



# **CNC-plasmaleikkurin suunnittelu**

Jarno Viertola

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2011  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Modernit tuotantojärjestelmät

VIERTOLA, JARNO: CNC-plasmaleikkurin suunnittelu

Opinnäytetyö 36 s., liitteet 5 s.  
Elokuu 2011

---

Yksi metalliteollisuuden tarpeista koneidenvalmistuksessa ja huolloissa on erimuotoisten levyn kappaleiden helppo ja nopea saatavuus. Varsinkin koneiden huollon toimivuuden edellytyksenä on nopea osien saanti. Edellä mainittujen syiden vuoksi CNC-plasmaleikkurista on suuri apu koneisiin ja laitteisiin tarvittavien metalliosien valmistuksessa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella 10-Asennus Oy:lle piirustukset CNC-plasmaleikkurista. Piirustus- ja mallinnusohjelmaksi käytettiin Vertex G4 -ohjelmaa. Työn aihe tuli yrityksen omistajalta. Idea lähti liikkeelle siitä, että yrityksen tekemissä kunnossapito- ja huoltotoissa tarvittiin erinäisiä kappaleita lyhyillä toimitusajoilla. Tämänhetkellä optisella ohjauksella toimivalla plasmaleikkurilla ei pystytä tekemään tarvittavia osia, vaan monet osat teetetään muissa yrityksissä.

Työn teoriaosuuden alussa käytiin läpi termisiä leikkausmenetelmiä ja niihin sisältyviä asioita. Syvällisemmin selvitettiin plasmaleikkauksen periaatetta, menetelmiä ja siihen tarvittavia välineitä. Koneensuunnittelu lähti etenemään keskustelemalla työn teettäjän kanssa siitä, minkä kokoisen ja mallisen koneen he haluaisivat. Suunnittelu- ja mallinnusosiossa käytiin läpi koneen eri rakenteita kuten portaalin rakennetta, vesipöydän rakennetta ja lineaariliikkeiden toteutusta.

Työn tuloksena syntyivät portaalityyppisen kolmeakselisen CNC-plasmaleikkurin piirustukset ja kokoonpanokuvat yrityksen omiin tarpeisiin sopiviksi. Työn aikana huomattiin, että on todella haastavaa suunnitella kokonaan uutta konetta. Rungon osien yhteen sovittamisessa kuluu paljon aikaa, koska yhden osan suunnitelmaa joutuu vielä muuttamaan useita kertoja siten, että toiset osat soveltuvat kyseisen osan kanssa yhteen.

Osa työssä käsitellyistä aineistosta on luottamuksellista.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Program in Mechanical and Production Engineering  
Options of Modern Production Systems

VIERTOLA, JARNO: Design of CNC Plasma Cutter

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 5 pages  
August 2011

---

The purpose of this thesis was to design a CNC plasma cutter for the company 10-Asennus Oy. The program Vertex G4 while was used while designing and modeling the CNC plasma cutter. The topic for this thesis came from the owner of the company, as different kind of components are needed within short delivery periods in the industrial maintenance business in which 10-Asennus Oy also operates. The necessary parts cannot be produced with the optically guided plasma cutter currently used in the company. Because of that, many components have to be purchased from other companies.

The thesis begins with an introduction to thermal cutting methods. After that the principles, methods as well as necessary equipment of plasma cutting are presented in a more detailed way. The first step in the modeling process was to discuss the size and type of the plasma cutter needed with the ordering party. In the modeling section of the thesis different structures of the CNC plasma cutter such as the structure of the portal and the water table as well as the execution of linear motions are explained.

The final products of the process are the design of and assembly pictures for a portal type three axis CNC plasma cutter customized to the needs of the ordering company. This project revealed me the challenges of designing a completely new machine. Drawing the parts of the machine's body is time consuming, as the design of the individual parts has to be altered several times in order to make them combinable with one another.

---

Key words: Plasma cutting, CAD design, modeling, Mechanical engineering

## Sisällys

1	JOHDANTO.....	5
2	10-ASENNUS OY.....	6
3	PLASMALEIKKAUS .....	7
3.1	Terminen leikkaus.....	7
3.2	Plasmaleikkauksen periaate .....	9
3.3	Plasmaleikkausmenetelmät ja -välineet.....	11
3.3.1	Menetelmät.....	11
3.3.2	Konetyypit.....	13
3.3.3	Virtalähde .....	15
3.3.4	Poltin .....	15
3.3.5	Suojakaasut.....	16
3.4	Plasmaleikkauksen ominaisuudet.....	16
3.4.1	Käyttökohteet ja sovellukset.....	18
3.5	Ohjausjärjestelmät .....	18
3.5.1	Edut.....	19
3.5.2	Haitat.....	19
4	KONEEN SUUNNITTELU JA MALLINNUS.....	20
4.1	Portaalin runko.....	21
4.2	Vesipöytä .....	23
4.3	Lineaariliikkeet .....	25
4.3.1	X-Lineaari.....	25
4.3.2	Y-Lineaari.....	28
4.3.3	Z-Lineaari .....	30
4.4	Energiansiirtoketjut ja kourut.....	31
4.5	Plasmaleikkuuyksikkö .....	32
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET.....	36

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella 10-Asennus Oy:lle CNC-ohjattu plasmaleikkuri. Käytännössä tämä tarkoittaa rungon ja leikkauspöydän mallinnusta Vertex G4 -ohjelmalla ja piirustusten piirtämistä. Työn idea tuli yrityksen omistajalta, koska yrityksessä on tällä hetkellä optinen plasmaleikkuslaitteisto, joka ei kaikilta osin vastaa yrityksen tarpeita. Esimerkiksi nykyiseen vanhaan koneeseen voidaan syöttää leikattavan kappaleen piirustus, mutta se on hankalaa. Lisäksi plasmaleikkuslaitteiston leikkauspöytä on 2000x2500 mm, johon ei mahdu täysipitkä kokonainen levy, vaan sitä joudutaan aluksi pienentämään.

Teoriaosuuden alussa käsitellään yleisesti termisiä leikkausmenetelmiä, niiden jaottelua ja minkälaisia kappaleita niillä on kannattavaa valmistaa. Sen jälkeen kuvataan plasman ominaisuuksia ja kuinka plasmakaaresta saadaan tehokas leikkauksen kannalta. Teoriaosuuden jälkeen lukijalla tulisi olla käsitys, mitä termiset leikkausmenetelmät ovat ja minkälaisissa koneissa plasmaleikkausyksiköitä käytetään.

Ennen varsinaisen työn aloittamista käytiin keskustelua työn teettäjän kanssa, mitkä olisivat koneen mitat ja koneen tyyppi. Koneen tyyppiä päätettiin portaali-tyyppinen plasmaleikkus kone, jossa leikkuupöytä on erillään portaalin tukijaloista. Koneen mittoihin vaikutti merkittävästi se, että leikkuupöydälle pitää sopia 2000x6000 mm levy leikattavaksi. Varsinainen työ aloitettiin leikkuupöydän rungon mallintamisella. Pöydän hahmotelman valmistuttua, seuraavana vaiheena oli portaalin johdetukien suunnittelu. Kone kokonaisuudessaan muodostuu useista komponenteista, joita ovat johteiden tuet, johteet, portaali, moottoreiden kiinnikkeet ja plasmaleikkusyksikkö. Suunnittelemisen ja mallintamisen avuksi katsottiin Internetistä vastaavanlaisten koneiden kuvia, jotta saataisiin ideoita piirrettävään koneeseen.

## 2 10-ASENNUS OY

10-Asennus Oy on Pirkanmaalla toimiva kunnossapitoa ja metallirakenteiden valmistusta tarjoava metallialan yritys. Yritys on toiminut vuodesta 2007 ja se on saavuttanut vahvan aseman eri teollisuusyritysten alihankkijana. Suunnitelmallisten ennakkohuoltojen ja joustavien aikataulujen johdosta yritys on kilpailukykyinen nykypäivän teollisuuden kunnossapitotarpeiden mukaan. 10-Asennus valmistaa myös kokonaistoimituksia laitteen esisuunnittelusta käynnistykseen asti. (10-asennus Internet-sivut)

Yritys tarjoaa kattavan kokonaisuuden korjaus-, huolto- ja asennuspalveluja lyhyelläkin toimitusajalla. Työt sisältävät usein tarjous- tai tilaustyönä suoritettavien teollisuuden tuotantolinjojen ja tuotantoon liittyvien laitteiden ja rakenteiden kokonaisvaltaisen uudistamisen niin kotimaassa kuin ulkomailla. (10-asennus Internet-sivut)

Työtilaukset liittyvät yleensä metalli-, elintarvike-, paperi- ja kemianteollisuuden kunnossapitoseisokkien aikana tehtäviin töihin. Lisäksi 10-asennus on erikoistunut vaativien teräsrakenteiden valmistamiseen ja asentamiseen. Hyvien yhteistyökumppaneiden avulla yritys pystyy toimittamaan mittavia kokonaistoimituksia. Monitaitoiset työntekijät tekevät tilanteen mukaan konepajatyötä, asennuksia, myös nostoja ja kuljetuksia. Konepaja ja konttori sijaitsevat Pirkkalassa 500m<sup>2</sup> rakennuksessa.(10-asennus Internet-sivut)

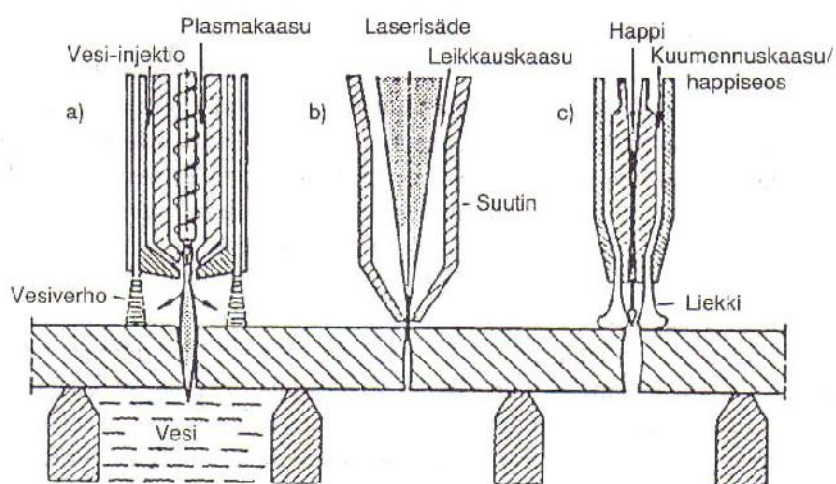
10-Asennus Oy:n arvoja ovat asiakastyytyväisyys, jatkuva kehittyminen, ammattitaitoinen ja hyvinvoiva henkilöstö, kannattavuus, korkea laatu sekä osaminen. Arvoja noudattamalla yritys pyrkii tarjoamaan laadukkaita tuotteita ja palveluita asiakkaille sekä olemaan turvallinen yhteistyökumppani asiakkaille ja turvallinen työnantaja työntekijöille.

### 3 PLASMALEIKKAUS

#### 3.1 Terminen leikkaus

Hitsattuja rakenteita valmistettaessa on aluksi suoritettava hitsattavien kappa-  
leiden leikkaus, joka voidaan suorittaa termisenä leikkauksena. Kun hitsattavat  
osat sisältävät pelkästään suoraviivaisia muotoja, on leikkaus mahdollista suo-  
rittua myös mekaanisesti. Termistä leikkausta sovelletaan tankojen ja levyjen  
leikkaukseen ja katkaisuun, lisäksi rillonvalmistukseen lastuavan työstön kans-  
sa. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2007, 261, 319.)

