

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone - ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät
Ville Jokinen

Opinnäytetyö

CNC-ohjatun lasermerkkäuspöydän suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 04/2010

Yliopettaja, tekn.lis. Esko Kurki
Tretelno Oy, toimitusjohtaja Jukka-Pekka Sillanpää

Ville Jokinen	CNC-ohjatun lasermerkkkauspöydän suunnittelu ja toteutus
Sivumäärä	30 sivua + 2 liitesivua
Valmistumisaika	Huhtikuu 2010
Työn ohjaaja	Yliopettaja, tekn. lis. Esko Kurki
Työn tilaaja	Tretekno Oy, toimitusjohtaja Jukka-Pekka Sillanpää

TIIVISTELMÄ

Tretekno Oy on uusi kone- ja laiteautomaatioon, sekä kappaleenkäsittelyyn erikoistunut yritys. Yritys on aloittanut toimintansa Perlos Oy:n entisen Ylöjärven tehtaan vanhoilla koneilla, joita on muokattu uusiin tehtäviin. Tretekno Oy on toiminut Ylöjärvellä vuodesta 2007 lähtien.

Tretekno sai toimeksiannoksi valmistaa kuvioituja akryylilevyjä, minkä johdosta yrityksen piti rakentaa itselleen kone kyseiseen tehtävään. Pöydän suunnittelu ja rakentaminen aloitettiin Ylöjärvellä syksyllä 2009.

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa toimiva 2-akselinen CNC-pöytä, joka käyttää laseria levyjen merkitsemiseen. Koneen rakentamisessa sekä sovelletaan olemassa olevia osia ja ratkaisuja että hankitaan uusia komponentteja. Työssä perehdytään myös laserointiin ja erilaisiin laserointitekniikoihin sekä niiden soveltamiseen käytännössä.

Työn lopputuloksena saatiin suunniteltua ja rakennettua toimiva pöytä, joka käyttää skannerioptiikalla varustettua hiilidioksidilaseria. Rakentamisen aikana sekä sen jälkeen huomattuja kehityskohteita ja pöydän rakenteita tullaan luultavasti muokkaamaan vielä tulevaisuudessa pöydän toimivuuden parantamiseksi entisestään.

Rakennettu pöytä toimii suunnitellun mukaisesti ja se soveltui suunniteltuun käyttö-tarkoitukseensa. Työ auttoi oppimaan kokonaisvaltaista koneenrakennusta, myös ennen tuntemattomammalta automaatiotekniikan alalta.

Ville Jokinen	Designing and building of a CNC-controlled laser marking router
Pages	30 pages + 2 appendices
Graduation time	April 2010
Thesis supervisor	Senior Lecturer, Lic. Tech. Esko Kurki
Co-operating Company	Tretekno Oy, Managing director Jukka-Pekka Sillanpää

ABSTRACT

Tretekno Ltd. is a new company focused on machine automation and piece handling. The company started its operations with old machinery from Perlos's Ylöjärvi plant. The company has been working in Ylöjärvi since 2007.

Tretekno had a task to produce engraved acrylic panels for its customers. This led to a need for a machine that is capable to make such panels. Building of the machine started in autumn 2009.

The purpose of this thesis is to design and build a working 2-axis CNC router, which uses laser in engraving panels. Used parts and solutions as well as new components were used in the building of this machine. In this thesis, laser technology and fabrication techniques, including applications are being familiarized.

Final result is a working CNC router that uses CO² laser with scanner optics. In the time of building this router, many possible points of development were discovered. In the future it is possible that the router will be modified to function even better.

At the end, the router is working as planned and it was adaptable to the planned task. This work helped to learn more of machine building and automation technology.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
Sisällysluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Tretekno Oy.....	6
3 CNC/NC:n historiaa.....	7
3.1 CNC-ohjaus.....	7
3.2 CNC sovelluksia.....	8
4 Lasertekniikka	9
5 Pöydän suunnittelu ja valmistus	11
5.1 Runko.....	14
5.2 Pöytälevy.....	15
5.3 Johteet.....	16
5.4 Servomoottorit.....	17
5.4.1 Servovahvistimet	19
5.5 Laser	21
5.6 Energian siirto ja sähköistys	23
5.7 Ohjaus	24
6 Koneen turvallisuus	25
7 Laserin turvallisuus.....	26
8 Koneen toiminta.....	28
9 Yhteenveto.....	29
Lähteet.....	30
Liitteet.....	30

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa 2-akselinen CNC-pöytä, jossa liikutellaan työkaluna skannerilaseria. Työn aihe muodostui tarpeesta valmistaa ensisijaisesti kuvioituja akryylilevyjä. Koneen käyttö tulee keskittymään pääsääntöisesti edellä mainittujen levyjen valmistukseen. Ensisijaisen käyttötarkoituksen takia kone valmistetaan 2-akselisena, mutta ohjaukseen tulee varaukset useammille akseleille. Käytännössä koneessa tulee olemaan 4 akselia, koska laserin skannauspäässä itsessään on jo 2 akselia.

Pöydän käyttö laserointiin varmistui aivan työn ensiaskelilla, eli työssä tullaan käsittelemään myös laserointia sekä erilaisia laserointitekniikoita. Työssä sivutaan myös pöydän ohjausjärjestelmää.

Tämä työ keskittyy koneen karkeaan suunnitteluun, valmistukseen sekä käyttöön. Huomioitavia asioita ovat mm. olemassa olevien osien ja rakenteiden hyödyntäminen sekä liikuteltavuus. Pyrkimyksenä on myös pitää koneen rakenne mahdollisimman yksinkertaisena.

2 Tretekno Oy

Tretekno Oy on varsin nuori yritys. Yritys on perustettu vuonna 2007, samoihin aikoihin kun Perloksen Ylöjärven tehdas lopetettiin. Tretekno Oy:n perustaja Jukka-Pekka Sillanpää työskenteli aiemmin Perloksella, mutta tehtaan lopettaessa Sillanpää päätti ostaa osan tehtaan konekannasta ja perustaa oman yrityksen.

Tretekno on automaatiolaitteiden valmistukseen, automaattiseen kokoonpanoon ja pakkaamiseen erikoistunut yritys (<http://www.tretekno.fi> 26.11.2009).

Tretekno sijaitsee entisen Perloksen tiloissa Ylöjärvellä, yhdessä monen muun yrityksen kanssa ja työllistää tällä hetkellä yhden henkilön.

Yrityksen päätoimialaan kuuluu osaltaan myös Perloksen vanhojen robottien soveltaminen uusiin käyttökohteisiin. Kuvassa 1 esitellään tyypillinen robottisol.



Kuva 1 4-akselinen Sony robottisol (Tretekno Oy)

3 CNC/NC:n historiaa

Tarve CNC-tekniikalle tuli kappaleiden monimuotoisuuden ja tarkkuuden vaatimuksena. Sotateollisuus on ajanut kehitystä eteenpäin monessa asiassa, myös tässä. Ensimmäisiä NC-koneita otettiin käyttöön toisen maailmansodan jälkeen, ja jo vuonna 1947 Yhdysvaltojen ilmavoimat ja Parsons Company kehittivät menetelmän, jossa kahta erillistä akselia pystyttiin ajamaan lähes samanaikaisesti. Tuolloin datana toimivat reikäkortit. Ensimmäinen 3-akselinen työstökeskus kehitettiin 1952 MIT:n toimesta, mutta kuitenkin ensimmäinen teollisesti valmis NC-kone valmistui vasta vuonna 1954 Bendixin toimesta Yhdysvalloissa. (Suh, Suk-Hwan; Kang, Seong-Kyoon; Chung, Dae-Hyuk; Stroud, Ian. Theory and Design of CNC Systems. Springer-Verlag London Limited: London 2008.)

3.1 CNC-ohjaus

CNC tulee englanninkielien sanoista Computerized Numerical Control. Lyhenne CNC on kuitenkin menettänyt merkityksensä ja niinpä nykyään puhutaan paljon pelkästä NC-ohjauksesta, koska monista nykypäivän sovelluksista on tietokone jätetty välistä pois. NC-koneella tarkoitetaan nykypäivänä kaikkia numeerisesti ohjattuja koneita ja laitteita, jolle matkatieto annetaan numeroina. Uusin termi NC-tekniikassa on DNC (Direct Numerical Control), joka tarkoittaa tekniikkaa jossa yhdellä tietokoneella voidaan ohjata suoraan useampaa NC-konetta.

