



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

CO₂-merkintälaserin hyödyntäminen tuotteen viimeistelyssä

Ville Virtanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka

Virtanen, Ville:
CO₂-merkintälaserin hyödyntäminen tuotteen viimeistelyssä

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2016

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kehittää uusia käyttökohteita Teknikum Oy:n omistamalle CO₂-merkintälasersolulle. Kyseisen solun käyttö oli ollut hyvin vähäistä, ja nyt haluttiinkin selvittää, miten sitä voitaisiin parhaiten hyödyntää jatkossa. Solu sisälsi robotin, CO₂-laserin ja ohjausta varten TwinCAT-järjestelmän.

Laserin käyttöä testattiin yrityksen valmistamiin erilaisiin tuotteisiin. Näihin testeihin kuului niin tunnistustietojen merkintä kuin tuotteiden leikkaus. Testeissä testattava tuote asetettiin alustalle, jonka jälkeen siihen kohdistettiin lasersäde minkä voimakkuutta ja muita ominaisuuksia vaihdeltiin. Näistä tuotteista suurin osa on valmistettu joko osin tai kokonaan kumista, joten testauksessa kiinnitettiin eniten huomiota laserin kykyyn leikata ja merkitä tätä materiaalia. Koska Robotti olisi vaatinut toimiakseen laajan huollon ja aikaa tähän ei ollut, päätettiin robotin liikkeitä simuloida vain virtuaalisesti ohjelmassa. Tästä samasta syystä TwinCAT:iä testattiin vain sen verran että voitiin todeta sen toimivan ja samalla tutustua sen toimintaan jatkokäyttöä varten.

Testien tuloksena löydettiin kaksi uutta käyttökohdetta, joihin solun käyttöä päätettiin jatkokehittää. Ensimmäisenä näistä oli tiivistelattojen tunnistetietojen merkintä, joka ei vaadi isoja muutostöitä itse soluun. Toiseksi käyttökohteeksi löydettiin tiivisteiden viimeistely ja merkintä. Tämä vaatii toimiakseen solussa olevan robotin kuntoon saattamisen.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Aeronautical Engineering

Virtanen, Ville:
Utilizing CO₂ Marking Laser for Product Finishing

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 2 pages
April 2016

The purpose of this thesis was to study and develop new applications for a CO₂ marking cell that is owned by Teknikum Ltd. This cell had been left for a very limited use and now the idea was to find out how to make use of it in the future. Included in this cell were a robot, CO₂ marking laser and a TwinCAT system for control.

Utilization of the laser was tested on different products that the company produces. These tests included marking identification data as well as cutting the products. The tested product was placed on a stand and it was shot with a laser beam which strength and other properties were varied. Because many of these products are partially or completely made out of rubber, the tests were mainly focused on laser's ability to cut and mark this material. The robot demanded a large overhaul and because of time constraints, it was decided to only simulate robots movements on a software. Also for this reason the TwinCAT system was only tested to the extent that it was operational and to familiarize in general with the system for future purposes.

The results of the study indicate that, two new probable usages were found for the cell and it was decided to further develop these new possibilities. One of them was a marking for identification data on sealing strips, which will not require any large modifications on the cell itself. The second was finishing and marking of seals. This will require the robot to be fully overhauled and made operational once again.

Key words: laser, finishing, marking

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEKNIKUM OY	7
3	LASER	8
	3.1 Laserin määritelmä	8
	3.2 CO ₂ laseri.....	8
	3.3 Laserleikkaus	9
	3.4 LP-430U-C.....	10
4	MERKINTÄLASERIN TESTAUS	12
	4.1 Kumi	12
	4.2 Muovi.....	14
	4.3 Pinnoitteen poisto metallilta	15
	4.4 Letkujen merkintä	15
5	PLC.....	17
	5.1 TwinCAT	17
6	VIIMEISTELYJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU	19
	6.1 Tiivistyslistojen merkintä	19
	6.1.1 Teline.....	19
	6.1.2 Testaus.....	20
	6.2 Kumityynyjen saumanpoisto	21
	6.2.1 Testaus teline.....	21
	6.2.2 Testaus.....	22
	6.3 Tiivisteiden viimeistely.....	24
	6.3.1 Testaus.....	25
7	POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET	29
	Liite 1. Merkintätelineen 3D-malli.....	29
	Liite 2. Merkintätelineen luonnos	30

LYHENTEET JA TERMIT

PLC	Ohjelmoitava logiikka ohjain
AutoCAD	Tekniseen piirtämiseen käytettävä ohjelma
.DXF	Teknisen piirtämisen tiedostomuoto
Autodesk Inventor	3D-mallinnusohjelma
TwinCAT	Beckhoff Automationin valmistama PLC järjestelmä
Epson RC+	Robotin ohjaukseen ja simulointiin käytettävä ohjelma

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön pyrkimyksenä on suunnitella ja kehittää uusia käyttökohteita vähäiselle käytölle jääneelle CO₂-merkintälasersolulle. Opinnäytetyöhön kuuluu laserin vaikutusten testaaminen erilaisiin materiaaleihin, tuotteisiin, sekä solun muutosten suunnittelu uusille käyttökohteille sopivaksi. Muutoksien suunnittelussa kiinnitetään huomiota rakenteiden modulaarisuuteen joustavan lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Laserin vaikutusta testattiin kumitettuihin metallilistoihin, muovilevyihin, kumityynyihin ja kumitiivisteisiin. Ensimmäisessä vaiheessa kumiin, metalliin ja muoviin tehtiin kuvioita laserin oman käyttöjärjestelmän merkkikirjastolla. Seuraavaksi testattiin AutoCAD-ohjelmalla piirrettyjen kuvioiden toimivuutta laserin käyttöjärjestelmässä. Lopuksi testattiin laserin kykyä leikata kumia ja suunniteltiin sen käyttöä eri tuotteiden viimeistelyssä.

2 TEKNIKUM OY

Teknikumin historia voidaan jäljittää aina vuoteen 1896 asti, jolloin Teknikum oli osa Gummifabrik kumitehdasta ja myöhemmin se sulautettiin osaksi Nokia Groupia. Teknikum yhtiöt on toiminut nykyisellä nimellään vuodesta 1989 jolloin suurin osa Nokia Groupin kumiliiketoiminnasta siirrettiin sen hallintaan.