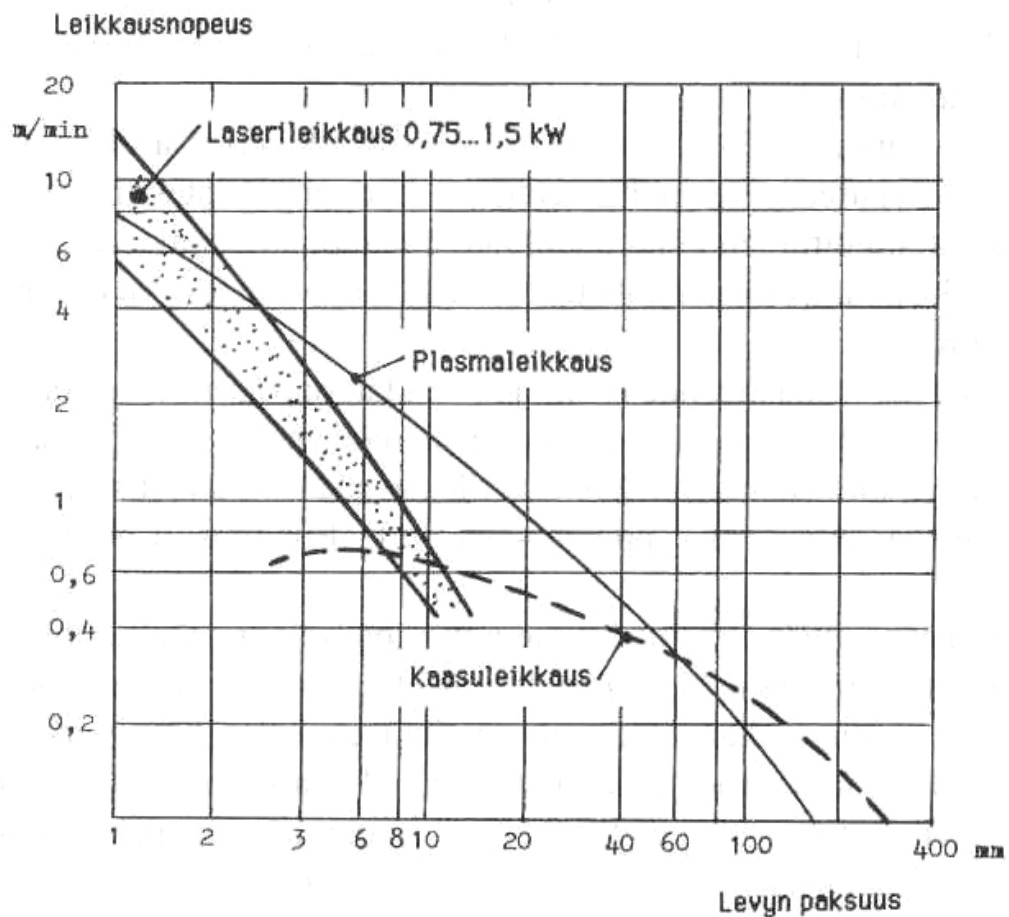
Termisen leikkauksen menetelmät voidaan jakaa polttoleikkaukseen ja sulatus-  
leikkaukseen. Eri leikkausprosessit, kuten plasmaleikkaus on sulatusleikkausta,  
kaasuleikkaus on polttoleikkausta ja laserleikkaus voi käyttötavasta riippuen olla  
jompaakumpaa. Termisten leikkausmenetelmien periaatteet selviävät kuviosta  
1. Nämä kolme edellä mainittua tapaa ovat yleisesti käytettyjä termisiä leikka-  
usmenetelmiä. Näihin leikkausmenetelmiin kuuluvat lisäksi jauheleikkaus, kaari-  
leikkaus ja elektronisuihkuleikkaus, jotka ovat harvemmin käytettyjä menetel-  
miä. (Kauppinen 1991, 46.)



KUVIO 1. Termisten leikkausmenetelmien periaate a)plasma- b) laser-  
c)kaasuleikkaus (Kauppinen 1991,47)

Termisessä leikkauksessa leikattava metalli kuumennetaan paikallisesti korkeaan lämpötilaan. Korkean lämpötilan vaikutuksesta kappaleen leikkautuminen tapahtuu sulamalla, palamalla tai höyrystymällä. Leikkausrailoon ohjattava kaasu puhalttaa sulan metallin pois leikkausraosta. Hapen läsnäolo leikkausprosessissa edistää palamista. (Kauppinen 1991,46.)

Terminen leikkaus on karkealevyjen suorassa leikkauksessa normaalisti mekaanista leikkausta edullisempi noin 8 - 10 mm levyn paksuuksilla ja sitä paksuimmilla levyillä termisiä leikkausmenetelmiä käytetään lähes aina. Lisäksi terminen leikkaus on ohutlevyilläkin kilpailukykyinen muotoleikkausmenetelmä. Kuviossa 2 nähdään leikkausmenetelmien käyttöalueet levynpaksuus / leikkauksenopeus koordinaatistossa. (Kauppinen 1991,46.)

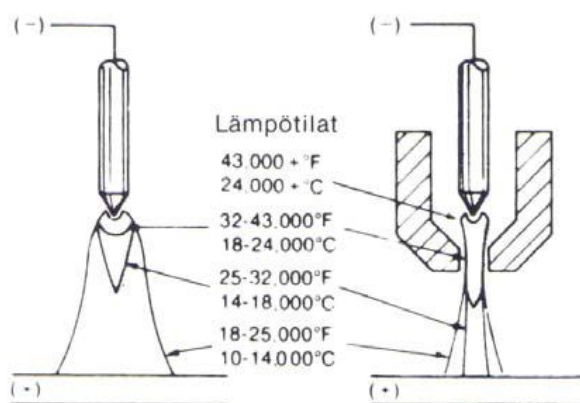


KUVIO 2. Termisten leikkausmenetelmien käyttöalueet (Kauppinen 1991,47)

### 3.2 Plasmaleikkauksen periaate

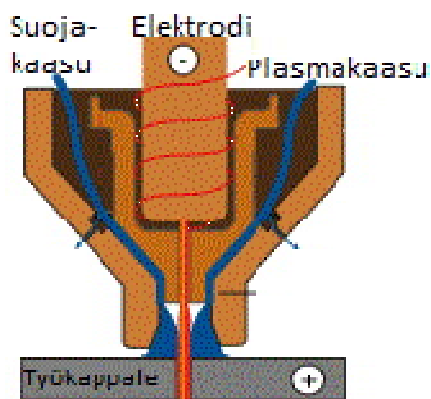
Plasma on aineen olomuoto, jossa aine on ionisoitunut eli menettänyt elektroneja eli se koostuu sähköisesti varatuista hiukkasista. Plasmatila aineeseen saadaan aikaan nostamalla energiaa ja lämpötilaa. Lämpötila vaihtelee 2000–50000 °C välillä. Kun aineen ionisaatioenergia on saavutettu, niin aine muuttuu plasmaksi. Ionisoitunut aine vapauttaa elektroneja, jolloin plasma on hyvä sähkönjohte. Teollisuuden plasmakuumennussovelluksissa plasma muodostetaan kuumentamalla kaasua valokaarella tai induktiolla. (Ihalainen ym. 2007, 321; Luoto 2010, 3.)

Plasmaleikkaus on sulatusleikkausmenetelmä, jossa leikattavaan levyyn sulatetaan railo, kuuman plasman lämpöenergiaa hyväksikäyttäen. Sulanut metalli puhalletaan leikattavan levyn leikkausurasta pois plasmakaasun kineettisen energian avulla. Lämpötila on teollisuuskäytöissä yleensä 6000–30000 °C, joka johtuu siitä, että teollisissa olosuhteissa kaasun atomeista ionisoituu korkeintaan puolet. Plasmakaari supistetaan suuttimen avulla, jolloin sen lämpötilat saadaan korkeammiksi ja kaaresta tulee keskittyneempi. Kuviosta 3 näemme kuinka plasmakaaren kuristus vaikuttaa kaaren lämpötiloihin ja keskittyneisyyteen. (Ihalainen ym. 2007, 263–264.)



KUVIO 3. Plasmakaaren supistuksen vaikutus (Ihalainen ym. 2007, 264)

Plasmakaasu ohjataan leikkauspolttimessa olevan elektrodin ja leikattavan levyn välillä palavaan valokaareen eli plasmakaareen (kuvio 4). Leikattaessa poltin on negatiivisena elektrodina ja työkappale on positiivisena elektrodina. Polttimessa negatiivinen elektrodi on ympäröity kuparisuuttimella. Kuparisuuttimen sisällä oleva sauva eli negatiivinen elektrodi valitaan käytössä olevan plasmakaasun mukaan, sauvan materiaali voi olla esimerkiksi wolframia. (Kauppinen 1991,50.)



KUVIO 4. Plasmakaaripoltin (Cook ja Morong 2004, muokattu)

Valokaari ahtautuu kuparisuuttimen läpi, johon johdetaan plasmakaasua. Kun kaasua kuumennetaan valokaaressa, kaasua laajenee voimakkaasti ja virtaa suuttimen läpi erittäin suurella nopeudella, jopa 1000 m/s. Suutinta jäähdytetään tavallisesti vedellä. Kun plasmakaasu kohtaa kylmän levyn pinnan, molekyylejä muodostuu uudelleen ja dissosiointiin kulunut energia vapautuu sulattamalla materiaalin paikallisesti. Sula poistuu railosta suurinopeuksisen kaasuvirtauksen ansiosta. Voidaan todeta, että kaasujen muodostamalla plasmalla on plasmaleikkauksessa kahdenlainen tehtävä. Sen pitää pystyä sulattamaan perusaine ja lisäksi poistamaan sulanut metalli leikkausrailosta. (Ihalainen ym. 2007, 321.)

### 3.3 Plasmaleikkausmenetelmät ja -välineet

#### 3.3.1 Menetelmät

Käytössä on normaalin plasmaleikkauksen lisäksi monia hieman toisistaan eroavia menetelmiä. Menetelmistä voidaan ainakin mainita paineilmaplasmaleikkaus, happiplasmaleikkaus, "Dual flow" -menetelmä ja vesistabiloitu eli vesiinjektiomenetelmä, jossa vettä ruiskutetaan plasmakaasuun. (Kauppinen 1991,50.)

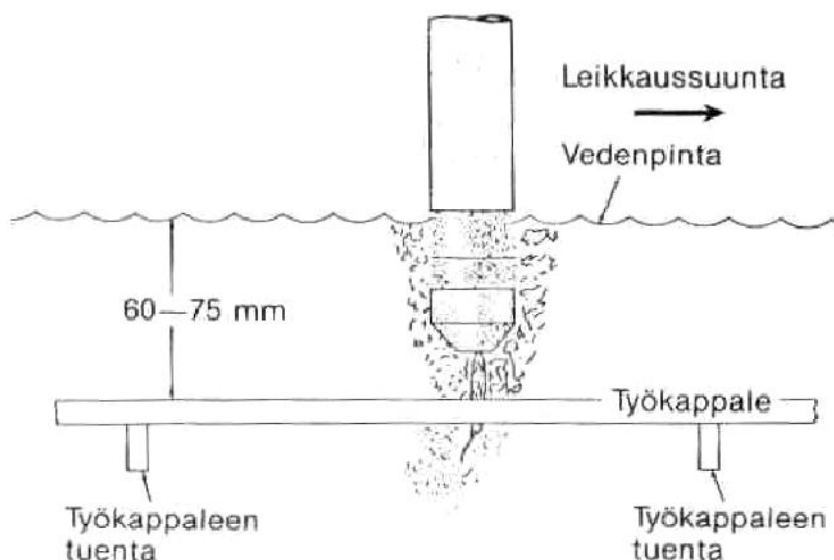
Paineilmaplasmaleikkauksessa plasmakaasuna käytetään nimensä mukaan paineilmaa. Tällä leikkaustavalla saavutetaan melko korkeita leikkuunopeuksia, mikä johtuu paineilman hyvistä ominaisuuksista plasmakaasuna. Polttimessa käytettävä elektrodi on zirkoniumia tai hafniumia, koska ilma hajoaa plasmakaaren korkeassa lämpötilassa typeksi ja hapeksi. Ilmalla on hyvä lämmönjohtokyky sekä korkea kineettinen energia. Menetelmässä huonoa on, että saavutettavat leikkauspinnat ovat melko vinot ja hyvää se, että jäysteen muodostus on vähäistä. (Teräslevyjen terminen leikkaus 1985, 32.)

