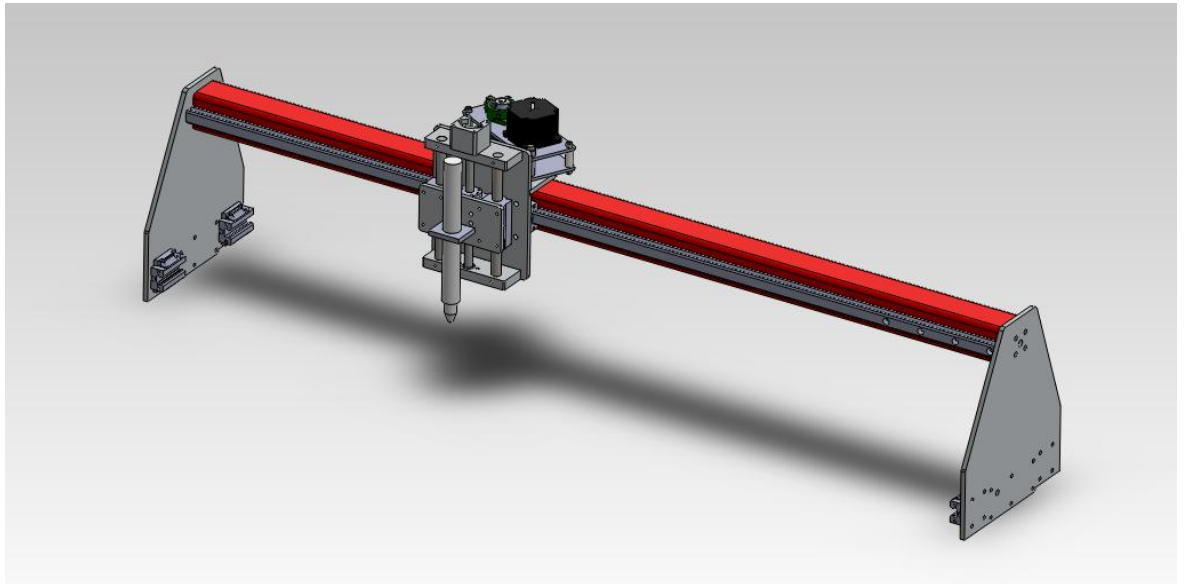
Y-akselin johteet asennetaan 80x80mm putkipalkin kylkeen, johon tehdään johteen asennukseen tarvittavat kierteet. Tämä näkyy hyvin kuviossa 10.



KUVIO 10. Linearijohteet paikoillaan

3.2 Portaali

Portaali eli leikkuupöydän päällä liikkuva x-akselin tuki koostuu 80 x 80 mm:n putkipalkista, joka kulkee pöydän yli leveysuunnassa. Palkki on kiinnitetty päistä pulteilla alumiinilevyihin, jotka yhdistävät palkin y-akselin linearijohteisiin. Kuvio 11 selventää asiaa.



KUVIO 11. Portaalinrunko

X-akseli on tuettu neljällä lineaarikelkalla y-akselin johteisiin. Tällä kompensoidaan x-akselin rungon aiheuttamaa vääntöä. X-akselin rungon tukevuus on myös tärkeää, jotta saavutetaan hyvä leikkausjälki. Suunnittelussa piti ottaa huomioon myös, se ettei portaalista tule liian painava, jolloin se huonontaisi leikkaustarkkuutta nopeissa käänöksissä. Tämän takia sovittiin etukäteen, ettei portaalin paino saisi ylittää 80 kg:aa. Tällöin voitaisiin myös käyttää pienempiä askelmoottoreita.

3.2.1 Moottorit ja voimansiirto

Voimansiirtoa suunniteltaessa lähtötietoina käytimme portaalin kokonaismassaa ja leikkuupään liikenopeutta, joka haluttiin saavuttaa. Suurin liikenopeus rajattiin 8000 mm/min, jota myös käytettäisiin paikoitusnopeutena. Normaalisti tehdasvalmisteisissa CNC-koneissa käytetään servomoottoreita lineaariliikkeissä mutta servojen ohjauselektronikka on kallis, joten rajasimme tämän vaihtoehdon pois heti alussa. Tähän projektiin valittiin käytettäväksi askelmoottoreita niiden erinomaisen hinta-laatusuhteen takia.