Yhtiöön kuuluu 3 tehdasta Suomessa, myyntiyhtiö Saksassa, sekä tuotantoyhtiö Kiinassa. Uusimpana hankintana yhtiö on ostanut osuuden Unkarilaisesta tehtaasta. Vakinaisia työntekijöitä on noin 400 henkilöä ja vuosittainen liikevaihto on suurin piirtein 50 miljoonaa euroa. (Teknikum 2016)

Teknikumin palveluihin ja tuotteisiin kuuluvat;

- korroosiolta ja kulumiselta suojaavat tuotteet
- värinänvaimennus tuotteet
- teolliset materiaalinsiirtoletkut ja letkukokoonpanot
- polymeerituotteet
- asiakaslähtöinen tuotekehitys

3 LASER

3.1 Laserin määritelmä

Laser on lyhennys sanoista ”Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. Tätä termiä käytetään laitteista jotka tuottavat valoa laser periaatteen mukaisesti. Lasersäteen tuottamiseksi välittäjäainetta stimuloidaan joko sähkövirralla tai valolla, jolloin se vapauttaa fotoneja kasvavissa määrin. Koska tämä reaktio on eristetty kahden peilin väliin, suurelle osalle vapautuneista fotoneista muodostuu sama liikesuunta ja aallonpituus. Toinen näistä peileistä on suunniteltu siten että se ei peilaa aivan täydellisesti vaan päästää muodostuneen lasersäteen lävitseen. (RP Photonics Consulting GmbH. Lasers.)

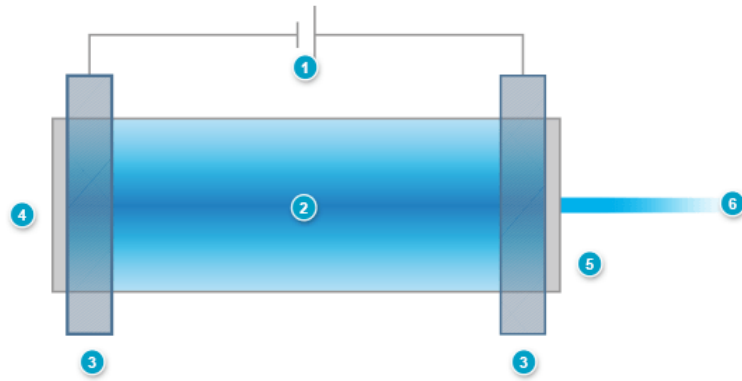
3.2 CO₂-laseri

CO₂-laserissa käytetään välittäjäaineena nimensä mukaisesti kaasuseosta, joka koostuu suurimmaksi osaksi hiilidioksidista. Muut tärkeät kaasun ainesosat ovat typpi ja helium. Fotoneiden tuottamiseksi välittäjäainetta voidaan stimuloida joko tasavirralla tai vaihtovirralla. Tämä ärsyke laukaisee reaktion, jossa typpimolekyylit alkavat värähdellä. Kun nämä molekyylit törmäävät hiilidioksidimolekyyleihin, värähtelyenergia siirtyy, jolloin fotoneja vapautuu ja lasersäde muodostuu. (RP Photonics Consulting GmbH. CO₂ lasers.)

Tällä tekniikalla voidaan rakentaa sekä pienitehoisia lasereita, joiden ulosanti on vain joitakin milliwatteja, että suuritehoisia lasereita, jotka yltyvät aina kymmeneen wattiin asti. CO₂ menetelmällä tuotetun säteen aallonpituus on 10,6 μm, näin ollen se on näkymätöntä ihmissilmälle. (C. Breck Hitz, James J. Ewing, Jeff Hecht. 2001, 233–236)

Kuvassa 1 on esitetty CO₂ laserin rakenne pääpiirteittäin:

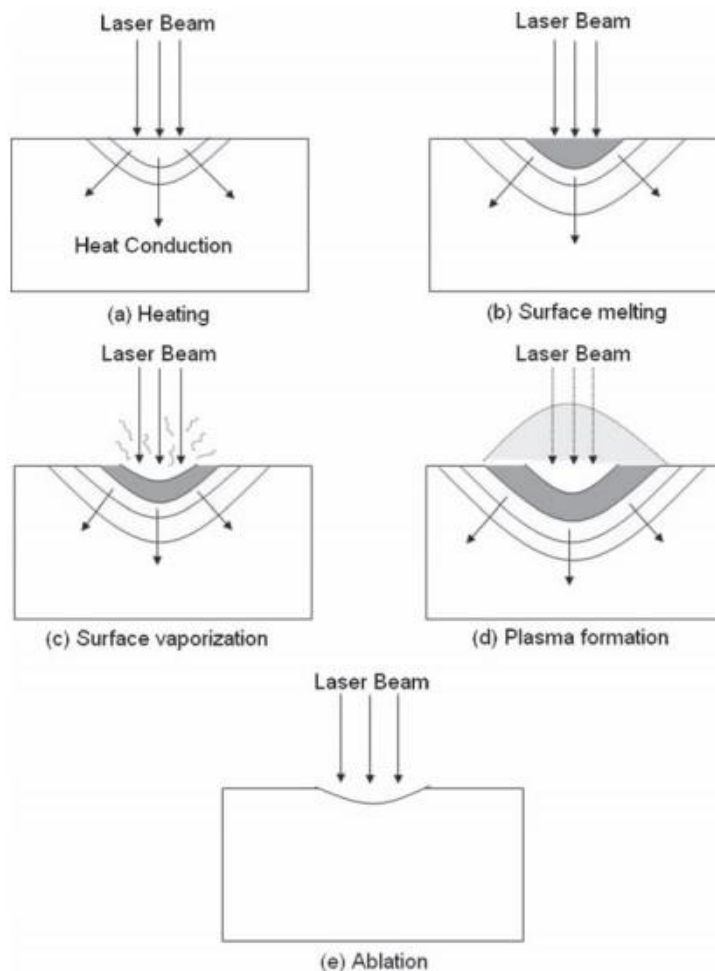
1. Virtalähde
2. Kaasuseos
3. Elektrodit
4. Peili
5. Osittain heijastava peili
6. Lasersäde



KUVA 1. CO₂-laserin rakenne (Panasonic 2016)

3.3 Laserleikkaus

Lasersäteen tuoma valoenergia muuttuu lämmöksi osuessaan työstettävään materiaaliin. Riippuen tästä aiheutuvan lämpötilanmuutoksen suuruudesta materiaali joko lämpenee, sulaa, höyrystyy, muodostaa plasmaa tai haihtuu, kuten on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Säteen vaikutus materiaaliin (Laser fabrication and machining of materials 2008)

Laserleikkauksessa siis poistetaan materiaalia lämmittämällä sitä hyvin korkeisiin lämpötiloihin. Lopputulokseen vaikuttavat saatavilla olevan laserin teho, eli paljonko valoenergiaa pystytään keskittämään leikattavaan kohtaan, sekä materiaalin kyky johtaa lämpöä. Jos kappale johtaa hyvin lämpöä, tarvitaan huomattavasti enemmän energiaa halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi. (Narendra B. Dahotre, Sandip P. Harimkar. 2008, 37–39)

Verrattuna perinteisiin leikkausmenetelmiin, laserilla saavutetaan tiettyjä etuja, joiden vuoksi se on kasvattanut suosiotaan. Laserilla leikattaessa ei tarvitse huolehtia terien kulumisesta eikä kappaleen kiinnityksellä ole niin väliä, koska siihen ei kohdistu leikkaavien terien tuomia voimia. Lisäksi säde keskittyy hyvin pienelle alueelle ja se on erittäin kapea, leikkauksen lopputulos on näin ollen erittäin siisti ja vaatii vain vähän, jos ollenkaan viimeistelyä. (William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder. 2010, 131–133)

3.4 LP-430U-C

Merkintäsoluun asennettu CO₂-laseri on Panasonicin valmistama LP-430U-C. Kyseisen mallin teho on noin 30 W, korkein merkintänopeus 720 m/min ja työstöalue on 110x110mm. Järjestelmä koostuu ohjainyksiköstä ja laseryksiköstä, jotka on esitetty kuvassa 3. Lisäksi ohjainyksikköön oli kytketty näyttö ja hiiri graafista käyttöliittymää varten.



