

CNC-PLASMALEIKKURIN SUUNNITTELU

Henrik Hyväri
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Konetekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

Tekijä: Henrik Hyväri

Opinnäytetyön otsikko: CNC-plasmaleikkurin suunnittelu

Työn ohjaaja: Jyrki Savela

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2025

Sivumäärä: 46

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli antaa lukijalle riittävä tieto itse valmistettavan CNC-plasmaleikkurin suunnittelusta ja rakentamisesta. Työssä käsitellään leikkurin mekaanista rakennetta, ohjausjärjestelmää, liikeakselistoa sekä plasmapään korkeudensäätöä. Lisäksi tarkastellaan leikkausprosessiin vaikuttavia tekijöitä, kuten savunpoistoratkaisuja ja häiriösuojauksia.

Työn tuloksena syntyi konsepti CNC-plasmaleikkurista, joka täyttää asetetut tarkkuus- ja kustannusvaatimukset. Suunnitelma mahdollistaa leikkurin jatkokehityksen ja käytännön toteutuksen. Tekstissä esimerkkinä käytetty plasmaleikkauspöytä oli tarkoitus toteuttaa ja valmistaa tämän opinnäytetyön pohjalta, mikä vahvistaa työn käytännön sovellettavuutta.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Machine Automation

Author: Henrik Hyväri

Title of thesis: Designing of CNC-plasma cutter

Supervisor: Jyrki Savela

Term and year when the thesis was submitted: Spring of 2025

Number of pages: 46

This thesis focuses on the design and development of a self-built CNC plasma cutter. The objective was to provide sufficient information on the planning and construction process, covering aspects such as mechanical structure, motion control, and plasma torch height adjustment. Additionally, the study examines factors influencing cutting quality, including fume extraction and material handling.

As a result, a CNC plasma cutter concept was developed to meet accuracy and cost-efficiency requirements. The design allows for further development and practical implementation. The plasma cutting table presented in the thesis was intended to be built based on this work, demonstrating its practical applicability.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO	7
2 CNC-PLASMALEIKKURIN TEORIA	8
2.1 CNC-plasmaleikkurin perusteet	8
2.2 Plasma	8
2.3 Plasmaleikkaus	9
2.4 Erityyppiset plasmat	9
3 OHJELMISTOT	13
3.1 CAD	13
3.2 CAM	14
3.3 Nesting	15
3.4 CNC-ohjausohjelmisto ja ohjauskortti	16
3.5 G-koodi ja sen rakenne	17
4 PROJEKTIN SUUNNITTELU	20
4.1 Työstövaatimusten selvittäminen	20
4.2 Liikejärjestelmän määrittely	21
4.2.1 Moottorin voimien arvioiminen	22
4.2.2 Vääntömomentin laskeminen	23
4.2.3 Moottorin pyörimisnopeus	24
4.2.4 Momentin menetys korkeimmilla nopeuksilla	25
4.2.5 Enkooderi	25
4.3 CNC-ohjaus	26
4.3.1 CNC-ohjauskortti	27
4.3.2 Moottorihajaimet	28
4.3.3 Askeleiden laskeminen	29
4.3.4 Moottorinohjaimen valitseminen	31
4.4 Torch Height Control (THC)	32
4.5 Virtalähteet ja jännitevaatimukset	33
4.6 Rungon ja mekaanisen rakenteen suunnittelu	34
4.6.1 Runko	34

4.6.2	Leikkauspöytä.....	34
4.6.3	Lineaariohjaimet	35
4.7	Turvallisuus ja ympäristövaatimukset.....	36
4.7.1	Plasmaleikkauksen savunpoisto.....	36
4.7.2	Sähkö- ja paloturvallisuus.....	38
4.7.3	EMI ja EMC	38
4.7.4	Häiriösuojaus.....	39
4.7.5	Elektromagneettinen yhteensopivuus.....	40
4.7.6	EMC-direktiivi	40
5	LAITTEISTON VALINTA.....	41
5.1	Mekaniikkasuunnittelu	41
5.2	Moottorit ja ohjaimet	41
5.3	Ohjausjärjestelmä.....	42
5.4	EMI-suojaus	42
6	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45

SANASTO

CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneohjattu numeerinen ohjaus
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
THC	Torch Height Control, plasmaleikkurin plasmapään korkeuden säätö
EMI	Electromagnetic interference, elektromagneettinen häiriö
EMC	Electromagnetic compatibility, elektromagneettinen yhteensopivuus

1 JOHDANTO

Plasmaleikkaus on tehokas menetelmä metallien leikkaamiseen, ja yhdistettynä CNC-ohjaukseen se mahdollistaa tarkkojen ja monimutkaisten muotojen valmistuksen automatisoidusti.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella CNC-plasmaleikkauskone, joka soveltuu harrastekäyttöön. Työssä käsitellään plasmaleikkauksen perusteita, CNC-ohjausjärjestelmien toimintaa sekä G-koodin merkitystä koneen ohjauksessa. Lisäksi työssä käydään läpi suunnitteluprosessi, komponenttivalinnat ja muut tekniset ratkaisut, joiden avulla lukija voi suunnitella ja rakentaa oman CNC-plasmaleikkauskoneen.

Työ on suunnattu erityisesti henkilöille, jotka ovat kiinnostuneita omien laitteiden rakentamisesta ja automaatiotekniikasta. Opinnäytetyö tarjoaa kattavan katsauksen aiheeseen ja antaa käytännön ohjeita koneen toteuttamiseen.

Seuraavissa luvuissa käsitellään ensin plasmaleikkauksen perusteita ja CNC-ohjausjärjestelmiä, minkä jälkeen siirrytään suunnitteluun, komponenttivalintoihin ja turvallisuuteen.

Tämän opinnäytetyön pohjalta on tarkoitus valmistaa omaan harrastekäyttöön CNC-plasmaleikkuri.

2 CNC-PLASMALEIKKURIN TEORIA

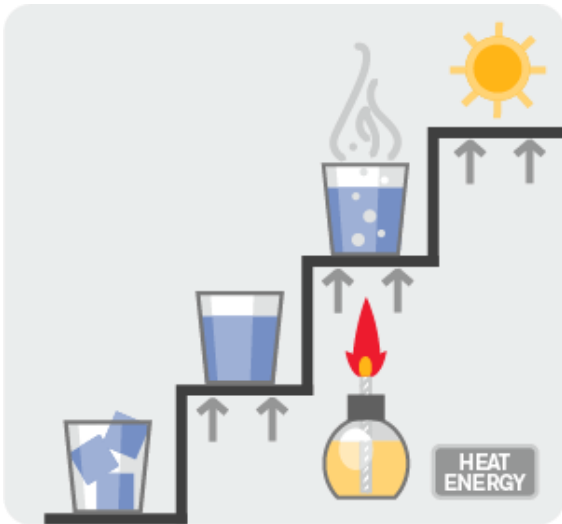
CNC-plasmapöytä on tehokas työstökone, joka käyttää plasman lämpöä metallien leikkaamiseen. Tässä luvussa tarkastellaan CNC-plasmapöydän toimintaa, sen peruseräiteitä ja keskeisiä komponentteja, jotka mahdollistavat tarkan ja nopean leikkausprosessin.

2.1 CNC-plasmaleikkurin perusteet

CNC-plasmaleikkuri yhdistää CNC-ohjaustekniikan (Computer Numerical Control) ja plasmaleikkaustekniikan, jolloin voidaan automatisoida metallin leikkaus tarkasti ja tehokkaasti. Tämä työkalu soveltuu erityisesti johtavien metallien, kuten teräksen ja alumiinin, leikkaamiseen, ja sitä käytetään laajasti teollisuudessa, kuten metallityöpajoissa ja konepajoissa. (Hypertherm 2024.)

2.2 Plasma

Plasma on aineen neljäs olomuoto. Yleensä olomuotoja ajatellaan olevan vain kolme: kiinteä, neste ja kaasu. Kuten kuvasta 1 nähdään, veden kolme eri olomuotoa ovat jää, vesi ja höyry. Kun jäähän lisätään energiaa lämmön muodossa, jää sulaa ja muuttuu vedeksi. Jos energiaa lisätään edelleen, vesi muuttuu höyryksi. Jos höyrylle lisättäisiin huomattavasti enemmän energiaa kuumentamalla se noin 11700 °C:n (40 000 °F) lämpötilaan, höyry hajoaisi useiksi kaasuiksi ja muuttuisi sähköä johtavaksi eli ionisoituksi. Tätä korkeaenergistä ionisoitua kaasua kutsutaan plasmaksi. (Hypertherm 2024.)



KUVA 1. Aineen olomuodot (Hypertherm 2024)

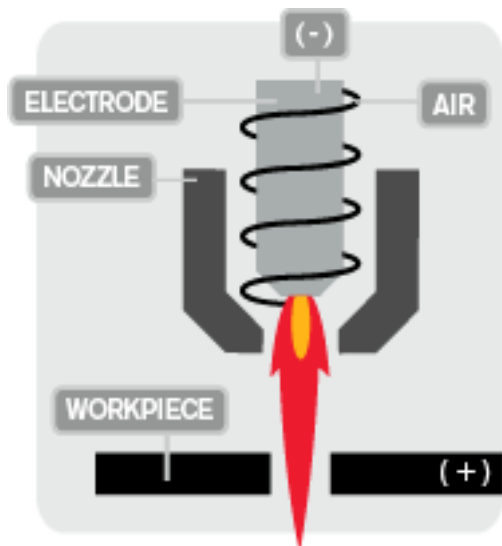
2.3 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaukone eli plasmaleikkuri käyttää plasmavirtaa energian siirtämiseen johtavaan työstettävään materiaaliin. Plasmavirta muodostuu yleensä pakottamalla kaasu, kuten typpi, happi, argon tai ilma, kapean suuttimen läpi. Ulkoisen virtalähteen tuottama sähkövirta lisää kaasun virtaukseen riittävästi energiaa sen ionisoimiseksi, jolloin siitä tulee plasmakaari. Tämän vuoksi prosessia kutsutaan yleensä plasmakaari- tai plasmaleikkaamiseksi. Plasmakaari leikkaa työkappaleen sulattamalla sen ensin ja puhaltamalla sitten sulan metallin pois. (Hypertherm 2024.)

2.4 Erityyppiset plasmat

Perinteinen plasma

Perinteisessä plasmaprosessissa käytetään yleensä yhtä kaasua (yleensä ilmaa tai typpeä), joka sekä tuottaa että jäähdyttää plasman. Kuvassa 2 on havainnoitu perinteisen plasman toimintaperiaatetta.



KUVA 2. Perinteinen yksivertainen plasma (Hypertherm 2024)

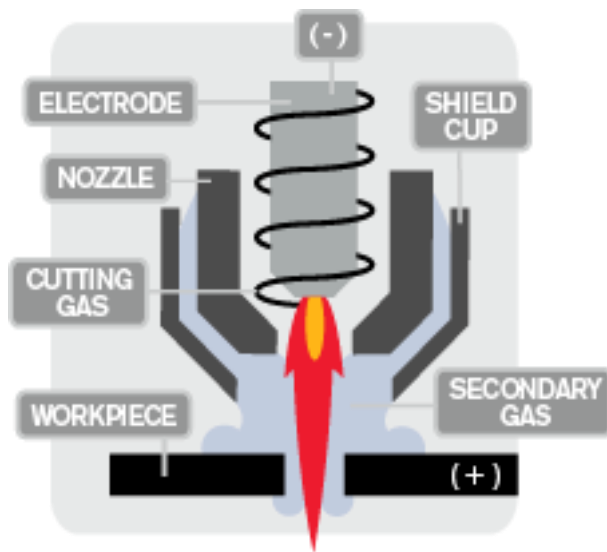
Kaksivirtaplasma (ilman suojakaasua)

Tässä prosessissa käytetään kahta kaasua. Toinen muodostaa plasman ja toinen toimii suojakaasuna. Pienemmissä järjestelmissä (alle 125 ampeeria) paineilmaa käytetään usein sekä plasma- että suojakaasuna. Kaksikaasuisissa järjestelmissä, joissa ei ole suojakaasua, on paljas suutin, eikä niitä tule käyttää vetoleikkaukseen. (Hypertherm 2024.) Vetoleikkauksella tarkoitetaan leikkaustekniikkaa, jossa leikkauspäätä vedetään leikattavan kappaleen päällä siten, että suutin ja leikattava kappale ovat kosketuksissa. Tässä leikkaustekniikassa paljas suutin on altis liialliselle kulumiselle, joka puolestaan aiheuttaa epävakaan leikkausprosessin ja vaikuttaa leikkauslaatuun.