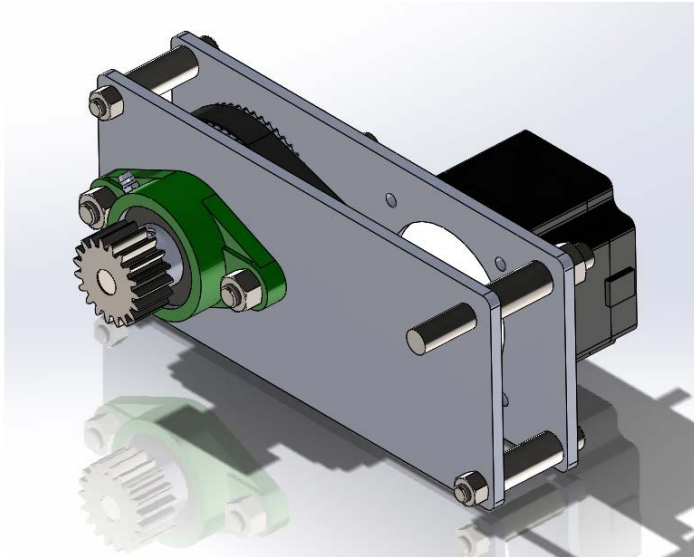
Voimansiirrossa päädyttiin käyttämään suorahampaista hammastankoa X- ja Y-liikkeissä. Askelmoottoreiksi valittiin kokemuksen perusteella NEMA 34 -sarjan moottorit kaksi kappaletta Y-liikkeelle ja yksi kappale X-liikkeelle. Askelmoottoreiden voima välitetään

hammastangolle hammashihnavetoisen vaihdelaatikon kautta, jossa välityssuhde alennetaan.

Askelmoottoreiden välityssuhteiden muuttaminen tuo kaksi tärkeää hyötyä:

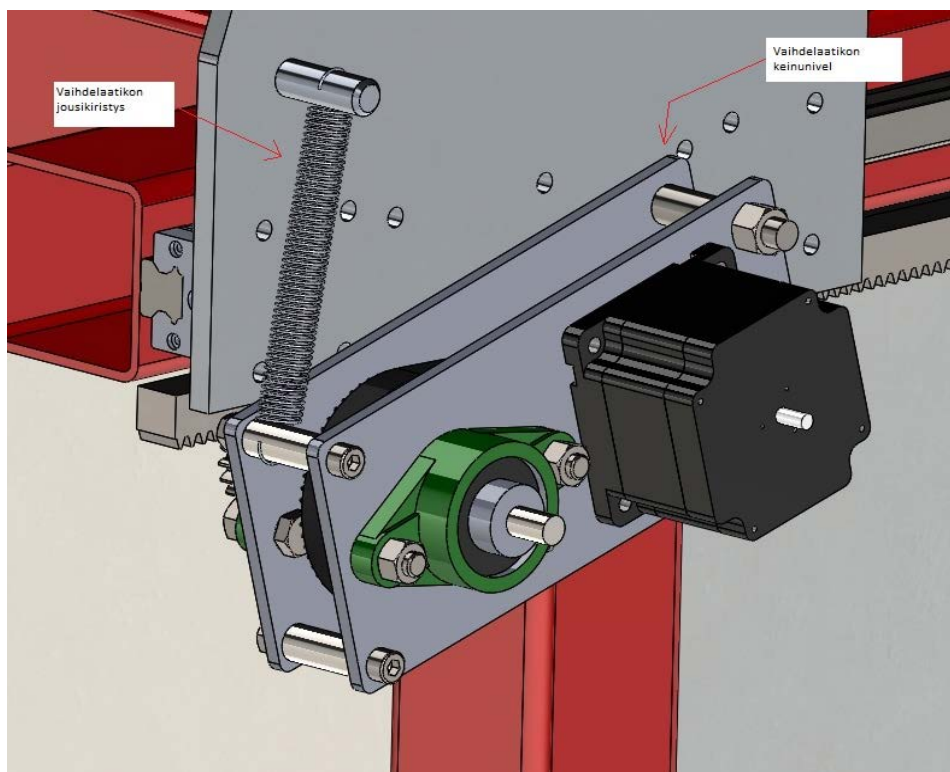
- Ensimmäisenä ja tärkeimpänä, ilman välitystä, menetetään välitetyn voimansiirron edut. Esimerkiksi, 8,6 Nm tuottava askelmoottori, kytkettynä suoraan jakohalkaisijaltaan 38 mm olevaan hammasrattaaseen antaa ulos 452 N:n voiman. Sen sijaan sama kokoonpano, 3,75:1 hammashihnavälityksellä antaa ulos n. 1700 N. Askelmoottoreiden vääntömomentti laskee, kun kierrokset nousevat, joten välityksen alentamista paljon alle 3,75:1 ei suositella, mutta ilman välitystä askelmoottorin tehoa ei päästä hyödyntämään. Joissakin tapauksissa voidaan myös käyttää pienemmällä jakohalkaisijalla olevaa hammasratasta, joka antaa suuremman voiman.
- Toisena myös tärkeänä asiana voidaan pitää tarkkuutta. Jakohalkaisijaltaan 38 mm olevan suoravetoisen hammasrattaan lineaariliike yhdelle pyörähdykselle on $\pi \times \text{jakohalkaisija}$ eli $\pi \times 38 \text{ mm} = 119 \text{ mm/kierros}$. Normaalin askelmoottorin kierros on jaettu 200 askeleeseen, joten tämä johtaa 0,59 mm:n tarkkuuteen mikä on melko karkea tarkkuus CNC-koneissa. Askelmoottoriohjaimet pystyvät toki 10 x mikroaskellukseen, jolloin tarkkuudeksi saataisiin 0,05 mm, mutta mikroaskellus ei pysty luotettavasti paikantamaan asemaansa askeleitten välissä joten suoraveto jättää näkyvän ”askelletun” lineaariliikkeen. 3,75:1-välityksellä askeleet ovat huomattavasti pienemmät, ja koska moottoreilla on vähemmän kuormaa, mikroaskelluskin on huomattavasti tehokkaampaa johtaen sulavampaan ja tarkempaan liikkeeseen.