CNC-koneissa liikkeen tekevät servomoottorit, joiden ohjauskäskyt muodostuvat G-koodeista. G-koodi koostuu liikekäskyistä tai liikemuodoista sekä koordinaateista. Esimerkkinä liikemuoto voi olla vaakasuora, pystysuora, polaarinen tai lineaarinen. Liikemuodon lisäksi ilmoitetaan aina koordinaatit, mihin liikutaan. Näiden lisäksi on vielä aputoimintoja, kuten karan käynnistys ja pysäytys, lastuamisneste päälle ja pois.

CNC-tekniikan alkuaikoina ohjelmat oli pakko pyrkiä pitämään mahdollisimman yksinkertaisina ja lyhyinä, koska koneiden muistit olivat hyvin rajallisia. Nykyään ohjelmat tehdään jo kappaleiden suunnitteluvaiheessa tietokoneella, joka muuttaa 3D-kappaleeseen tehdyt työstöradat suoraan G-koodiksi, joka lähetetään NC-koneen muistiin. 3D-tekniikka on helpottanut työstötekniikkaa huomattavasti, koska nykyään on mahdollista simuloida kappaleiden työstöt etukäteen ja näin välttää mahdolliset ohjelmavirheet. (Pikkarainen, Eero. NC-tekniikan perusteet. Hakapaino Oy: Helsinki 1999.)

3.2 CNC sovelluksia

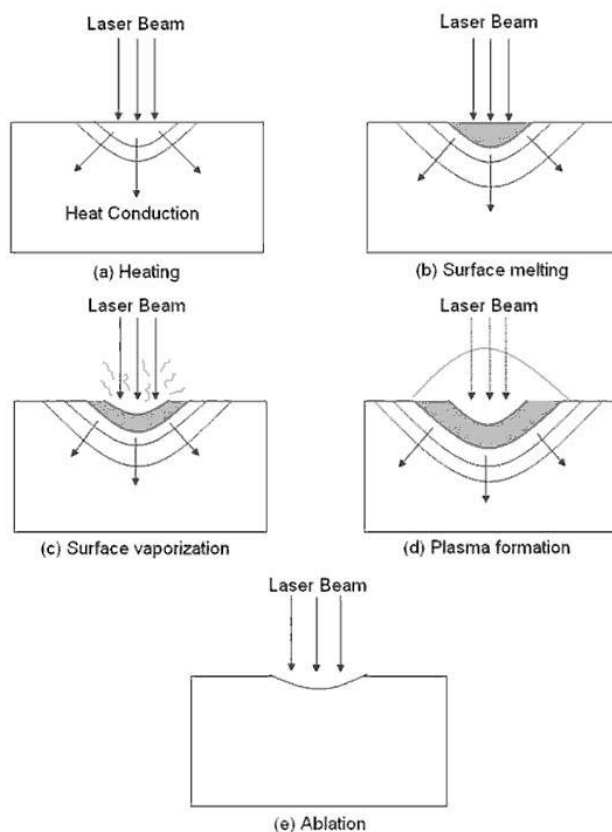
CNC-tekniikkaa sovelletaan useaan eri tarkoitukseen. Yleensä käytettäessä termiä CNC ymmärretään puhuttavan juurikin koneistuksesta tai lastuavasta työstöstä ylipäänsä. Lastuava työstö on ehkä yleisin CNC-tekniikan sovellus Suomessa, mutta ei kuitenkaan ainoa. Samaa tekniikkaa käytetään mm. laser- ja plasmaleikkureissa, vesileikkureissa ym.

Leikkaustyöhön vaadittava CNC-tekniikka on yksinkertaisempaa kuin koneistuksessa vaadittu. Leikkaustyö suoritetaan yleensä kaksiulotteisesti, eli periaatteessa koneeseen riittää kaksi akselia; kolmas akseli saattaa olla tarpeen, käytettävästä leikkaustekniikasta riippuen. Koneistustyö vaatii myös koneen rakenteelta enemmän, sillä koneistuksessa pitää pystyä hallitsemaan työssä syntyvät värinät sekä huomioida koneistukseen vaadittavat voimat. Esimerkiksi laserleikkauksessa koneeseen ei kohdistu muita voimia kuin leikkauspään liikuttelu. Voimat taas tuovat esille sen, minkälaisilla välyksillä kone on toteutettu, mikä taas vaikuttaa valmistustarkkuuteen. Täysin välyksetöntä ratkaisua ei kuitenkaan ole olemassa, ja toisaalta turha välyksien pienentäminen aiheuttaa lisäkustannuksia.

4 Lasertekniikka

Koska tämän koneen ensisijainen käyttötarkoitus on laserointi, käydään hieman läpi kyseistä tekniikka. Itsessään laserin periaatteet ovat pelkkää fysiikkaa, joten tekniikkaa tarkastellaan käytännön kannalta teorian sijaan. Tässä käydään läpi yleisimpiä laserointitekniikoita sekä niiden sovelluksia käytännössä.

Lasertekniikka perustuu valon keskittämiseen hyvin pienelle alueelle, jolloin valonsäde lämmittää materiaalia tehokkaasti niin sanotussa polttopisteessä. Lasersäteen vaikutuksesta (Kuva 2) materiaali voi joko (a) lämmetä, (b) sulaa, (c) höyrystyä, (d) muodostaa plasmaa tai (e) vetäytyä.



Kuva 2 Lasersäteen vaikutukset materiaaliin (Dahotre, Narendra B.; Harimkar, Sandip P. Laser fabrication and machining of materials. Springer: New York 2008. s 38.)

Lämmön muodostuminen ja sen jakaantuminen aineessa riippuu pitkälti itse materiaalista ja sen ominaisuuksista sekä laserin parametreista. Laserin leikkuusvyöryttä ei ole mahdollista kasvattaa tiettyä enempää pelkästään laserin teholla, sillä sitä rajoittaa kappaleen pintalämpötila. Kun pintalämpötila saavuttaa kiehumispisteen, on

leikkaussyvyys maksimissaan. Tällöin yritettäessä päästä syvemmälle pyrkii materiaalin pinta höyrystymään ilman, että leikkaussyvyys kasvaa.

Lasertekniikasta on tullut merkittävä osa nykypäivää. Laserin sovelluskohteita teollisuudessa on useita, enemmän kuin äkkiseltään pystyy ajattelemaan. Jo normaalissa toimistossa on lasertekniikkaan perustuvia laitteita, vaikka siellä ei mitään varsinaisia tuotteita valmistettaisikaan. Esimerkiksi tulostimissa ja cd/dvd-asemissa käytetään laseria.

Teollisuudessa laserin käyttö on yleistynyt vuosi vuodelta. Nykyään lasertekniikkaa hyödynnetään jopa valutekniikassa. Yksi merkittävimmistä käyttökohteista on muotoilu laserin avulla, esimerkkinä ohutlevyjen särmäys ilman mekaanista taivutusta. Särmäys tapahtuu lämmittämällä kappaleen taivutuskohtaa skannaamalla, joka aiheuttaa lämpölaajenemista ja lämpörasitusta ko. kohtaan, jolloin kappale pyrkii taipumaan kyseisestä kohdasta, kuitenkin taipumatta takaisinpäin kuten normaalissa särmäyksessä. Sama ilmiö on havaittavissa hitsatessa, varsinkin ohuilla ainevahvuuksilla. Tämä tietenkin vaatii hyvin tarkkoja asetuksia laseriin, mutta se mahdollistaa nopean ja tarkan tuotannon.