Kaksivirtaplasma (suojakaasulla)

Tässä prosessissa käytetään myös kahta kaasua. Alle 125 ampeerin järjestelmissä ilmaa käytetään usein sekä plasma- että suojakaasuna. Suojateknologian etuna on, että se eristää suuttimen sähköisesti sulan metallin takaisiniskusta lävistyksen aikana ja mahdollistaa myös vetoleikkauksen käsikäyttöisissä sovelluksissa. Lisäparannukset (kuten kartiovirtatekniikka) ovat parantaneet leikkaustehoa ja suuttimen kestävyyttä joissakin järjestelmissä. (Hypertherm 2024.)

Kuvassa 3 näkyy perinteisen plasmapään ympärillä oleva kaasusuutin, jonka läpi erillinen suojavaasu virtaa.



KUVA 3. Kaksivirtaplasma (Hypertherm 2024)

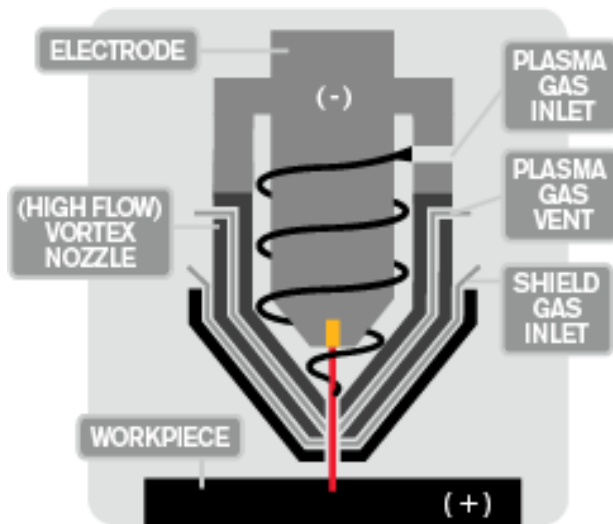
Korkeatarkkuusplasma

Tässä prosessissa erikoissuunniteltu suutin kaventaa kaarta ja lisää energian tiheyttä. Korkeamman kaarienergian ansiosta korkeantarkkuuden plasmaleikkurit saavuttavat erinomaisen leikkauslaadun materiaaleilla, joiden paksuus on enintään 50 mm (2"). Tuloksena on tarkempi leikkauksen kulma, kapeampi leikkuurako ja nopeammat leikkauksenopeudet verrattuna perinteiseen plasmaleikkaustekniikkaan. Näillä järjestelmillä on mahdollista saavuttaa leikatun kappaleen tarkkuus jopa +/- 0,25 mm:n (0,010") alueella. (Hypertherm 2024.)

Nykyaikaiset korkeantarkkuuden järjestelmät mahdollistavat erittäin korkean automaatiotason ja ne on tarkoitettu ainoastaan automatisoituihin sovelluksiin. Kehittyneimmissä järjestelmissä lähes kaikki koneenkäyttäjän asiantuntemus (jota tarvittiin aiemmillä plasmajärjestelmillä hyvän leikkauslaadun saavuttamiseksi) sisältyy käytännössä CAM-ohjelmistoon, joka hallitsee päivittäisiä leikkaustoimintoja. (Hypertherm 2024.)

Korkeantarkkuuden plasmaleikkurilla leikatut reiät ovat pyöreitä ja käytännössä kartiotomia. Leikkausreunat ovat suorakulmaisia ja vailla kuonaa. Siirtyminen

ominaisuuksiltaan erilaisen materiaalin leikkaamiseen on hyvin nopeaa mahdollista korkean tuottavuuden. Plasmaleikkausjärjestelmä voi leikata materiaalia ohuesta pelistä yli 182 mm:n (6") paksuuteen samalla polttimella. Poltin voi sekä leikata että merkitä levyn saman suuttimen läpi. (Kuva 4.) (Hypertherm 2024.)



KUVA 4. Korkeatarkkuusplasma (Hypertherm 2024)

3 OHJELMISTOT

On olemassa neljä erilaista plasmaleikkausohjelmityyppiä:

- **CAD-ohjelmisto** eli tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto soveltuu osien suunnitteluun ja muokkaamiseen.
- **CAM-ohjelmisto** eli tietokoneavusteinen valmistusohjelmisto muuntaa CAD-tiedostossa olevan tiedon numeeriseksi koodiksi, jota kutsutaan G-koodiksi ja jonka CNC-kone ymmärtää.
- **Nesting-ohjelmisto** ottaa kaikki leikattavat osat ja järjestää ne levyille mahdollisimman tehokkaasti.
- **CNC-ohjelmisto** ottaa G-koodin ja muuntaa sen kieleksi, jonka leikkauspöytä ja poltin ymmärtävät.

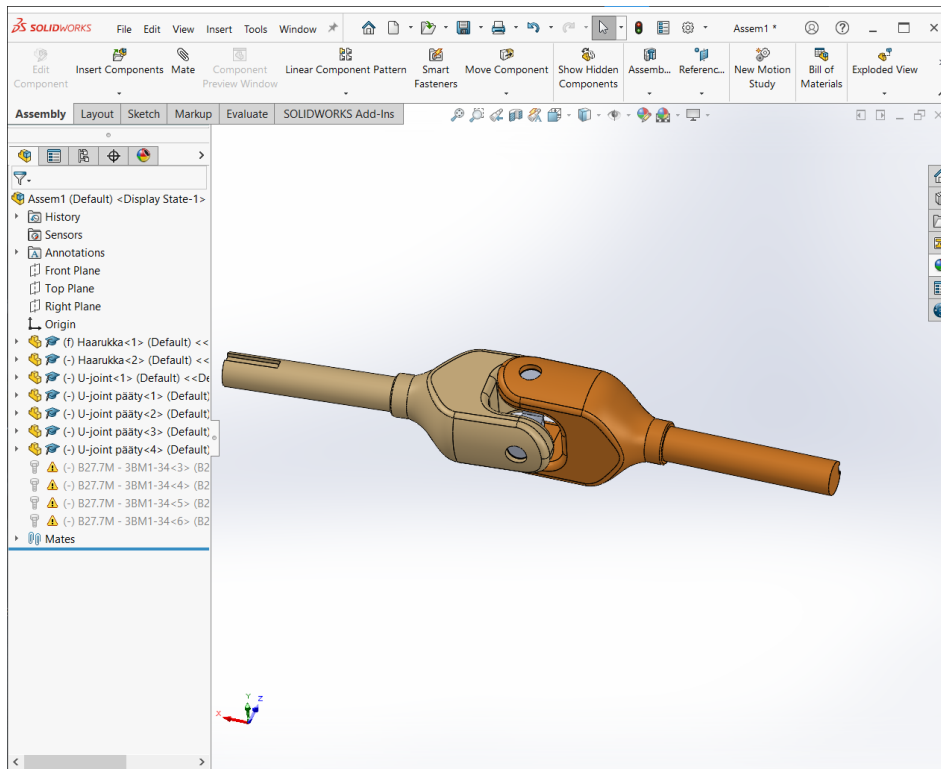
Vaikka kutakin ohjelmistotyyppiä on mahdollista ostaa erikseen, nykyään useimmat ohjelmistotoimittajat yhdistävät kolme ensimmäistä ohjelmistotyyppiä yhteen pakettiin. CNC-ohjelmisto ei yleensä sisälly tähän pakettiin, koska se riippuu enemmän käytettävästä leikkauskoneesta tai CNC-laitteesta. (Hypertherm 2024.)

3.1 CAD

CAD-ohjelmistoja käytetään suunnittelussa, visualisoinnissa ja teknisten piirustusten luomisessa. CAD-ohjelmia käytetään laajasti monilla aloilla, kuten arkkitehtuurissa, insinööritieteissä, tuotesuunnittelussa ja valmistusteollisuudessa.

CAD-ohjelmistojen pääominaisuuksia on tarkkojen teknisten piirustusten ja kolmiulotteisten mallien luonti, parametrien suunnittelu sekä simulointi ja analysointi.

Ammattitason yleisimpiä ohjelmistoja ovat esimerkiksi AutoCAD, BricsCAD, DraftSight tai SolidWorks (kuva 5). Myös harrastuskäyttöön löytyy ilmaisohjelmistoja kuten FreeCAD, LibreCAD tai QCAD.



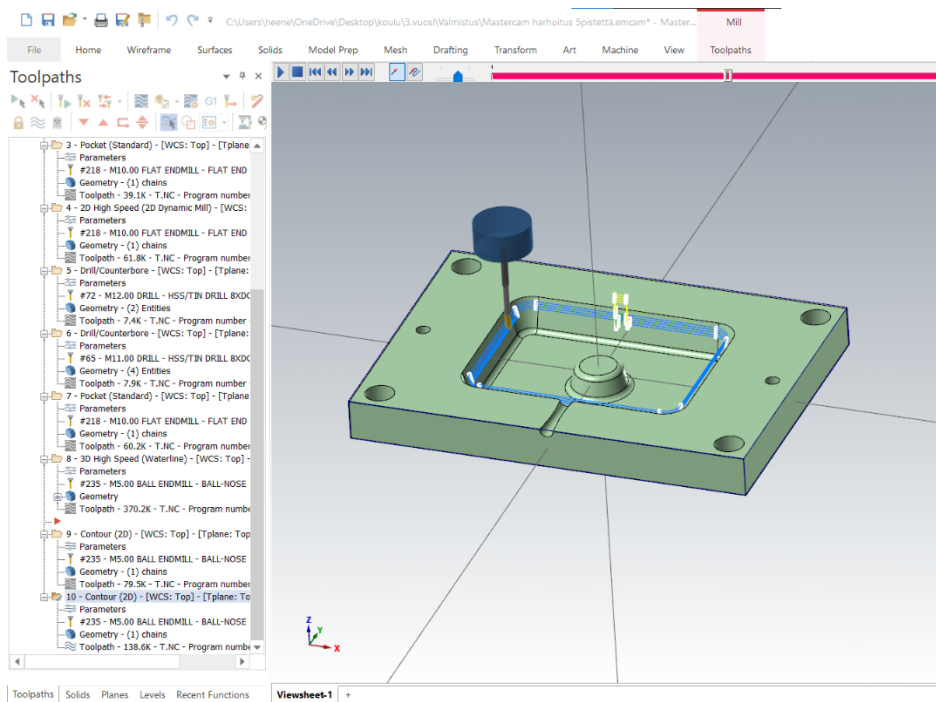
KUVA 5. SolidWorks 2023

3.2 CAM

CAM-ohjelmistot ovat tietokone ohjelmia, jotka auttavat valmistusteollisuutta optimoimaan ja automatisoimaan tuotantoprosesseja. Näiden ohjelmistojen avulla voidaan suunnitella työstöradat, määrittää koneistuksen parametrit ja hallita CNC-koneita, kuten jyrsinkoneita, sorveja, 3D-tulostimia ja laserleikkureita.

Tärkeimpiä CAM-ohjelmistojen ominaisuuksia on työstöreittien suunnittelu, materiaalioptimointi, simulointi sekä integrointi CAD-ohjelmistoihin.

CAD-ohjelmistojen tapaan myös CAM-ohjelmistoja on saatavilla laajasti. Yleisimpiä ammattitason ohjelmia ovat esimerkiksi Mastercam (kuva 6), Fusion 360 (CAM-moduuli), SolidCAM, HYPERMill ja Edgecam. On myös olemassa erikoistuneempia CAM-ohjelmistoja esimerkiksi SprutCAM, joka on tarkoitettu erityisesti robottikoneistuksiin ja 5-akselisiin operaatioihin. SheetCAM puolestaan on tarkoitettu erityisesti leikkaamiseen, esimerkiksi plasma-, laser- ja vesileikkaukseen.