Vaihdelaatikon perusrakenne on aika yksinkertainen: kaksi laserleikattua alumiinilevyä on yhdistetty toisiinsa pulteilla ja väliholkeilla muodostaen vaihdelaatikon kuoret. Hammashihnaksi valittiin HTD-standardin mukainen hihna 5 mm:n hammastuksella sen erinomaisen voimansiirtokyvyn ansiosta. Toisioakseli tuettiin kahdella laakeripukilla. Kuvio 12 selventää hieman vaihdelaatikon toimintaa.



KUVIO 12. Vaihdelaatikko

Kokemuksesta tiedettiin jo alussa, että hammasrattaan ja hammastangon välisen kosketuksen tulee olla jousikuormitteinen, koska hammastankoa kiristettäessä sen muoto muuttuu aaltomaiseksi. Jousikuormitus tekee myös järjestelmästä lähes välyksettömän, mikä on hammastankojärjestelmissä harvinaista. Vaihdelaatikko on nivelletty yhdestä kulmasta, jotta jousikuormitus pystyttiin toteuttamaan. Kuvio 13 selventää asiaa.



KUVIO 13. Vaihdelaatikon kiristys

3.2.2 Lineaarijohde

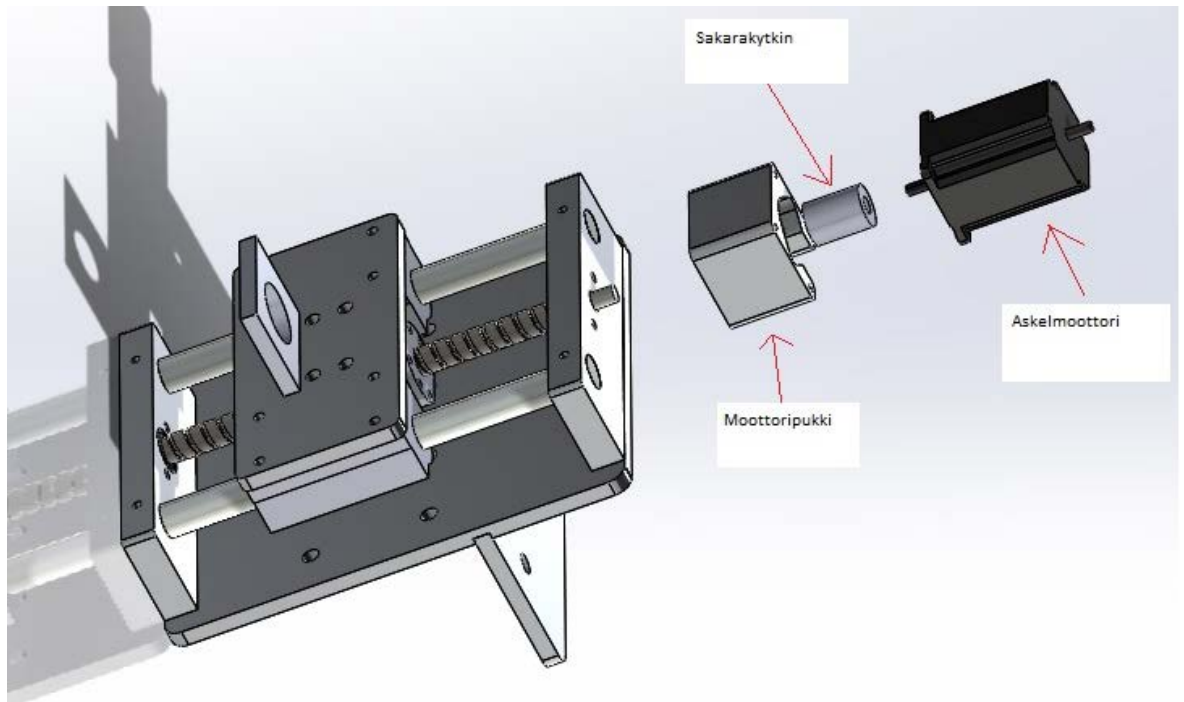
Lineaarijohteiksi X-akselille valittiin PSI-AMT:n valmistama profiilijohde MSA30. Tämä johde kiinnitetään 80 x 80 -putkipalkkiin, portaalin runkoon. Kaksi kuulalaakeroitua pölysuojattua kelkkaa kulkee tässä johteessa, ja näihin kelkkoihin on kiinnitetty Z-akseli. Kuvio 14 selventää asiaa.