KUVA 3. LP-430U-C (Panasonic 2016)

LP-400 series

■ SPECIFICATIONS

Model	General-purpose type			Small spot type			Type for large marking range		
	Standard	LP-430U-C	LP-420S9U-C	LP-410U-C	LP-431U-C	LP-421S9U-C	LP-411U-C	LP-425S9U-C	LP-435U-C
Item	Tower	LP-430TU-C	LP-420S9TU-C	LP-410TU-C	LP-431TU-C	LP-421S9TU-C	LP-411TU-C	LP-425S9TU-C	LP-435TU-C
Marking laser		CO ₂ laser, laser class 4							
Ave. output		30W	20W	10W	30W	20W	10W	20W	30W
Laser beam diameter		190μm	160μm	190μm	110μm	95μm	110μm	225μm	265μm
Wave length		10.6μm	9.3μm	10.6μm	10.6μm	9.3μm	10.6μm	9.3μm	10.6μm
Guide laser, pointer		Semiconductor λ = 655nm, laser class 2							
Output		1mW							
Marking range		110mm x 110mm			55 mmx 55mm			160mm x 160mm	
Work distance		185mm (+2mm)			111mm (+2mm)			262mm (+2mm)	
Scanning speed		Max. 12,000mm/s			Max. 6000mm/s			Max. 12,000mm/s	
Line speed, up to		240m/min	170m/min		120m/min	85m/min		240m/min	

TAULUKKO 1. Laserin ominaisuudet (Panasonic 2011)

Erilaisten kuvioden tekemistä varten laseryksikössä on sisäänrakennettu pyöriviä peilejä, joilla lasersädettä pystytään liikuttelemaan halutun muodon aikaansaamiseksi. Taulukossa 1 on esitetty laserin ominaisuuksia.

4 MERKINTÄLASERIN TESTAUS

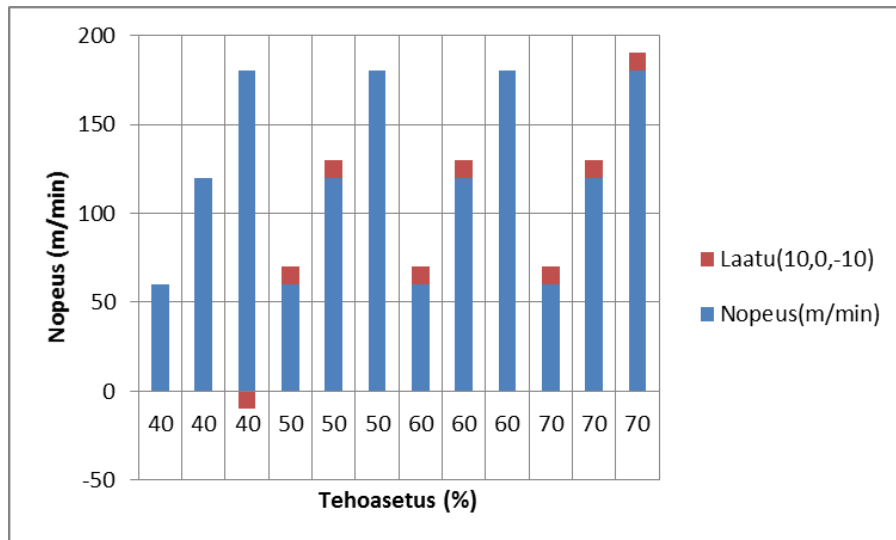
4.1 Kumi

Ensimmäisiä testejä varten merkintöjä tehtiin laserin omalla ohjausjärjestelmällä mutta laserin merkintäohjelman rajojen testaamista varten AutoCAD-ohjelmalla piirrettiin monimutkaisempi kuvio, joka tuotiin laitteeseen .DXF formaatissa. Kuvassa 4 nähdään AutoCAD-ohjelmalla piirretty testikuvio poltettuna erillisiin kappaleisiin.



KUVA 4. Testimerkintöjä kumiin

Laserin optimaalisten asetusten löytämiseksi suoritettiin paikallaan olevaan kappaleeseen testimerkkauksia säätämällä polttonopeutta sekä tehoa. Korkeimmaksi nopeudeksi päätettiin 180 m/min, koska tämä oli riittävä nopeus kappaleen merkitsemistä varten. Tulosten kirjaamista varten polttojäljelle annettiin arvo riippuen jäljen laadusta. Selkeä jälki sai arvoksi 10, huono tai puutteellinen jälki 0, jos jälkeä ei tullut ollenkaan, sai se arvoksi -10.



TAULUKKO 2. Testitulokset kuminmerkinnästä eri säädöillä

Taulukon 2 tuloksista voidaan nähdä että alhaisella tehotasolla merkittäessä työstönopeuden nostaminen vaikuttaa heikentävästi lopputulokseen. 70 % tehotasolle tultaessa työstöjälki pysyi hyvänä liikkumattomassa kappaleessa merkintänopeuden nostosta huolimatta, joten merkintätestissä ei ollut tarvetta nostaa tehoa enempää.



KUVA 5. Leikkaustesti

Kumin leikkaamista testattaessa laser pystyi tähän, kunhan leikattavan kappaleen paksuus oli ≤ 5 mm, asetuksina tällöin oli 100 % teho ja 0,06 m/min merkintänopeus. Ongelmana tässä oli kuitenkin kappaleen huomattava lämpeneminen ja palamaan syttyminen jos leikkauksia tehtiin liian tiiviille alueelle. Typen tai muun vastaavan kaasun lisääminen leikkausalueelle estäisi kappaleen syttymisen palamaan. Kuvassa 5 koeleikkaus on suoritettu 1,5 mm paksuiselle kappaleelle.

4.2 Muovi

Yritys tekee muovisia ruiskuvalutuotteita ja testin tarkoituksena oli saada selkoa laserin vaikutuksesta muoviin. Ensimmäisessä testissä merkintä suoritettiin erilaisilla arvoilla kerran kappaleen pintaan. Toisessa, merkintä toistettiin useamman kerran samaan kohtaan tarkoituksena saada aikaan syvämpi jälki. Kuvassa 6 nähdään testimerkintöjä muoviseen koekappaleeseen.