KUVA 6. Mastercam 2023

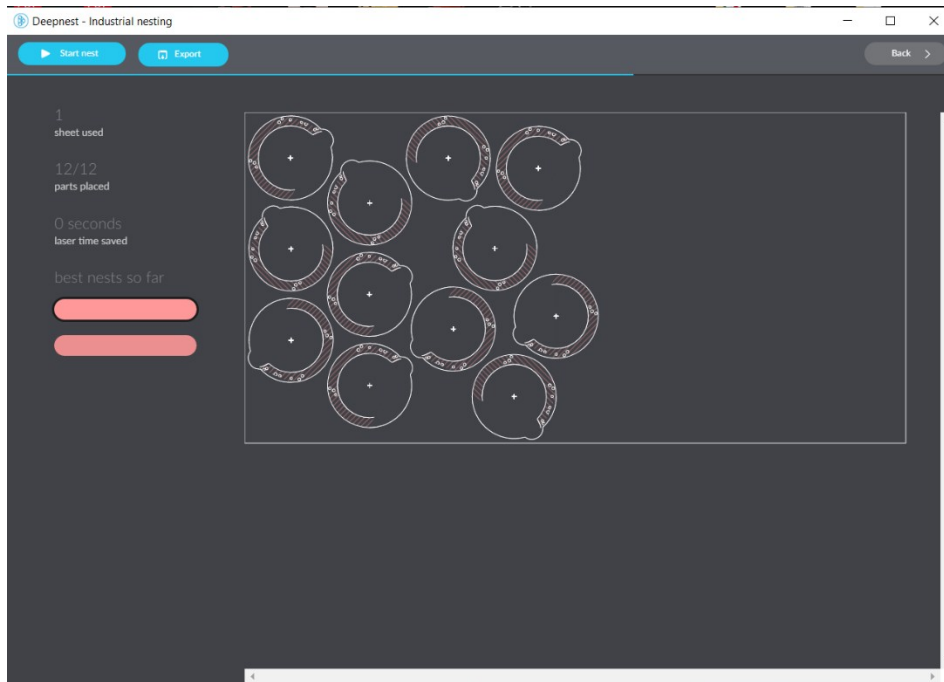
3.3 Nesting

CNC-nesting-ohjelmistot ovat työkaluja, joita käytetään optimoimaan materiaalin leikkaus- ja asetteluprosesseja CNC-koneilla, kuten laser-, plasma-, vesileikkauskoneilla tai jyrsinkoneilla. Nesting-ohjelmien avulla maksimoidaan materiaalin käyttö ja vähennetään hukkaa järjestämällä kappaleet tehokkaasti leikattavalle levylle kuten kuvassa 7.

Nesting-ohjelmistojen päätoimintoja ovat

- optimaalinen materiaalin asettelu
- automatisoitu suunnittelu
- leikkausreittien optimointi
- materiaalihukan minimointi
- simulointi ja virheentarkastus.

Suosituimpia Nesting-sovelluksia ovat Vectric Aspire, Autodesk Fusion 360 Nesting & Fabrication Extension ja NestingWorks.

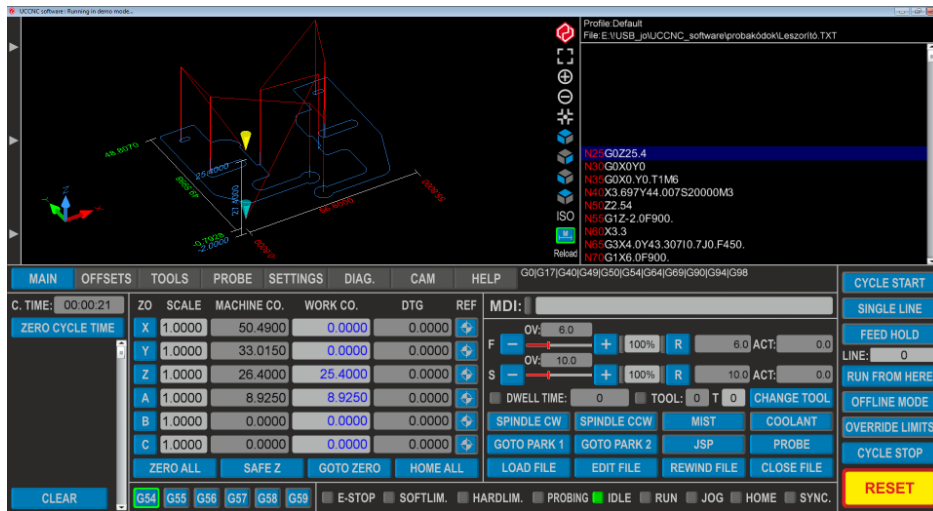


KUVA 7. Esimerkkisijoittelu Deepnest-ohjelmalla

3.4 CNC-ohjausohjelmisto ja ohjauskortti

CNC-ohjausohjelmisto (kuva 8) toimii siltana käyttäjän suunnittelemien G-koodin ja koneen fyysisten toimintojen välillä, kuten moottorien liikkeen, leikkuutyökalun nopeuden ja muiden parametrien hallinnassa. Ohjelmistoon määritellään kaikki CNC-plasman toiminnot, kuten rajakytkimet, askelmoottorit, hätäseis ja muut oleelliset parametrit.

CNC-Ohjauskortti (kuva 9) yhdistää tietokoneen ja CNC-koneen fyysiset osat, kuten askelmoottorit, rajakytkimet, leikkuutyökalut. Tietokoneen lähettämät ohjauskomennot muunnetaan esimerkiksi askel- tai servomoottorien ymmärtämiksi sähköisiksi signaaleiksi. Samanaikaisesti ohjauskortin kautta tietokone valvoo rajakytkimiä, hätäseis-pysäytyksiä ja muita turvamekanismeja.



KUVA 8. UCCNC CNC -ohjausohjelmisto (CNCdrive 2011)



KUVA 9. AXBB-E CNC -ohjauskortti (CNCdrive 2011)

3.5 G-koodi ja sen rakenne

G-koodit ovat keskeisiä CNC-ohjausjärjestelmien koodeja, jotka ohjaavat työstökoneiden liikkeitä ja toimintoja. Ne mahdollistavat monimutkaisten geometrioiden tarkkuustyöstön ja ovat kriittisiä tehokkaan ja tarkan koneistuksen kannalta. Vaikka periaatteet ovat yleensä yhteneväisiä, eri CNC-ohjausjärjestelmien välillä

saattaa olla eroja, mikä tekee konekohtaisen tuntemuksen välttämättömäksi laadukkaan työstötuloksen saavuttamiseksi. (Camcut 2024.)

Esimerkiksi työstökoneessa, kuten sorvissa tai jyrsimessä, leikkuutyökalu ohjataan näiden komentojen avulla seuraamaan tiettyä työkalupolkua. Työkalu poistaa materiaalia halutun muodon aikaansaamiseksi. Samoin lisäävässä valmistuksessa tai 3D-tulostuksessa G-koodikomennot ohjeistavat konetta pursottamaan materiaalia kerroksittain tiettyä työstörataa pitkin, muodostaen lopuksi tarkan geometrisen muodon muovista. (HowToMechatronics.com 2024.)

G-koodin lukeminen

Kuvassa 10 esitetystä G-koodista voidaan huomata, että kaikilla G-koodeilla on samanlainen perusrakenne. Vaikka koodi saattaa vaikuttaa monimutkaiselta, se koostuu pääasiassa koordinaattiarvoista.

Esimerkiksi koodi **"G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400.000000"** noudattaa yksinkertaista rakennetta

G## X## Y## Z## F##,

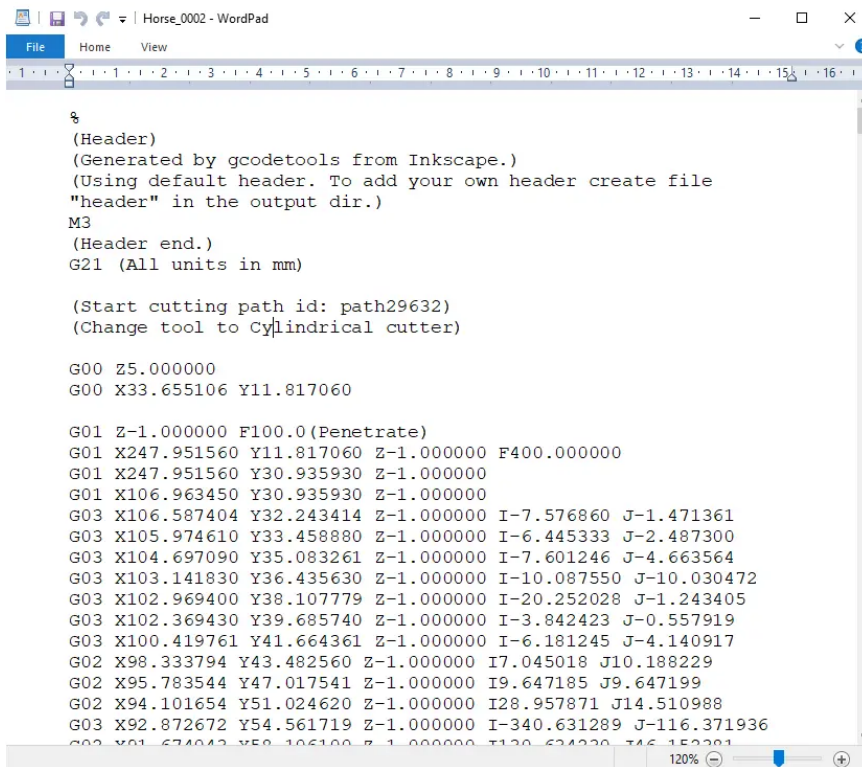
missä:

- **G01** määrittää liikkumistyyppin (tässä tapauksessa lineaarinen liike)
- **X, Y ja Z** kertovat koneen siirtymäkohdan koordinaatit
- **F** määrittää syöttönopeuden.

Näin ollen G-koodi on vain joukko ohjeita koneelle siitä, minne ja millä nopeudella sen tulee liikkua.

Rivi G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400 käskee CNC-konetta liikkumaan suorassa linjassa nykyisestä sijainnistaan koordinaatteihin X247.951560, Y11.817060 ja Z-1.000000 nopeudella 400 mm/min. Yksikkönä on mm/min, koska kuvan 10 G-koodiesimerkissä on käytetty komentoa G21, joka

asettaa yksiköiksi millimetrit. Jos haluttaisiin käyttää yksiköinä tuumia, käytettäisiin sen sijaan komentoa G20.



```
%
(Header)
(Generated by gcodetools from Inkscape.)
(Using default header. To add your own header create file
"header" in the output dir.)
M3
(Header end.)
G21 (All units in mm)

(Start cutting path id: path29632)
(Change tool to Cylindrical cutter)

G00 Z5.000000
G00 X33.655106 Y11.817060

G01 Z-1.000000 F100.0(Penetrating)
G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400.000000
G01 X247.951560 Y30.935930 Z-1.000000
G01 X106.963450 Y30.935930 Z-1.000000
G03 X106.587404 Y32.243414 Z-1.000000 I-7.576860 J-1.471361
G03 X105.974610 Y33.458880 Z-1.000000 I-6.445333 J-2.487300
G03 X104.697090 Y35.083261 Z-1.000000 I-7.601246 J-4.663564
G03 X103.141830 Y36.435630 Z-1.000000 I-10.087550 J-10.030472
G03 X102.969400 Y38.107779 Z-1.000000 I-20.252028 J-1.243405
G03 X102.369430 Y39.685740 Z-1.000000 I-3.842423 J-0.557919
G03 X100.419761 Y41.664361 Z-1.000000 I-6.181245 J-4.140917
G02 X98.333794 Y43.482560 Z-1.000000 I7.045018 J10.188229
G02 X95.783544 Y47.017541 Z-1.000000 I9.647185 J9.647199
G02 X94.101654 Y51.024620 Z-1.000000 I28.957871 J14.510988
G03 X92.872672 Y54.561719 Z-1.000000 I-340.631289 J-116.371936
G03 X91.674042 Y58.106100 Z-1.000000 I120.634220 J46.152201
```

KUVA 10. Esimerkki G-koodista (HowToMechatronics.com 2024)

4 PROJEKTIN SUUNNITTELU

CNC-laitteiston suunnittelussa ja komponenttien hankinnassa on tärkeää löytää tasapaino edullisuuden ja laadun välillä. Harrastuskäyttöön tarkoitetun CNC-laitteen komponentit voidaan valita kustannustehokkaasti, mutta niiden tulee täyttää perusvaatimukset tarkkuuden, kestävyden ja käyttöiän suhteen. Edulliset lineaarijohteet, askelmoottorit ja ohjausyksiköt voivat soveltua hyvin kevyempään käyttöön, mutta teollisuudessa käytettävien CNC-koneiden tulee olla huomattavasti kestävämpiä ja tarkempia.