Happiplasmaleikkauksessa plasmakaasuna käytetään pelkästään happea. Tämä menetelmä on kehitetty seostamattomien terästen leikkaukseen, kuten paineilmaplasmaleikkauskin. Happiplasma leikkaus on ominaisuuksiltaan hyvin samantapainen kuin paineilmaplasmaleikkaus. Kun plasmakaasuna käytetään happea, niin tyytynyt rautakerros pienenee huomattavasti leikkauspinoilla, kun taas paineilmaa käytettäessä kerros kasvaa. Leikkauspinnalle muodostunut tyyppi on haitallista kappaleita hitsatessa, koska se johtaa huokosten muodostukseen hitsissä ja siten hitsin heikentyneisiin ominaisuuksiin. (Teräslevyjen terminen leikkaus 1985, 32.)

”Dual flow” – plasmaleikkauksessa poltin on ympäröity eräänlaisella kuvulla, josta johdetaan lisäkaasuvirtaus plasmakaareen, muuten poltin muistuttaa tavanomaista poltinta. Plasmakaasuna on tavallisesti typpi ja lisäkaasuna hiilidioksidi tai ilma leikattavan materiaalin mukaan. Lisäkaasuvirtaus jäähdyttää suutinta, se estää epäpuhtauksien pääsyä valokaareen ja vähentää säteilyn määrää, joka kohdistuu työntekijään. Kaasuvirtaus kuristaa plasmakaarta ja tällöin kaaren energiatiheys kasvaa ja tämän ansiosta voidaan käyttää suurempia leikkauksnopeuksia. Lisäksi se muuttaa leikkauspintoja suorakulmaisemmaksi lewynpintaan nähden ja leikkausrailon yläreunasta tulee terävämpi. (Teräslevyjen terminen leikkaus 1985, 32.)

Vesistabiloidussa plasmaleikkauksessa plasmakaareen johdetaan vesisuihku. Siinä leikkaustehot ovat suuria johtuen korkeista leikkausvirroista. Leikkauksvirtaa nostaa tasapäinen elektrodi, kun muissa menetelmissä se on usein terävä. Tässä leikkausmenetelmässä käytetään plasmakaasuna aina typpiä ja elektrodi on wolframia. Virtalähteen liitäntätehot ovat korkeita johtuen suuresta kaari-tehosta sekä veden höyrystymisen vaatimasta ylimääräisestä energiasta. Vesisuihkulla on plasmakaareen kuristava vaikutus, joka lisää leikkauksnopeutta. Osa plasmakaareen tuodusta vesimäärästä höyrystyy ja kaaren pinnalle muodostuva höyrykalvo vähentää suuttimeen siirtyvää lämpö määrää, lisäksi suuttimessa virtaavalla vedellä on tehokas suutinta jäähdyttävä vaikutus. Leikkausrailon toinen reuna on suorakulmaisempi kuin toinen, mikä tarkoittaa että leikkauksuunta pitää aina valita oikein. (Teräslevyjen terminen leikkaus 1985, 33.)

Plasmaleikkaus on mahdollista suorittaa myös veden alla, jolloin vesi sitoo leikkauksprosessista tulevia myrkyllisiä kaasuja ja lisäksi vesi vaimentaa leikkauksäänen. Tällä lailla tapahtuvassa leikkauksessa tarvitaan leikkaukspöytää, joka pystytään täyttämään vedellä suorituksen ajaksi. Vedenpinnan korkeudensäätö tapahtuu tavallisesti paineilmapatjan avulla. Veden alla tehtävään leikkaukseen pitää olla oikeanlainen poltin. Kuviosta 5 nähdään vedenalaisen plasmaleikkauksen periaate. (Ihalainen ym. 2007, 264.)



KUVIO 5. Vedenalainen plasmaleikkaus (Teräslevyjien terminen leikkaus 1985, 35)

### 3.3.2 Konetyypit

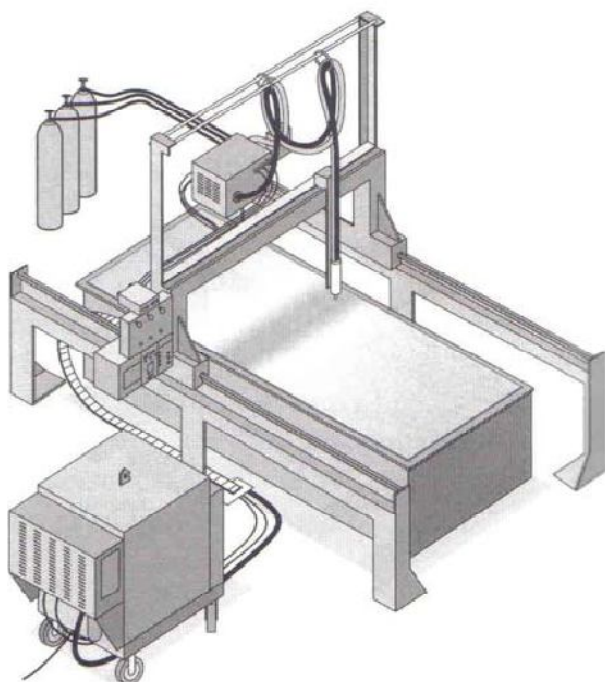
Kaasuleikkauksessa käytettävät polttoleikkaukoneet ovat hyvin samantyyppisiä kuin plasmaleikkauksessa käytettävät koneet. Usein samassa koneessa voi olla sekä kaasu- että plasmapolttin. Käytettäessä esimerkiksi kahta plasmapolttinta samassa koneessa ne tarvitsevat omat plasmalaitteistot, mikä nostaa kustannuksia kaasuleikkaukseen verrattuna. (Ihalainen ym. 2007, 262.)

Polttoleikkaukoneiden rakenteet voidaan jakaa kahteen ryhmään siirrettäviin ja kiinteisiin. Siirrettäviä leikkaukoneita on monentyyppisiä. Kaikille konetyypeille on ominaista, että niillä pystytään suora- ja muotoleikkaamaan. Muotoleikkauksissa ohjaukseen voidaan käyttää apuna siihen tarkoitettua harppia tai niitä voidaan ohjata käsin. Suorissa leikkauksissa apuna käytetään ohjauksiskoja, jonka päällä pientä poltinskykettä liikutetaan. (Katainen & Mäkinen 1995, 87.)

Kiinteisiin kuuluvat polttoleikkaukoneet voidaan jakaa nivelvarsi-, ristivaunu-, sekä portaalityyppisiin koneisiin. Nivelvarsikoneet ovat halvimpia ja rakenteeltaan yksinkertaisimpia kiinteitä polttoleikkaukoneita. Näiden koneiden vaatima tilantarve on vähäinen ja ne sopivat pienten kappaleiden leikkaamiseen. Polttimen ohjaukseen käytetään yleensä magneettirullaohjausta. (Teräslevyjien terminen leikkaus 1985, 15.)

Ristivaunutyyppisessä polttoleikkauskoneessa on kiskoilla liikkuva pitkittäisvaunu, jonka päälle on sijoitettu poikittainen ulokepalkki. Ulokepalkin johdepinnoille on sijoitettu polttimia kannattavat poltinvaunut. Pitkittäinen liike saadaan aikaan pitkittäisvaunun liikkeellä ja poikittaisliike poltinvaunun liikkeellä ulokepalkilla. Ristivaunutyyppisen koneen periaate antaa mahdollisuuden valmistaa koneita, joilla pystytään leikkaamaan suuria kappaleita. Ohjaus tapahtuu joko optisella tai numeerisella ohjauksella. (Teräslevyjien terminen leikkaus 1985, 15.)

Portaalityyppiset polttoleikkauskoneet muistuttavat ristivaunutyyppisiä koneita, mutta niissä ulokepalkin toisessakin päässä on palkkia kannattava kulkukisko (kuvio 6). Näin leikkaustarkkuus paranee, koska kone on rakenteeltaan tukevampi. Tällöin voidaan myös käyttää useampia poltinvaunuja. Ohjaus toteutetaan usein numeerisella ohjauksella tai joskus myös optisella ohjauksella. (Teräslevyjien terminen leikkaus 1985, 15.)



KUVIO 6. Portaalityyppinen plasmaleikkauslaitteisto (Lepola, P. & Makkonen, M. 2005, 254)

### 3.3.3 Virtalähde

Tämänpäiväisissä plasmaleikkauslaitteistoissa käytetään virtalähteenä normaalisti joko tyristori- tai transduktiohjattua tasasuuntaajaa. Kaarijännitteet ovat tällaisissa virtalähteissä 150 - 200 V luokkaa. Tyhjäkäyntijännitteen on oltava virtalähteessä 400 V, jotta saadaan aikaan vakaa valokaari. Lisäksi laitteistoon kuuluu ohjausyksikkö, joka voidaan sijoittaa erilleen haluttuun kohtaan koneen läheisyydessä tai virtalähteen päälle. Ohjausyksikön toimintoihin kuuluu erilaisia säätö-, ohjaus-, ja valvontatoimintoja. Näitä voivat olla esimerkiksi kaarijännitteen sekä leikkausvirran portaaton säätö tai plasmakaasujen virtausten säätö. Kuviossa 7 on esitetty käsivarainen plasmaleikkauslaite. (Ihalainen ym. 2007,264.)



KUVIO 7. Käsivarainen plasmaleikkauslaite (Mc Rolls)

### 3.3.4 Poltin

Plasmaleikkauspoltin soveltuu usein kiinnitettäväksi tavalliseen polttoleikkauskoneeseen. Polttimen automaattinen korkeuden säätö tehdään ennen plasmakaaren syttymistä joko induktiivisesti tai mekaanisesti. Syttymisen jälkeen korkeutta säädetään kaarijännitteen perusteella. Tärkeimpiä osia leikkauspolttimessa ovat elektrodi sekä suutin, joka toimii purkauskammiona. Plasmakaaren muodostus tapahtuu purkauskammiossa. (Ihalainen ym. 2007,264.)

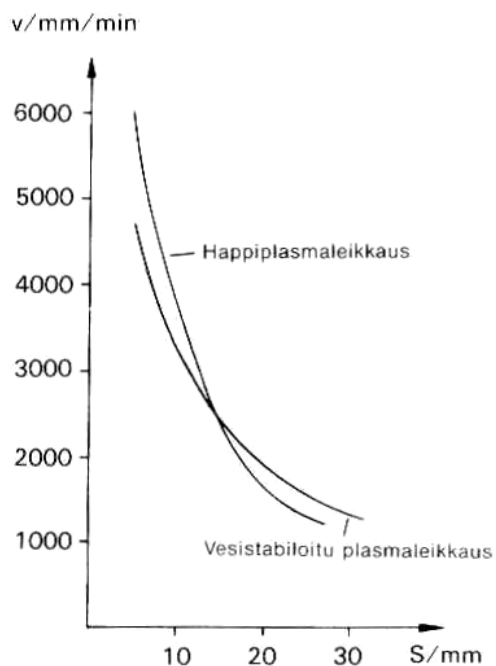
### 3.3.5 Suojakaasut

Plasmaleikkauksessa käytettävät kaasut ovat vety, typpi, argon, paineilma ja happi. Usein niitä käytetään kaasuseoksina kuten vedyn ja argonin seosta tai argonin, typen ja vedyn seosta. Eri seosvaihtoehdoilla saadaan kunkin alkuaineen hyvät ominaisuudet käyttöön. Suojakaasuina käytetään monesti typpeä, hiilidioksidia ja paineilmaa. (Ihalainen ym. 2007, 321 - 322.)

Plasmakaasuista argon takaa hyvän kaaren syttyvyyden, mutta alhaisen kaarijännitteen ja huonon lämmönjohtokyvyn, minkä johdosta se antaa huonon leikkaustuloksen. Vety puolestaan nostaa kaarijännitettä ja parantaa siten kaaren tehoa. Yksinään vetyä ei voida käyttää, koska kaasuvirtauksen massavaikutus ei pystyisi avaamaan railoa eikä kaari syttyisi. Plasmakaasuista typpi soveltuu sellaisenaan käyttöön, mutta sen ongelmana on suuri kaarijännite. Paineilmaa hyödynnetään myös yksinään plasmakaasuksi. Huonoina puolina paineilmalla on vaarallisten typpioksidin ja typpidioksidikaasujen suuret pitoisuudet ja elektrodin voimakas hapettuminen. (Ihalainen ym. 2007, 321 - 322.)