KUVA 6. Merkintäkokeet muoviin

Testeissä havaittiin että kumiin verrattuna jo suhteellisen alhaisilla tehotasoilla muovi jäi helposti palamaan merkinnän jälkeen. Tällöin kappaleen leikkaamista, jossa tehoase- tuksen tulee olla hyvin korkea, ei voida suorittaa. Merkintäkuvion toistaminen useam- paan kertaan ei parantanut lopputulosta merkittävästi, eikä se myöskään syventänyt sitä jolloin tästä toistosta ei siis ollut merkittävää hyötyä.

4.3 Pinnoitteen poisto metallilta

30 W teholla ei metalleihin pystytä sinällään tekemään merkintöjä saati leikkaamaan. Metalli voidaan kuitenkin pinnoittaa jollakin materiaalilla, kuten maalilla tai vastaavalla pintakerroksella, jolloin kyseisen materiaalin osittaisella poistamisella kappaleeseen pystytään tekemään merkintöjä.

Tämän testaamiseksi messinkilaattoja maalattiin mustalla spraymaalilla, jonka jälkeen merkintä suoritettiin suhteellisen korkealla tehotasolla. 80 % tehotaso ja 60 m/min merkintänopeus riitti hyvin maalin poispolttamiseen ja messingin näkyviin saamiseen. Kuvassa 7 nähdään testikappaleet merkinnän jälkeen.



KUVA 7. Koemerkityt messinkilaatat

4.4 Letkujen merkintä

Letkutehtaan puolella suunnitelmissa on ollut letkujen merkintätavan muuttaminen laseria hyödyntäväksi, joten suuntaa antavien tietojen saamiseksi päätettiin suorittaa testi-merkintöjä muutamiin erilaisiin letkuihin.

Hyvän merkintäjäljen aikaansaaminen kaikkiin testikappaleisiin vaati 100 % tehoa ja enintään 30 m/min merkintänopeuden. Tämä merkitsemisnopeus ei riitä linjaston kuljetusnopeuteen nähden, joka on sama 30 m/min, koska tällöin lopputulos ehtii vääristyä merkinnän aikana. Lisäksi tuotantolinjan nopeus saattaa vaihdella hieman työstön aika-

na, jolloin näin alhaisella merkintänopeudella lopputuloksesta saattaisi tulla vieläkin epätasaisempi. Kuvassa 8 nähdään koekappaleet merkinnän jälkeen.



KUVA 8. Koemerkittyjä letkuja

5 PLC

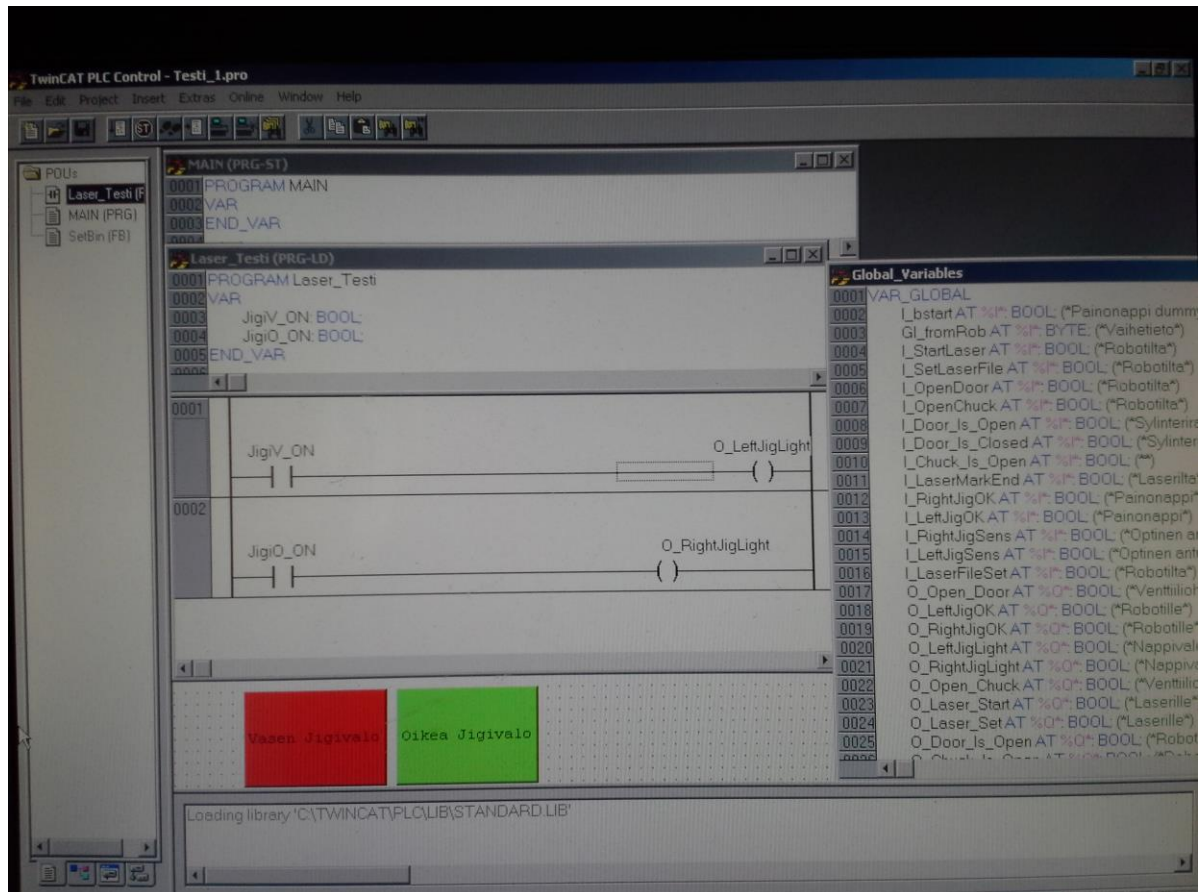
PLC on lyhenne sanoista ”Programmable Logic Controller” mikä tarkoittaa ohjelmoitavaa logiikka ohjainta. Nämä ohjaimet kehitettiin korvaamaan sähkömekaaniset releet erijärjestelmien logiikkapiireinä. PLC:n etuina vanhoihin releisiin verrattuna on se että monimutkaisia ohjauksia, jotka vaatisivat useita fyysisiä releitä toteutuakseen, voidaan rakentaa kokonaan virtuaalisesti PLC:hen tallennettavan ohjelman avulla. Tähän käytettävä ohjelmointikieli on suunniteltu siten että se muistuttaa tikapuu logiikkakaaviota.

PLC:hen kuuluu useita input ja output terminaaleja, joiden kautta signaalit kulkevat. Inputit tulkitsevat erilaisten sensorien sekä kytkimien lähettämät signaalit ”high” ja ”low” loogiseksi tiloiksi jolloin järjestelmä pystyy tulkitsemaan niitä. Outputit puolestaan lähettävät samaisia ”high” ja ”low” signaaleja ulospäin ja niitä käytetään ohjaamaan esimerkiksi moottoreita, solenoideja tai muita laitteita. (All About Circuits. Programmable Logic Controllers.)