Komponenttien hankinnassa voidaan hyödyntää edullisia vaihtoehtoja esimerkiksi Kiinasta suoraan komponenttien valmistajalta tilatuista osista, joissa hinta voi olla murto-osa teollisuuskäyttöön suunnitelluista tuotteista. Esimerkiksi harrastuskäyttöön sopiva askelmoottori voi maksaa noin 20–50 euroa, kun taas teollisuustason servomoottorit voi maksaa tuhansia euroja. Sama pätee ohjausjärjestelmiin. Avoimen lähdekoodin vaihtoehdot, kuten GRBL ja Mach3, voivat olla riittäviä kotikäytössä, kun taas teollisuudessa käytetään kalliimpia ja kehittyneempiä vaihtoehtoja, kuten Siemensin tai Fanucin ohjaimia.

4.1 Työstövaatimusten selvittäminen

Ensimmäiseksi selvitetään, minkälaista materiaalia plasmalla halutaan leikata ja mitkä ovat haluttavat materiaalipaksuudet. Leikkausnopeudet, leikkausvirta ja -teho eri materiaaleille on myös selvitettävä. Lisäksi selvitetään, millä kaasulla ja painevaatimuksilla halutaan leikata. Tässä projektissa on kuitenkin tarkoituksena rakentaa harrastuskäyttöön CNC-plasmaleikkuri, joten kustannukset on pidettävä kurissa, eli leikkauskaasuna käytetään paineilmaa argonin sijasta. Tyypillinen paineasetus paineilmakäyttöisille plasmaleikkureille on noin 4,8–5,2 bar.

Taulukosta 1 voidaan huomata 60 ampeeriin ja 160 volttiin kykenevän plasmaleikkurin pystyvän leikkaamaan lähes 20 mm:n paksuista terästä ja ruostumattomaa terästä. Nämä lukemat sopivat tähän harjoitukseen loistavasti.

TAULUKKO 1. (Hypertherm 2001, Powermax 1000 operator manual.)

Mild Steel

Arc Current	Arc Voltage	Motion Delay	Material Thickness		Maximum Travel Speeds		Optimum Travel Speeds	
			Inches	mm	IPM	mm/min	IPM	mm/min
60	134	0	16 Ga	1.5	627	15926	502	12751
	134		10 Ga	3.4	264	6706	211	5359
	138	0.25	1/4"	6.4	132	3353	86	2184
	141	0.75	3/8"	9.5	63	1600	41	1041
	141	1.50	1/2"	12.7	42	1067	27	686
	147		5/8"	15.9	31	787	20	508
	153		3/4"	19.0	22	559	14	356

Stainless

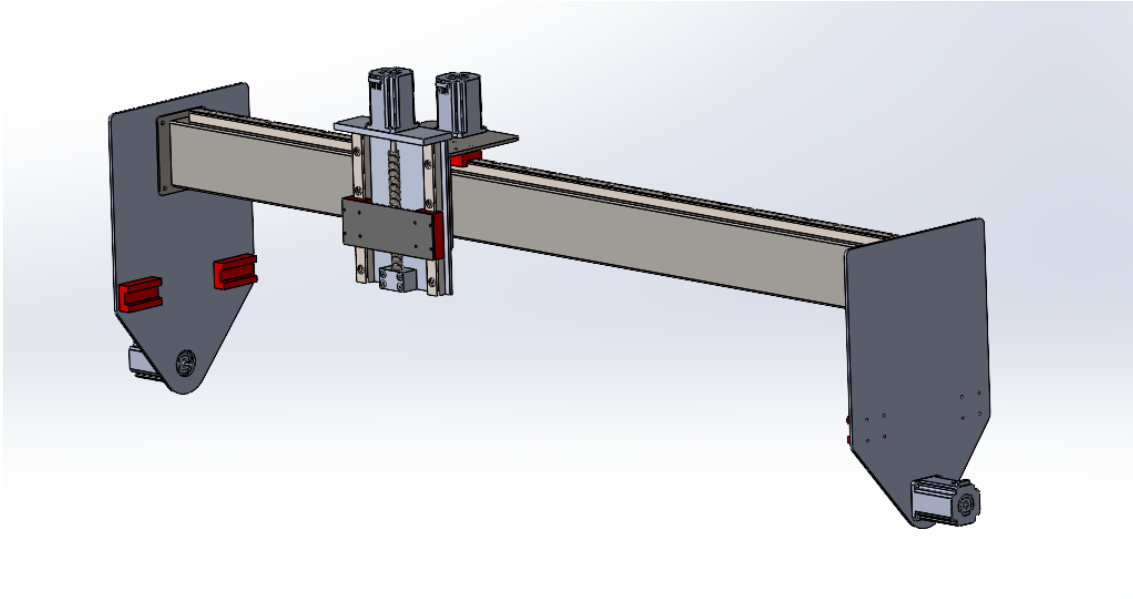
Arc Current	Arc Voltage	Motion Delay	Material Thickness		Maximum Travel Speeds		Optimum Travel Speeds	
			Inches	mm	IPM	mm/min	IPM	mm/min
60	134	0	16 Ga	1.5	625	15875	406	10312
	136	0.25	10 Ga	3.4	244	6198	159	4039
	139	0.50	1/4"	6.4	110	2794	72	1829
	145	0.75	3/8"	9.5	53	1346	34	864
	146	2.00	1/2"	12.7	35	889	23	584
	149		5/8"	15.9	26	660	17	432
	154		3/4"	19.0	18	457	12	305

Aluminum

Arc Current	Arc Voltage	Motion Delay	Material Thickness		Maximum Travel Speeds		Optimum Travel Speeds	
			Inches	mm	IPM	mm/min	IPM	mm/min
60	135	0	1/16"	1.6	666	16916	433	10998
	138	0.25	1/8"	3.2	400	10160	260	6604
	141		1/4"	6.4	145	3683	94	2388
	146	0.75	3/8"	9.5	74	1880	48	1219
	149	1.50	1/2"	12.7	51	1295	30	762
	153		5/8"	15.9	33	838	21	533

4.2 Liikejärjestelmän määrittely

Liikejärjestelmän määrittelyyn tarvitaan jonkinlainen mallinnus halutusta rakenteesta, jota liikutetaan, sekä siitä minkälaisia kitkavoimia moottorit joutuvat voittamaan tai kuinka painava liikutettava rakenne on.



KUVA 11. Mallinnettu esimerkkirakenne, CNC-plasmaleikkurin leikkauspukki

Lineaarijohtimilla kulkeva esimerkkirakenne painaa noin 20 kiloa. Leikkauspukki on valmistettu teräksestä ja alumiinista. Kaikki osat ja eri materiaalien paino on otettu huomioon laskelmissa.

4.2.1 Moottorin voimien arvioiminen

Kiihtyvyyden vaatima voima tarkoittaa kokonaisvoimaa, jonka moottorit joutuvat tuottamaan. Kaavalla 1 laskettu kiihtymiseen tarvittu voima on 6,3N.

$$F = m \times a$$

KAAVA 1

F = kiihtymiseen tarvittava voima (N),

m = leikkauspukin arvoitu paino (21 kg)

a = keskiverto-CNC-leikkurin kiihtyvyys (0,3 m/s²)

Kitkavoima on voima, joka vastustaa kahden kiinteän kappaleen toisiaan koskettavien pintojen liikettä. Kaavalla 2 laskettu kitkavoiman arvo on 1,23 N.

$$F\mu = \mu \times m \times g$$

KAAVA 2

$F\mu$ = kitkavoima (N)

μ = lineaarijohdinvalmistajan ilmoittama kitkakerroin laakeripukeille (0,006)

m = leikkauspukin arvioitu paino (21 kg)

g = maan vetovoiman kiihtyvyys (9,81 m/s²)

Kokonaisvoima on kiihtyvyyteen tarvittavan voiman ja kitkan voittamiseen tarvittavan voiman yhteen laskettu summa. Koska esimerkkimallissa on käytetty kahta moottoria liikuttamaan leikkauspukkia, jaetaan voima kahdella. (Kaava 3.) Voima yhdelle moottorille on täten 3,765 N.

$$F_m = \frac{F + F_\mu}{2} \quad \text{KAAVA 3}$$

F_m = yhden moottorin voima (N)

F = kiihtymiseen tarvittu voima (6,3 N)

F_μ = kitkavoima (1,23 N)

4.2.2 Vääntömomentin laskeminen

Vääntömomentti saadaan laskettua kertomalla kaavassa 3 laskettu yhden moottorin voima kuvassa 11 olevan mallin hammashihnapyörän säteellä. Kaavaa 4 käyttäen yhden moottorin vääntömomentti olisi 0,0301 Nm.

$$\tau = F_m \times r \quad \text{KAAVA 4}$$

τ = yhden moottorin vääntömomentti

F_m = yhden moottorin voima (3,765 N)

r = hammashihnapyörän säde (0,008 m)

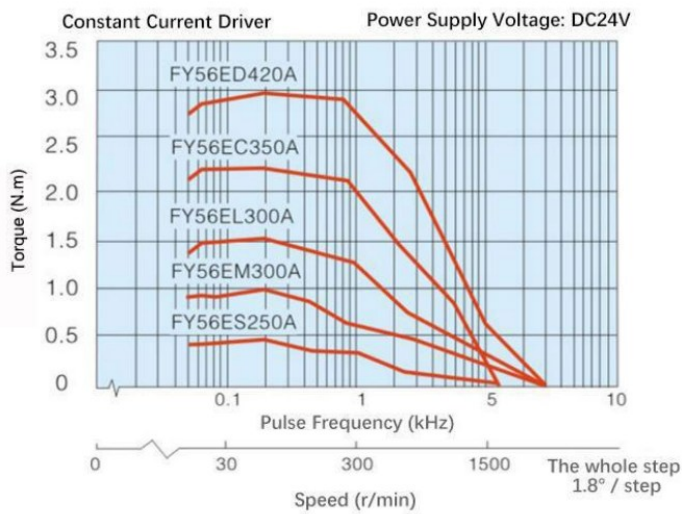
Laskettu vääntömomentti vaikuttaa todella pieneltä esimerkkimallissa käytettyyn Nema23-askelmoottoriin verrattuna (kuva 12). Yleisimmissä harrastekäyttöön suunnatuissa CNC-plasmaleikkureissa käytössä on vähintään 2,0 Nm:n pitomomentin moottoreita. Myös 24 voltin Nema23-moottorieiden momenttikaaviosta (kuva 13) havaitaan pienimmän mahdollisen moottorin pitomomentin olevan hie-man alle 0,5 Nm, joka on huomattavasti suurempi kuin kaavassa 4 laskettu moottorin momentti.

Moottorin pitomomentti pätee vain, kun moottori on paikallaan. Nopeuden kasva-essa momentti laskee. Tyypillisesti 1000 rpm:n kohdalla momentti voi olla vain

20–30 % alkuperäisestä. Nema23-moottoreille on myös ominaista, että 300 rpm:n jälkeen vääntömomentti pienenee merkittävästi.