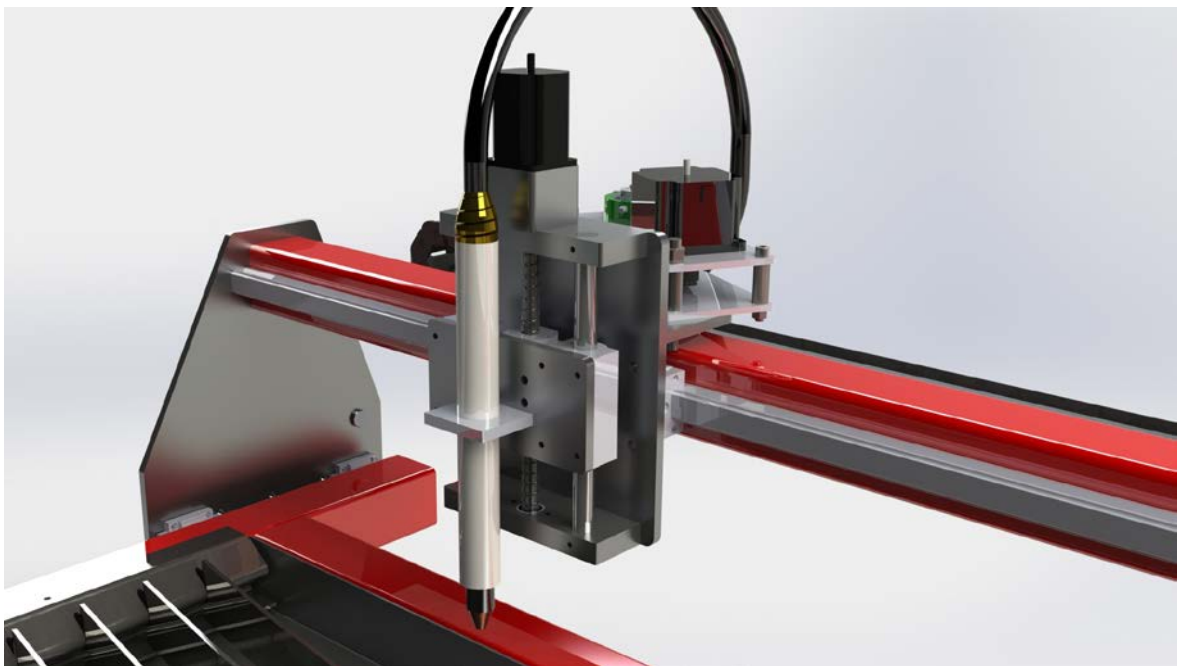
KUVIO 14. X-akselin lineaarijohteet

3.3 Z-akseli

Z-liike päätettiin suunnitella kokonaan itse mutta käyttäen mahdollisimman paljon valmiita osia. Alumiini valittiin komponenttien valmistusmateriaaliksi, koska paino pyrittiin pitämään mahdollisimman alhaisena. Lineaarijohteiksi valittiin pyöreä pintakarkaistu akseli, joka on suhteellisen edullista ja helposti saatavaa. Voimansiirto toteutetaan kuularuuvilla, jolloin päästään haluttuun 0,01 mm:n tarkkuuteen. Kuularuuvin nousuksi valittiin 10 mm, jotta Z-akselin liike olisi tarpeeksi nopeaa. Kuvio 15 ja 16 selventää kokoonpanoa. Askelmoottoriksi riittää NEMA 23 -sarjan moottori, koska kuormat polttimen liikkutuksessa ovat hyvin pieniä. Moottoripukki suunniteltiin tarpeeksi korkeaksi, jotta sakarakytkin voitiin asentaa moottorin ja kuularuuvin väliin.