5.1 TwinCAT

Beckhoff Automationin valmistama ohjelmoitava logiikka ohjain. Kyseinen järjestelmä käyttää ohjelmistopuolella pohjanaan tavallista windowsia ja on näin ollen suhteellisen helppokäyttöinen (Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.). Tätä ohjainta on käytetty aiemmin tässä valmistussolussa ohjaamaan laserin ja robotin yhteistyötä.

Ohjelmointiin käytetään tikapuulogiikkaa. Kuvassa 9 nähdään TwinCAT-ohjelman käyttöliittymä, jossa on rakennettu testiohjelma järjestelmään tutustumista varten. Ohjelman ollessa käynnissä, punaista virtuaalinappia painamalla kytkeytyy vasen jigsaw-päälle ja vastavuoroisesti vihreää painettaessa oikeanpuoleinen valo. Kuvan oikeassa reunassa näkyvässä tekstitiedostossa nähdään lista PLC:hen kytketyistä inpueteista ja outpueteista. O_ merkintä nimen edessä tarkoittaa outputtia ja I_ puolestaan inputtia. Kuvan keskellä sijaitsee pääohjelman ikkuna, johon rakennetaan haluttu ohjelma hyödyntäen tikapuu ohjelmointia.



KUVA 9. Kuvankaappaus testiohjelmasta

6 VIIMEISTELYJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU

6.1 Tiivistyslistojen merkintä

Yrityksen nykyisenä käytäntönä on ollut maalata tuotteen tunnistetiedot listojen selkäpuolelle. Tämän käytännön ongelmana kuitenkin on ollut maalin pois kuluminen ja näin ollen jäljitettävyyden heikkeneminen. Ajatuksena olikin kaivertaa listan kumiseen osaan laserilla samaiset tiedot ja näin ollen parantaa merkintöjen kestävyyttä.

Testeissä havaittiin että jo suhteellisen alhaisilla tehotasoilla ja suhteellisen nopealla merkintänopeudella saavutettiin haluttu tulos. Kuvassa 10 nähdään merkintäjälki 40 % tehotasolla ja 1000 mm/s merkintänopeudella.



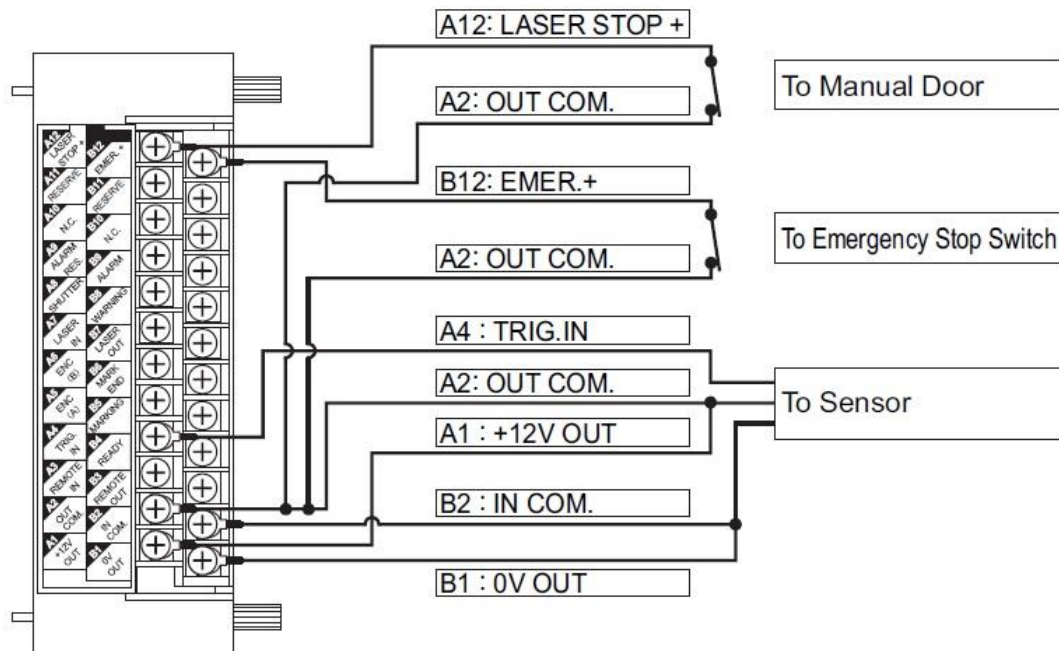
KUVA 10. Testimerkintä kumiin

6.1.1 Teline

Merkintätelineen suunnittelun lähtökohtana oli kyetä kiinnittämään se jo olemassa olevaan tukirakenteeseen mahdollisimman yksinkertaisesti. Lisäksi merkittäviä listoja on kahdenlaisia ja näitä molempia pitäisi pystyä merkitsemään samalla laitteella.

Tämän mahdollistamiseksi telineeseen suunniteltiin kaksi erillistä muovista ohjuria, jotka voidaan vaihtaa nopeasti irrottamalla telineen kyljessä oleva kahva ja asettamalla

uusi ohjain vanhan tilalle. Jotta kappaleiden merkintä saadaan toimimaan järkevästi, tulee laserin järjestelmään lisätä anturi kuvan 11 mukaisesti. Liitteissä 1 ja 2 nähdään Autodesk Inventorilla luodut konseptikuvat merkintätelineestä ja vaihdettavista muovisista ohjaimista.



KUVA 11. Anturin kytkeminen (Panasonic 2009)

6.1.2 Testaus

Testit onnistuivat hyvin ja tämän vuoksi päätettiin suunnitella alustava teline sekä työkierto tätä toimea varten. Teline eristetään käyttäjältä koteloimalla se siten että laserin säde ei voi vahingoittaa käyttäjää ja merkinnästä syntyvä savu imetään poistoilmaventtiilin kautta pois. Teline kiinnitetään laserin alapuolella olevan alumiinipalkin kylkeen ja telineessä olevaan pyöreään reikään asennetaan induktiivinen anturi laserin laukaisemista varten. Tällöin työkierto on seuraavan lainen:

- Lista asetetaan telineen uraan
- Lista työnnetään telineen pätyyn asti
- Anturi tunnistaa listassa olevan metallin
- Laseri polttaa merkinnän
- Lista vedetään pois telineestä

6.2 Kumityynyjen saumanpoisto

Yritykselle on tulossa tuotantoon uusi tuote, joka tällä hetkellä vaatii valmistuksen jälkeen käsin tehtävän viimeistelyn. Tämän osa-alueen testien tarkoituksena oli tutkia, pystytäänkö tämä käsityövaihe korvaamaan laserilla ja muutenkin automatisoimaan. Lopputuloksen toivotaan myös antavan nopeamman ja tasaisemman viimeistelyn, kuin käsin tehtävä työ. Lisäksi laserin etuna olisi liikkuvien ja kuluvien osien vähäisyys.