### 3.4 Plasmaleikkauksen ominaisuudet

Plasmaleikatun kappaleen tarkkuus on samaa luokkaa kuin polttoleikatun kappaleen. Tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat leikattavan materiaalin ominaisuudet ja leikkauskoneen rakenne ohjauksineen. Leikattavan metallin puhkausaste vaikuttaa plasmaleikkauksessa mittatarkkuuteen huomattavasti vähemmän kuin polttoleikkauksessa. Leikkausnopeudet putoavat plasmaleikkauksessa nopeasti levyn vahvuuden kasvaessa (kuvio 8). Tämä on seuraus siitä, että iso osa plasmasta saatavasta lämpöenergiasta siirtyy leikattavaan kappaleeseen anodipisteessä. (Ihalainen ym. 2007, 265.)



KUVIO 8. Esimerkki kuva leikkausnopeuden riippuvuus levynpaksuudesta (Ihalainen ym. 2007, 265)

Suuttimen koko määrää plasmaleikkauksessa leikkausuran leveyden. Suuttimen valintaan vaikuttavat levynpaksuus ja virranvoimakkuus. Uran leveys on 1,5 - 4 mm, sen muoto yläreunasta pyöristynyt ja leikkausuran reunat ovat vinot. Toisen reunan vinous on pienempi, noin  $2 - 4^\circ$  ja toisen reunan  $4 - 10^\circ$ . Vinous vaihtelee eri menetelmien välillä. Lämmön vaikutusvyöhyke on 0,2 - 0,3 mm. (Kauppinen 1991,50.)

Plasmaleikkauksessa muodostuu kaasuja kuten otsonia, typpioksidia ja typpidioksidia sekä metallihuuruja. Oleellisesti kaasujen muodostumiseen vaikuttavat leikkausarvot, leikkausnopeus, valokaaren pituus ja leikkausvirta, myös leikattavalla aineella on merkitystä kaasujen muodostumisessa. Epäpuhtauksien määrään pystytään parhaiten vaikuttamaan pitämällä valokaari mahdollisimman lyhyenä ja käyttämällä parhaan leikkausjäljen antavia leikkausarvoja. Leikkauspintojen laatua sekä leikkausnopeuksia on saatu parannettua uusilla poltinratkaisuilla sekä plasmakaasuilla. Myös ympäristölle aiheutuvia haittavaikutuksia on pystytty vähentämään leikkausmenetelmän kehityksen myötä. (Ihalainen ym. 2007, 264.)

### 3.4.1 Käyttökohteet ja sovellukset

Plasmaleikkausta hyödynnetään leikattaessa materiaaleja, joita ei pystytä leikkaamaan tavallisilla polttoleikkausmenetelmillä. Tällaisia materiaaleja ovat hapon kestävät ja ruostumattomat teräkset, titaani, messinki ja seostetut teräkset. Siirrettäviä plasmaleikkureita voidaan käyttää helposti ahtaissakin paikoissa, joissa pitää leikata materiaalia, mitä muilla menetelmillä olisi hankala leikata. Pienimpien siirrettävien laitteiden paino on noin 10 kg ja leikkureihin tarvitaan noin 5 baarin paine, sen jälkeen laite on käyttövalmis. (Katainen & Mäkinen 1995, 101.)

Plasmaleikkauksen soveltuvuus on nykyisin levinnyt myös ohutlevyihin. Menetelmää voidaan käyttää 0,5 mm levynpaksuudesta alkaen, vaikka se oli alkujaan pääasiassa karkeiden levyjen leikkausmenetelmä. Plasmaleikkauksella voidaan leikata kaikkia sähköä johtavia metalleja. Se on haponkestävien ja ruostumattomien terästen valtaleikkausmenetelmä. (Ihalainen ym. 2007, 264.)

### 3.5 Ohjausjärjestelmät

Nykyään plasmaleikkureissa käytetään numeerista ohjausta, mutta myös optista-, ja magneettirullaohjausta käytetään. Numeerisesti ohjatuissa koneissa saadaan ohjaukseen tarvittava tieto ohjaimen levyasemalle tallennetusta ohjelmasta. CNC-koneissa tiedon voi antaa suoraan ohjauspaneelista käyttämällä esiohjelmoituja kappaleen muotoja tai piste pisteeltä. Numeerisesti ohjatut koneet ovat ohjaukseltaan tarkimmat. Koneen ohjauksen tarkkuus on periaatteessa virheetön, jos mekaaninen tarkkuus on  $\pm 0,8$  mm /10 m. Numeerisesti ohjatuilla koneilla usein syntyy vähemmän romulevyä kuin optisesti ohjatuilla koneilla. Myös mittatarkkuus on parempi, koska numeerisesti annettu muoto on täsmällisempi. (Ihalainen ym. 2007, 262.)

Optisesti ohjatuissa koneissa on valosähköinen ohjauslaite eli seurantapää. Seurantapää seuraa piirustuksen viivaa tai silhuetin reunaa automaattisesti. Sen lukematieto ohjaa elektronisesti koneen vetomoottoreita ja samalla polttimen liikettä leikattavan kappaleen mukaisesti. Ohjauksen seuratussa leikkaus-

viivaa tai silhuetin reunaa, puhutaan reunanseurannasta ja ohjauksen seuratesa piirustusviivaa viivanseurannasta. (Ihalainen ym. 2007, 262.)

Magneettirullaohjauksessa uritettu rulla pyörii vasten teräksistä mallia. Rulla on kiinnitetty pantografiin eli ohjaustankoihin, jonka mukaan poltin liikkuu. Tämä ohjausmenetelmä on suhteellisen hidas. (Karttunen 2009, 12.)

### 3.5.1 Edut

Plasmaleikkauksen eduksi voidaan todeta se että, menetelmällä pystytään leikkaamaan metalleja, joihin muut termiset leikkausmenetelmät eivät pysty. Tällä menetelmällä leikatuissa kappaleissa lämmönvaikutusalue jää pieneksi, jolloin leikkuusta tulee tarkkaa. Silloin metallissa ei tapahdu paljoa muodonmuutoksia kun lämpö ei leviä liikaa. Jos verrataan plasmaleikkauksen ja polttoleikkauksen leikkausnopeuksia, niin plasmaleikkauksen leikkuunopeudet ovat suuria alle 30 mm ainevahvuuksilla. Myös reiäntekonopeus on parempi kuin polttoleikkauksessa. Plasmaleikkauksen etu on, ettei levyä tai itse laitteistoa tarvitse esilämmittää, vaan leikkaus kyetään suorittamaan heti. Leikkauspintojen oksidointuminen on plasmaleikkauksessa vähäistä tehokkaan lämmönkeskityksen vuoksi. (Katainen & Mäkinen 1995, 87; Ihalainen ym. 2007, 265–266.)

### 3.5.2 Haitat

Plasmaleikkauksesta löytyy myös huonoja puolia. Korkea hinta on plasmaleikkureiden yksi haittapuoli, varsinkin silloin, kun käytetään useampaa poltinta. Hintaa usean polttimen käytössä nostaa se, että jokainen poltin vaatii oman virtalähteen. Leikkausrailo ei ole ihan kilpailevien menetelmien tasoista, sillä se on usein leveämpi kuin polttoleikkauksessa. Työskentelyolot voivat olla huonot, kun työ tapahtuu haitallisten kaasujen kanssa, tilassa melu voi olla suuri ja leikkauksesta muodostuu haitallista säteilyä. Lisäksi plasmaleikkauksessa leikkausreunat eivät ole kohtisuorassa levyn pintaan ja leikkausjälki on yleensä huonompaa kuin polttoleikkauksessa. (Ihalainen ym. 2007, 265–266.)

## 4 KONEEN SUUNNITTELU JA MALLINNUS

Koneen suunnittelu aloitettiin tutustumalla Internetissä plasma- ja polttoleikkauskoneita valmistavien yritysten sivustoihin. Sivustojen kuvien ja videoiden avulla sai kohtalaisen käsityksen, mitä pitäisi alkaa mallintaa. Työn teettäjän kanssa päätettiin koneen tyyppi, mikä oli portaalimallinen kone, lisäksi leikkuupöydän tyyppiä valittiin vesipöytä, jolle pitää mahtua 2000x6000 mm levy.

Portaalimalli on konetyyppi, jossa koneen pituusjohteet ovat polttopöydän molemmilla sivuilla. (Liite 1.) Pituusjohteet ovat leikkuupöydästä erilliset ja leikkaustason alapuolella. Tällöin kone on tukeva ja tämä mahdollistaa yhdessä nykyaikaisen servo-ohjaustekniikan kanssa suuren liikenopeuden ja tarkkuuden.

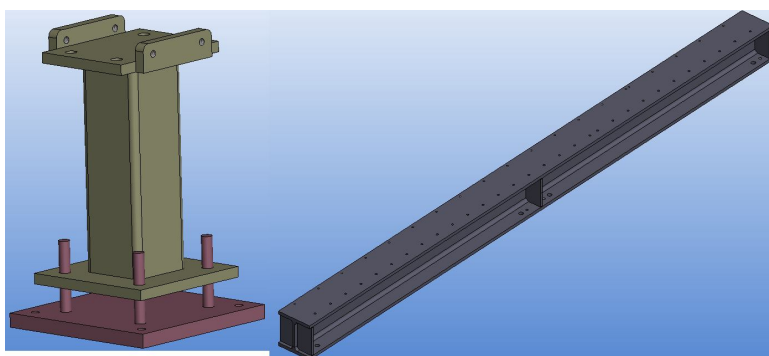
Vesipöytä on leikkuupöytä, joka muodostuu tarvittavan kokoisesta ulkokehikosta, vesialtaasta ja sisäkehikosta. Ulkokehikko toimii pöydän runkona. Altaan sisällä oleva kehikko on teline leikattavaa levyä varten ja leikkaus tapahtuu altaassa, joka on täytetty vedellä. Vesipöydässä on ideana, että veden pinta nostetaan leikattavaan kappaleeseen kiinni. Veden on tarkoitus sitoa leikkauksesta muodostuvat kaasut. Veden nostaminen ja laskeminen tapahtuu altaan pohjalle rakennetun säiliön ja paineilman avulla.

Suunnittelu on jaoteltu osiin seuraavissa kappaleissa laitteen osakokonaisuuksien mukaan. Työn toteutus lähti etenemään rungon hahmottelusta ja siitä, mikä kokoisia levyjä koneella voidaan leikata. Rungon jälkeen paneuduttiin vesipöydän rakenteeseen. Seuraavaksi kehitettiin x-liikkeen kelkka; siihen tarvittavat laakerit valittiin SKF:n tuoteluetteloista sopivien mittojen ja käyttötarkoituksen perusteella. Y-liikkeen ja z-liikkeen muodostamiseen käytettiin Hiwin -merkkisiä lineaarijohteita ja komponentteja. Koneen runkorakenteiden osat liitetään toisiinsa hitsaamalla ja pulttiliitoksilla.

