

Pahvipakkauksen lasermerkintä

Lasermerkkauksen hyödyntäminen kytkintuotteen yksittäispakkauksen merkinnöissä

Valtteri Järvinen

Opinnäytetyö insinööri korkeakoulututkinnolle

Konetekniikka

Vaasa 2023

EXAMENSARBETE

Författare: Valtteri Järvinen
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktning: Maskinkonstruktion
Handledare: Tobias Mäenpää, ABB
Leif Backlund, Yrkeshögskolan Novia

Titel: Utnyttjning av lasermarkering vid märkning av brytarproduktens enskildförpackningar

Datum: 8.5.2023 Sidantal: 50 Bilagor: 2

Abstrakt

Detta examensarbete gjordes åt ABB Smart Power i Vasa, Finland. ABB Smart Power tillverkar olika slags brytare till exempel lastbrytare. ABB:s brytare används bland annat i solkraft och för att säkra strömtillförseln.

Syftet med arbetet var att ta reda på om man kan ersätta ett klistermärke som klistras på varenda förpackning med en lasermarkering. Lasermarkering skulle vara miljövänligare och mera attraktiv för kunden än ett klistermärke men största nyttan skulle man få om processen skulle bli snabbare. Om lasermarkering skulle vara möjligt var en del av arbetet att bestämma nya layouten för packningsprocessen samt beskriva vilka ändringar behövs göras. Jag började arbetet med att fördjupa mig i teorin om laser och de vanligaste lasrarna som finns på marknaden. Jag följde med den nuvarande processen för att få en bra helhetsbild och bättre förståelse över packningsprocessen. Utgående från den information jag samlat kunde jag bestämma hurdan laser som passar syftet och var i processen den skall placeras. Även informationsflödet i processen kartlades så att jag kunde komma fram till varifrån informationen till lasern kunde tas. På basen av två olika investeringskalkyler kunde man se om investeringen är lönsam.

Resultatet jag har kommit fram till är att markeringen är möjlig med en CO₂ laser. Placeringen samt process presenteras i arbetet. Enligt lönsamhetsberäkningarna är investeringen inte lönsam om man bortser från möjliga mervärdet som en miljövänlig förpackning kan ha åt kunden och mervärdet som medföljer med spårbarheten.

Språk: Finska

Nyckelord: Lasermarkering, Förpackning, Process, Taktid

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Valtteri Järvinen
Koulutus ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Konesuunnittelu
Ohjaaja(t):	Tobias Mäenpää, ABB Leif Backlund, Yrkeshögskolan Novia

Nimike: Lasermarkkauksen hyödyntäminen kytkintuotteen yksittäispakkauksen merkinnöissä

Päivämäärä: 8.5.2023

Sivumäärä: 50

Liitteet 2

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Smart Powerille Vaasassa. ABB Smart Power valmistaa erilaisia kytkimiä, esimerkiksi kuormakytkimiä. ABB:n katkaisijoita käytetään muun muassa aurinkosähkössä ja virransyötön turvaamisessa.

Työn tarkoituksena oli selvittää, voiko jokaiseen pakkaukseen liimattavan tarran korvata lasermerkinnällä. Lasermerkintä olisi ympäristöystävällisempi ja asiakkaalle houkuttelevampi kuin tarra, mutta suurin hyöty olisi, jos prosessi nopeutuisi. Mikäli lasermerkintä olisi mahdollista, oli osa työstä pakkausprosessin uuden layoutin määrittely ja tarvittavien muutosten kuvaileminen. Työ aloitettiin uppoutumalla laserteoriaan ja markkinoiden yleisimpiin lasereihin. Nykyistä prosessia seurattiin saadakseen hyvän kokonaiskuvan ja paremman käsityksen pakkausprosessista. Kerättyjen tietojen perusteella pystyttiin päättämään, mikä laser sopisi tarkoitukseen ja mihin kohtaan prosessia se tulisi sijoittaa. Prosessin tiedonkulku kartoitettiin, jotta voitaisiin määrittää, mistä laserille saataisiin oikea tieto merkkausta varten. Kahden erilaisen investointilaskelman perusteella oli mahdollista nähdä, onko investointi kannattava.

Tultiin siihen lopputulokseen, että merkintä on mahdollista CO₂ laserilla. Paikka ja prosessi esitetään työssä. Kannattavuuslaskelmien mukaan investointi ei ole kannattava, jos jätetään huomioimatta ympäristöystävällisen pakkauksen mahdollinen lisäarvo asiakkaalle ja jäljitettävyyden tuoma lisäarvo.

Kieli: Suomi

Avainsanat: Lasermerkkaus, Pakkaus, Prosessi, Tahtiaika

BACHELOR'S THESIS

Author: Valtteri Järvinen
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa
Specialisation: Mechanical Construction Engineering
Supervisor(s): Tobias Mäenpää, ABB
Leif Backlund, Novia University of applied sciences

Title: Utilization of laser marking in the markings of individual switch product packages

Date: 8.5.2023 Number of pages: 50 Appendices 2

Abstract

This thesis was done for ABB Smart Power in Vaasa, Finland. ABB Smart Power manufactures different types of switches, for example load switches. ABB's circuit breakers are used, among other things, in solar power and to secure the power supply.