6.2.1 Testaus teline

Koska laserin runko on iso, ei sitä ole järkevää liikuttaa vaan työstettävää kappaletta täytyy siis siirtää. Tämän vuoksi valmistettiin prototyyppi kappaleen pyörittämistä varten. Laitteessa ovat 24V dc sähkömoottori, akseli, hihna ja hammaspyörät purettiin vanhasta tulostimesta, runkona puolestaan käytettiin tietokoneen koteloa.

Laite toimii siten, että siinä oleva akseli on laakeroitu kotelon kattoon kiinni ja akselin loppupäässä olevaa hammaspyörää pyöritetään hihnan välityksellä sähkömoottorilla, Tämän pyörimisnopeutta säädellään muuttamalla moottorille tulevaa jännitettä säädettävällä virtalähteellä. Tällöin pystytään muuttamaan kierrosnopeutta suhteellisen portaattomasti. Muovista tukea, johon kappale asetetaan, pystytään säätämään portaattomasti akselin matkalla koska se lukittuu paikalleen puristimella. Kuvassa 13 nähdään prototyyppi valmiina ensimmäisiin testeihin.



KUVA 13. Prototyyppi kappaleen pyörittäjästä

6.2.2 Testaus

Oikeita asetuksia haettiin aluksi paikallaan olevaan testikappaleeseen. Kuvassa 14 nähdään testikappale jota käytettiin alkuasetusten hakuun. Alustavissa testeissä sauman poistaminen paikallaan olevasta tyynystä onnistui, joten testejä päätettiin jatkaa lisäämällä kappaleen pyöritys.



KUVA 14. Kumityynyn saumanpoiston testausjäljet alkuasetusten hausta

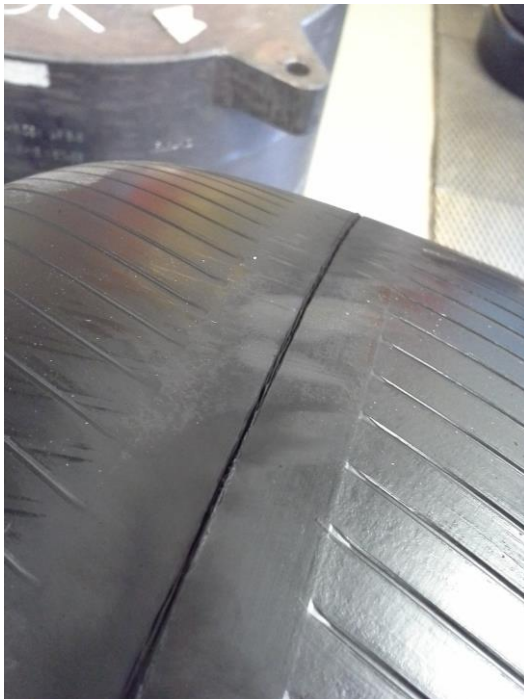
Pyöritettäessä kappaletta laserin piirtämät pystysuorat viivat muuttuivat sahalaitaisiksi. Tätä pyrittiin kompensoimaan tekemällä leikkauskuviosta kalteva pyörityksen liikesuuntaa vastaan. Lisäksi kappaleen pyörintää pyrittiin hidastamaan noin 10 RPM:n muuttamalla prototyypin hihnavälitystä siten, että pyöritettävällä akselilla olleen hammaspyörän halkaisijaa kasvatettiin isommaksi.

Tehtäessä pystysuoraa viivakuviota, testissä olleen laserin teho ei lopulta riittänyt poistamaan saumaa liikkuvasta kappaleesta. Kuvan 15 molemmissa testeissä käytettiin 100 % tehoa ja 10 RPM nopeutta kappaleen pyöritykseen. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on käytetty 540 m/min merkintänopeutta ja oikeanpuoleisessa 60 m/min. Hitaammalla merkintänopeudella lopputulos oli syvempi kuin nopeammalla, mutta jälki oli puolestaan huomattavasti epätasaisempaa. Kummassakin tapauksessa itse sauma, jota pyrittiin poistamaan, pysyi melkein koskemattomana vaikka sitä ympäröivän materiaalin poisto onnistuikin.



KUVA 15. Vertikaaliset viivakuviot pyöriksen jälkeen

Kääntämällä merkintäkuviot horisontaaliseksi, keskittämällä säde pienelle alueelle ja pudottamalla merkintänopeus 0,6 m/min, saatiin aikaiseksi kiilamainen leikkaus sauman kohdalle. Kuvassa 16 nähdään tyyny testimerkinnän jälkeen. Tämän menetelmän ongelmana on se että leikkaava säde on erittäin kapea, jolloin sen suuntaaminen ja sauman kohdalla pitäminen on erittäin haastavaa.



KUVA 16. Horisontaalinen viivakuviot pyöriksen jälkeen

Läpimenoaika tässä tapauksessa oli noin 3 min 30 s, mikä on huomattavasti enemmän kuin käsin viimeistellyn tyynyn sauman poistaminen joka kestää noin 20 s. Yrityksistä

huolimatta laserin saumanpoistoaikaa ei saatu lyhennettyä ilman lopputuloksen kärsimistä. Tästä johtuen kyseistä laseria päätettiin olla käyttämättä tähän tehtävään.

Testeissä havaittiin idean sinällään toimivan, merkintänopeus pystyttiin nostamaan riittävän korkealle tasolle, mutta testattavan laserin teho vain loppui kesken. Vanhan laserin korvaaminen tehokkaammalla laserilla, jolla on yhtä korkea merkintänopeus, todennäköisesti ratkaisisi saumanpoisto-ongelman ja tätä menetelmää voitaisiin harkita korvaamaan käsin tehtävä viimeistely.

Pyörittäjä toimi suunnitellulla tavalla ja jälkikäteen tehty välityssuhteen muutos helpotti laskemaan pyöritysnopeuden halutulle nopeusalueelle, mutta kehityskohteitakin havaittiin. Teollista versiota varten moottorin voimakkuutta tulisi kasvattaa, rakenteesta tehdä tukevampi ja kappaletta tukevaa osaa tulisi leventää huomattavasti. Säädetävän jännitelähteen käyttäminen pyörimisnopeuden säätöön toimi hyvin, mutta se tulisi kytkeä käytön helpottamiseksi yhteen laserin kontrollien kanssa esimerkiksi TwinCAT:in välityksellä.

6.3 Tiivisteiden viimeistely

Paiston jälkeen tiivisteistä leikataan mekaanisesti keskelle ja ulkoreunalle jäänyt ylimääräinen materiaali pois. Kuvassa 17 vasemmalla on esitetty tällä tavoin viimeistelty tuote. Tuotteen juokseva eränumero tehdään muotissa olevia nuolia kääntämällä, jolloin paiston jälkeen tämä tieto voidaan lukea muodostuneista kohokuvioista kuten kuvassa 17 oikealla. Ajatuksena olisi suorittaa niin leikkaaminen kuin merkitseminenkin laserilla.