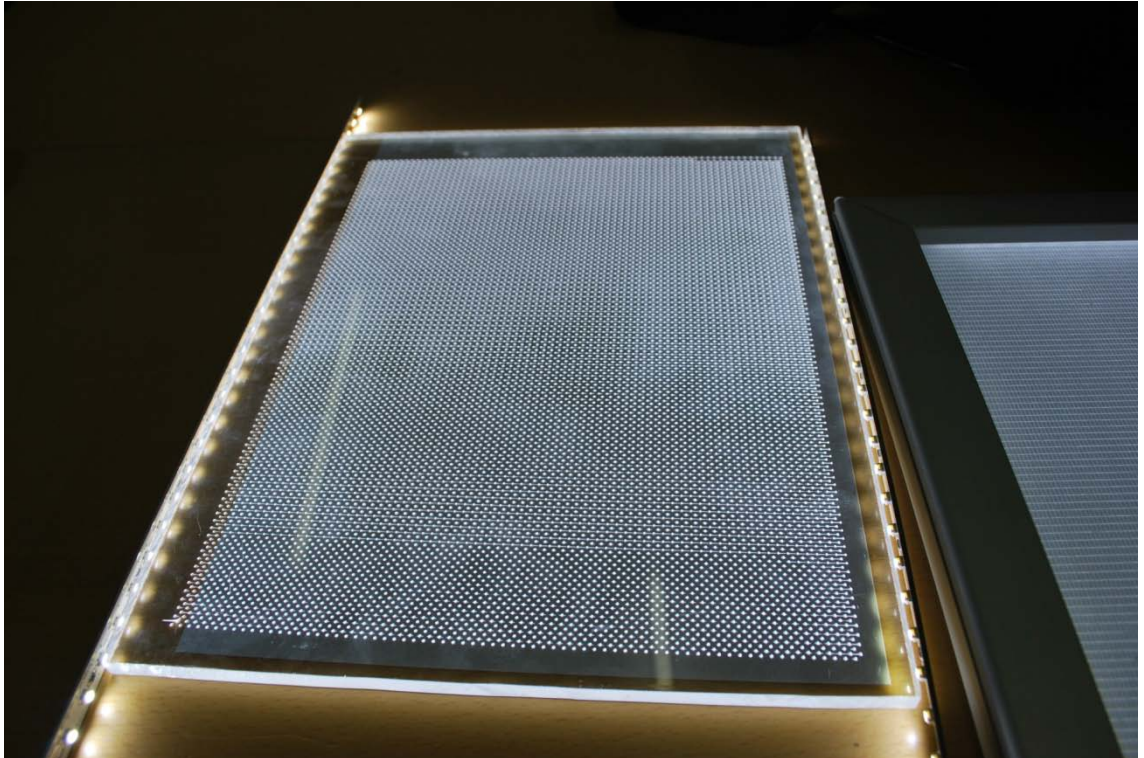
Muita laserin yleisiä käyttökohteita ovat mm. hitsaus ja leikkaus. Leikkauksen edut ovat tuttuja melkein kaikille. Laserilla leikatut levyt ovat muodoiltaan lähes vapaita, tämä helpottaa huomattavasti suunnittelua. Lisäksi laserin mittatarkkuus on hyvä verrattuna muihin vastaaviin menetelmiin, kuten plasma- ja polttoleikkaukseen. Parempia tarkkuuksia haluttaessa voidaan kappaleet koneistaa laseroinnin jälkeen, jolloin työstökoneen tarvitsee suorittaa vain viimeistely. Laserin mittatarkkuus leikkauksessa on normaalisti $\pm 0,2$ mm ... $\pm 0,05$ mm, mikä johtuu laseria liikuttavan pöydän tarkkuudesta. (Dahotre, Narendra B.; Harimkar, Sandip P. Laser fabrication and machining of materials. Springer: New York 2008.)

5 Pöydän suunnittelu ja valmistus

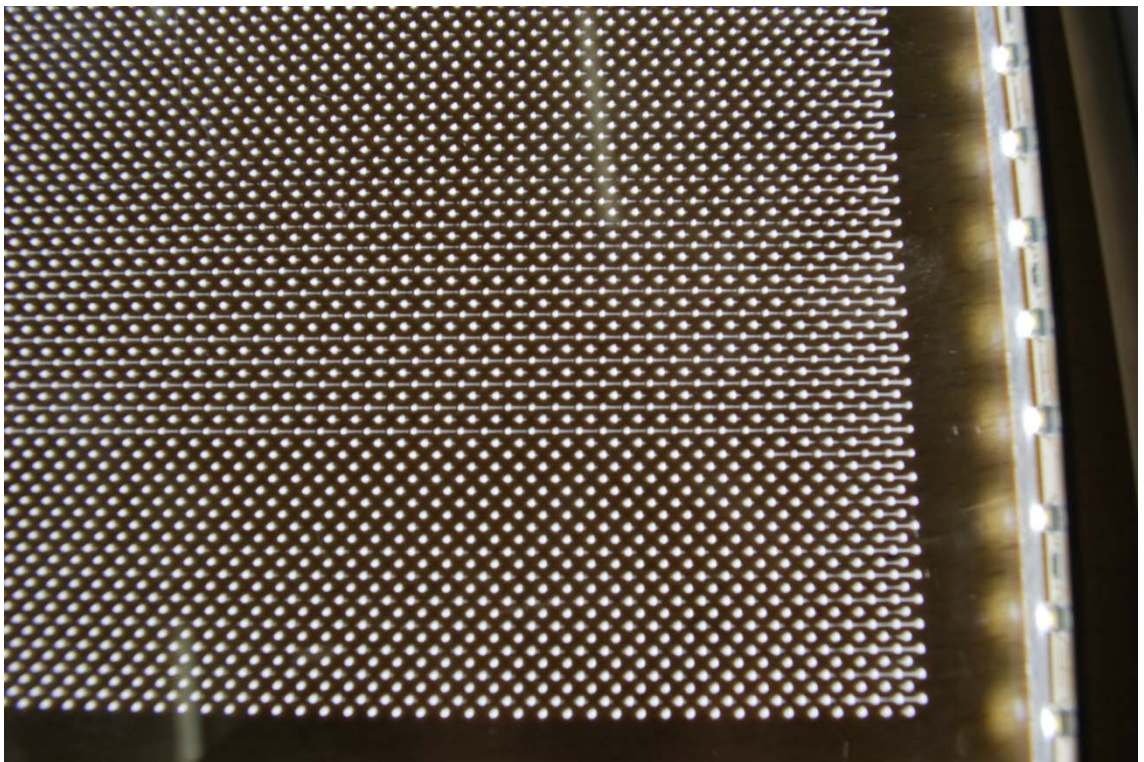
CNC-pöydän suunnittelu ja rakentaminen koettiin tarpeelliseksi, jotta Tretakno Oy pystyisi valmistamaan asiakasyritykselleen laseroituja akryylilevyjä tarkasti ja kustannustehokkaasti.

Akryylilevyihin poltetaan pisteitä laserin avulla. Pisteiden tiheys on 250 000 pistettä/m², jonka tekemiseen laserilla menee n. 10 minuuttia. Verrattuna koneistukseen menisi nopeallakin jyrkimellä aikaa pistettä kohti n. 0,5 s verrattuna laserin n. 20 millisekuntiin, jolloin järkevin ratkaisu valmistukseen on skannerioptiikalla varusteltu laser. Pöydän avulla levyjä voidaan valmistaa kerralla useampia kappaleita.

Asiakasyritykselle valmistettava tuote on osa kokonaisuutta. Akryylilevy toimii valaistavan hyllyn tai taulun lamppuna, tarkemmin lampun lasina. Idea tuotteessa on hyvin yksinkertainen, mutta toimiva. Ajatus on tehdä levyyn jälkiä niin, että valaistaessa levyä sivuilta, hajautuu valo poltetuissa kohdissa aiheuttaen hajasäteitä kohtisuoraan levyyn nähden. Tuotteen käyttökohteina toimivat mm. valaistut hyllyt sekä mainostaulut. Kuvat 3 ja 4 havainnollistavat tuotetta paremmin.



Kuva 3 Valaistu levy



Kuva 4 Valon hajaantuminen poltetuissa pisteissä

Kustannussyistä pöytä pyrittiin rakentamaan mahdollisimman pitkälle jo olemassa olevista komponenteista ja valmiista mekaanisista sekä sähköisistä ratkaisuista. Valmistukseen käytetyistä osista laser, servomootorit, servojen vaihteet, pöytälevy, kotelon harjakset sekä CNC-ohjaukset ja ohjelmisto hankittiin tuotevertailun ja aiempien kokemusten perusteella. Myös kiinnitystarvikkeita ja joitain työkaluja jouduttiin ostamaan.