The purpose of the work was to find out if you can replace a sticker, that is pasted on every single package, with a laser marking. Laser marking would be more environmentally friendly and more attractive to the customer than a sticker, but the biggest benefit would be if the process were to be faster. If laser marking were possible, part of the work was to determine the new layout for the packing process and describe what changes needed to be made. I started the work by immersing myself in the theory of lasers and the most common lasers on the market. I followed the current process to get a good overall picture and better understanding of the packing process. Based on the information I gathered, I was able to decide which laser would suit the purpose and where in the process it should be placed. The information flow in the process was also mapped so that I could determine where the information for the laser could be taken from. Based on two different investment calculations, it was possible to see whether the investment is profitable.

The result I have come to is that the marking is possible with a CO₂ laser. The suitable location for the laser and the process are presented in the work. According to the profitability calculations, the investment is not profitable if one disregards the possible added value that environmentally friendly packaging can have for the customer and the added value that comes with traceability.

Language: Finnish

Key words: Laser marking, Package, Process, Takt time

SISÄLTÖ

ABSTRAKT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUOETTELO

LYHENTEET JA KÄSITTEET

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn taustat.....	1
1.2	Työn tarkoitus	2
1.3	Työn tavoitteet.....	3
1.4	Työn rajaukset.....	3
1.5	ABB lyhyesti	3
1.6	Dispositio.....	5
2	Esitutkimus.....	5
2.1	Adafo	6
2.2	Modulaarisuus.....	6
2.3	Nykyinen Prosessi.....	6
2.3.1	Työn vastaanotto	8
2.3.2	Tornado	9
2.3.3	Erikoisvarustelu.....	10
2.3.4	Varusteluhyilly.....	11
2.3.5	Pakkauspiste.....	12
2.4	Merkkaus	13
3	Teoria.....	16
3.1	Laser	16
3.2	Lasermerkintä	18
3.2.1	Kaivertaminen	19
3.2.2	Ablaatio.....	19
3.2.3	Hehkutus ja värinmuutos	20
3.2.4	Vaahdotus ja etsaus	21
3.3	CO ₂ Laseri.....	22
3.4	Kuitu Laseri.....	23
3.5	UV Laseri.....	24
3.6	Lasersäteen ohjaus ja pulsaatio.....	26
3.7	Eri materiaalien merkkaus	28

3.8	Pahvin merkkaaminen	30
3.9	Laserluokat	31
3.9.1	Luokka 1	31
3.9.2	Luokka 1M	31
3.9.3	Luokka 1C	31
3.9.4	Luokka 2	32
3.9.5	Luokka 2M	32
3.9.6	Luokka 3R	32
3.9.7	Luokka 3B	32
3.9.8	Luokka 4	32
3.10	SAP	32
4	Menetelmät ja työnkulku	33
4.1	Prosessin seuraaminen	33
4.2	Henkilökohtainen kommunikaatio	33
4.3	Kokouksia	34
4.4	Koemerkkauksia	34
4.5	Työnkulku	35
5	Työn lopputulos	36
5.1	Laseri ja sen sijoitus	36
5.1.1	Ratkaisu A	38
5.1.2	Ratkaisu B	40
5.1.3	Vertailu ja ratkaisun valinta	42
5.2	Prosessi laserin kanssa	44
5.3	Kannattavuus	45
5.4	Tuloskeskustelu	45
5.5	Ehdotuksia jatkotutkimukseen	46
6	Henkilökohtainen arvio ja pohdinta	47
7	Lähdeluettelo	48
8	Liitteet	50