KUVIO 15. Z-akselin kokoonpano

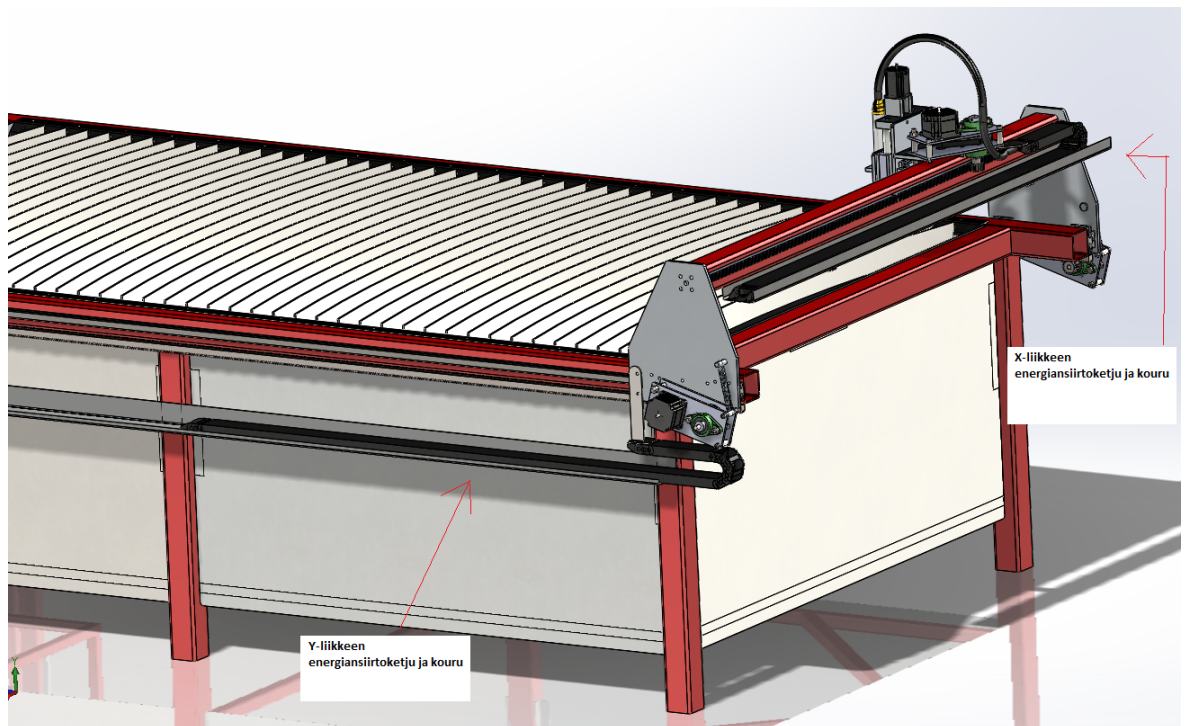


KUVIO 16. Z-akseli

3.4 Energiansiirtoketjut

Energiansiirtoketjuja voidaan käyttää useissa sovelluksissa, jotka liittyvät kaapeleiden sekä letkujen kytkentään liikuteltavaan kohteeseen. Tähän koneeseen tulee kaksi energiansiirtoketjua, yksi X-akselille ja toinen Y-akselille. Nämä ketjut näkyvät hyvin kuviossa 17. Z-akseli ei tarvitse ketjua lyhyen liikevaransa takia. Energiansiirtoketjuja on markkinoilla tarjolla valtavasti. Valinta tehtiin suunniteltujen johtojen määrän sekä halutun poikkipinta-alan mukaan. Ketjun säteeksi (r) tuli 50 mm ja mitoiksi 50 mm x 20 mm. X-suunnan ketjun pituus on 2050 mm ja Y-suunnan 2200 mm.