KUVA 12. Nema23-moottori (ATO 2025)



KUVA 13. 24-volttisten Nema23-moottoreiden momenttikäyrä (ATO 2025)

4.2.3 Moottorin pyörimisnopeus

Taulukossa 1 mainittu leikkausnopeus 16916 mm/min otetaan seuraavaksi huomioon moottorin valinnassa.

$$\text{Leikkausnopeus} = 16916 \text{ mm/min} = 282,7 \text{ mm/s}$$

Hammashihnapyörän säde on 8 mm, joten ympärysmitta kaavalla 5 laskettuna on

$$C = 2 \times \pi \times r$$

KAAVA 5

C = hammashihnapyörän ympärysmitta (50,24 mm)

r = hammashihnapyörän säde (8 mm)

Moottorin kierrosnopeus voidaan laskea kaavalla 6.

$$n = \frac{v}{c}$$

KAAVA 6

n = Moottorin kierrosnopeus (338 rpm)

v = leikkausnopeus (16916 mm/min)

4.2.4 Momentin menetys korkeimmilla nopeuksilla

Valitaan servomoottori, jonka pitomomentti on esimerkiksi 0,5 Nm, ja sen pitomomentti laskee radikaalisti nopeuden kasvaessa 300 rpm:n kohdalla noin 50–70 %:iin alkuperäisestä. Oletetaan, että momentti on noin 60 % pitomomentista 338 rpm:n kohdalla, joten saatavilla oleva momentti on noin 0,3 Nm.

Esimerkkimoottorin tehot olisivat riittävät, vaikka CNC-plasmaleikurilla ajettaisiin suurimmilla valituilla arvoilla. Teoriassa moottori on riittävä, mutta todellista vastusvoimaa tai kitkaa on vaikeaa selvittää. Moottorin valitsemisessa on hyvä ottaa huomioon moottorin käyttöikä, olosuhteet ja se, ajetaanko moottoreilla jatkuvasti täysillä tehoilla. Valinta on siis aina tehtävä hieman yli vaatimusten.

4.2.5 Enkooderi

Askelmoottoreilla on omat huonot puolensa, esimerkiksi epävakaata nopeus ja tarkkuus. Askelmoottorin enkooderi on laite, jota käytetään moottorin kiertokulman ja nopeuden mittaamiseen. Se koostuu yleensä valosensorista, pyörivästä levystä ja signaaliprosessorista. Sen päätehtävä on toteuttaa asennon ja nopeuden hallinta havaitsemalla moottorin roottorin sijainti. (Stepperonline 2025.)

Askelmoottoriin on mahdollista rakentaa takaisinkytketty ohjaus enkooderia hyödyntämällä, jolloin moottorilla voidaan ajaa tarkasti kuten servomoottorilla. Tällä tavalla järjestelmä tietää tarkalleen, missä kohdassa moottori on jopa nopeissa liikkeissä. Tätä ominaisuutta voi hyödyntää CNC-järjestelmässä siten, että tarkat liikeradat hoidetaan mikroaskelilla ja nopeat siirtymät täysillä askelilla. Näin saadaan molempien askeltyyppien hyvät puolet käyttöön.

4.3 CNC-ohjaus

CNC-ohjausjärjestelmän valitseminen riippuu monista tekijöistä, kuten tarkkuusvaatimuksista, leikkaustarpeista, budjetista ja ohjelmistoyhteensopivuudesta. CNC-ohjain määrittää, miten kone vastaanottaa ja suorittaa leikkauskomennot. Vaihtoehtoja ovat PC-pohjaiset ohjaimet, DIY-ratkaisut ja lopuksi teollisuusohjaimet.

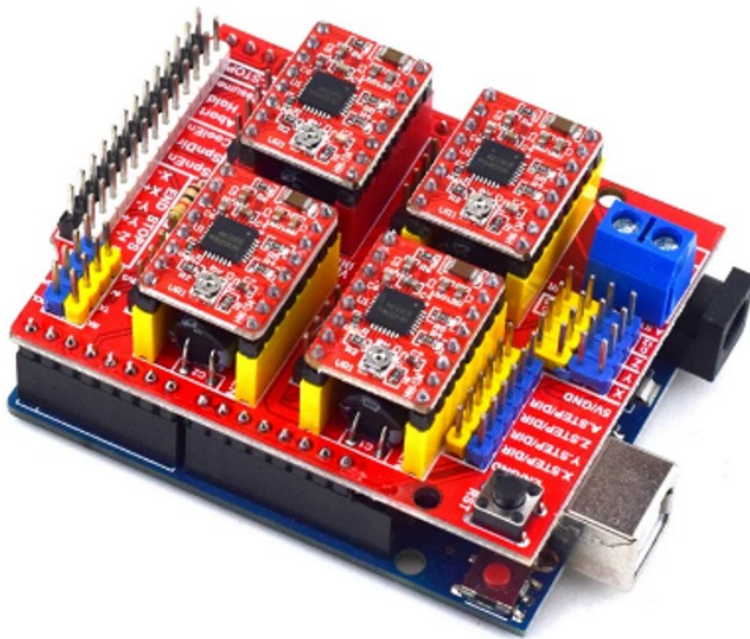
PC-pohjaiset ohjelmistot muuttavat tietokoneen erilliseksi CNC-ohjausjärjestelmäksi erillisellä liitäntäkortilla, joita ovat esimerkiksi Mach3, Mach4, UCCNC (kuva 8) tai LinuxCNC. Mach3 ja Mach4 ovat hinta-laatusuhteeltaan erittäin hyviä vaihtoehtoja. Ne antavat käyttäjälle hyvin käyttäjäystävällisen ja laadukkaan kokemuksen. LinuxCNC on ilmainen, laadukas ja hyvin muokattavissa käyttäjän tarpeisiin, mutta se toimii ainoastaan Linux-käyttöjärjestelmissä, ja kokemattoman käyttäjän voi olla haastavaa käyttää sitä.

Teollisuuskäytössä olevat ohjaimet, esimerkiksi Hypertherm EDGE Connect, Burny tai ESA S500, ovat itsenäisiä järjestelmiä eivätkä vaadi erillistä tietokonetta. Myös LinuxCNC, Mach3 ja Mach4 soveltuvat teollisuuskäyttöön.

DIY-ratkaisuja on esimerkiksi Arduinon, GBRL:ään tai OpenBuilds-ohjelmistoihin perustuvat ohjausjärjestelmät, mutta ne sopivat enemmän kevyempään käyttöön. LinuxCNC-, Mach3- ja Mach4-ohjelmistoilla voidaan ohjata neljä- tai jopa viisiakselisia järjestelmiä, mutta esimerkiksi Arduinolla vain kolme akselia. Koska plasmaleikkuri tarvitsee vain kolme akselia, sekin on hyvä vaihtoehto tässä tapauksessa.

4.3.1 CNC-ohjauskortti

Ohjainkorttien vaihtoehtoja on lukuisia. Harrastuskäyttöön soveltuvat edulliset vaihtoehdot, kuten Arduino UNO + GRBL Shield (kuva 14), tarjoavat perustoiminnot ja helpon käyttöönoton. Toinen suosittu ratkaisu on Mach3/4-yhteensopiva ohjainkortti (kuva 15), joka tukee laajempia ominaisuuksia ja mahdollistaa monipuolisemman ohjauksen.



KUVA 14. Arduino Uno + GRBL shield. (DIYengineers)

Esimerkiksi Mach3-yhteensopiva ohjainkortti ei maksa enempää kuin Arduino UNO + GRBL Shield -yhdistelmä, mutta Mach3-ohjelmiston lisenssi maksaa noin 175 euroa, kun taas GRBL on ilmainen.

$$N = \frac{360^\circ}{\theta}$$

KAAVA 7

N = täyden kierroksen vaatima askelten määrä

θ = moottorin askelkulma ($1,8^\circ$)

Mikroaskel

Askelmoottoreita voidaan ohjata myös mikroaskelilla. Mikroaskelissa täysi askel jaetaan pienempiin osiin. Tällä tavalla moottorin käyntiääni on paljon hiljaisempi sekä liikkeet tarkempia, mutta moottorin vääntö ja pyörimisnopeus vähenevät. Jos esimerkiksi käytetään 1/16-mikroaskellusta, täyden kierroksen vaatima askelten määrä on $200 \text{ askelta} \times 16 \text{ mikroaskelta} = 3200 \text{ mikroaskelta}$.

4.3.3 Askeleiden laskeminen

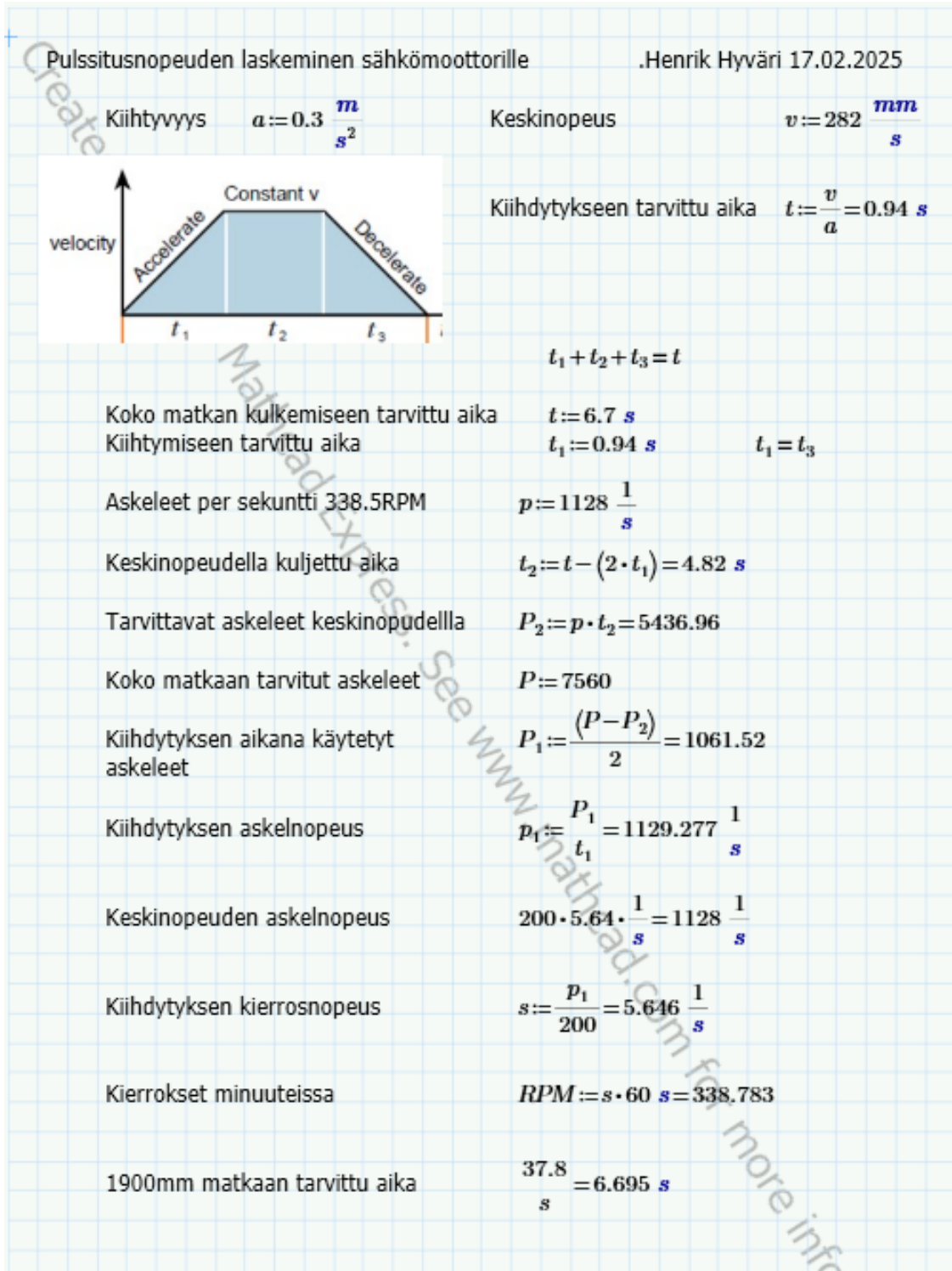
Seuraavaksi esitetään esimerkki CNC-plasmapöydän liikeradan laskemisesta. CNC-plasmapöydän liikerata on päästä päähän 1900 mm, ja moottori liikuttaa leikkauspukkia 50,24 mm yhdellä kierroksella. Moottorin on pyörähdettävä 37,8 kertaa ympäri, ja koska yksi kierros vaatii 200 askelta, moottoriohjaimen on annettava 7560 askelta päästäkseen CNC-plasmapöydän päähän. Jos käytetään mikroaskelia (3200 per kierros), kokonaisaskelmäärä on 120 960 pulssia.