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1 Lasermerkinnällä korvattava tarra yksittäispakkauksen kyljessä.....	1
Kuva 2 ABB 200A 3p kuormankytkinmoduuli.....	4
Kuva 3 Nykyinen prosessi. (1) Työn vastaanotto, (2) Tornado, (3) Erikoisvarustelu, (4) Varusteluhyilly, (5) Pakkauspiste	7
Kuva 4 Kuvaus työn käsittelystä Adafon näkökulmasta.....	7
Kuva 5 Työn vastaanottopiste.....	8
Kuva 6 Pakkausolu, tornado näkyy kuvan oikeassa reunassa.....	10
Kuva 7 Varusteluhyilly.....	11
Kuva 8 Pakkauspiste.....	13
Kuva 9 ABB:n osoittama paikka infotarralle (ABB, 2021).....	14
Kuva 28 Merkkaus malli.....	14
Kuva 11 Merkkaus muuttuvilla tiedoilla.....	16
Kuva 12 Laser aineen pumppaaminen (Electronicscoach, 2023).....	17
Kuva 13 Stimuloitu emittointi (Electronicscoach, 2023).....	18
Kuva 14 Eri lasermerkintä tavat (Badida, 2017).....	19
Kuva 15 Valon takaisin heijastuminen (LaserAX, 2023).....	20
Kuva 16 Takaisin heijastuneet sähkömagneettiset aallot erikseen ja yhdessä (LaserAX, 2023).....	21
Kuva 17 CO ₂ laserin optinen resonaattori (Brainkart.com, 2023).....	22
Kuva 18 Kuitulaserin toimintaperiaate (Fractory, 2023).....	23
Kuva 19 UV laseri, missä hyödynnetään taajutta muuttavia kristalleja (Keynce, 2023).....	25
Kuva 20 Elektroniikan merkkaaminen UV laserilla (Keynce, 2023).....	25
Kuva 21 Merkkaaminen skannausoptiikalla (Ionix, 2023).....	26
Kuva 22 Merkkaaminen maskioptiikalla (Ionix, 2023).....	27
Kuva 23 Kuvaus jatkuvasta laser säteestä (Cajo, 2023).....	27
Kuva 24 Kuvaus pulssilaserin lasersäteestä (Cajo, 2023).....	28
Kuva 25 Eri materiaalien absorbointi aaltopituudet (ResearchGate, 2023).....	29
Kuva 26 Keyence tulokset eri materiaalien merkkauksesta eri lasereilla (Keyence, 2023).....	30
Kuva 27 Sellun absorbanssi spektri (maplaboratory, 2023).....	30
Kuva 28 Keyencen suorittamat koemerkkaukset valkoiseen pahviin (Keyence, 2023).....	31
Kuva 29 ABB:n kuitulaserilla tehty koemerkkaus.....	35
Kuva 30 Cajo 30w CO ₂ laserilla tehty koemerkkaus.....	37
Kuva 31 Ratkaisu A laserin sijoitukselle.....	39
Kuva 32 Ratkaisu B laserin sijoitukselle.....	41

LYHENTEET JA KÄSITTEET

ABB	Asea Brown Boweri.
SAP	Toiminnanohjaus järjestelmä.
ADAFO	ABB Smart Powerin oma toiminnanohjausjärjestelmä.
MES	Manufacturing Execution System.
QR-koodi	QR-koodi on neliön muotoinen kuviokoodi, johon on koodattu informaatiota. Koodin voi lukea esimerkiksi skannerilla tai puhelimella
Populaatioinversio	Populaatioinversio laserissa viittaa vahvistusväliaineen tilaan, jossa suurempi määrä elektroneja on viritetyssä tilassa verrattuna niihin, jotka eivät ole viritetyssä tilassa.
Moduuli	Moduulia sanalla viitataan tässä tapauksessa valmiiseen kytkinmoduuliin (Kuva 2) ABB:n.
Tahtiaika	Aika, joka tietty vaihe prosessissa kestää.
Koherentti	Sähkömagneettinen säde, joka sisältää vain yhtä aaltopituutta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

ABB Smart Powerin asiakkaille tuotteen valmistuksen ympäristöystävällisyys sekä tuotteen komponenttien alkuperän seuraaminen on entistä tärkeämpää. ABB Smart Powerilla kytkintuotteet pakataan tällä hetkellä valkoisiin pahvilaatikoihin, mutta suunnitelmissa on vaihtaa pakkausmateriaali ympäristöystävällisempään ruskeaan pahviin juuri tästä syystä. Jokaisen pakkauksen kylkeen laitetaan tarra käsivoimin pakkaajan toimesta (Kuva 1). Tarrassa on tieto muun muassa kytkimen koosta ja mallista.



Kuva 1 Lasermerkinnällä korvattava tarra yksittäispakkauksen kyljessä.

Kytöntuotteiden tarkka seuranta vaatii paljon työtä. Jos esimerkiksi saadaan tieto, että joissain komponenttieroissa saattaa olla viallisia komponentteja, saattaa tämä johtaa siihen, että kytkimet, mihin näistä eristä on käytetty komponentteja, halutaan vetää takaisin. ABB:n MES ja ERP järjestelmän kautta saa selvitettyä mihin kytkimet on suurin piirtein lähetetty ja niiden kytkimien sarjanumerot, mihin viallisista eristä on käytetty komponentteja. Löytääkseen oikeat kytkimet sarjanumeron perusteella, pakkaukset pitää avata, jotta pääsee skannaamaan kytkimessä olevan QR-koodiin, mistä näkee sarjanumeron. Jos kytkimiä on paljon, pakkausten avaaminen vie erittäin paljon aikaa.