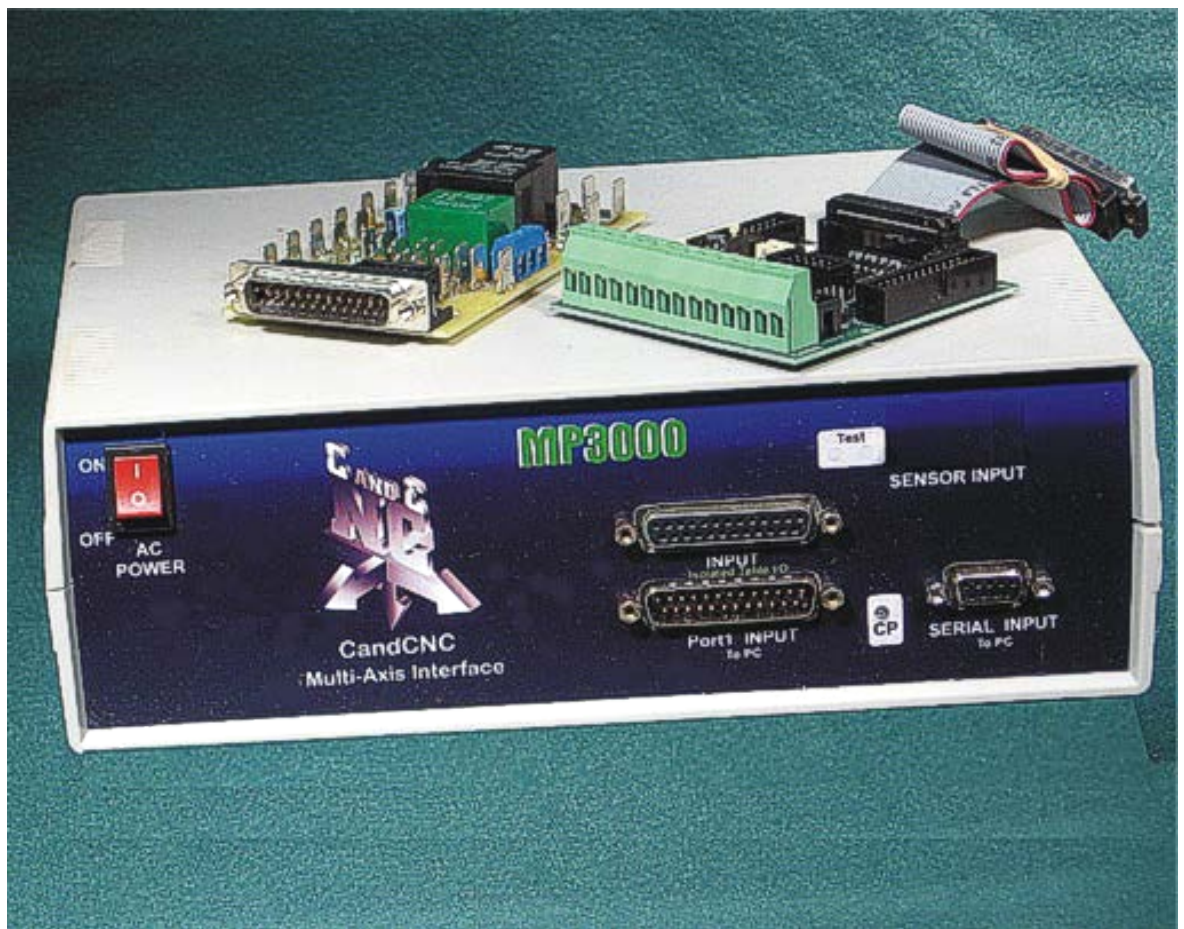
Energiansiirtoketju pitää tukea alhaalta päin, jottei se notkahda. Tukemista varten suunnitelimme kourut, joissa ketjut kulkee. Kourut särmätään 1,5 mm:n sinkitystä pellistä ja niille valmistetaan myös kannakkeet, joiden päällä kourut pysyvät. Energiansiirtoketjut kiinnitetään pulteilla kouruun. Liikkuvaan päähän suunniteltiin kiinnike, joka yhdistää ketjut X- ja Y-akselin liikkeisiin.