Kuvassa 5 skannerioptiikalla varusteltu laser kiinnitettynä pöytään.



Kuva 5 FH Series Smart -skannerioptiikalla varusteltu Synrad Firestar t100 CO2 laser

Skannerin työalueen ollessa 200 x 200 mm voidaan pöydän avulla työalue laajentaa pöydän mittojen mukaisesti 1800 x 1400 mm:iin, jolloin on mahdollista valmistaa yhdellä kappaleenvaihdolla 63 levyä. Laseria on mahdollista käyttää myös jatkuvalla säteellä, jolloin työalue ja siten valmistettavan kappaleen koko voi olla pöydän työalueen mukainen, jopa 1800 x 1400 mm.

5.1 Runko

Pöydän runkona hyödynnettiin Sony- robottisolun alustaa, jonka jalat on valmistettu 90x90 mm alumiiniprofiilista ja pöytälevy 30 mm vahvuisesta teräksestä. Alusta koettiin käyttöön soveltuvaksi sen tukevan ja vankan rakenteen ansiosta. Rakenteen ansiosta pöytään kohdistuvat koneiden aiheuttamat värähtelyt pysyivät hallittuina. Alustassa oli valmiina sähkökeskus, joka kuitenkin vaati uuden varustelun toimiakseen CNC-pöydän sekä laserin sähkökeskuksena. Kuvassa 6 pöytä alkutekijöissään.



Kuva 6 Pöytä X- ja Y-johteet asennettuina sekä laser sovitettuna tulevalle paikalleen

Pöydän rakentamisessa päätettiin käyttää valmiita alumiiniprofiilia niin paljon kuin vain mahdollista, koska se on helppoa työstää, valmiiksi mittatarkkaa, sekä siihen pystyy tekemään pulttiliitoksia ilman työstämistä.

5.2 Pöytälevy

Pöytälevyksi hankittiin filmivanerilevy, vahvuudeltaan 30 mm. Vanerin ajateltiin riittävän tulevaan työhön, koska tarkoituksena olisi alkuun vain merkata levyjä, jolloin lasersäde ei ikinä osuisi varsinaiseen pöytälevyyn. Filmivaneri vaikutti hyvältä ratkaisulta myös siksi, että 30 mm:n vahvuisena se on jo itsessään riittävän jäykkä pitämään valmistettavat kappaleet suorassa.

Läpileikkausta varten suunniteltiin 2 mm vahvuisen alumiinilevyn laittamista vanerin päälle, jolloin se toimisi riittävänä palosuojana vanerille. Yleensä laser-sovelluksissa käytetään eräänlaista hunajakennoa läpileikkauksessa, mutta se on materiaalina hyvin kallista. Lisäksi hunajakennon käyttöä tässä sovelluksessa rajaa aihiolevyjen suuri koko. 1,5 x 2 metristä levyä ei pysty nostamaan työpöydälle niin, ettei se jossain vaiheessa laahaisi pöytälevyyn joltain kohdalta. Koska työstettävät kappaleet ovat muovia, on huomioitava että materiaali on helposti naarmuuntuvaa. Tämän takia ajatus hunajakennosta hylättiin.

5.3 Johteet

Pitkittäis- ja poikittäisjohteet oli mahdollista koota itse ja valita mekaaniset käytöt erillisistä komponenteista tai hankkia ne valmiina kokonaisuuksina. Itse tehden johteet pitäisi koota metritavarana myytävästä johdeprofiilista sekä erillisestä johdekelkasta sekä valmistaa niille moottorikäyttö esimerkiksi hammashihnalla.

Vanhoista sovelluksista löydettiin johteet, jotka purettiin ja tutkinnan jälkeen niiden todettiin soveltuvan tähän projektiin. Johteilla ei varsinaisesti ollut mitään erityisvaatimuksia, kunhan ne vain kestävät itse laserin painon. Koska laserin ei tarvitse liikkua kovin nopeasti, skannerin hoitaessa laseroinnin, myöskään johteiden ei tarvitse olla turhan järeät. Y-liikkeen johteet ovat Feston (2 kpl) ja X-liikkeen Intelligent Actuatorin (1 kpl).

Feston johde on tyypiltään DGE-25-2000-ZR, josta DGE tarkoittaa johdetyyppiä, 25 johteen leveyttä (mm), 2000 johteen iskunpituutta (mm) ja ZR hammashihnakäyttöä (kuva 7).



Kuva 7 Feston johdepaketti

Johteessa oli aikaisemman käytön jäljiltä Feston omat askelmoottorit, joiden tilalle hankittiin servomoottorit, koska paikoitustietoa varten askelmoottoreilla tarvittaisiin erilliset absoluuttianturit.

Toinen johde on malliltaan Intelligent Actuator FS-12WM-100-1500-NQ.

5.4 Servomoottorit

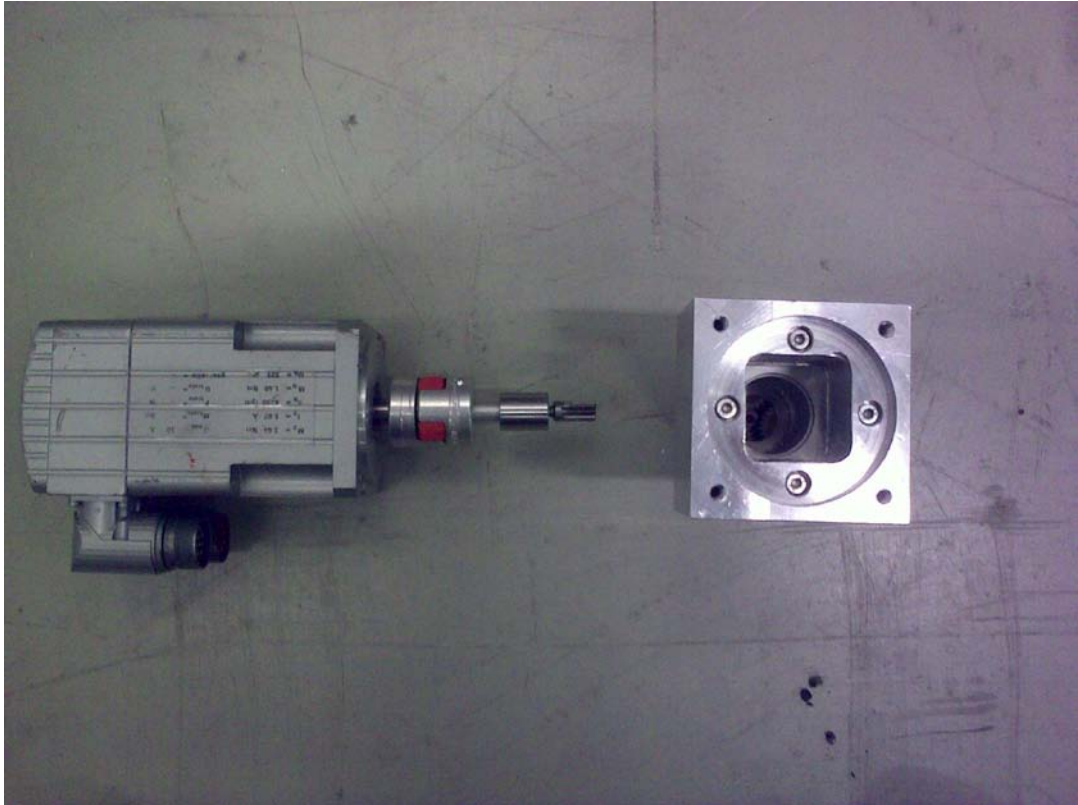
Pitkittäisliikkeen servomoottoreiksi valittiin Feston edustamat, mutta Baldorin valmistamat 4000 rpm:n moottorit, joiden vääntömomentiksi ilmoitetaan 1,47 Nm (kuva 8).