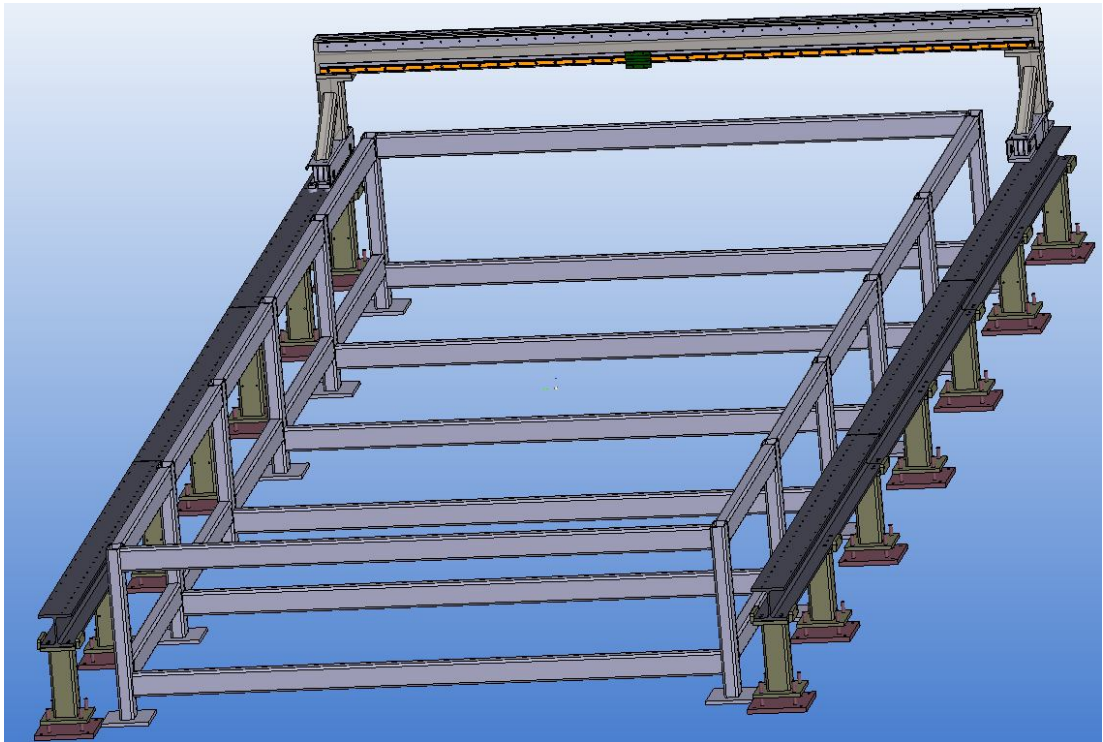
#### 4.1 Portaalin runko

Koneen runkomateriaaleina käytettiin erikokoisia putkipalkkeja, joista mallinnettiin sekä portaali että sen jalat. Pituusjohteiden runkona päätettiin käyttää leveää I-tankoa. Portaalin rungon fyysisissä mitoissa huomioon otettavia seikkoja olivat leikkuupöydän korkeus, leveys ja pituus. Ne vaikuttavat oleellisesti portaalin kokoon ja mittoihin. Pöydän koko määräytyi asetetun levykoon mukaan 2500x6500 mm kokoiseksi. Pöydän koosta johtuen portaalin jalkojen leveydeksi muodostui 3150 mm, joten koko kone tarvitsee leveyssuunnassa tilaa noin 4500 mm. Leikkuupöydän korkeus vaikutti merkittävästi portaalin korkeuteen, koska portaalin ja leikkuupöydän etäisyys toisistaan ei saanut muodostua liian isoksi. Edellä mainitusta syystä portaalin korkeudeksi laitettiin 1200 mm, silloin leikkuupöydän ja portaalin välinen etäisyys oli 300 mm. Portaalin jalkojen päälle tulevien pituusjohteiden kokonaispituudeksi suunniteltiin 7300 mm, jotta portaali voidaan ajaa pöydän päältä kokonaan pois levyn asettamisen ajaksi. Kuviossa 10 on kuvattuna koneen runko.

Suunnittelu aloitettiin portaalin rungon tukijaloista ja niiden päälle tulevasta pituusjohteiden tuista. Jalkojen materiaalina käytettiin 100x100x5 mm putkipalkkia. Jalkapalkkien päihin liitettiin sopivan kokoiset levyt kiinnityksien kannalta. Lattian korkeuserojen takia jalkoihin jouduttiin tekemään korkeuden säätömekanismit. Mekanismit tehtiin 15 mm levyistä. Tähän tuli pystyyn neljä 16 mm kierretankoa, joista korkeutta voidaan säätää (kuvio 9). Pituusjohteiden tuet valmistettiin 140x140 mm leveästä I-tangosta (kuvio 9). Johdetuet muodostuivat koneen molemmille puolille kolmesta 2430 mm pitkistä osista. Yhtä osaa tukee kolme jalkaa, eli pituusjohde seisoo lattialla tukevasti seitsemästä tukipisteestä (kuvio10). (Liitteet 2–3.)

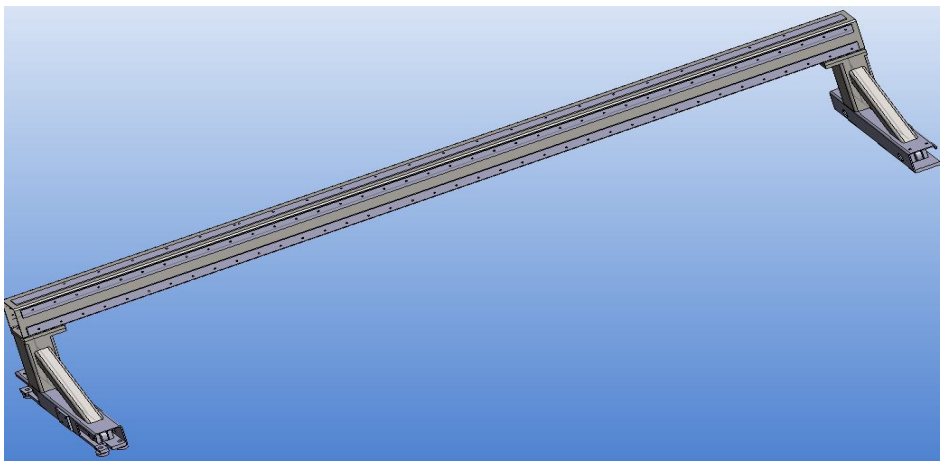


KUVIO 9. Tukijalka ja pituusjohteen tuki



KUVIO 10. Koneen runko

Pöydän päällä liikkuva portaalin runko eli Y-liikkeen johteiden tuki koostuu 150x100x4 mm putkipalkista, joka kulkee pöydän yli leveysuunnassa. Palkin suuri korkeus, 150 mm, aiheutuu johteiden ja kelkkojen tarvitsemasta korkeudesta. Iso palkki kiinnitetään sitä tukeviin pystypalkkeihin pulteilla. Tämä helpottaa ison palkin koneistusta. Koneistusta palkissa tarvitaan reikien, johteiden ja hammastankojen kiinnityspintojen valmistukseen. Palkkia kannattelevat 100x100x4 mm putkipalkit, jotka kiinnittyvät johdekelkkaan. Pituussuunnasta rakennelma on tuettu 60x60x4 mm vinossa olevilla palkeilla johdekelkkaan. Kokonaisuus on kuvattu kuviossa 11. (Liite 4.)

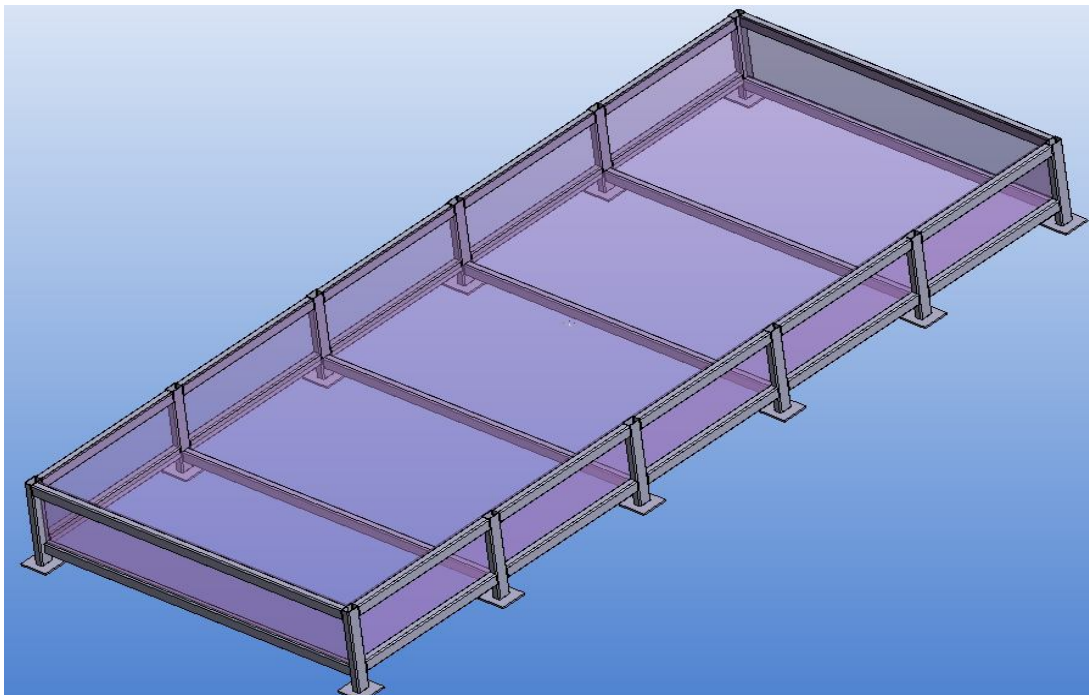


KUVIO 11. Pöydän päällä liikkuva portaali

## 4.2 Vesipöytä

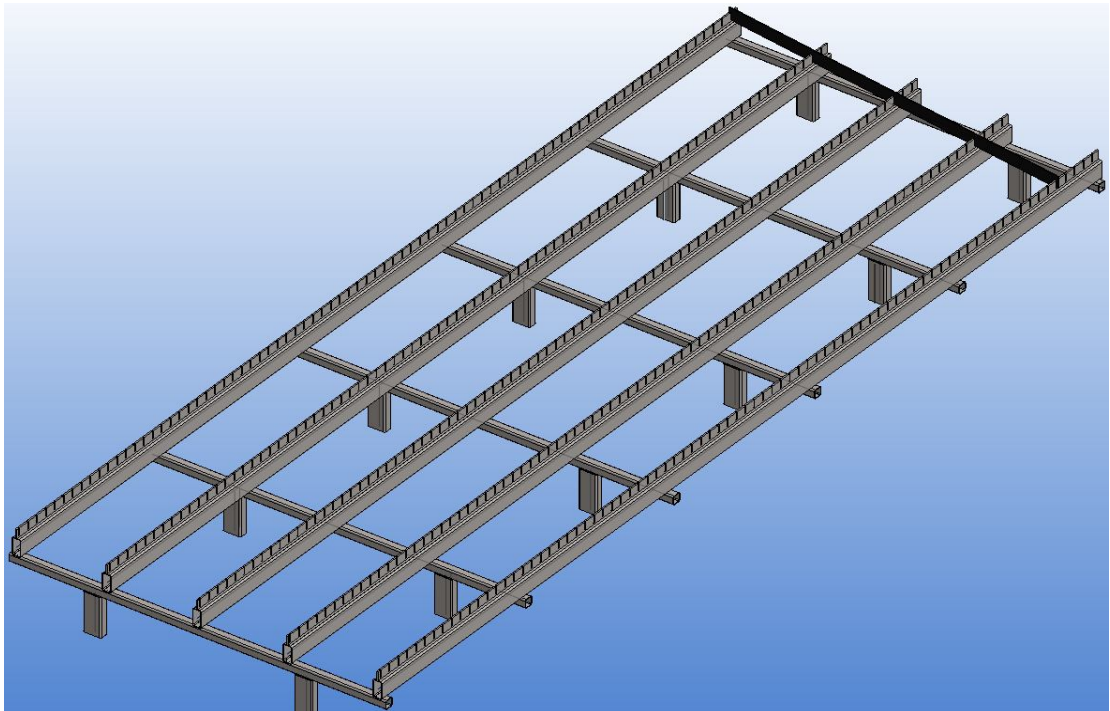
Nykyisin plasmaleikkauksessa käytetään usein alaimupöytää, jossa leikkauksesta muodostuvat kaasut imetään pois tehokkaiden puhaltimien avulla. Toinen ratkaisu kaasujen sitomiseen on vesipöytä. Näistä kahdesta vaihtoehdosta päädyttiin vesipöytään, koska se on helpompi toteuttaa, ja siitä aiheutuvat kustannukset ovat pienempiä. (Liite 5.) Alaimupöydän valmistuskustannuksia nostaa pöydän lisäksi tarvittava, tehokas ilmanvaihtokone verrattuna vesipöytään, jossa sitä ei tarvita.