Tässä laskelmassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon moottoriin kohdistuvia rasitteita tai nopeuksia.

Jos halutaan kuljetusnopeuden olevan 16 916 mm/min eli 282 mm/s, moottorin on liikutettava CNC-plasmapäätä 6,7 sekunnissa pöydän päästä päähän. Jos tiedetään, että 1900 mm:n matkalla moottorin on tehtävä 37,8 kierrosta, sen on pyöräyttävä 5,64 kierrosta sekunnissa, mikä vastaa 338,5 kierrosta minuutissa. Tämä lukema vastaa kaavassa kuusi tehtyä laskelmaa.

5,64 kierrosta sekunnissa tarkoittaa 1128 askelta sekunnissa, jos ohjauksessa ei käytetä mikroaskelia.

Moottorit eivät kuitenkaan kiihdy yhtäkkisesti haluttuun kierrosnopeuteen, joten kiihtyvyys ja hidastuvuus on otettava huomioon laskelmissa. Kuvassa 16 on laskettu tarvittu askelnopeus, mikäli järjestelmässä käytetään täysiä askelia.

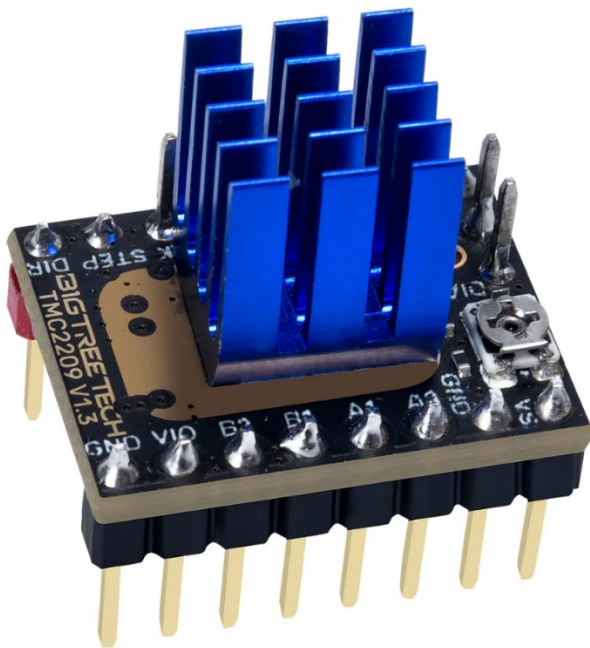


KUVA 16. Askeliien laskenta

4.3.4 Moottorinohjaimen valitseminen

Moottorinohjaimen on kyettävä tuottamaan tietty määrä askelia sekunnissa, jotta moottori pystyy kiihtymään oikealla nopeudella kuormituksen alla. CNC-plasma-leikkauksessa on hyvä säilyttää tarkkuus ja nopeus, joten mikroaskelien käyttäminen on suositeltavaa. Ohjaimen on myös kyettävä tuottamaan riittävästi virtaa moottorille.

Esimerkiksi kuvassa 17 oleva askelmoottorihjain sopisi loistavasti harrastuskäyttöön edullisuutensa ja erinomaisten mikroaskelmahdollisuuksiensa vuoksi. Vaikka TMC2209 olisikin hyvä vaihtoehto moottorinohjaimeksi, se ei kykene tuottamaan tarvittavaa askelnopeutta ja sen 2,8 ampeeriin virtapiikki on liian matala isommille moottoreille.



KUVA 17. TMC2209 Stepper Motor Driver (Biqu Equipment 2025)

Jos tiedetään moottoreiden vaatimukset, on myös moottorinohjain helppo valita sen mukaan. Keskimäärin Nema23-tyypin askelmoottorit toimivat 3–6 ampeerin virta-alueella. Tässä tapauksessa olisi suotavaa, että moottorinohjain kykenisi

tuottamaan kyllin suuren virtapiikin, jotta järjestelmää raskaasti kuormittavissa tilanteissa työstönopeudet eivät laskisi.

Kuvan 18 DM556EU-moottorinohjain kykenee tuottamaan 5,6 ampeerin virtapiikin ja 200 tuhatta askelta sekunnissa. Tämä mahdollistaa suuret, mutta myös tarkat työstönopeudet. DM556EU voi kuitenkin olla liian suuri ja kallis harrastekäyttöön tarkoitettuun CNC-plasmapöytään. DM556EU:n dippikytkimet tekevät mikroaskelasetuksien muuttamisesta todella helppoa. TMC2209:n mikroaskelten asetus tapahtuu yhdistelemällä eri pinnejä erillisillä johtimilla toisiinsa.



KUVA 18. DM556EU Stepper Motor Driver (Rocketronics)

4.4 Torch Height Control (THC)

THC eli plasmapään automaattinen korkeuden säätö on ohuen levyn leikkaamiseen ehdoton ominaisuus, jolla voidaan säätää plasmapään korkeutta kompensoimaan etenkin ohuen levyn taipumista leikkausprosessin liiallisen lämmöntuonin takia. Automaattinen korkeudensäätö takaa oikean etäisyyden leikattavaan

kappaleeseen ja täten leikkausjälki ja tarkkuus pysyvät yhdenmukaisina koko prosessin aikana. THC mahdollistaa myös aaltokuvioiden levyn leikkaamisen ongelmitta.

Korkeuden säätö toimii mittaamalla reaaliaikaisesti plasmaleikkurin ja -napojen välistä kaarijännitettä. Esimerkiksi jos tarkkailtava jännite on 80 volttia ja poltin menee liian lähelle työkappaletta, seuraa jännitteen pieneminen. Mikäli poltin nousee kauemmaksi, jännite kasvaa suuremmaksi. Jännitteen seuranta voidaan rajata esimerkiksi 80 ± 1 volttia. CNC-ohjausohjelma seuraa tätä dataa ja korjaa polttimen korkeutta sen mukaan.

Korkeudensäätömoduuleja on markkinoilla useaa erilaista. Joissain CNC- ohjainkorteissa tämä on sisäänrakennettu ja joissain tapauksissa moduuli on ostettava erikseen. Kukin moduuli on erilainen ja korkeuden säätö on konfiguroitava aina laitekohtaisesti testaamalla.

4.5 Virtalähteet ja jännitevaatimukset

CNC-plasmaleikkurin virtalähde on mitoitettava siten, että kaikki moottorit, moottorinohjaimet, CNC-ohjain, anturi sekä muu mahdollinen elektroniikka toimii oletustasi. On myös hyvä huomioida esimerkiksi ovatko kaikki moottorit käytössä samaan aikaan, ajetaanko niitä täydellä teholla ja ovatko kaikki moottorit samankokoisia.

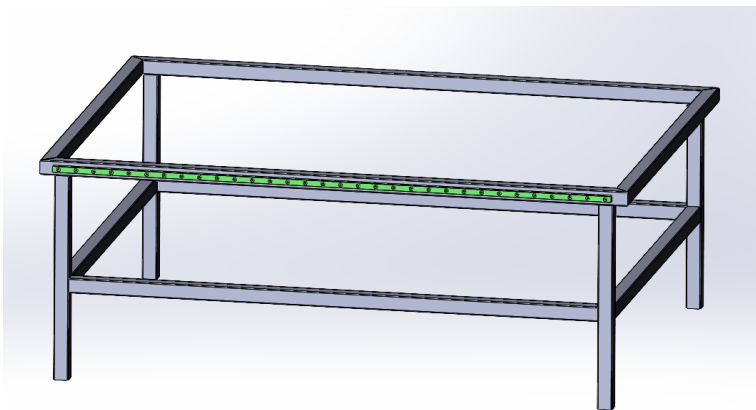
Oletetaan, että CNC-ohjausjärjestelmään valitut moottorit vaativat 4 ampeeria ja 36 volttia. Jos käytämme kuvan 11 esimerkkimallinnusta CNC-plasmapöydän leikkauspukista, tarvitsemme neljä moottoria liikuttamaan kaikkia kolmea liikeakselia. Eli moottorien yhteinen virran vähimmäistarve olisi $4 \times 4 \text{ A} = 16$ ampeeria ja minimiteho $36 \text{ V} \times 16 \text{ A} = 576 \text{ W}$. Minimiteho kerrotaan vielä 20 %:n varmuuskertoimella, joten minimiteho on $576 \text{ W} \times 1,20 = 691,2 \text{ W}$. Eli virtalähteen tulisi kyetä tuottamaan 36 V, 16 A ja vähintään 691 W.

4.6 Rungon ja mekaanisen rakenteen suunnittelu

Rungon suunnittelussa tulee ottaa huomioon monia eri seikkoja, esimerkiksi leikattavien levyjen paino, koko ja muoto. Esimerkiksi, jos leikattavien levyjen standardikoko on 1000 mm × 2000 mm, kannattaa rungon ulkomittojen kyetä mahdollittamaan leikkauspöytä, joka täyttää vähintään ostettavan levyn standardin ulkomitat. Kuvassa 19 runko on mallinnettu huomioiden yksityisasiakkaille tarjolla olevien ohutlevyjen standardikokoja.

4.6.1 Runko

Rungon ja rakenteen osalta harrastajat voivat käyttää erilaisia alumiiniprofiileja tai ohutseinäisiä teräsputkia kustannusten pienentämiseksi, kun taas teollisuuskäytössä koneiden rungot ovat yleensä valurautaa tai järeää teräsrakennetta, mikä takaa jäykkyyden ja pitkäikäisyyden.

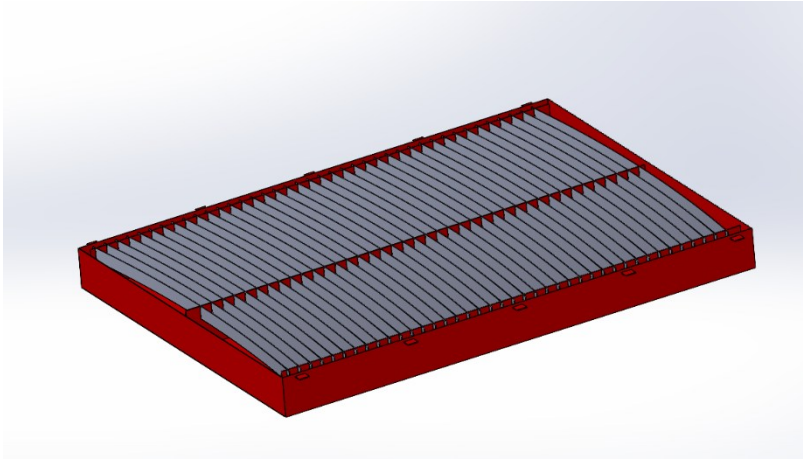


KUVA 19. Esimerkkirunko

4.6.2 Leikkauspöytä

Plasmaleikkauksen yhteydessä syntyy metallipölyä sekä muita terveydelle haitallisia kaasuja. Täyttämällä leikkauspöydän alaosan vedellä voidaan minimoida pölyn ja lian leviäminen, sillä ne sitoutuvat veteen. Ajan mittaa leikkauspöydän altaassa seisova vesi sekä metallipartikkelit saavat aikaan altaan ruostumisen. Tästä syystä leikkauspöydän materiaalia valittaessa kannattaa huomioida

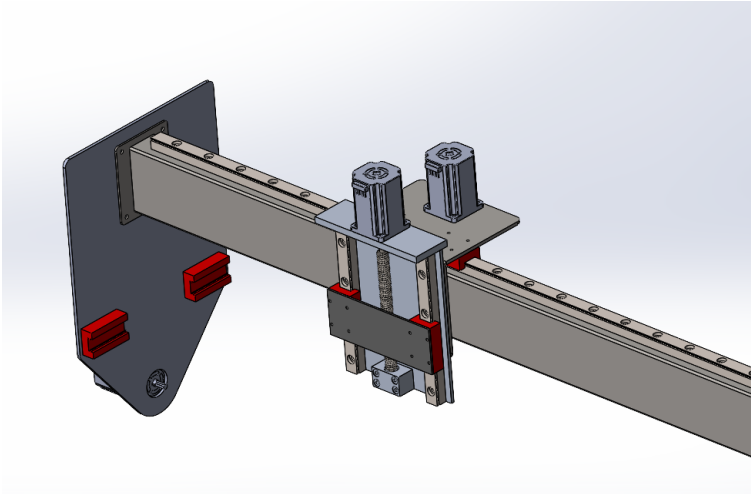
korroosion esto. Ruostumaton teräs ja alumiini ovat loistavia materiaalivalintoja altaan valmistukseen. Allas voidaan myös pinnoittaa edistämään korroosionesto, tai altaan vettä voidaan seostaa korroosiota estävillä seoksilla. Kuvassa 20 harmaalla näkyvät leikattavaa levyä kannattelevat kulutuspalat voidaan kuitenkin valmistaa kustannusten minimoimisen takia ohuesta teräslevystä.