Kuva 8 Feston / Baldorin servomoottori, kytkin ja kytkinkotelo

Jos servojen maksimikierronnopeus hyödynnettäisiin, olisi pitkittäisliikkeen nopeus 4,3 m/s. Kuitenkaan koneen rakenteet eivät kestäisi niin suuria nopeuksia, joten servoilla ajetaan maksimissaan 200 kierrosta minuutissa, jolloin nopeudeksi jää enää 0,65 m/s.

Poikittaisliikkeen servoksi valittiin Feston oma 6250 rpm:n servo, jonka vääntömomentiksi ilmoitetaan 1,40 Nm. Poikittaisliikkeessä on kuitenkin vielä servon jälkeen välitys, jonka välityssuhde on 8:1 (kuva 9).



Kuva 9 Feston servomoottori poikittaisliikkeeseen sekä välitys sovitteineen

Tällä välityksellä liikkeen maksiminopeus on 0,325 m/s. Tämänkin servon kierrosnopeutta laskettiin, jotta liike saataisiin rauhallisemmaksi. Kierrosnopeudeksi asetettiin 3000 kierrosta minuutissa, jolloin liikkeen nopeudeksi jää 0,156 m/s.

Taulukossa 1 on valmistajien ilmoittamat servojen tekniset tiedot

Taulukko 1 Servojen tekniset tiedot

	Festo / Baldor BSM63A-275AA	Festo MTR-AC- 70-3S-AA
Jatkuva vääntömomentti	1,47 Nm	1,40 Nm
Jatkuva virta	1,94 A	5,07 A
Hetkellinen huippuvääntö- momentti	5,88 Nm	1,64 Nm
Hetkellinen huippuvirta	6,96 A	10 A
Maksimi kierrosnopeus	4000 1/min	6250 1/min

5.4.1 Servovahvistimet

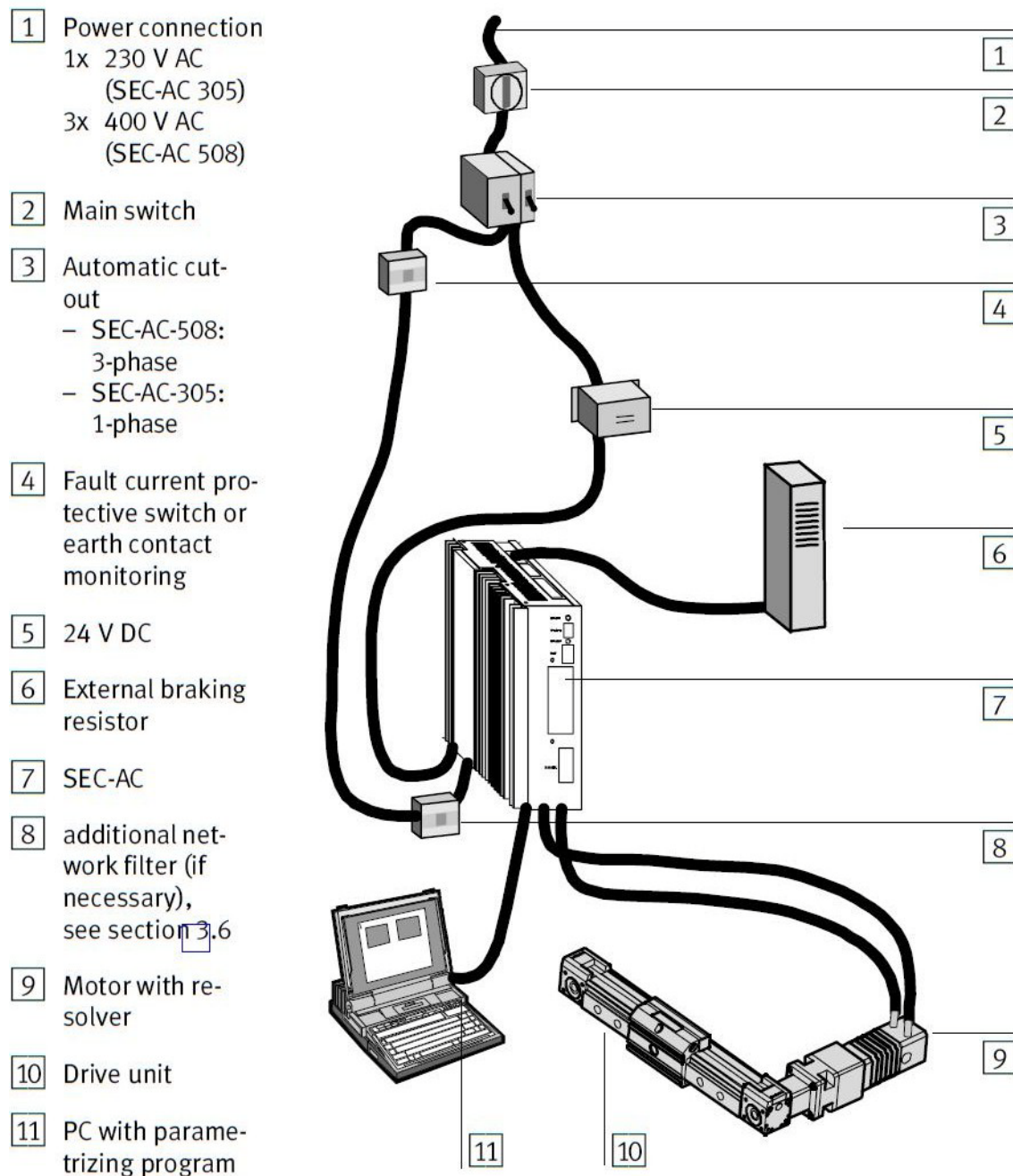
Servojen vahvistimina toimivat Feston vahvistimet SEC-AC-305, joista kaksi on liitetty yhteen, koska pitkittäisliikettä käyttää kaksi servoa. Vahvistimet ovat kuvassa 10.



Kuva 10 Feston servovahvistimet SEC-AC-305

Toinen servo on määritetty toisen orjaksi pulssiehdolla, eli servo pyrkii seuraamaan ohjattavaa servoa pulssin tarkkuudella. Näiden servojen synkronointiin kuluikin aikaa, jotta laser saatiin kulkemaan riittävän vakaasti. Servoilla oli taipumuksena alkaa nykiä, kun toinen puoli jäi jälkeen, jolloin jälkeen jäänyt yritti korjata tilannetta ja nykivä liike voimistui entisestään. Pohdinnan jälkeen tultiin siihen tulokseen, että servot ovat liian nopeat johteille ilman vaihdetta, joten Festolta tilattiin servojen perään vaihde 5:1-välityksellä. Tämä hidastaa liikettä huomattavasti ja tekee siitä samalla tarkemman, koska liikematka yhdellä servon kierroksella lyhenee 65 mm:stä 13 mm:iin. Koska servossa on 4096 pulssia, eli kierros jaetaan 4096 osaan, jää yhden pulssin liikematkaksi johteella 0,0032 mm. Verrattuna aiempaan 65 mm:n liikematkkaan, jossa pienin servon tekemä liike oli 0,016 mm, on ero hyvinkin huomattava. Riittävän säätämisen jälkeen servot saatiin toimimaan sulassa sovussa keskenään.

Servojen sekä vahvistimien kytkentää selventävät kuvassa 11 näkyvät komponentit: (1) virransyöttö 1 x 230 V AC, (2) pääkytkin, (3) automaattisulake, (4) vikavirtasuojaja, (5) 24 V DC, (6) ulkoinen jarruvastus, (7) SEC-AC servovahvistin, (8) sähköverkkosuodin, (9) servomoottori, (10) johdeyksikkö, (11) PC parametointiohjelmistolla.



Kuva 11 Servojen ja vahvistimen kytkentä järjestelmään (Festo. Fitting and installation, Type SEC-AC-305. s 59.)