Leikkuupöydän koko määräytyi siitä, että leikattavaksi pitää sopia 2000x6000 mm levy. Pöydän sisämitoiksi sovittiin 2500x6500 mm, jotta levy olisi helppo laskea pöydälle. Toiseksi levyn nostamiseen tarvittavat apuvälineet saadaan helposti pois levyn reunoista. Vesipöydän runko suunniteltiin valmistettavaksi 100x60x4 mm putkipalkista. Pöydän tuenta toteutettiin kuudella pystyssä olevalla putkella pöydän molemmilla puolilla. Putket toimivat samalla laitojen pystypalkkeina. Koko pöytää kiertävät palkit, jotka on asetettu vaakatasoon ja muodostavat pöydän ulkokehikon. Kaikkien pystypalkkien väliin on myös asetettu palkit, jotka ovat vaakatasossa, ja joiden päälle altaan pohja tulee. Lisäksi kehikon sisään tulee 3 mm pellistä allas. Vesipöydän ulkokehikko löytyy kuvioista 12.



KUVIO 12. Ulkokehikko ja allas

Seuraavaksi suunniteltiin altaan sisään sopiva kehikko, jonka päälle työstettävä levy voidaan laskea (kuvio 13). Kehikon piti olla sellainen, että se voidaan nostaa altaasta pois, altaan puhdistuksen ajaksi. Kehikon jalat toteutettiin 100x60x4 mm putkipalkeilla, jotka ovat pystyssä ja nojaavat ulkokehikon latoja yhdistäviin palkkeihin. Jalkoja sisäkehikolla on 12 kappaletta. Pöydän leveyssuunnassa kaksi jalkaa on yhdistetty 60x60x4 mm putkipalkilla. Pituussuunnassa jalkojen päällä on 5 kappaletta 100x60x4 mm putkipalkkeja. Pituussuunnassa olevien putkien päälle tulee vielä 8 mm lattaraudasta valmistetut tukiraudat, joissa on tietyn välimatkan välein lovia. Tukirautojen loviin on tarkoitus asettaa lattaraudat, jotka kulkevat viistosti pöydän leveyssuunnan poikki. Nämä lattaraudat muodostavat tason, jolle levy lasketaan ja ne ovat vaihdettavissa, sillä ne kuluvat leikkausprosessin ansiosta.



KUVIO 13. Sisäkehikko

### 4.3 Lineaariliikkeet

Lineaariliikkeiden toteutuksessa oli kaksi vaihtoehtoa, joko toteuttaa lineaariliikkeet valmiilla komponenteilla tai suunnitella johteet ja kelkat itse. X-liikkeen komponentit päädyttiin suunnittelemaan itse, y- ja z-liikkeissä päädyttiin käyttämään valmiita komponentteja. Tämä siksi, koska x-liikkeen johde on alttiina vaurioille ja monissa muissa samanlaisissa koneissa käytetään tällaisia ratkaisuja.

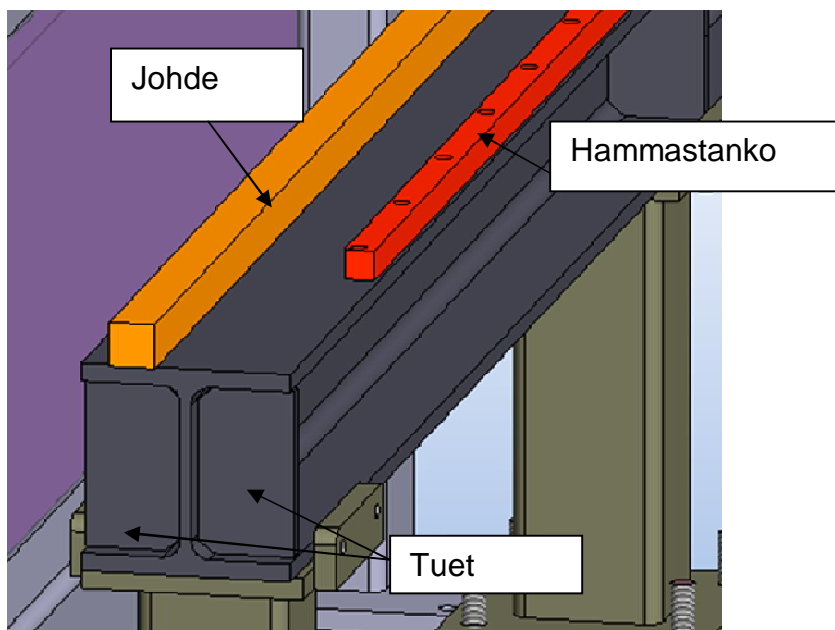
Hyvää suorituskykyä ja tarkkuutta haettaessa lineaariliikkeiden pääominaisuudet olivat kestävyys ja tukeva rakenne. Liikettä vastustavat massat tuottavat epätarkkuuksia, joten koneen elinten hyvä tukevuus ja liikkuvuus ovat tärkeitä. Lisäksi rakenteet suunniteltiin mahdollisimman tukeviksi, koska liikkeestä aiheutuvat värinät näkyvät leikkausjäljen epätasaisuutena.

Lineaariliikkeiden suunnittelu aloitettiin x-liikkeestä, jonka tukevuus on tärkeää tarkan leikkuujäljen aikaansaamiseksi. Tämä siksi, koska muiden lineaariyksiköiden, polttimen ja muiden komponenttien massat kohdistuvat siihen. Kun x-liike saatiin toteutettua, siirryttiin y-liikkeen toteutukseen. Viimeiseksi jäi z-liikkeen suunnittelu. Z-liike muodostettiin valmiista kuularuuviyksiköstä, johon täytyi toteuttaa polttimen kiinnitys.

#### 4.3.1 X-Lineaari

X-liikkeen johderunkona toimii 140x140 mm leveä I-tanko, joka mainittiin rungon suunnitteluvaiheosiossa. I-tanko valittiin johderungoksi, koska siihen sopii kiinnitettäväksi johde- ja hammastanko. Mahdollisen sivuttaisen vääntymisen estämiseksi suunniteltiin tankojen päihin ja keskelle tuet (kuvio 14).

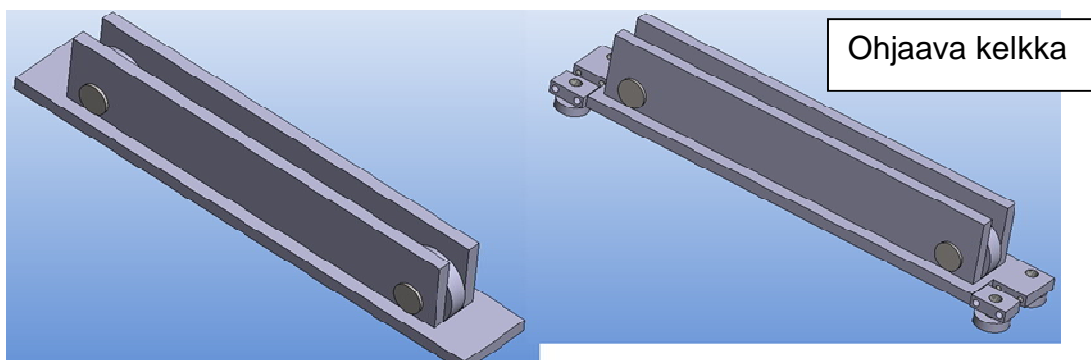
Johteen suunniteltiin käytettäväksi 30x30 mm tarkkuushiottua neliöterästankoa. Johteen paikka sijoittuu sisemmälle puolelle eli pöydän puolelle johderungon päälle, ja kiinnitys tapahtuu alapuolelta johderungon läpi.



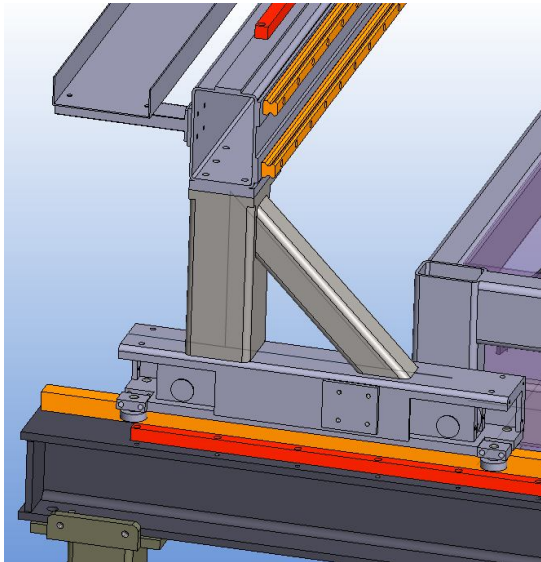
KUVIO 14. Johteen ja hammastangon sijoitus

X-liikkeen kelkat suunniteltiin sellaisiksi, että toisen puolen kelkka on ohjaava ja toisen puolen kelkka kulkee vain johdetangon päällä. Tämä siitä syystä, että johteet pitäisi asennusvaiheessa asettaa täydellisesti samansuuntaisiksi, että ne eivät vastustaisi portaalin liikettä. Kelkkojen rakenne on kuvattu kuviossa 15.

Rakenteessa pyrittiin seuraaviin toimintoihin. Pöydän yli kulkevan portaalin paino nojaa neljään rullalaakeriin, jotka puolestaan kulkevat johteiden päällä. Kelkan ohjaus toteutettiin neljällä kuulalaakerilla, joista kaksi ovat toisella puolella johdetta ja toiset toisella puolella johdetta. Lisäksi ohjaavaan kelkkaan piti saada säätö, jolla voidaan muuttaa kuulalaakereiden välystä johteeseen. Säätö toteutettiin laittamalla johteen toisella puolen kulkevat laakerit erillisiin säätöpa-loihin. Itse säätö tapahtuu kelkan runkoon asennettujen kierretankojen avulla, joihin säätöpalat ovat asetettu. Kuviossa 16 kelkka on kuvattuna koneessa paikallaan.

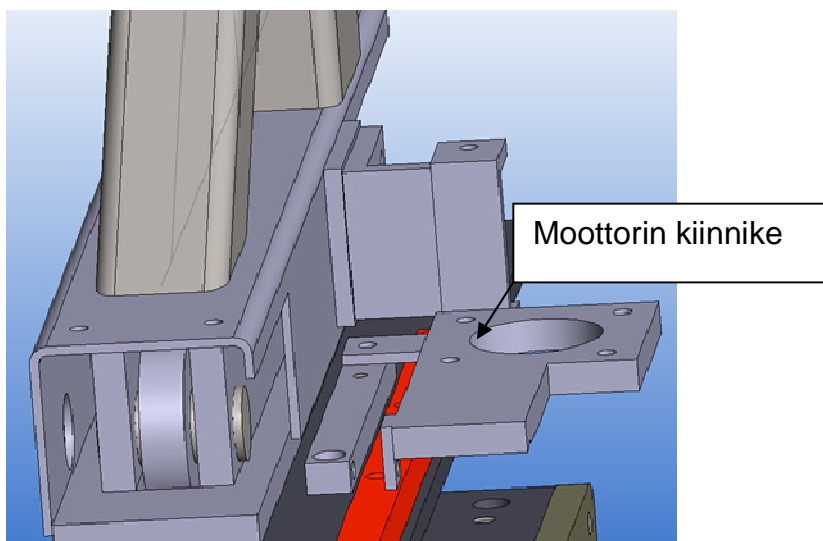


KUVIO 15. X-liikkeen kelkkojen runko



KUVIO 16. Kelkan sijoitus koneessa

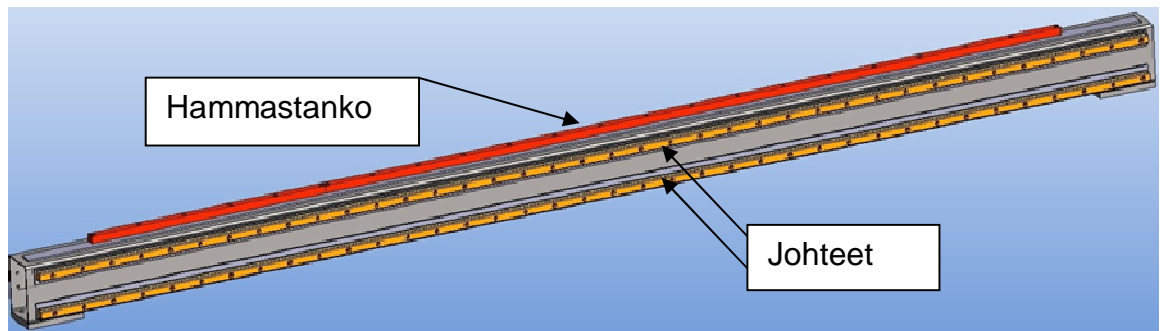
Tasaisen liikkuvuuden aikaansaamiseksi portaalia tulevat liikuttamaan moottorit kummallekin puolelle pöytää. Tällä tavalla portaali saadaan liikkumaan paremmin ilman ohjaavaan johteeseen syntyvää vääntöä. Moottoreiden kiinnitys kelkoihin tapahtuu osilla, joissa moottori pääsee liikkumaan hammastangon mukaan (kuvio 17). Hammastankojen paikat ovat johderunkojen päällä ulkoreunassa, ja kiinnitys tapahtuu hammastangon läpi johderunkoon. Moottorin rataan ja hammastangon välinen kosketus suunniteltiin jousikuormitteiseksi, koska hammastankoa kiristettäessä sen muoto muuttuu vähän aaltoilevaksi. Kiinteästi kiinnitetyllä servomoottorilla seurauksina voivat olla epätasainen liike, hammastangon tai rataan kuluminen ja kova melu.