KUVIO 17. Energiansiirtoketjut

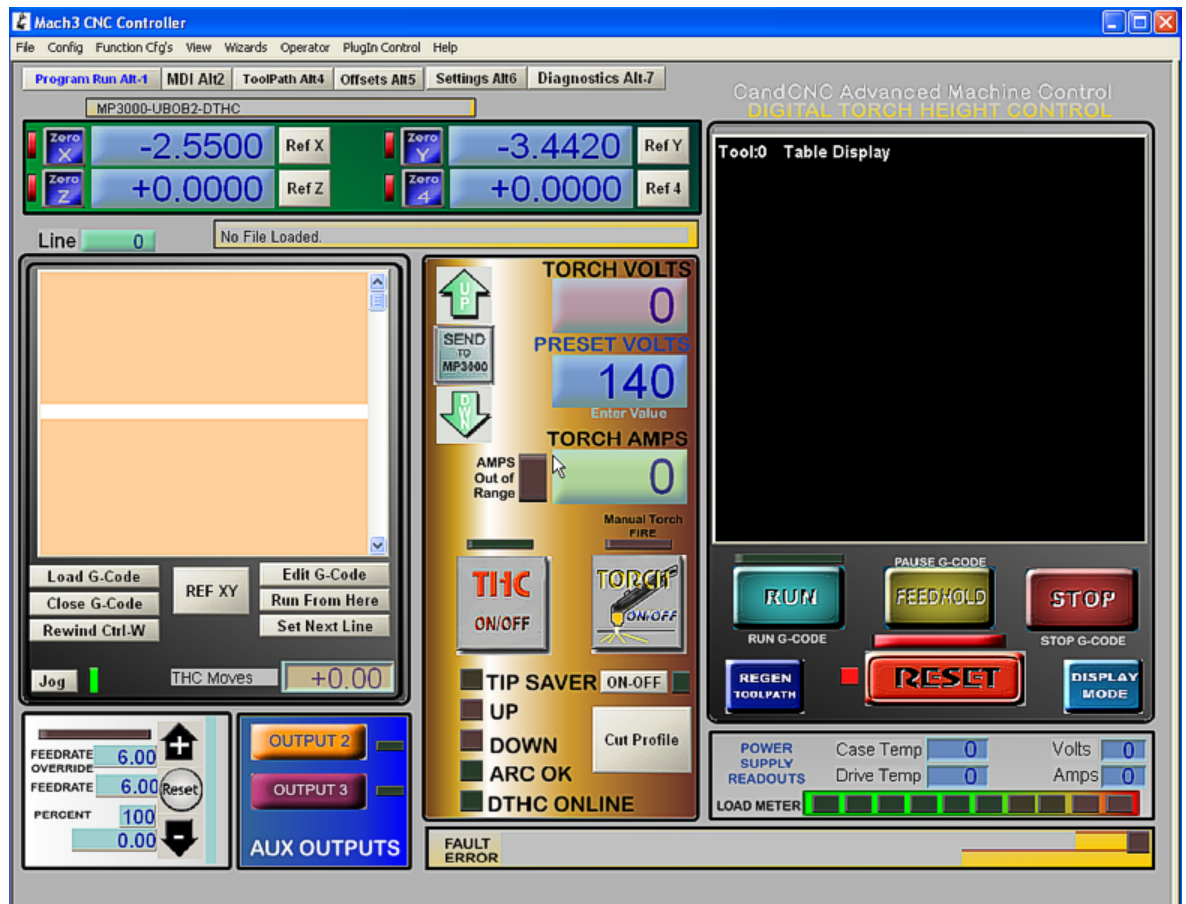
3.5 Ohjauslaitteet

Koska oli tarkoitus suunnitella edullinen leikkauskone, oli selvää, ettei voida käyttää kallista teollisuuden tarkoitettua automatiikkaa. Mach3-ohjausjärjestelmä oli jo entuudestaan tuttu, joten valinta oli helppo. Mach3-ohjelmisto voidaan asentaa mihin tahansa tietokoneeseen. Se muuttaa tavallisen tietokoneen CNC-ohjausjärjestelmäksi, joka kelpaa myös ammattikäyttöön. Mach3 pystyy ohjaamaan jopa 6 akselia niin askel- kuin servomoottoria. Koska koneessa päädyttiin käyttämään plasmaleikkuria, oli tärkeää, että koneessa tulisi olemaan järjestelmä, joka tarkkailee ja korjaa tarvittaessa leikkuukorkeutta. Plasmaleikkauksessa tämä pystytään hoitamaan helposti polttimen ja leikattavan kappaleen välistä kaarijännitettä seuraamalla. Automaattiset korkeudensäätöjärjestelmät ovat yleensä kalliita mutta nykyään löytyy myös halvempia valmistajia näille järjestelmille. Yksi näistä valmistajista on yhdysvalloissa sijaitseva Candcnc, jonka järjestelmä koettiin parhaaksi vaihtoehdoksi. Kuviossa 18 näkyy tämä järjestelmä.



KUVIO 18. Polttimen automaattinen korkeudensäätöyksikkö

Candenc MP3000 -järjestelmä toimii myös askelmoottoreiden ohjauselektronikkana, joten erillistä ohjainkorttia ei tarvitse. Järjestelmä yksinkertaistettuna toimii seuraavalla tavalla: CAM ohjelma luo G-koodin, joka syötetään Mach3-ohjelmistoon. Mach3 lukee koodin ja lähettää sen LPT-portin kautta MP3000-ohjausjärjestelmälle, joka lähettää tiedot askelmoottoriohjaimille, jotka kertovat moottoreille paikkatiedot. Mach3-ohjelmisto on esitelty seuraavassa kuviossa 19.



KUVIO 19. Mach3 CNC -ohjelmisto

3.6 Plasmaleikkausyksikkö

Plasmaleikkausyksikkönä voidaan käyttää kaikkia markkinoilla olevia malleja mutta polttimen korkeudensäätöyksikkö toimii parhaiten Hypertherm-tuotteiden kanssa. Kokemuksen perusteella voidaan myös todeta, että Hypertherm Powermax -sarjan leikkurit tuottavat markkinoiden parhaan leikkausjäljen. Hypertherm Powermax 45 -sarjan leikkuri pystyy lävistämään jopa 9,5 mm:n teräslevyn, joka on riittävä yrityksen käyttöön. Leikkurissa on

myös valmiiksi sisäänrakennettu yhteensopivuus CNC-kytkennälle. (Powermax45 2010, 20, 58–58)

Powermax 45 on erittäin kannettava, 45-ampeerinen, käsikäyttöinen ja mekaaninen plasmaleikkausjärjestelmä, joka sopii moniin sovelluksiin. Powermax45:ssa käytetään ilmaa tai tyyppiä sähköä johtavien metallien, kuten niukkahiilisen teräksen, ruostumattoman teräksen tai alumiinin leikkaukseen. Sillä voi leikata paksuuksia 25,4 mm:iin asti sekä pistää 9,5 mm:n syvyyteen. (Powermax45 2010, 16) Kuviossa 20 on esitelty leikkurin tekniset tiedot.