1.2 Työn tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, onko mahdollista korvata nykyinen tarra lasermerkkauksella, ja jos sen on mahdollista, miten se voitaisiin toteuttaa. Lasermerkkauksella olisi ympäristöystävällisempi kuin tarra ja merkkauksella olisi helpompi muokata kuin tarra muutosten tullessa. Suurin hyöty olisi kuitenkin, jos prosessi nopeutuisi ja käsin tehty työ vähentyisi. Työhön kuuluu myös selvittää, miten pakkaukseen saataisiin lisättyä QR-koodi. Tämä QR-koodi sisältäisi pakkauksen sisällä olevan kytkimen yksilöllisen sarjanumeron, jonka avulla kytkimien seuranta helpottuisi, koska pakkausta ei tarvitsisi enää avata skannatakseen sarjanumeron sisältävän QR-koodiin. QR-koodi antaisi myös mahdollisuuden lukea lisäpalveluihin millä saataisiin tulevaisuudessa lisäarvoa asiakkaalle. Se antaa esimerkiksi asiakkaalle mahdollisuuden nähdä kyseisen tuotteen hiilijalanjäljen sekä käytettyjen komponenttien alkuperän. Se että pakkaus olisi ympäristöystävällisempi, ja se että siinä olisi QR-koodi, toisi lisäarvoa pakkaukselle.

Tarkoitus on myös kuvata nykyinen prosessi ja selvittää mitä kriteerejä pakkauksen ulkonäöllä on. Esimerkiksi miltä merkkauksella saa näyttää ja mihinkä kohtaan pahvilaatikkoa sen voi sijoittaa. Tämä sen takia että merkkauksen ulkonäkö sekä sijoitus voidaan optimoida laserille parhaiten sopivaksi.

1.3 Työn tavoitteet

Tavoite on saada nykyinen prosessi kuvailtua ja selvitettyä, jos laserin käyttö on mahdollista pakkausprosessissa. Jos laserin käyttö on mahdollista, tulisi tehdä kannattavuus arvio, ehdotus pakkaussolun layoutista laserin kanssa sekä kuvaus miltä uusi pakkausprosessi näyttäisi sekä kuvaus mitenkä tiedonkulku voitaisiin toteuttaa. Näillä tiedoilla tulisi pystyä päättämään, toteutetaanko hanke vai ei. Jos hanke päätetään toteuttaa, tulisi tässä työssä olla selvitettyä kaikki tarvittava tieto hankkeen aloittamiseksi.

1.4 Työn rajaukset

Työssä keskitytään itse lasermerkintään, kannattavuuteen, mahdollisen laserin sijoittamiseen sekä pakkausprosessin. Tarkoitus on selvittää, miten saadaan oikea tieto kulkemaan laserille ja mitä muutoksia tiedonkulussa se vaatisi. Työssä ei kuitenkaan ole tarkoitus sen enempää käsitellä MES (Manufacturing Execution System) järjestelmää, sillä se vaatisi MES järjestelmään syvää paneutumista mikä olisi liian paljon aikaa vievää. Työssä ei myöskään tulla suunnittelemaan lasermerkkaus laitetta, vaan tehdään vain suuntaa antava kuvaus, miltä laite voisi näyttää. Tämä, koska laitteen valmistaminen tullaan teettämään ulkopuolisella toimittajalla, jos hanke toteutetaan.

1.5 ABB lyhyesti

ABB sai alkunsa vuonna 1889 Strömberg nimisenä yhtiönä, joka valmisti tasavirtamoottoreita Helsingin Kampissa. 1983 Kymi-Kymmenen ja Strömberg fuusioituivat, jonka jälkeen nimeksi tuli Kymi-Strömberg. 1986 siirtyi Asealle ja vuonna 1988 syntyi ABB-yhtymä, kun Asea ja sveitsiläinen Brown Boweri yhdistyivät. Mainittavia asioita on 1990-luvulla markkinoille tullut Azipod potkurijärjestelmä laivoihin ja vuonna 2009 ABB valmisti maailman tehokkaimman vedenalaisen muuntajan. (ABB, 2023)

Tänä päivänä ABB on sähköistämiseen ja automaatioteknologiaan erikoistunut maailman laajuinen yhtiö. ABB työllistää 105000 henkilöä yli sadassa eri maassa. ABB valmistaa nykyään muun muassa komponentteja sähkönjakeluun, kytkimiä, taajuusmuuttajia, sähkömoottoreita ja robotteja. (ABB, 2023)

Suomessa ABB työllistää noin 5000 henkilöä ja toimii noin 20 paikkakunnalla. Täten ABB on yksi Suomen suurimmista teollisista työnantajista ja pääkaupunkiseudulla suurin. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäellä, Helsingin Vuosaarella, Haminassa, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB, 2023)

ABB Smart Power on kytkintuotteiden markkinajohtaja maailmassa. Smart Power Vaasan tehtaalla valmistetaan esimerkiksi kuormankytkimiä (Kuva 2), vaihtokytkimiä ja turvakytkimiä, joita käytetään muun muassa aurinko- ja varavoimaloissa sekä teollisuuden sähkönsyötön varmistamisessa. Vaasan tehdas työllistää noin 300 henkilöä ja vastaa maailmanlaajuisesti kytkintuotteiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä sekä myynnistä ja markkinoinnista ABB:llä. (ABB, 2023)



Kuva 2 ABB 200A 3p kuormankytkinmoduuli.