5.5 Laser

Laserin hankinnassa vaihtoehtoina olivat lentävällä optiikalla tai skannerilla varustetut laserit. Lentävän optiikan etuna on suora säde, joka ei aiheuta kulmavirhettä leikkauksessa tai merkkauksessa. Lentävä optiikka tarkoittaa laseria, jossa itse valonlähde joka tuottaa lasersäteen, on kiinteästi sijoitettuna esimerkiksi pöydän alla. Lasersäde siirretään leikkauspäähän peilien avulla, jolloin käytännössä liikuteltavana päänä riittää peili ja linssi. Tämä mahdollistaa kevyen leikkauspään ansiosta nopeat liikkeet, koska johteilla ei ole mitään varsinaista ulkoista rasiutusta. Tilanne on sama kuin liikuttaisi pelkkiä johdekelkkoja. Haittapuolena lentävässä optiikassa on juurikin lasersäde, joka kulkee vapaasti ilmassa peilien kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että suojausten kannalta kone pitää eristää täysin ympäristöstään, eli niin, ettei työskentelyn aikana kukaan voi olla säteen kanssa samassa tilassa. Vaihtoehtoina ovat koneen täydellinen kotelointi tai koneen sijoittaminen omaan suljettuun tilaansa.

Skannerilla varustettu laser on melkeinpä lentävän optiikan vastakohta. Liikuteltavaa massaa on huomattavasti enemmän, koska liikuteltavana on itse projektori linsseineen ja virtalähteineen. Massan takia koneella ei siis voi tehdä lähellekään niin nopeita liikkeitä kuin lentävällä optiikalla, mutta taas vastaavasti oman työalueensa skanneri hoitaa nopeammin kuin lentävä. Etuna skannerissa on kuitenkin koneen helppo suojaus, sillä säde osuu aina merkattavaan kappaleeseen suoraan, ilman että sitä ohjailtaisiin ensin ilmassa. Samasta syystä myös merkkauksessa syntyvien kaasujen poisto on helpompaa.

Harkinnan jälkeen päädyttiin ajatukseen, että skannerioptiikalla varustettu laser olisi ainoa järkevä vaihtoehto. Jatkuvalla säteellä laseria pitäisi liikuttaa pöydällä fyysisesti, jolloin 250 000 siirtoa neliometriä kohti sekä rasittaisi pöytää että tekisi kappaleiden valmistuksen hitaaksi. Skannerin selväksi eduksi pitää huomioida paikoitusnopeus; skanneri paikoitetaan kerran työalueella, jolloin merkataan 250 000 pistettä yhdellä paikoituksella, kun taas lentävällä optiikalla samaan pistemäärään paikoitus pitäisi suorittaa jokaisen pisteen kohdalla. Lentävä optiikka on nopea, jos tarkoituksena on merkata tai leikata isoja yhtenäisiä kuvioita. Jokainen eri merkkaus vaatii kuitenkin paikoittamisen, jolloin esimerkiksi tekstiä merkattaessa lentävä optiikka kävisi auttamattoman hitaaksi. Skanneritekniikalla laserin on mahdollista siirtää polttopistettä millisekunneissa, vieläpä tarkasti.

Laseriksi valittiin vaatimusten mukaisesti Synradin valmistama Firestar t100 CO₂ – laser FH series -skannerioptiikalla, jonka skannausnopeus on jopa 30 m/s. Liitteenä FH Series Smart – tuote-esite (Liite 1). Taulukoissa 2 ja 3 on esitelty valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot sekä laserista että skannerista.

Taulukko 2 Skannauspään tekniset tiedot

	FH Series Smart marking head
Tarkennusetäisyys	370 mm
Yleinen työala	198 x 198 mm
Polttopisteen koko	0,540 mm
Työskentelyetäisyys	350 ± 5 mm
Kentän syvyys	± 10 mm
Merkkausnopeus (merkkiä / s)	225
Paino	4,5 kg

Taulukko 3 Laserin tekniset tiedot

	Firestar t100
Aallonpituus	10,57 - 10,63 μm
Jatkuva teho	100 W
Tehon vakaus	± 7 %
Säteen halkaisija	2,2 ± 0,2 mm
Nousuaika	< 75 μs
Paino	11,8 kg

5.6 Energian siirto ja sähköistys

Sähköistuksen teimme tiiviissä yhteistyössä Tretel Oy:n Jukka-Pekka Sillanpään kanssa. Koska oma koulutukseni ja kokemukseni automaatio-sähköistyksessä on hyvin puutteellista, oli Sillanpään rooli sähköistyksessä hyvin suuri.

Sähköjen kuljettamisessa servoille ja laserille käytimme Kabel Schleppin valmistamaa Mono-energiansiirtoketjua, jonka leveys on 50 mm ja korkeus 30 mm. Kuvassa 12 energiansiirtoketjut asennettuna pöytään.



Kuva 12 Energiansiirtoketjut asennettuna

Energiansiirtoketjussa vietään kumikaapeli 5x2,5S, josta laserin virtalähteet saavat sähkönsä. Lisäksi energiansiirtoketjussa vietään DeviceNet-väyläkaapeli sekä servojen moottori- ja pulssianturikaapelit. Varalle laitettiin myös 8 mm:n PUR -paineilmaletku.

5.7 Ohjaus

Koneessa on pääkeskus, joka sisältää suotimet, vikavirtasuojan ja sulakkeet sähkönsyötölle. Ohjauksesta huolehtii Omron CS1G-CPU13-ohjelmoitava logiikka. Beckhoffin valmistamat I / O:t on hajautettu DeviceNet-väylän avulla. Lisäksi keskus sisältää hätäseis- ja turvapiirikytkenät. Käyttöliittymänä käyttäjän ja logiikan välillä toimii 7” Omron NT20S -kosketusnäyttö.

Tällä hetkellä servoja ohjataan logiikan kautta muistipaikka-ajona. Mikäli muistipaikka-ajoa ei käytetä, on servoja mahdollisuus ajaa myös CNC-ohjaimella. CNC-ohjain ohjaa servojen nopeusohjetta analogisignaaliilla ± 10 VDC. Ohjain saa paikkatiedon takaisinkytkentänä servovahvistimelta pulssilähtönä. Selkeytettynä CNC-ohjain ohjaa pöytää saamansa paikkatiedon perusteella, eli kiihdyttää tai jarruttaa sen mukaan mikä on servon nykyinen sijainti suhteessa pyydettyyn.

CNC-ohjain on parametroitu siten, että liikenopeudet eivät ylitä koneen mekaanisia ominaisuuksia. Parametreja ovat mm. nopeus, kiihdytys ja jarrutus. Tämä tarkoittaa sitä, että ennalta määrättyjä parametreja ei ole mahdollista ohittaa koneen normaalissa käytössä, eli ajonopeuksia ei pysty ylittämään.

6 Koneen turvallisuus

Yksi tärkeimpiä asioita koneen suunnittelussa ja rakentamisessa on sen turvallisuus. Yksityisessä käytössä olevien koneiden turvallisuus on yleensä hyvin vaihtelevaa. Niihin asioihin ei yleensä pahemmin edes perehdytä, ennen kuin vahinkoa sattuu. Yleisimpiä onnettomuuksia ovat kaatumiset ja liukastumiset, jotka pahimmillaan saattavat johtaa vakaviin seurauksiin koneiden lähellä, esimerkkinä pyörivät terät sekä erilaiset raajojen mentävät aukot.

Teollisuudessa turvallisuuteen panostetaan vuosi vuodelta enemmän. Kun ihminen on vuorovaikutuksessa koneen kanssa, on lähes kaikki mahdollista. Vaikka koneita pyritään suojaamaan käyttäjästä johtuvilta virheiltä, ei ilman onnettomuuksia selvitä jos kone on ylipäänsä käynnissä. Ihmisillä on erikoinen ominaisuus unohtaa oma turvallisuutensa normaalista poikkeavissa tilanteissa (virheet koneiden toiminnassa). Näistä on useita ikäviä esimerkkejä, kun käyttäjä on keinolla tai toisella ohittanut koneen turvalaitteet häiriötilanteessa. Pahimmat tapaukset ovat johtaneet jopa käyttäjän välittömään kuolemaan.

Turvallisuudessa onkin pakko keskittyä lähinnä suojaamaan tahattomilta onnettomuuksilta, eli ns. vahinkotilanteilta.

Tässä laitteessa ei koneen nopeudesta johtuen ole standardien mukaan muita vaaranaiheuttajia kuin laser, eli mekaanisiin tai sähköisiin turvallisuutta koskeviin asioihin ei ollut tarvetta puuttua normaalista poikkeavilla toimenpiteillä.