KUVA 17. Valmis tiiviste ja erämerkinnät

6.3.1 Testaus

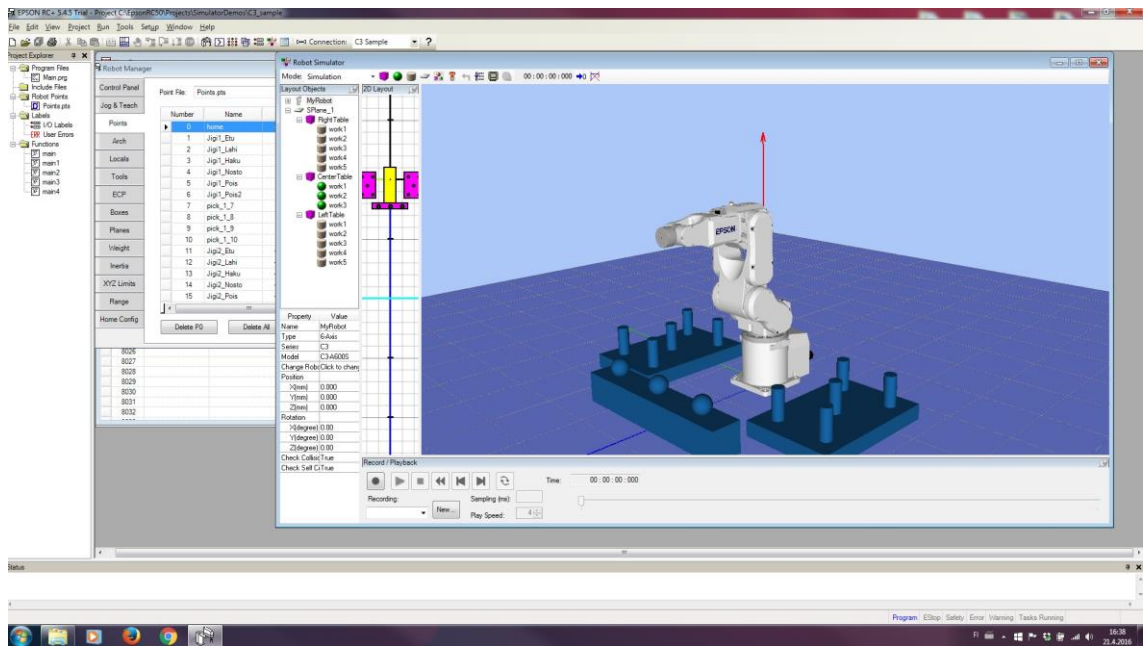
Tiivisteiden pääraaka-aine on kumi, mutta sen sisällä on kaksi erillistä kerrosta kangasta. Ensimmäisenä testattiinkin tämän kankaan reagointia laseriin. Testeissä kangas ei syttynyt palamaan vaan ainoastaan sulii. Tehokkaimpina asetuksina käytettiin tällöin 100 % tehoa ja 0,6 m/min merkintänopeutta.

Testattaessa kappaleen leikkautuvuutta, havaittiin että paras lopputulos saatiin aikaiseksi asetuksilla 100 % tehoa ja 1,8 m/min työstönopeutta. Merkintää varten parhaiksi asetuksiksi saatiin 100 % tehoa ja 12 m/min työstönopeutta. Nämä tulokset voidaan nähdä kuvassa 18.



KUVA 18. Testileikkaukset ja testimerkintä

Vaikka itse robottia ei vielä voitu liikuttaa, päätettiin kuitenkin testimielessä simuloida robotin mahdollisia liikeratoja Epsonin RC+ ohjelmalla. Kuvassa 19 on esitetty RC+ ohjelman käyttöliittymä ja kuvassa 20 osa liikkeiden simulointia varten laaditusta koodista. Liikeratojen luonti onnistui simulaattorissa hyvin, mutta alustavasti päädyttiin kuitenkin siihen lopputulokseen, että liikeradat opetetaan robotille suoraan opetusmodilla. Tällöin laserin kohdistus ja kaikkien liikkeiden määrittäykset ovat huomattavasti helpompia.



KUVA 19. Robotin simuloit ympäristö

```

Function main2
*
  simulaatio
Move Koti CP
'Wait (2)
Move _haku1 CP
Move _haku2 CP
Move _nosto CP

'Pause

Move _vient1 CP
Move _vient2 CP

'Wait (2)

  _laser1 = AglToPls(85.3505, -40.9618, 36.0819, 0.733566, 37.1509, -189.59)
Move _laser1
Wait (2)
  _laser2 = AglToPls(85.3505, -40.9618, 36.0819, 0.733566, 37.1509, -234.59)
Go _laser2
Wait (2)
  _laser3 = AglToPls(85.3505, -40.9618, 36.0819, 0.733566, 37.1509, -279.59)
Go _laser3
Wait (2)
  _laser4 = AglToPls(85.3505, -40.9618, 36.0819, 0.733566, 37.1509, -324.59)
Go _laser4
Wait (2)
Move _merkkkaus0 CP
  _merkkkaus1 = AglToPls(85.3504, -40.962, 36.082, 0.734, 85.151, -189.591)
Go _merkkkaus1
Wait (2)
  _merkkkaus2 = AglToPls(85.3504, -40.962, 36.082, 0.734, 85.151, -234.591)
Go _merkkkaus2
Wait (2)
  _merkkkaus3 = AglToPls(85.3504, -40.962, 36.082, 0.734, 85.151, -279.591)
Go _merkkkaus3
Wait (2)

```

KUVA 20. Ote ohjelman koodista

Alustavien tulosten perusteella tätä menetelmää voitaisiin tutkia lisää, jos merkintäso-
lussa jo oleva robotti saadaan huollettua kuntoon. Tällöin viimeistelyvaihe voitaisiin
automasoida melkein kokonaan ja laserilla suoritettavan leikkauksen suhteellinen hi-
taus ei häiritse juurikaan.

7 POHDINTA

Testeillä saavutettiin haluttu lopputulos ja solun jatkokäyttöä varten pystyttiin erottelemaan sille soveltuvia uusia käyttökohteita. Lisäksi näillä testeillä saatiin selvyyttä kyseisen laserin kykyyn merkitä ja leikata erinäisiä materiaaleja.

Uusille materiaaleille täytyy aina kokeilla ja hakea säädöt kohdilleen. Tällöin olisi hyvä lähteä liikkeelle 50 % teholla ja 60 m/min työstönopeudella. Tästä eteenpäin sitten portaittain eteenpäin ensin tehoa säätäen 10 % intervalleilla kunnes haluttu tulos saavutetaan. Jos teho täytyy nostaa 100 % asti, eikä jälki ole haluttua, on siirryttävä laskemaan merkintänopeutta 6 m/min pykälissä.