1.6 Dispositio

1. Johdanto

Tässä luvussa käydään läpi työn taustat, miksi työ tehdään ja mitä tavoitteita työllä on. Yhtiö kuvaillaan myös lyhyesti.

2. Esitutkimus

Tässä luvussa esitetään mistä otettiin selvää, kuten nykyisestä prosessista, ennen kuin aloitin itse laserin valinnan ja uuden prosessin suunnittelun.

3. Teoria

Tässä luvussa käydään läpi tarvittavan teorian työn suorittamiseen, esimerkiksi erilaiset laserit, kuinka laseri toimii sekä aiempia tutkimuksia pahvin merkkauksesta.

4. Menetelmä

Tässä luvussa esitetään millä menetelmillä työ ollaan suoritettu ja työnkulku kuvataan.

5. Työn lopputulos

Tässä luvussa esitetään nykyinen pakkausprosessi, pakkausprosessi laserin kanssa, minkä tyyppistä laseria tulisi käyttää ja vertaillaan laserin kahta mahdollista sijoituspaikkaa, jotta voidaan valita niistä parempi. Merkkauksen ulkonäkö ja sen paikoitus esitetään, kuten myös laserin kannattavuus sekä tiedonkulku laserille tässä luvussa.

6. Henkilökohtainen arvio ja pohdinta

Tässä luvussa kerrotaan henkilökohtainen mielipide työstä, työn laadusta ja sen tuloksesta

2 Esitutkimus

Jotta saataisiin työlle selvän suunnan ja hyvän käsityksen mitä pitää ottaa huomioon laserin valinnassa, sijoittamisessa sekä sen toiminnassa, oli tarpeellista tehdä esitutkimus. Esitutkimuksessa otettiin selvää mitä vaatimuksia tarralla ja merkkauksella on esimerkiksi sen paikoitus. Nykyistä prosessia seurattiin ja se kuvattiin yksityiskohtaisesti. Kytkimien modulaarisuudesta ja Adafosta otettiin myös selvää.

2.1 Adafo

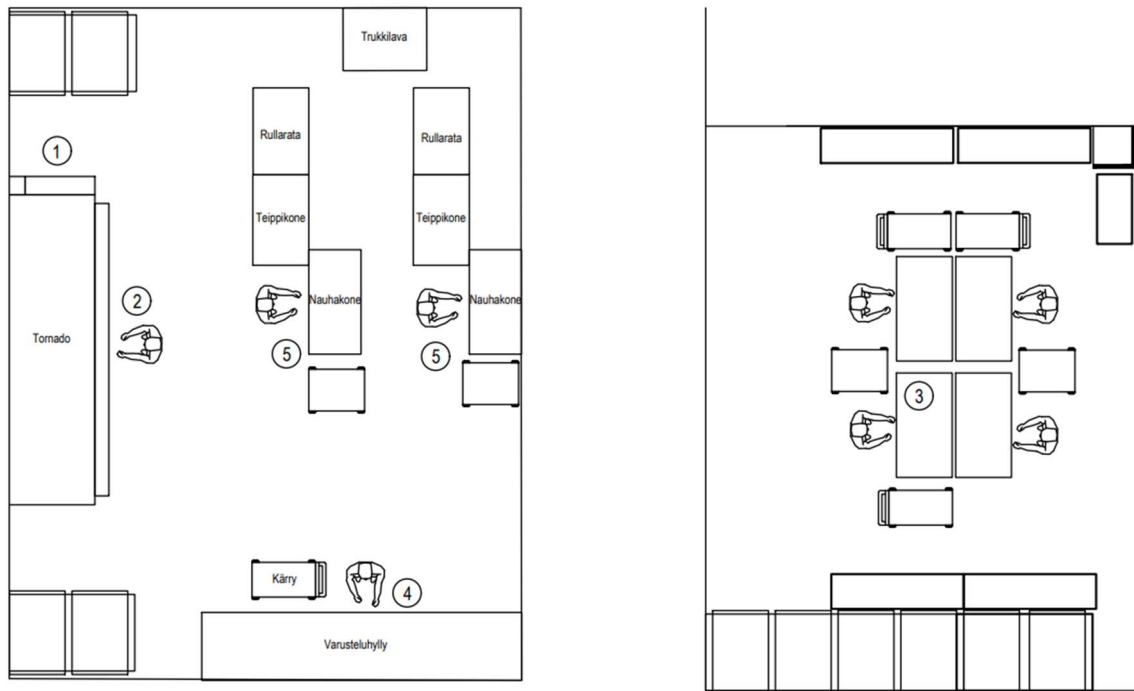
Adafo on Smart Power:in oma MES järjestelmä. Se tehtiin alun perin ABB:lle vuonna 2011. Adafo nimi on akronyymi sanoista Advanced Assembly for Operations. Adafo ohjaa tuotantoa tietokannasta löytyvän informaation, laite tilan OPC-servereillä sekä tuotanto servereillä olevien Adafo Windows palveluiden tekemien päätösten perusteella. Adafo räätälöity Smart Power:in käyttöön ja on muun muassa yhteydessä robotteihin, kuljettimiin automaatti varastoihin, testaus laitteisiin, automaattisiin kokoonpano soluihin sekä SAP:iin. Aluksi Adafo ohjasi vain automaattisia prosesseja, mutta myöhemmin Adafo:a on muokattu niin, että se ohjaa nyt koko tuotanto prosessia. Adafo on tehty käyttäen Microsoft Visual Studio:ta (Mäenpää, 2023).