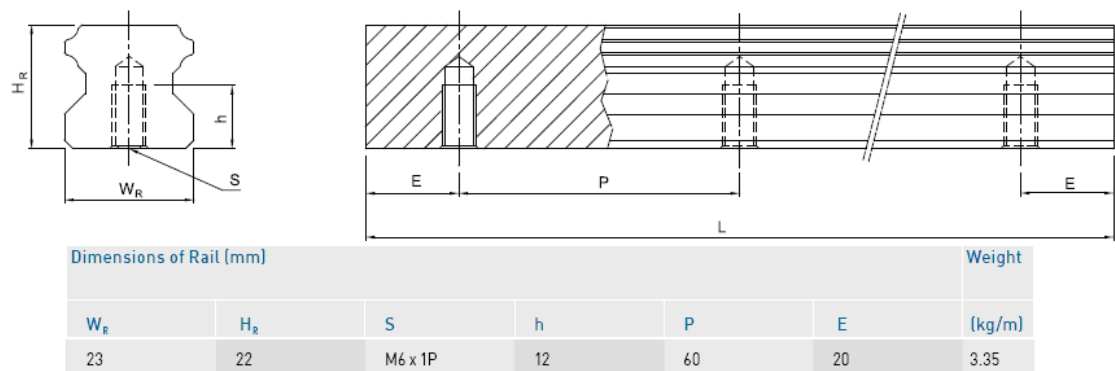
KUVIO 17. Moottorin kiinnikkeen paikka kelkassa

### 4.3.2 Y-Lineaari

Y-liikkeen johderunkona toimii 150x100x4 mm ja 3075 mm pitkä putkipalkki, josta jo rungon suunnitteluvaiheosiossa kerrottiin (kuvio 18). Johteiden ja hammastangon kiinnityskohdille suunniteltiin laitettavaksi 40 mm levyiset kiinnityslatat. Johderungon valmistusvaiheessa lattojen pinnat koneistetaan suoriksi ja rei'itetään. Tällä edellä mainitulla toimenpiteellä varmistetaan johteiden ja hammastangon kiinnitys ja asennuspintojen suoruus. Johteiden ja kelkkojen mallinnuksessa käytettiin Hiwin komponenttien mittoja. Kuviossa 19 näkyy käytetyn johteen rakenne ja mitat. Johteiksi valittiin Hiwin HGR25C-johteet, jotka sopivat ominaisuuksiltaan tähän käyttökohteeseen. Johteet asennettiin johderunkoon päällekkäin ja molemmille johteille tuli yhdet Hiwin HGW25CCC- kuulajohdekeltat.

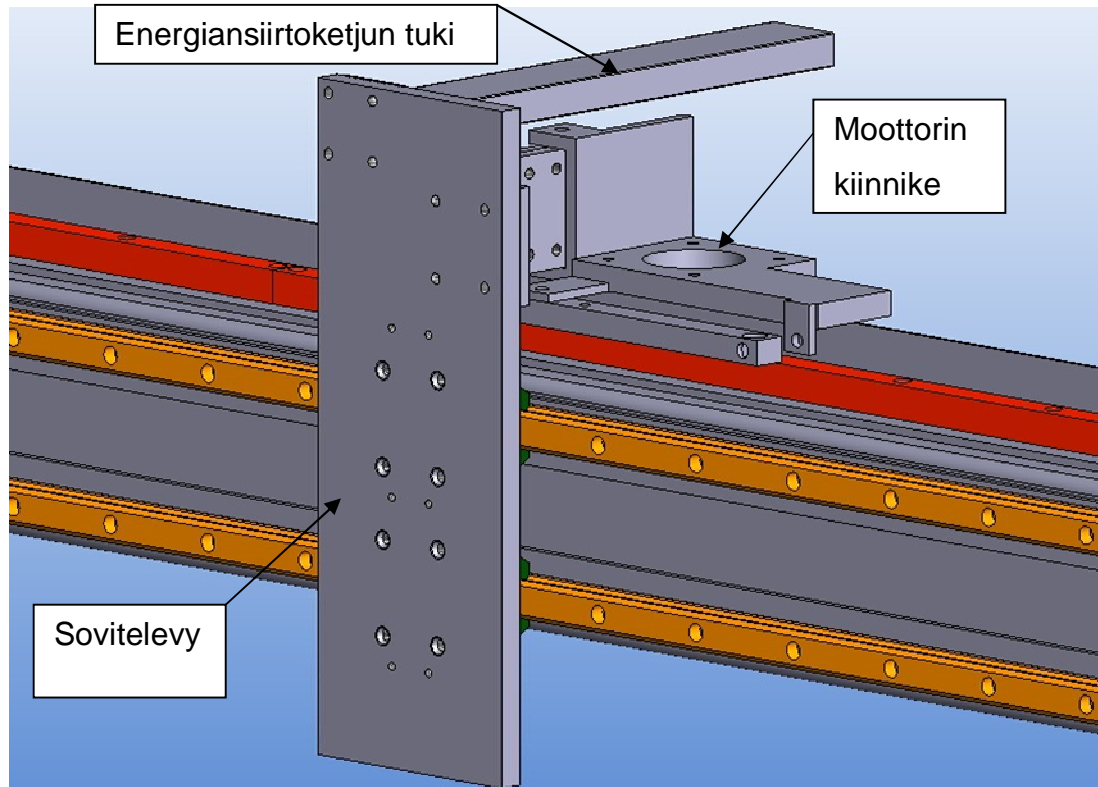


KUVIO 18. Johteiden ja hammastangon sijoitus Y-liikkeen johderunkoon



KUVIO 19. HGR25C-johteen rakenne ja mitat (Hiwin Linear guideways. Esite. 22)

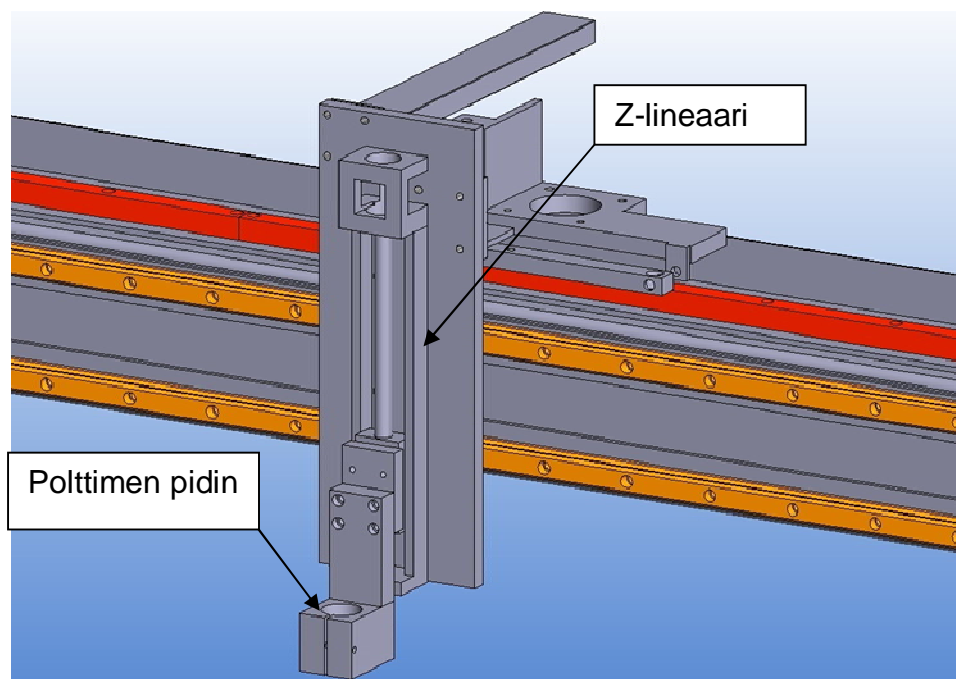
Kelkat yhdistettiin teräslevyllä, johon z-liikkeen komponentit kiinnitettiin (kuvio 20). Y-lineaarin voimansiirto tapahtuu vastaavalla menetelmällä ja komponenteilla kuin x-lineaarissakin. Moottorin kannakkeen kiinnitys tulee z-liikkeen teräslevyyn. Lisäksi levyyn kiinnitettiin tuki energiansiirtoketjulle. Tuki sijoitettiin niin, että moottori jää tuen ja ketjun suojaan.



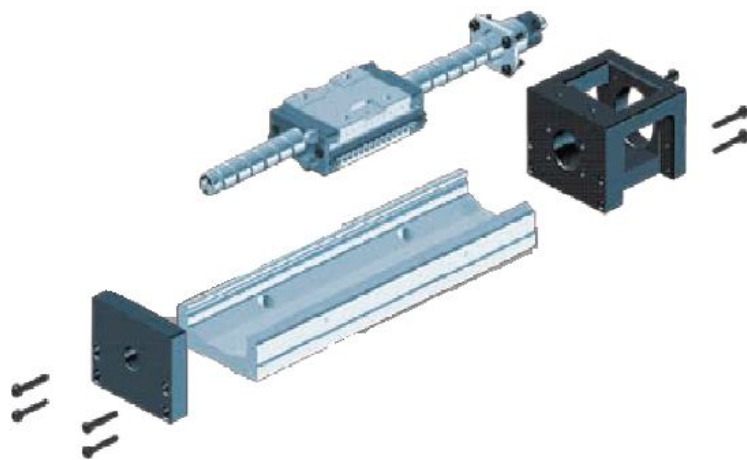
KUVIO 20. Y-liikkeen sovitelevy ja osien sijoittelu

### 4.3.3 Z-Lineaari

Z-liike suunniteltiin toteutettavaksi valmiilla Hiwin KK-sarjan lineaariyksiköllä, joka kiinnitetään y-liikkeen kelkoissa olevaan sovitelevyyn (kuvio 21). Lineaariyksikön rakenteessa on yhdistetty lineaarijohde ja kuularuuvi. Runkorakenteena toimii u-mallinen teräsprofili, jonka sisäpinta toimii samalla johdekiskona (kuvio 22). KK-lineaariyksikössä kuulamutteri ja johdekelkka ovat integroitui yhdeksi yhtenäiseksi liukuvaksi elementiksi.