Jos on pakko leikata yli 5 mm paksua kappaletta, leikkauksen onnistumiseksi leikkaus voitaisiin toistaa useamman kerran tai kappaletta ja laseria tulisi siirtää lähemmäksi toisiaan jotta polttopiste saadaan jälleen optimaaliseksi. Tällöin tulee kuitenkin huomioida leikkauskuvion koon muuttuminen liikkeen johdosta, jolloin kuviota tulee säätää suuremmaksi suhteessa liikkeen pituuteen. Tällekin tulee hyvin nopeasti omat rajansa vastaan, sillä tämä liike aiheuttaa kallistuksen leikkauksessa siten että esimerkiksi ympyrää tehtäessä muodostuu leikkuujäljestä kartio joka laajenee ulkoseinästä takaseinää kohti.

Laserilla voitaisiin mahdollisesti valmistaa metallisia merkkikilpiä, samalla periaatteella kuin messinkilaattojen pinnanpoistossa on tehty. Lisäksi laseria voitaisiin käyttää tuotetunnusten lisäämiseen muihinkin tuotteisiin. Tämä tosin vaatii ehdottomasti robotin, jotta toiminnasta saadaan järkevä.

Suunnitteleamalla robotille sopiva tarttuja, jolla se kykenisi ottamaan kiinni tiivistelistoista, voitaisiin näiden listojen merkintä automatisoida hyvin pitkälle. Tällöin robotti ottaisi merkittävän kappaleen ennalta määritellystä paikasta, veisi sen laserin eteen ja merkinnän valmistuttua siirtäisi sen kuormalavalle jatkokuljetusta varten.

LÄHTEET

Teknikum Oy. Company. Kotisivut. Luettu 2.4.2016

<https://teknikum-com-d.aldone.fi/en/company/>

RP Photonics Consulting GmbH. Lasers. Kotisivut. Luettu 12.4.2016

<https://www.rp-photonics.com/lasers.html>

RP Photonics Consulting GmbH. CO₂ lasers. Kotisivut. Luettu 12.4.2016

https://www.rp-photonics.com/co2_lasers.html

All About Circuits. Programmable Logic Controllers. Kotisivut. Luettu 20.4.2016

<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-6/programmable-logic-controllers-plc/>

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. TwinCAT. Kotisivut. Luettu 26.4.2016

<http://www.beckhoff.com/twincat/>

Panasonic. Laser marking system. Kotisivut. Luettu 14.4.2016

<https://laser.panasonic.eu/laser-marking-systems-lp-400.htm>

C. Breck Hitz, James J. Ewing, Jeff Hecht. 2001. Introduction to Laser Technology, Third Edition. New York: Wiley. 2001

Narendra B. Dahotre, Sandip P. Harimkar. 2008. Laser fabrication and machining of materials. New York: Springer. 2008

William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder. 2010. Laser Material Processing Fourth Edition. New York: Springer. 2010

LP-400 Series Operation Manual 12th Edition

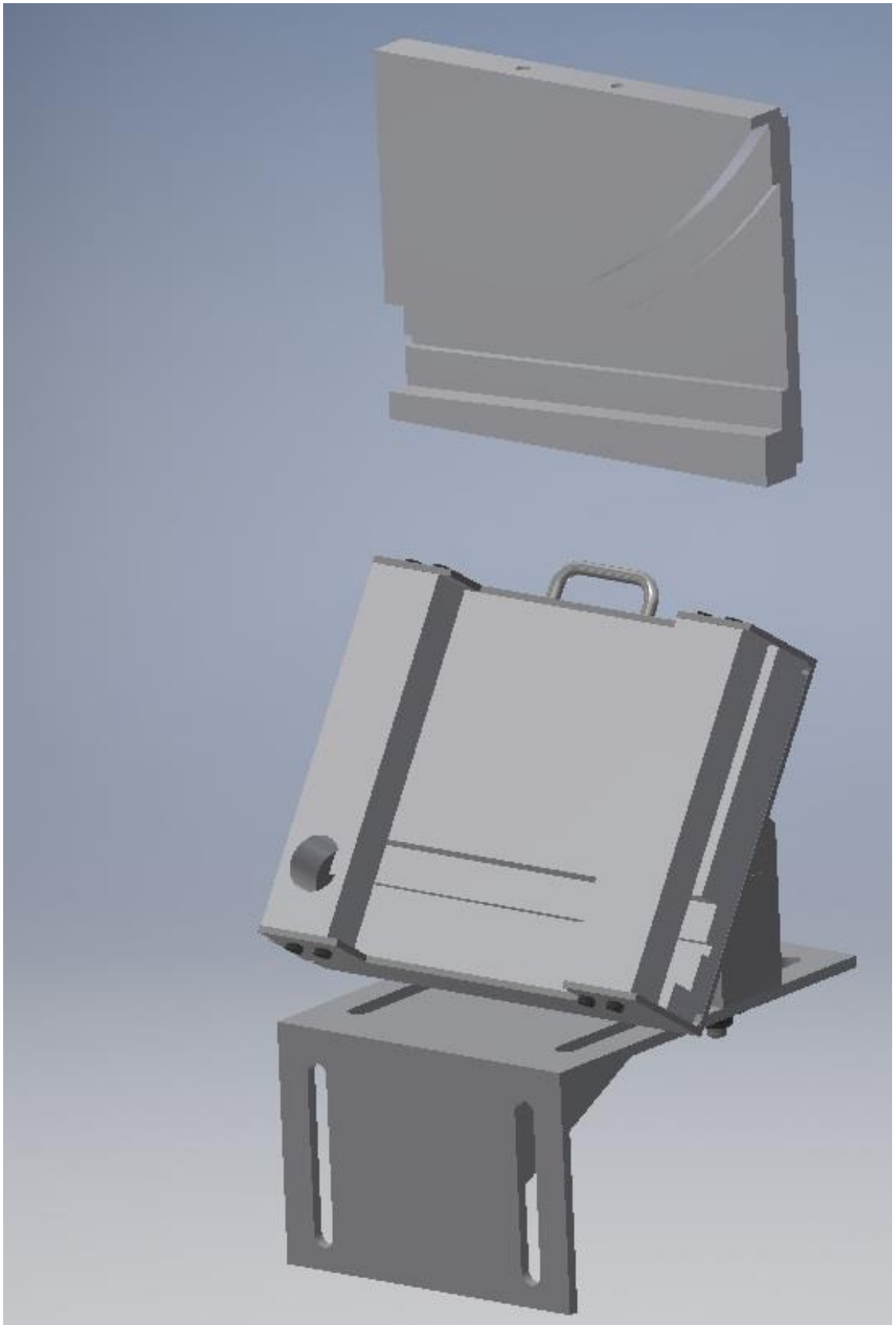
Panasonic. 2009

LP-400 Series Datasheet

Panasonic. 2011

LIITTEET

Liite 1. Merkintätelineen 3D-malli



Liite 2. Merkintätelineen luonnos