2.2 Modulaarisuus

ABB:n kytkimet ovat modulaarisia. Yksittäisiä napoja voidaan yhdistää saadakseen moni napainen kytkin. Kuva 2 näyttää kolmenapaisen kytkinmoduulin. Tämä moduuli koostuu kolmesta yksittäisestä navasta ja yhdestä kahvamekanismista. Kyseisestä kytkimestä on esimerkiksi myös olemassa kaksinapainen ja nelinapainen versio, jotka eroavat vain napamäärällä ja ovat muutoin samanlaisia. Yleisesti tällaiselle kytkimelle, joka on kasattu monesta navasta, käytetään nimikettä moduuli. Moduuleille on mahdollista lisätä eri lisävarusteita. Moduuli lisävarusteiden kanssa muodostavat lopputuotteen.

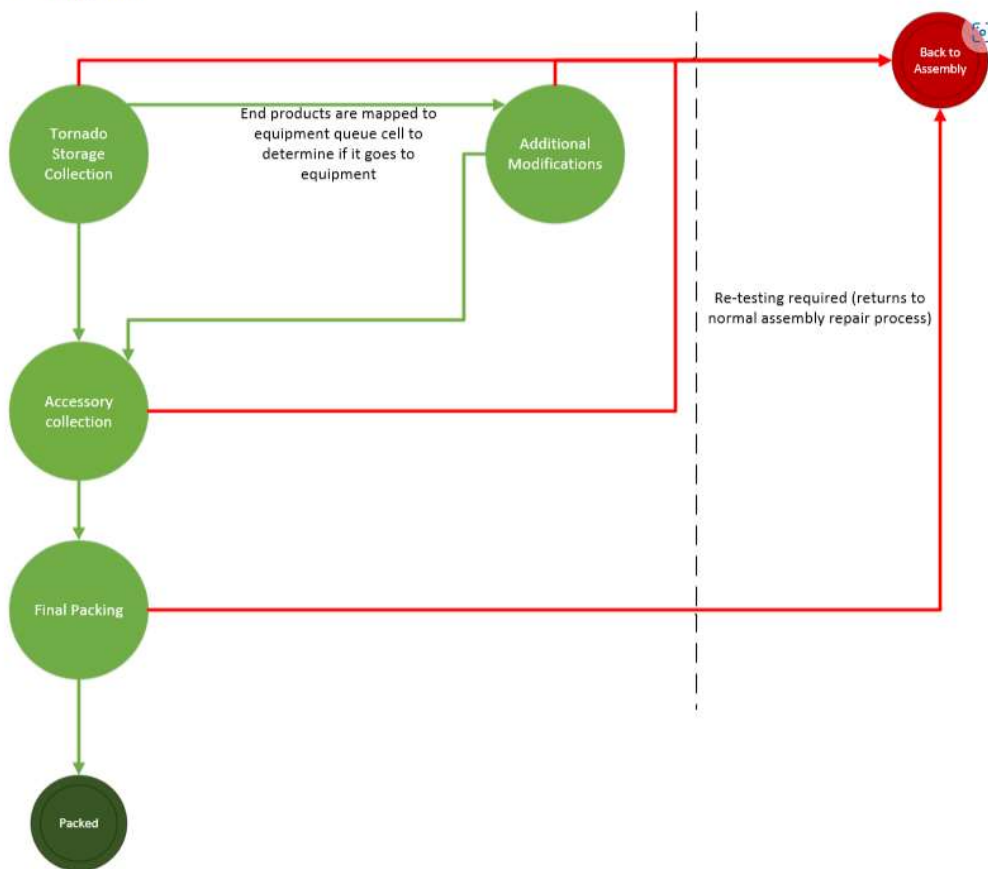
2.3 Nykyinen Prosessi

Nykyinen prosessi koostuu viidestä eri työvaiheesta, työn vastaanotosta, moduulien kerääminen niin sanotusta tornadosta, mahdollisesta erikoisvarustelusta, kytkimien lisävarustelusta ja pakkauksesta. Jos jossain työvaiheessa, kytkinmoduulissa havaitaan virhe tai puute, se lähetetään takaisin kokoonpanoon, missä virhe tai puute korjataan. Kuva 3 näyttää työvaiheiden sijainnit solussa. Kuva 4 esittää työn käsittelyn Adafon näkökulmasta. Alla käydään läpi mitä näissä eri työvaiheissa tehdään ja miten tieto liikkuu vaiheiden mukana.