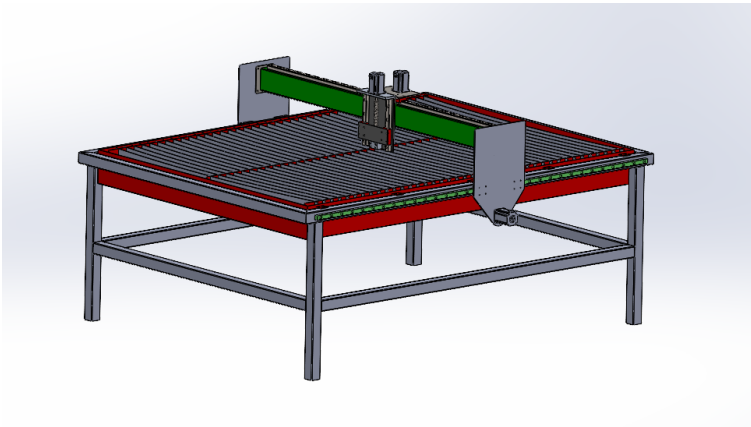
KUVA 20. Allas ja leikkaustaso

4.6.3 Lineaariohjaimet

Jotta CNC-ohjaus olisi mahdollisimman kevyttä ja vaivatonta, kaikkien liikeakselien liikuttelu tapahtuu laakeroitujen lineaarijohtimien päällä. Lineaarijohtimia on usean kokoisia ja näköisiä monilta eri valmistajilta. Liikeakselien liikuttamista suunnitellessa kannattaa kiinnittää huomioida erityisesti leikkauksesta syntyvän pölyn ja lian kertymiseen lineaarijohtimien laakeripinnoille. Kuvissa 21 ja 22 mallinuksissa esiintyvät lineaarijohtimet on mallinnettu simuloimaan valmistajan ONLISUM HGR20-lineaarijohdekiskoja. Kiskoilla kulkevat laakeriyksiköt ovat saman valmistajan HGR20-kiskolle yhteensopivia HGH20CA-laakeriyksiköitä.



KUVA 21. Mallinnetut lineaarijohtimet



KUVA 22. Esimerkimmallinnus CNC-plasmaleikkauspöydästä

4.7 Turvallisuus ja ympäristövaatimukset

4.7.1 Plasmaleikkauksen savunpoisto

CNC-plasmapöydän savunpoisto voidaan hoitaa usealla eri tavalla, esimerkiksi sitomalla savu ja pöly vesialtaassa olevaan nesteeseen. Toinen tapa on altaaseen rakennettu tuuletusjärjestelmä, jossa altaaseen luodaan läpiveto, joka imee pölyn ja savun esimerkiksi ilmanvaihtokanavaa pitkin pois.

Läpiviennin ja vesialtaan hyvät ja huonot puolet on esitetty seuraavasti (WestcottPlasma 2025):

Läpivienti

Hyvät puolet:

- yleensä edullisempi ylläpitää asennuksen jälkeen
- puhdistavampi ja vähemmän toissijaista sotkua
 - vaihdettavia osia voi olla helpompi löytää
- kerää noin 70–80 prosenttia pölystä ja savusta.

Huonot puolet:

- hieman kalliimpi alkuvaiheessa
- vaatii enemmän laitteita, kuten tuulettimen, ja kuluttaa enemmän energiaa
- vetää työtilan ilman ulos, jolloin lämmitetty tai jäähdytetty ilma poistuu
- sähkölaskut voivat nousta huomattavasti
- osien vääntyminen on yleisempää lämmön vuoksi
- osissa on suurempi lämpövaikutusalue
- vaatii yleensä pöydän tyhjien osien peittämistä toimiakseen tehokkaasti
- osat pysyvät kuumina pidempään
- pöydässä voi olla alueita, joissa teho on heikompä kuin muilla alueilla.

Vesiallas

Hyvät puolet:

- vesi sitoo pölyn ja savun
- pienempi lämpövaikutusalue
- vähemmän metallin vääntymistä
- ei vaadi lisälaitteita tai energiaa toimiakseen
- ei poista lämpöä tai ilmastointia työtilasta
- osia voidaan yleensä nostaa ja käsitellä nopeasti
- kerää noin 80–90 prosenttia pölystä ja savusta.

Huonot puolet:

- voi olla sotkuisempaa ja vaatii osien huuhtelua
- vaatii vedenkäsittelykemikaaleja korroosion estämiseksi
- veteen pudonneet osat on haettava, ja niitä voi olla vaikea löytää
- vedenkäsittelykemikaalit voivat olla kalliita
- vesi on suojattava jäätymiseltä talvella.

Harrastuskäyttöön rakennettavan CNC-plasmaleikkurin pölynpoisto olisi siis järkevintä hoitaa vesialtaalla. Vesiallas on huomattavasti halvempi ja järkevämpi vaihtoehto, koska erillisen ilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen esimerkiksi autotalliin olisi erittäin kallista. Myös ilmanvaihdon tuomat sähkökustannukset tekisivät plasmaleikkurin käytöstä yhä kalliimpaa.

4.7.2 Sähkö- ja paloturvallisuus

Plasmaleikkauksessa käytetään suuria sähkövirtoja, mikä tekee sähköturvallisuudesta yhden tärkeimmistä osa-alueista laitteen suunnitteluprosessissa. Virtalähteen, moottoreiden, kaapelien ja liitännöjen on oltava hyvässä kunnossa. Virheelliset liitännät voivat aiheuttaa sähköiskun tai tulipalovaaran.

Plasmaleikkureille on myös ominaista korkeat lämpötilat ja kipinät, jotka voivat helposti sytyttää palavan materiaalin. Leikkausalueen ympäristö on pidettävä puhtaana kaikesta helposti syttyvästä materiaalista, kuten öljystä, paperista ja puusta. Työtilassa on myös hyvä olla sammutusvälineet, esimerkiksi jauhesammutin tai CO₂-sammutin.

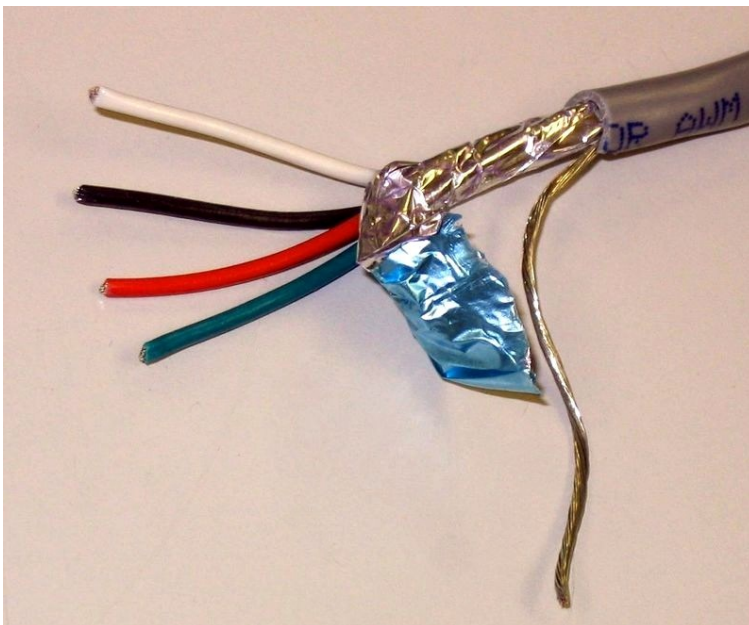
4.7.3 EMI ja EMC

Sähkölaitteissa voi ilmetä toimintahäiriöitä sähköverkon luoman elektromagneettisen kentän seurauksena. Häiriöaiheuttajat voivat olla laitteen omia komponentteja tai ulkoisia lähteitä. Esimerkiksi matkapuhelimien GSM-viestintä aiheuttaa häiriöitä suojattuihin äänentoistojärjestelmiin. Pahimmissa tapauksissa erilaisia sähkölaitteita voidaan tarkoituksella väärinkäyttää tai laitteiden toimintoja voidaan ohjata tuottamalla erilaisia sähköimpulsseja sähkölaitteen läheisyydessä.

4.7.4 Häiriösuojaus

Plasmaleikkauksen valokaari tuottaa suuren sähköisen häiriön, joka voi häiritä CNC-ohjausta, askelmootteita ja muuta elektroniikkaa. Esimerkiksi askelmoottorit voivat lukea häiriösignaalit moottorinohjaimien askelina ja liikkua itsestään.

Häiriötä voidaan minimoida erottelemalla esimerkiksi virta- ja signaalikaapelit toisistaan. Lisäksi moottoreiden, moottorinohjainten ja CNC-ohjaimen signaalikaapeleina käytetään elektromagneettisesti suojattua kaapelia (kuva 23). Signaalikaapelin suojavaippa maadoitetaan esimerkiksi runkoon kaapelin molemmista päistä tai toisesta päästä. Myös CNC-pöydän rajakytkimet on suojattava, jotta järjestelmä ei mahdollisessa häiriötilassa luule plasmapäähän olevan jo kotiase-
massa kesken leikkauksen.



KUVA 23. Nelinapainen suojattu kaapeli metallifoliosuojauksella ja kuivausjohtimella (Wikipedia 2024.)

Suojakaapelin valinnassa kannattaa ottaa huomioon CNC-laitteiston akselien liikerata ja se, millä tavalla moottorikaapelit aiotaan sijoittaa. Markkinoilla on olemassa häiriösuojattuja kaapeleita, jotka on suunniteltu nimenomaan energiansiirtoketjussa käytettäväksi. Energiansiirtoketjuun suunniteltu suojakaapeli kestää paremmin kaapelin vääntelyä eri suuntiin eikä sen suojavaippa murru yhtä herkästi.

4.7.5 Elektromagneettinen yhteensopivuus

Sähkölaitteen ja -laitteiston häiriöpäästöjen ja -sietojen on oltava vaatimustenmukaisia. Kaikki sähkölaitteet tai -laitteistot vaikuttavat toisiinsa, kun ne ovat yhteydessä toisiinsa tai ovat lähellä toisiaan. Sähkömagneettisen yhteensopivuuden, EMC, tarkoitus on varmistaa, etteivät sähkölaitteet tai -laitteistot häiritse tai häiriinny toisista laitteista tai laitteistoista. (Tukes 2025.)

Sähkölaitteen tai -laitteiston valmistaja on vastuussa siitä, että laite tai laitteisto täyttää EMC-direktiivin vaatimukset. EMC-direktiivillä säännellään sähkömagneettista yhteensopivuutta. (Tukes 2025.)

4.7.6 EMC-direktiivi

Euroopan unioni julkaisi helmikuussa 2014 EMC-direktiivin 2014/30EU. Sitä on sovellettu vuodesta 2016 lähtien. Suomessa se on ollut osa sähköturvallisuuslakia (1135/2016) ja valtioneuvoston asetusta sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1436/2016).