7 Laserin turvallisuus

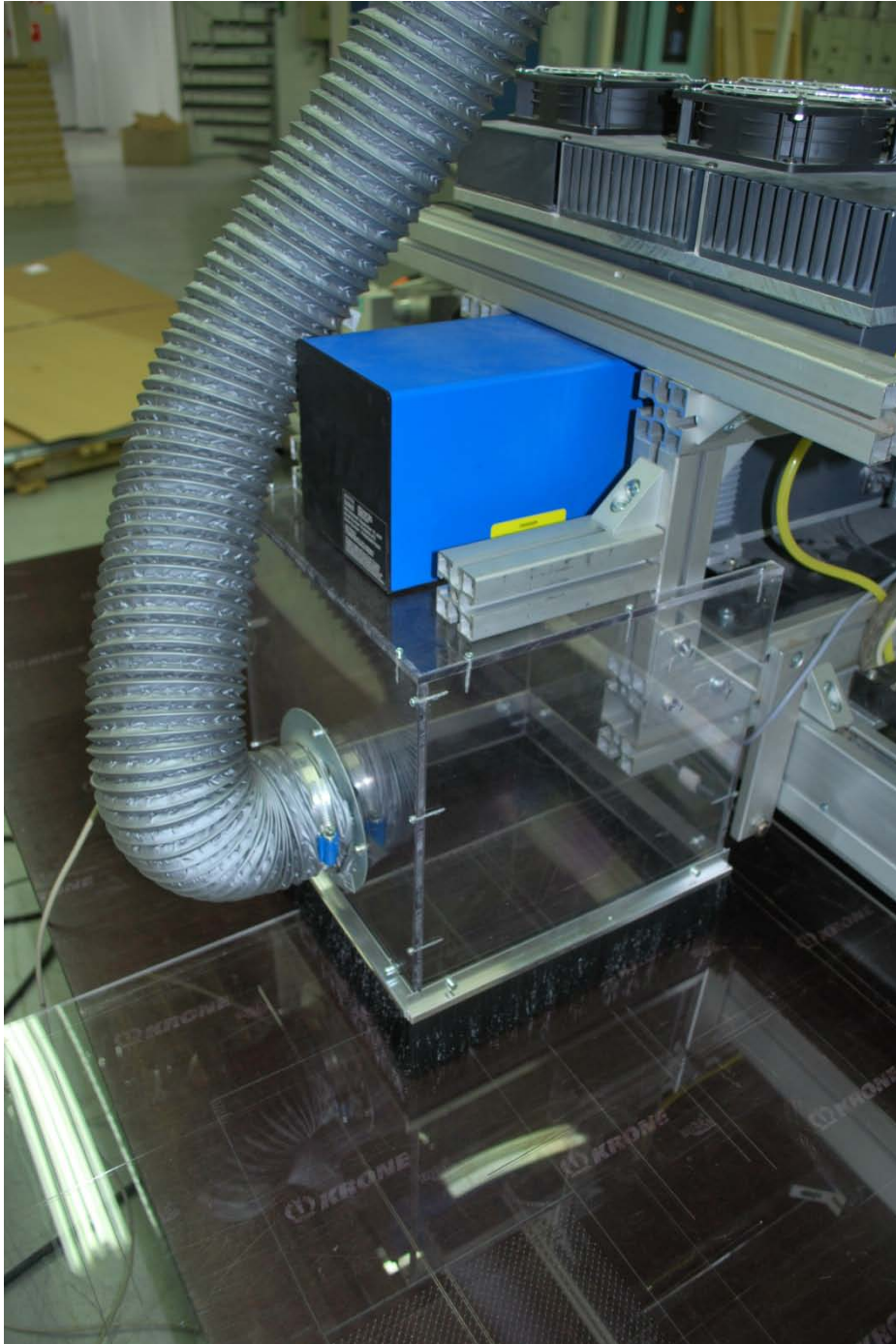
Kyseessä oleva 100 W laser kuuluu laserluokka 4:ään. Kyseinen luokka tarkoittaa lasereita, jotka synnyttävät vaarallisia hajaheijastuksia ja voivat aiheuttaa merkittäviä iho- ja tulipalovaaroja. CO2 laser tuottaa 10 µm:n taajuista pitkää infrapunasäteilyä, joka voi aiheuttaa sarveiskalvon vaurioita.

Luokkaan 4 kuuluvat kaikki suojaamattomat työstölaserit. Laserturvallisuuden luokat on määritelty standardissa SFS-EN 60825-1.

(<http://www.laserco.fi/lasertiedostot/Laserturvallisuus.pdf> 17.1.2010)

Kyseisen laserin suojaamiseksi riittää yhden hajasäteen tai heijastuman estäminen niin, ettei hajasäde pääse osumaan suoraan sivullisen silmiin.

Lasersäteeltä suojaamiseen käytämme polykarbonaatista valmistettua suojakoteloä, joka on laserin työalueen kokoinen ja tiivistetty helmalla työstettävän kappaleen pintaan. Näin lasersäde on eristetty ympäristöstään, ja vaarallisten hajaheijastusten pääsy ympäristöön on estetty. Kotelo on lisäksi tiivistetty työstettävän kappaleen pintaan nylon-harjaksilla ja koteloon on liitetty poistoimuputki, jolloin merkkäamisessa syntyvät kaasut poistetaan suodattimien kautta suoraan ulkotiloihin (kuva 13).



Kuva 13 Laserin suojakotelo sekä siihen liitetty poistoilmaputki

8 Koneen toiminta

Koneen valmistuttua sekä mekaanisesti että sähköisesti suoritettiin koeajoja sekä laserin kanssa että ilman laseria. Koeajoissa esiin tulleet virheet liittyivät johteiden linjaukseen. Johteita ei kiinnitysvaiheessa ollut linjattu muuten kuin arvioimalla. Tämä tuli tiiliseinän tavoin vastaan koeajovaiheessa. Koska johteet oli asennettu niin sanotusti näppituntumalla, ei laseria saanut luonnollisestikaan kohdistettua viereisiin merkkauksiin. Linjausvirhettä lähdettiin tutkimaan merkkaamalla laserilla ristejä, kaksi vierekkäin ja kahteen riviin. Merkatuista risteistä pystyttiin havaitsemaan, että ne kiertyivät myötäpäivään. Tämän perusteella pääteltiin toisen pitkittäisjohteen olevan taaempaa kuin toinen. Korjauksena asiaan otettiin ristimita johteista ja säädimme ristimitan oikeaksi. Ristimita oli tässä tapauksessa toimiva vaihtoehto, koska johteiden pituudet ja johteiden etäisyys toisiinsa olivat tiedossa. Ristimitan avulla ei ainoastaan saatu johteita keskenään samalle paikalle, vaan myös samansuuntaisiksi, sillä ristimitalla saa aikaiseksi suoran kulman. Johteiden linjaamisen jälkeen laser piti vielä kääntää suoraan johteiden linjan mukaisesti.

Lisämurheita aiheutti hankittu pöytälevy, 30 mm:n filmivaneri, joka ei ollut mittatarkkaa oikein mihinkään suuntaan. Lähinnä työskentelyn kannalta päänvaivaa aiheutti levyn paksuusheitto sekä sen lisäksi levyn vetely. Laser vaatii korkeussuunnan melko tarkasti, eli jo millinkin heitto korkeussuunnassa muuttaa laserin fokuuspistettä, mikä johtaa epätarkkuuteen. Koeajovaiheessa päätettiin vaihtaa pöytälevy ja hankkia tilalle mittatarkempaa MDF-levyä. Aiemmasta virheestä oppineena MDF-levyä kuitenkin jäykistettiin alumiinisilla kulmalistoilla, jotka estävät levyn vääntyilyä.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa CNC-ohjattu lasermerkkauspöytä Tretekno Oy:lle. Vaatimuksina oli mm. olemassa olevien osien ja rakenteiden hyödyntäminen sekä koneen helppo liikuteltavuus.

Työn aikana kohdattiin vastoinkäymisiä, mutta myös onnistumisia. Suunnitelmia muokattiin työn edetessä, jotta pöydän toimivuus vastaisi Treteknon tarpeita paremmin.