Virtalähteen nimellisarvot

Nimellinen tyhjäkäyntijännite (U_0) CSA/CE, 1-vaiheinen CE, 3-vaiheinen	275 VDC	
Nimellinen lähtövirta (I_2)	20 A – 45 A	
Nimellinen antojännite (U_2)	132 VDC	
Paloaikasuhteiden lämpötilassa 40° C (Katso virtalähteen päällä oleva tietolaatta saadakseen lisätietoja paloaikasuhteesta.)	50 % ($I_2=45$ A, $U_2=132$ V) 60 % ($I_2=41$ A, $U_2=132$ V) 100 % ($I_2=32$ A, $U_2=132$ V)	
Käyttölämpötila	-10° – 40° C	
Säilytyslämpötila	-25° – 55° C	
Tehokerroin 200–240 V CSA, 230 V CE, 1-vaiheinen 400 V, 3-vaiheinen CE	0,99 0,94	
Tulojännite (U_1)/ tulovirta (I_1) nimellistulona (U_2 MAX, I_2 MAX) (Katso osa 3, <i>Jännitteiden asetukset</i> saadakseen lisätietoja.)	200–240 VAC / 34–28 A (CSA) 230 VAC / 30 A (230 V CE)* 400 VAC / 10 A (400 V CE)**	
Kaasutyypit	Ilma	Typpi
Kaasun laatu	Puhdas, kuiva, öljytön ISO 8573-1 luokka 1.2.2	99,995 % puhdas
Suosittelu kaasun tuloaukon virtausnopeus ja paine	170 l/min @ 6,2 baaria	

T45v- ja T45m-poltin tekniset tiedot

Käsikäyttöinen leikkauskapasiteetti (materiaalin paksuus)	
Suosittelu leikkauskapasiteetti (käsileikkaus)	12,7 mm
Maksimileikkauskyky (käsileikkaus tai mekaaninen aloitus reunasta)	19,1 mm
Irrotuskyky (käsileikkaus tai mekaaninen aloitus reunasta)	25,4 mm
Mekaaninen pistokapasiteetti (materiaalin paksuus)	
Pistokapasiteetti (reuna-aloituksissa kapasiteetit ovat samat kuin käsikäyttöiset kapasiteetit)	9,5 mm
Suosittelu leikkausnopeus (niukkahiilinen teräs)	
6,35 mm	1524 mm/min
9,53 mm	813 mm/min
12 mm	508 mm/min
18 mm	203 mm/min
24 mm	102 mm/min
Taltauskapasiteetti	
Metallin poistonopeus niukkahiilillä teräksellä	2,8 kg/t
Paino	
Vain T45v-poltin	0,27 kg
T45v 6,1 m johdolla	1,55 kg
T45v 15,24 m johdolla	3,54 kg
Vain T45m-poltin	0,45 kg
T45m 7,62 m johdolla	2,27 kg
T45m 10,7 m johdolla	2,9 kg
T45m 15,24 m johdolla	3,85 kg

KUVIO 20. Hypertherm Powermax 45:n tekniset tiedot

4 POHDINTA

Työn tavoitteena oli saada suunniteltua asiakkaan tilauksen mukainen CNC-ohjattu polttoleikkauskone. Työhön on mallinnettu laite kaikkine osineen käyttämällä mallinnusohjelmalla Solidworks 2013 -ohjelmaa. Pääpaino työllä oli laatia toimivat kokoonpanopiirustukset koneesta. Suurin haaste oli suunnitella koneesta edullinen ja helposti valmistettava.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin termisiin leikkausmenetelmiin, joihin kuuluivat kaasuja plasmaleikkaus. Käytännön osuuteen sisältyi koneen mallinnus ja mittakuvien piirto, joiden avulla kone voidaan valmistaa. Koneita suunniteltaessa mietittiin erilaisia teknisiä ratkaisuja, jotka mahdollistavat edullisen ja käyttäjäystävällisen rakenteen.

Lopulliseen malliin saatiin toteutettua kaikki työn tilaajan vaatimat ominaisuudet. Itse laitteen valmistus ei tapahdu lähitulevaisuudessa vaan tarkoitus on kartoittaa ensin materiaalin hinta ja saatavuus.

LÄHTEET

Hypertherm 2013. What is plasma? Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.hypertherm.com/en/Training_and_education/intro_to_plasma/What_is_plasma/what_is_plasma.jsp. Luettu 2.12.2013.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2011. Valmistustekniikka. 14., uudistettu painos. Helsinki: Otatieto.

Metalwebnews 2000. Oxyfuel cutting – process and fuel gases. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.metalwebnews.com/manuals/oxyfuel-cutting.pdf>. Luettu 14.12.2013.

Oxyfuel-cutting-process-and-fuel-gases 2000. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/oxyfuel-cutting-process-and-fuel-gases-049/>.

Plasma cutting 2014. [Www.dokumentti](#). Saatavissa: <http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/gouging-the-other-plasma-process>.

Powermax 45 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.hypertherm.com/en/Products/Handheld_cutting/Systems/powermax45.jsp. Luettu 15.2.2014.

Schrader, G. & Ishennawy, A. 2000. Manufacturing processes & materials. United States: SME.