Kuva 3 Nykyinen prosessi. (1) Työn vastaanotto, (2) Tornado, (3) Erikoisvarustelu, (4) Varusteluhyllly, (5) Pakkauspiste

Packing states



Kuva 4 Kuvaus työn käsittelystä Adafon näkökulmasta.

2.3.1 Työn vastaanotto

Työn vastaanottopisteellä (Kuva 5) on tietokone ja paperitulostin sekä tarratulostimia.

Tapahtuma: Työntekijä ottaa tietokoneella SAP:ista työn vastaan, jonka jälkeen tulostimet tulostavat automaattisesti työmääräyksen paperille sekä työhön kuuluvat tarrat. Työntekijä näkee työmääräyksestä minkä kokoiset pahvilaatikot kuuluvat työhön ja hakee sellaiset hyllystä ja liimaa niihin kuuluvan tarran laatikon kylkeen.

Tiedonkulku: Koko työn tiedot esimerkiksi määrä, lisävarusteet ja mikä moduuli työhön kuuluu löytyvät myös Adafosta, tässä kohtaa työntekijä vain valitsee, minkä työn tekee.



Kuva 5 Työn vastaanottopiste.

2.3.2 Tornado

Tornado (Kuva 6) on varastoautomaatti, jossa varastoidaan kytkinmoduuleja. Tornadon toisella puolella on kokoonpanolinja, mistä kytkimet tulee tornadoon. Kokoonpanon jälkeen kytkimet testataan ja hyväksytyt testin jälkeen robotti lastaa kytkinmoduulit tornadoon. Adafon tulostaa jokaiselle kytkimelle yksilöllisen sarjanumeron kokoonpanovaiheessa. Sarjanumero lukee QR-koodin tarrassa, mikä kiinnitetään moduulin kylkeen.

Tapahtuma: Työntekijä skannaa työmääräyksestä löytyvän viivakoodin, mikä sisältää tilausnumeron. Tilausnumeron perusteella Adafon tietää lopputuotteen ja siihen kuuluvan moduulin. Tämän tiedon perusteella tornado hakee esille oikean hyllyn, mistä löytyy oikeita kytkinmoduuleja. Kärryssä oleva QR-koodi skannataan ja tämän jälkeen moduulin kyljessä olevan QR-koodin, mikä sisältää sarjanumeron. Työntekijä tekee moduulille tarvittavat muutokset, esimerkiksi liimaa lisätarroja tai kiinnittää kytkinkahvan holkin. Tämän jälkeen moduuli siirretään kärrylle. Jos väärän mallinen moduuli skannataan, hälyttää Adafon siitä työntekijälle. Kun kärry on täynnä, enintään kymmenen moduulia, skannaa työntekijä tornadon kyljessä olevan QR-koodin tai painaa ”valmis” nappia tabletilla. QR-koodin skannaaminen tornadon kyljessä ja ”valmis” nappi tekee saman asian, mutta työntekijät suosivat QR-koodin skannaamista sillä se on nopeampaa. Tämän jälkeen kärry työnnetään seuraavaan pisteeseen, mikä on joko erikoisvarustelu tai varusteluhyllä riippuen työstä.

Tiedonkulku: Kun robotti lastaa kytkimiä hyllyille, niiden määrä ja sijainti päivittyy Adafon:on. Kun viivakoodi skannataan Adafon saa tietää mikä työ on kyseessä, ja näyttää sen perusteella tornadon kyljessä olevalla näytöllä työntekijälle mitä moduuleja tulee kerätä ja mitä muutoksia niihin tehdään. Kun moduuleja kerätään tornadosta, Adafon päivittää tornadon saldon. Kun kärryn QR-koodi skannataan yhdistää Adafon moduulit siihen kärryyn mihin ne on lastattu, tällä tavoin järjestys pysyy ja moduuleille tulee oikeat osat, vaikka kärryt menisivät sekaisin. Adafon kuittaa kärryn valmiiksi lastatuksi, kun työntekijä skannaa tornadon kyljessä olevan QR-koodin tai painaa ”valmis” nappia tabletilla.



Kuva 6 Pakkaussolu, tornado näkyy kuvan oikeassa reunassa.

2.3.3 Erikoisvarustelu

Erikoisvarustelupiste on työpiste, missä on työkaluja, laitteita ja varusteita, mitä erikoisvarusteluun tarvitaan. Tällaisia laitteita on muun muassa muovipussinsulkija.

Tapahtuma: Jos moduuli tarvitsee erikoisvarustelua, esimerkiksi ilmatiiviin pakkauksen, työnnetään kärry erikoisvarustelupisteelle. Työntekijä skannaa kärryn QR-koodin ja tekee tarvittavat varustelut, jonka jälkeen kärryn QR-koodi skannataan uudestaan ja kärry työnnetään varusteluhyllylle.

Tiedonkulku: Kärryn skannauksesta Adafon saa tietää kärryn sijainnin ja kun muutokset on tehty ja kärryn QR-koodi skannataan uudestaan, Adafon merkitsee ne tehdyksi myös järjestelmässä.