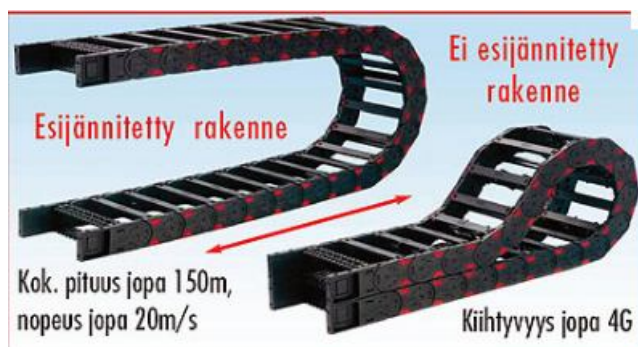
KUVIO 21. Lineaariyksikkö jossa polttimen pidin kiinnitettynä koneeseen



KUVIO 22. Hiwin KK-sarjan lineaariyksikkö (Hiwin Industrial Robot. Esite. 2011. 3.)

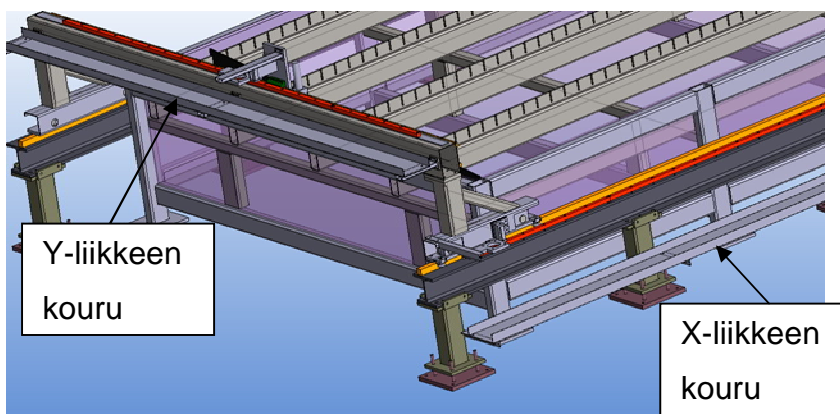
#### 4.4 Energiansiirtoketjut ja kourut

Energiansiirtoketjujen tehtävä on suojata ja liikuttaa koneen liikkuviin elimiin vietäviä johtoja ja letkuja (kuvio23). Koneeseen ketjuja tulee kaksi, x-suuntainen ja y-suuntainen. Z-liike on maksimissaan vain 150 mm, joten ketjua ei tarvita. Ketjujen alustavassa valinnassa huomioitiin niiden liikkuvuutta ja poikkileikkauksen mittoja, jotka määräytyvät tulevien johtojen lukumäärästä ja niiden halkaisijoista. Koneeseen valittiin alustavasti seuraavat ketjut. X-liikkeen ketjun säde (r) on 200 mm ja mitat 149x40 mm. Y-liikkeen ketjun säde (r) on 125 mm ja mitat 125x40 mm. Ketju on palapalalta purettavissa. X-suuntaisen ketjun pituus on noin 4470 mm ja y-suuntaisen ketjun noin 2000 mm.



KUVIO 23. Energiansiirtoketjun rakenne (Murri. Ito electro)

Energiansiirtoketju vaatii kourun, jota pitkin liikkuu. Kourujen valmistusmateriaaliksi valittiin pelti. X-suuntaisen kourun ainevahvuudeksi laitettiin 2 mm pelti ja se kiinnitettiin tukirautojen avulla portaalin tukijalkoihin. Pöydän päällä liikkuvan y-liikkeen johderungon taakse tulee myös energiansiirtoketjulle kouru. Kourun ainevahvuudeksi laitettiin myös 2 mm pelti ja se kiinnitettiin kourun tukirautojen päälle.



KUVIO 24. Energiansiirtoketjujen kourujen sijoitus koneessa

## 4.5 Plasmaleikkuyksikkö

Koneeseen tulevaksi leikkuyksiköksi suunniteltiin valittavan Hypertherm Powermax1650, koska työn teettäjällä on koneesta positiivisia kokemuksia. Lisäksi sen leikkauskapasiteetti riittäisi teräslaatuihin ja levynvahvuuksiin, joita yrityksessä käytetään enimmäkseen tällä hetkellä. Leikkausyksikkö riittää 38 mm levyn leikkaukseen, jos leikkaus tapahtuu reuna-aloituksella. Leikkausyksikön pistokapasiteetti on 20 mm, kun halutaan leikata levyyn reikiä tai muita muotoja, jotka eivät onnistu reuna-aloituksella. (Powermax1650 2009, 54, 88–91.)

Leikkuyksikön ohjauspaneelissa on säätönuppi virranvoimakkuudelle, jota säädetään levyn paksuuden mukaan. Samasta säätönupista säädetään leikkauskaasun paine, polttimen kaapelin pituuden mukaan. Poltinkaapelin pituus voi vaihdella 4,5–15 m välillä. Leikkuyksikön perusvarustukseen kuuluu käsipoltin-kaapeli, joten siihen joudutaan erikseen hankkimaan konepoltin. Laitteessa on myös tiedonsiirtoa varten oma liitäntä, sen avulla leikkuyksikkö voidaan liittää ohjausjärjestelmään. Plasmakaasuna tällä laitteella voidaan käyttää tyypeä tai paineilmaa. Plasmakaasuna tulee koneessa toimimaan paineilma, koska yrityksellä on hyvät, tähän tarpeeseen sopivat, paineilman tuottolaitteet. (Powermax1650 2009. 68–70, 76, 82.)

Tulojännitteet	CSA 200 -600V, 3-vaiheinen 50/60Hz CE 400 v, 3-vaiheinen, 50/60 Hz	Leikkaustaulukko			
		Materiaali	Paksuus (mm)	Virta (ampeeria)	Suurin Leikkausnopeus (mm/min)
Syöttövirta 16 kW	200/208/240/480/600 V, 3-vaiheinen 53/51/44/27/22/21 A	Niukkahiilinen teräs	3	40	3835
Lähtövirta	30 - 100 A		6	60	3353
Mitattu antojännite	160VDC		12	100	2235
Paloaikasuhte 40° C 100A	60% 200 - 280 V		19	100	1194
	70% 230 - 240 V		25	100	711
	80% 400 - 600 V	32	100	482	
Tyhjäkäyntijännite	300 VDC	Ruostumaton teräs	2	40	5613
			6	60	2794
			12	100	2007
			19	100	991
			25	100	584
Mitat kahvojen kanssa	500 mm S; 234 mm I; 455 mm K	Alumiini	32	100	356
Paino 4,5 m polttimen kanssa	61 kg		1	30	15494
kaasulähde	Puhdasta, kuivaa, öljytöntä ilmaa tai tyypeä		3	40	5182
Syöttö kaapelin pituus	6 M		6	60	3683
virtausnopeus	260 l/min 6.2 baaria		12	100	2743
			19	100	1448
			25	100	838

KUVIO 25. Teknisiä tietoja Hypertherm Powermax 1650 laitteesta (Powermax1650 2010, muokattu)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkintotyön tarkoituksena oli suunnitella ja mallintaa CNC-plasmaleikkuri 10-Asennus Oy:n verstaalle, mallinnusohjelmana käytin Vertex G4 -ohjelmaa. Pääpaino työllä oli toteuttaa toimivat kokoonpanopiirustukset koneen rungosta ja vesipöydästä. Haasteena työssä oli, että aikaisempaa kokemusta minulla ei kyseisistä koneista ollut.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin termisiin leikkausmenetelmiin. Lisäksi syvennyttiin plasmaleikkaukseen, koska se oli suunnitellun koneen leikkausmenetelmä. Plasmaleikkauksesta selvitin muun muassa eri leikkausmenetelmiä ja siihen soveltuvien koneiden rakennetta.

Käytännön osuuteen kuului koneenosien mallinnus ja mittakuvien piirto, joiden mukaan konetta voi rakentaa. Suunnittelu lähti käyntiin koneen perusmittojen määrittämisellä työn teettäjän kanssa. Kun mitat oli määritetty, ryhdyin ensimmäiseksi suunnittelemaan ja mallintamaan portaalin jalkoja ja pituusjohteiden tuentaa. Kun sain jalkojen ja pituusjohteiden tuennan hahmotelman valmiiksi, aloin miettiä vesipöydän kehikkoa ja mittoja. Portaalin suunnittelussa oli haastavaa löytää ratkaisu, jolla johteiden ja kelkkojen toimivuus saadaan mahdollisimman hyväksi. Myös moottoreiden asennuskannakkeiden rakenteet, rattaan ja hammastangon välisen kosketuksen toimivuus vaati pohtimista.

Tulevaisuuden näkymät koneenrakennuksen osalta ovat, että rakentamiseen ei heti ryhdytä. Seuraavia toimenpiteitä on selvittää tarvittavien materiaalien hankintakustannukset ja yrityksen ulkopuolella tapahtuvien osien valmistuksen kustannusarviot. Lisäksi kustannusarvioita on tarkoitus verrata käytettyihin ja uusiin konepaketteihin.

Mielestäni työn tavoitteissa onnistuin hyvin ja sain toteutettua realistisen koneen rakenteen. Koneen rakentamiseen tarvittavat materiaalit ovat hyvin pitkälti metallitoimittajien perustuotteita; standardiosat ovat vallittu niin, että ne löytyvät yrityksen käyttämiltä alihankkijoilta.

## LÄHTEET

Cook, D. & Morong, D. 2004. Gouging: The other plasma process. Artikkel. Luettu 25.5.2011.

<http://www.thefabricator.com/article/hypertherm-inc/gouging-the-other-plasma-process>

Hiwin Industrial Robot. Esite. 2011. Luettu 15.6.2011.

[http://www.hiwin.com.tw/download/tech\\_doc/robot/Industrial%20Robot-%28E%29.pdf](http://www.hiwin.com.tw/download/tech_doc/robot/Industrial%20Robot-%28E%29.pdf)

Hiwin Linear guideways. Esite. Luettu 17.6.2011.

[http://www.movetec.fi/images/pdf/hiwin\\_hg\\_sarjan.pdf](http://www.movetec.fi/images/pdf/hiwin_hg_sarjan.pdf)

Ihalainen, E., Aaltonen K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. 12. painos. Helsinki: Otatiote Oy.

Karttunen, M. 2009. Paksun kuuman teräksen polttoleikkaus. konetekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö.

Katainen, H. & Mäkinen, A. 1995. Aineliitostekniikka. 3. -4. painos. Porvoo: WSOY.

Kauppinen, V. 1991. Levytyöt pieneräutuotannossa. 2. korjattu painos. Helsinki: Otatiote Oy.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Luoto, M. 2010. Plasmakuumennus. Luettu 12.6.2011

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0800/.../plasmakuumennus.pdf>

Mc Rolls. Luettu 15.6.2011

[http://www.mcrolls.fi/korjaamolaitteet/tuotevalikoima/hitsauslaitteet/plasmaleikkurit/gys\\_plasma\\_cutter\\_20](http://www.mcrolls.fi/korjaamolaitteet/tuotevalikoima/hitsauslaitteet/plasmaleikkurit/gys_plasma_cutter_20)

Murri. Ito electro. Luettu 1.7.2011.

[http://www.murri.fi/?sivu=big\\_image&id=555&kategoria=361&path=361,360&start=0](http://www.murri.fi/?sivu=big_image&id=555&kategoria=361&path=361,360&start=0)

Powermax1650 Plasma Arc cutting & gouging system. 2009. Luettu 1.7.2011.

[http://www.hypertherm.com/en/Products/Handheld\\_Plasma/Systems/powermax1650.jsp](http://www.hypertherm.com/en/Products/Handheld_Plasma/Systems/powermax1650.jsp)

Teräslevyjen terminen leikkaus. 1985. Tekninen tiedotus 9/85. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

10-Asennus Oy. Internet-sivut. Luettu 4.6.2011.

Saatavissa <http://www.10-asennus.com>

## LIITTEET

Liite 1	Plasmaleikkurin kokoonpano	(luottamuksellinen)
Liite 2	Pituusjohteen kokoonpano vasen	(luottamuksellinen)
Liite 3	Pituusjohteen kokoonpano oikea	(luottamuksellinen)
Liite 4	Portaalin kokoonpano	(luottamuksellinen)
Liite 5	Leikkuupöydän kokoonpano	(luottamuksellinen)