Ajan myötä koneesta saadaan enemmän käyttökokemuksia, joiden perusteella koneen toimintaa on mahdollista parantaa entisestään. Mahdolliseksi parannuskohteeksi ajatuksiin jäi skannerin vaihtaminen lentävään optiikkaan, mikäli se koetaan tarpeelliseksi pidemmän käyttöajan jälkeen.

Kaiken kaikkiaan työtä voidaan pitää onnistuneena Tretekno Oy:n kannalta, sillä tavoitteena ollut kappaleenvalmistus koneella on mahdollista ja koneen valmistus onnistui vaatimusten mukaisesti.

Lähteet

Dahotre, Narendra B.; Harimkar, Sandip P. 2008. Laser Fabrication and Machining of Materials. Springer Science + Business Media, LLC: New York.

Suh, Suk-Hwan; Kang, Seong-Kyoon; Chung, Dae-Hyuk; Stroud, Ian. 2008. Theory and Design of CNC Systems. Springer-Verlag London Limited: London.

Pikkarainen, Eero. 1999. NC-tekniikan perusteet. Hakapaino Oy: Helsinki.

Latokartano, Jyrki. 2008. TTY Tuotantotekniikka. Laserturvallisuus [www-sivu] [viitattu 17.1.2010] <http://www.laserco.fi/lasertiedostot/Laserturvallisuus.pdf>

Liitteet

Liite 1 Synrad FH series smart – tuote-esite



FH Series "Smart" Marking Head features PC-free operation

Designed to provide a new level of flexibility to OEMs and Systems Integrators, Synrad's FH-Series "Smart" Marking Head features true stand-alone, automated marking of both moving and stationary parts. In Tracking mode, the SmartFH Head can mark products traveling at line speeds up to 250 feet per minute (76 m/min.) - the perfect marking solution for your "on-the-fly" continuous assembly or packaging needs.

In contrast to FH Index and Tracker Marking Heads, which require a dedicated computer to drive each marking head individually, SmartFH Heads are set-up using a desktop or portable laptop computer, a Windows® CE device, or a hand-held terminal. Once mark files are downloaded to SmartFH, the programming device can be disconnected and all serialization, date coding, and I/O automation is controlled by the SmartFH Head on a real-time, stand-alone basis.

SmartFH provides the same level of serviceability as FH Index and Tracker models, and, because mounting and alignment specifications are identical, all FH Series Heads can be interchanged without modifications to mounting hardware. In addition to the FH Series' proven ease of integration, SmartFH provides additional Input/Output capability, as well as a user-accessible, fully isolated power source for powering external I/O devices.

Design SmartFH mark files on your PC using Synrad's WinMark Pro® laser marking software (available for Windows® 98, 2000, XP or NT operating systems). After creation, download mark files to SmartFH through the industry standard RS232 communication interface. Multiple mark files are stored in SmartFH's non-volatile memory so that marking data is not affected by power loss. Because SmartFH is set-up via a standard serial port, no dedicated computer or Fiber Link Controller Card is required. This, coupled with the ability to create mark files using the fully-featured demo (free!) version of WinMark Pro software, means that your "per head" system cost is thousands of dollars lower when compared to FH Index or Tracker systems.

If you're interested in incorporating SmartFH into your next product, Synrad can provide you with the essential components to build a complete laser marking system based on our line of sealed CO₂ lasers ranging from 10 to 125 watts of output power - all at low packaged prices for OEMs. Just add your expertise in product design, sales, and marketing and your new value-added laser marking product is ready to go!



An Excel Technology Company

FH Series *Smart* Marking Head

Features

Stand-Alone Operation

- Control via Handheld Terminal (RS232)
- Multiple File Storage in Head
- Input/Output (I/O) Automation
- Date/Time Code Support
- Serialization
- Serial Port Auto Text
- Encoderless Tracking
- Variable PWM frequency (1-50KHz)

I/O Capability

- 8 Built-in Inputs
- 4 Built-in Outputs
- Built-in DC Supply for I/O, Parts Sensor/Encoder

Object Marking

- 1D Bar Codes
- 2D Bar Codes
- Vector Objects
- Stroke Text
- Bitmap Marking

Marking Specifications	Focusing Lens Size				
	370mm	200mm	125mm	125mm (HP*)	80mm
Field Size, typical (mm)	198 x 198	110 x 110	74 x 74	66 x 66	27 x 27
Spot Size, $1/e^2$ (μm)	540	290	180	180	116
Working Distance ¹ , typical (mm)	350 \pm 5	190 \pm 3	128 \pm 2	126 \pm 2	74 \pm 1
Depth of Field, typical (mm)	\pm 10	\pm 2.5	\pm 1.5	\pm 1.5	\pm 0.4
Marking Speed ² (characters / sec, max)	225	225	225	225	225
Dimensions (in): 5.40 x 8.38 x 5.40	Weight: 10 lbs (4.5kg)		Electrical Input: 30 VDC, 3A, 6A in-rush		
Acceptable Operational Ambient Temperature Range: 0 degrees C to 40 degrees C					

¹For lenses with 19 mm (0.75") high lens mounts. The typical focal length (working distance) is marked on each lens mount since the actual working distance may vary from lens to lens. For this reason, it is important to provide a Z-axis adjustment between the FH Series Marking Head and the marking surface. Consult your marking head's final test report for the actual measured working distance.

²Based on a character height of ~3 mm, lens dependent.

* 125mm lens for use with lasers 40 watts and higher

Specifications subject to change without notice

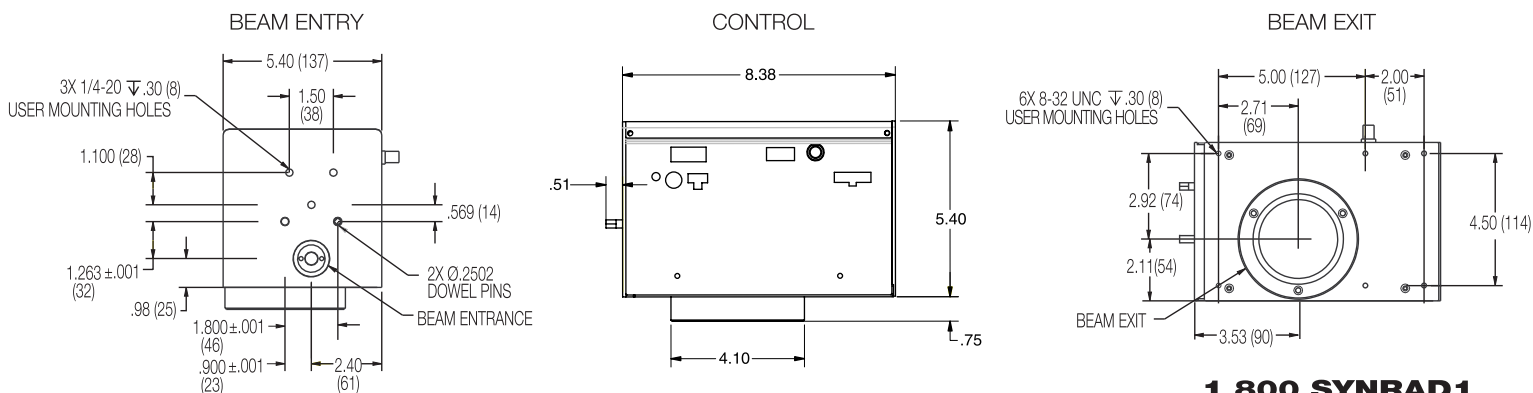
Tracking Mode Requirements

For use in tracking mode, users must supply the following:

- Rotary position encoder
- Part sensor
- DC power supply for encoder and part sensor
- Part movement or conveyor system

Specifications	
Position Encoder	Quadrature or Counts type Open Collector, Open Drain, P or N type
Trigger	Open Collector, Open Drain, P or N type Rising or falling edge selectable

FH Series "Smart" Marking Head - Outline & Mounting



1.800.SYNRAD1



An Excel Technology Company

Dimensions are in inches (millimeters)
Additional drawings at www.synrad.com/fhseries