EMC-direktiivi koskee laajaa valikoimaa sähköisiä ja elektronisia laitteita, järjestelmiä ja asennuksia, jotka voivat aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä. Direktiivin soveltamisalaan eivät kuulu radiolaitteistot, ilmailualan tuotteet, radioamatöörien radiolaitteet, joita ei ole saatavilla kaupallisesti ja tutkimuskäyttöön tai vastaavaan ammattikäyttöön tarkoitettut arviointivälineistöt. Myöskään sähkömagneettisilta ominaisuuksiltaan vähäiset laitteet eivät kuulu EMC-direktiivin piiriin. (Tukes 2022.)

5 LAITTEISTON VALINTA

5.1 Mekaniikkasuunnittelu

Laitteen suunnittelua rajoitti etenkin työskentely-ympäristö, johon itsevalmistettava plasmaleikkuri tulevaisuudessa sijoitettaisiin. Kuluttajille myytävien teräs- ja alumiinilevyjen standardikoko oli myös keskeinen tekijä rungon suunnittelussa. Autotalliin sijoitettava plasmaleikkuri ei siis saanut olla liian iso tilan puutteen vuoksi. Myös CNC-plasmaleikkurin pölynpoisto tuli mahdollistaa mahdollisimman yksinkertaisesti, edullisesti ja tehokkaasti. Tästä syystä suunnittelussa mallissa käytetään vesiallasta. Se takaa erittäin hyvän pölynsidonnan ja on kustannustehokas, eikä vie tilaa yhtä paljon kuin läpivientituuletuksen vaatima ilmanvaihtoputkisto.

Leikkauspukin liikuttelu suunniteltiin toimimaan hammashihnaohjauksella. Se olisi edullinen ja komponentit olisivat hyvin saatavilla, ja hihna olisi helppo puhdistaa. Pysty akselin liikuttelu taas toteutettiin ruuvijohteella. Ruuvijohde valittiin, koska se on lähimpänä plasmaleikkauksen aikana syntyvää valokaarta ja tulee vastaanottamaan paljon lämpöä, joten sen on kestävä kuumuutta. Lisäksi pysty akselin liikerata on hyvin pieni, joten laajasti ja edullisesti saatavilla olevat ruuvijohteet ovat siihen parempi vaihtoehto.

5.2 Moottorit ja ohjaimet

CNC-järjestelmän moottorien valinta perustui suoraan taulukossa 1 esitettyihin työstöarvoihin. Myös askelmoottorien saatavuus ja hinta vaikuttivat päätökseen. Nema23- ja Nema34-askelmoottorit tarjoavat hyvän tarkkuuden ja vääntömomentin ilman takaisinkytkentää. Nema23-askelmoottorit olivat parempia tähän projektiin, koska ne on tarkoitettu kevyempään käyttöön. Servomoottorit olisivat hyvä vaihtoehto, mutta askelmoottorit valittiin niiden yksinkertaisuuden ja edullisuuden vuoksi.

Moottorien ohjaamiseen olisi tarkoitus käyttää harrastajien suosimaa TB6600-askelmoottoriajuria tai suurempaa ja hieman hintavampaa DM556-ajuria. TB6600 on hyvin edullinen, riittävän tehokas ja tarjoaa mikroaskelmahdollisuuden. DM556-ajuri tarjoaa hieman enemmän mikroaskelmahdollisuuksia ja isomman virtapiikin sekä tarkan ja nopean liikkeen suuren askelnopeuden ansiosta. Tämä tekee liikkeestä tasaisen ja vähentää resonanssia. Tarkoituksena on käyttää pienempää TB6600-ajuria liikuttelemaan pystyakselin eli z-askelin askelmoottoria ja suurempia DM556-ajureita liikuttamaan x- ja y-akseleiden askelmoottoreita.

5.3 Ohjausjärjestelmä

Ensimmäinen vaihtoehto ohjaukseen on Mach3. Mach3 on käyttäjäystävällinen, edullinen ja laajasti tuettu kaupallinen vaihtoehto. Se tukee myös automaattista plasmapolttimen korkeuden säätöä. Ohjausyksikkönä toimii Mach3-ohjausjärjestelmälle tarkoitettu Ethernet-portin sisältävä ohjainkortti. Ethernet-portti on välttämätön, koska Ethernet-kaapeli, jolla järjestelmä kytketään erilliseen tietokoneeseen, ei ole yhtä altis häiriöille kuin normaali USB. Vaikka Mach3-ohjausjärjestelmä tukeekin polttimen automaattista korkeuden säätöä, se ei osaa lukea plasmaleikkurin jännitettä itse vaan sitä varten on ostettava erikseen polttimen korkeudensäätömoduuli.

Toinen vaihtoehto on LinuxCNC. Se tarjoaa paremman mukautettavuuden avoimen lähdekoodin ansiosta, mutta sen käyttöönotto on hieman haastavaa noviiseille. LinuxCNC-ohjausjärjestelmä tukee myös plasmapään automaattista korkeudensäätöä. Ohjainkorttina toimisi hieman hintava Mesa-7176EU (noin 219 €), jossa on Ethernet-liitäntä ja joka mahdollistaa moottorin enkooderi-yhteyden. Mesa-THCAD-lisäpiirin avulla Mesa-7176EU voidaan kytkeä suoraan plasmaleikkuriin, eikä erillistä korkeudensäätömoduulia tarvitse ostaa.

5.4 EMI-suojaus

Plasmaleikkauksen aikana syntyy paljon elektromagneettista häiriötä, joka haittaa laitteiston toimintaa. Tästä syystä kaikki moottoreiden, moottorinohjaimien ja

rajakytkimien sähköjohtojen on oltava EMI-suojattua kaapelia. Kaapeliksi valittiin muiden harrastelijoiden suosima EMI-suojattu kaapeli LiYCY 4 x 0,5 mm². Se on myös suunniteltu käytettäväksi energiansiirtoketjuissa, joten se sopii tähän käyttöön loistavasti. Kaapelin suojavaippa maadoitetaan molemmista päistä tai vain toisesta päästä riippuen rungon ja rakenteiden suunnittelusta.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja kehittää omaan harrastekäyttöön tarkoitettu CNC-plasmaleikkuri. Keskeisimmiksi suunnittelun tekijöiksi nousivat komponenttien saatavuus, edullisuus, luotettavuus, yhteensopivuus, päivitettävyyden sekä leikkaustarkkuus. Suunnitteluprosessin aikana kävi ilmi, että CNC-järjestelmien rakentaminen tarjoaa monia vaihtoehtoja ja ratkaisuja, joita alan harrastajat ovat kehittäneet eri puolilla maailmaa. Erityisesti eri järjestelmien tarkkuuserot herättivät kiinnostusta, mutta eniten yllättivät muiden harrastajien materiaalivalinnat. Etenkin puun käyttäminen osana CNC-rakenteita oli uusi ja mielenkiintoinen lähestymistapa, johon en ollut törmännyt aiemmin.

Tutkimustyön aikana sain arvokasta tietoa CNC-teknologiasta, ja yllätyin sen harrastajayhteisön laajuudesta sekä monipuolisista toteutustavoista. Erityisesti komponenttien laaja valikoima, suuret hintaerot ja vaihtelevat toimitusajat vaikuttivat projektin toteutukseen. Toisaalta huomioni kiinnittyi myös erilaisten vaihtoehtojen, kuten erilaisten moottorien ja ohjainkorttien, saatavuuteen, mikä mahdollisti suunnittelun räätälöinnin tarpeen mukaan.

Yllätyin myös siitä, kuinka yksinkertaista CNC-plasmaleikkurin valmistaminen loppujen lopuksi on, kun suunnittelu ja komponenttivalinnat on tehty huolellisesti ja järjestelmällisesti. Tämä opinnäytetyö auttoi minua ymmärtämään, kuinka monimutkaisilta vaikuttavat järjestelmät voivat olla yllättävän suoraviivaisia ja käytännöllisiä rakentaa, kun oikeat resurssit ja tiedot ovat käytettävissä.

Työn pohjalta syntyneen suunnitelman myötä osa CNC-plasmaleikkurin komponenteista on jo saapunut, ja aikomukseni on aloittaa laitteen rakentaminen mahdollisimman pian. Projektin toteutus etenee suunnitellusti, ja toivon, että sen avulla saan käytännön kokemusta ja syvempää ymmärrystä CNC-teknologiasta.

LÄHTEET

ATO 2025. Nema23 closed loop stepper motor. Luettavissa:

<https://www.ato.com/nema-23-closed-loop-stepper-motor-4-2a-120ncm>. Luettu: 9.2.2025.

Biqu Equipment 2025. TMC2209 Stepper Motor Driver. Luettavissa:

<https://biqu.equipment/products/bigtreotech-tmc2209-stepper-motor-driver-for-3d-printer-board-vs-tmc2208>. Luettu: 18.02.2025

Camcut 2024. G-koodit. Luettavissa: <https://www.camcut.fi/tuki/konepajasa-nasto/g-koodit/>. Luettu: 1.11.2024.

CNCdrive 2011. Products. Luettavissa: <https://www.cncdrive.com/products.html>. Luettu: 9.12.2024.

CNCdrive 2011. UCCNC software. Luettavissa:

<https://cncdrive.com/UCCNC.html>. Luettu: 9.12.2024

Deluxcnc 2024. Control boards. Luettavissa: <https://deluxcnc.eu/en/control-boards/182-interface-board-cnc-4-axis-mach3-usb.html>. Luettu: 11.02.2025.

DIY engineers. Grbl with Arduino cnc shield complete guide. Luettavissa:

<https://www.diyengineers.com/2023/01/05/grbl-with-arduino-cnc-shield-complete-guide/>. Luettu: 11.02.2025.

HowToMechatronics 2024. G-code explained. Luettavissa: <https://howtomechanics.com/tutorials/g-code-explained-list-of-most-important-g-code-commands/#h-what-is-g-code>. Luettu: 5.12.2024.

Hypertherm 2024. Plasma cutter technology. Luettavissa: <https://www.hypertherm.com/en-US/solutions/technology/plasma-technology/>. Luettu: 23.11.2024.

Hypertherm 2025. Documents library. Powermax 1000 operator manual. Luettavissa: <https://www.hypertherm.com/resources/documents-library/?product=Powermax1000>. Luettu: 9.2.2025.

Movetec oy. 2023. Askelmoottorit. Luettavissa: <https://movetec.fi/tuote/askelmoottorit/>. Luettu: 14.02.2025.

Rocketronics. DM556EU Stepper Motor Driver. Luettavissa: <https://www.rocketronics.de/shop/en/stepperdriver->

[dm556eui.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAn9a9BhBtEiwAbKg6fsclwx-kDtDvePuQxUwGfGlgLM-](https://www.omc-stepperonline.com/support/about-stepper-motor-encoders-what-you-need-to-know)

[QemK3CfNFRZSm6oOAilmyQ6ub4pNxoC_xQQAxD_BwE](https://www.omc-stepperonline.com/support/about-stepper-motor-encoders-what-you-need-to-know). Luettu: 19.02.2025.

Stepperonline 2025. About stepper motor encoders. Luettavissa:

<https://www.omc-stepperonline.com/support/about-stepper-motor-encoders-what-you-need-to-know>. Luettu: 14.02.2025.

Tukes. s.a. Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC. Luettavissa: [https://tu-](https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc)

[kes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc](https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc). Luettu 27.2.2025

Westcottplasma 2025. Watertable vs Downdraft. Luettavissa: [https://west-](https://westcottplasma.com/water-table-vs-downdraft-cnc-plasma-cutting-tables/)

[cottplasma.com/water-table-vs-downdraft-cnc-plasma-cutting-tables/](https://westcottplasma.com/water-table-vs-downdraft-cnc-plasma-cutting-tables/). Luettu:

1.3.2025

Wikipedia 2024. Shielded cable. Luettavissa: [https://en.wikipedia.org/w/in-](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shielded+cable&oldid=185455924)

[dex.php?title=Shielded+cable&oldid=185455924](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shielded+cable&oldid=185455924). Luettu: 27.02.2025