2.3.4 Varusteluhyllly

Varusteluhyllystä (Kuva 7) löytyy kaikki tarvittavat lisävarusteet kytkimiin. Hyllyn kyljessä on tabletti, mikä näyttää työntekijälle, mitä lisävarusteita moduulille tulee.

Tapahtuma: Työntekijä skannaa kärryn QR-koodin ja kerää hyllystä kärrylle tabletin näyttämät lisävarusteet. Jokaisen lisävarusteen lajimerkintä skannataan ja jos väärä tai liian vähän varusteita on skannattu, Adafon hälyttää tästä työntekijälle. Kun kaikki eri lisävarusteet on skannattu, työntekijä painaa tabletin näytöltä ”valmis” nappia ja työntää kärryn pakkausasteelle.

Tiedonkulku: Kun kärry skannataan, tietää Adafon, mitkä moduulit ovat kyseessä ja mitä lisävarusteita niihin tulee. Järjestelmässä Adafon lisää lisävarusteet moduuleille sen mukaan, kun ne skannataan. Kun kärry on lastattu valmiiksi ja ”valmis” nappia painetaan, merkitsee Adafon kärryn valmiiksi varustelluksi.



Kuva 7 Varusteluhyllly.

2.3.5 Pakkauspiste

Pakkauspisteellä (Kuva 8) on nauhakone, teippauskone ja tarratulostin. Pakkauspisteitä on solussa kaksi kappaletta. Kumpaakin pistettä käytetään harvoin samaan aikaan, vain silloin, jos linjalla on kiire ja työntekijöitä on samanaikaisesti monta paikalla. Toinen pakkauspiste toimii lähinnä varana, jos toisen pisteen laitteisto hajoaa.

Tapahtuma: Työntekijä skannaa kärryllä olevan moduulin ja Adafon tulostaa siihen kuuluvan QR-tarran. Tarra skannataan ja liimataan moduuliin, jonka työntekijä asettaa nauhakoneeseen, missä moduuliin kiinnitetään pahvinpala nauhalla. Tämä pahvinpala toimii holkkina niin, että moduuli pysyy paikoillaan pahvilaatikossa. Moduuli sekä siihen kuuluvat lisävarusteet laitetaan pahvilaatikkoon, joka laitetaan teippauskoneeseen. Teippauskone sulkee laatikon teipillä ja kuljettaa laatikon rullaradalle. Tämän jälkeen työntekijä skannaa teippikoneen kyljessä olevan QR-koodin tai painaa ”valmis” nappia tabletista. Rullaradalta työntekijä lastaa valmiiksi pakatut kytkimet kuormalavalle. Kun lava on valmis, työntekijä kuittaa työn valmiiksi SAP:ista ja tulostaa varastolähetteen, joka teipataan lavaan. Työntekijä tilaa tämän jälkeen automaattitrukin hakemaan lavan pois.

Tiedonkulku: Adafon vertaa tulostettua QR-koodia ja moduulin sarjanumeroa varmistaakseen, että tuote on oikea. Kun teippikoneen kyljessä oleva QR-koodi skannataan, Adafon merkitsee pakkauksen valmiiksi. Kun kärrystä on pakattu kaikki moduulit, Adafon merkitsee kärryn valmiiksi automaattisesti, jonka jälkeen se voidaan skannata taas tornadolla. Kun työ kuittataan valmiiksi SAP:issa, SAP:in saldot päivittyvät.



Kuva 8 Pakkauspiste.


2.4 Merkkaus

Nykyisessä prosessissa tarroja on erilaisia ja niitä liimataan laatikon erikohtiin riippuen tuotteesta. Tämä johtuu siitä, että joidenkin tuotteiden tarrat on päivitetty uuteen malliin ja joidenkin ei. Liimaus kohta riippuu siitä missä kohtaa laatikossa on pahvilaatikon omat merkkaukset. Jotta merkkaus prosessi helpottuisi, tulisi merkkaus olla standardisoitu, eli kaikki tarrat tulisi päivittää uuteen parannettuun malliin. Se olisi selvempi ratkaisu, jos kaikissa pakkauksissa olisi saman mallinen merkkaus ja samassa kohtaa. Näin merkkaus noudattaisi myös ABB:n laatimia vaatimuksia pakkauksille (Kuva 9).



Kuva 9 ABB:n osoittama paikka infotarralle (ABB, 2021).

Kaikki arvot eivät muutu pakkauksessa, vaan esimerkiksi merkkauksen viivat, ABB:n logo, CE-merkintä ja merkkauksen yläosassa oleva teksti ovat samat kaikille eri pakkauksille ja tuotteille. Jotta tiedonkulku saataisiin minimoitua ja tehtyä helposti, tulisi näistä staattisista tiedoista tehdä laserille valmis malli, minkä päälle lisättäisiin muuttuvat tiedot. Kuva 10 näyttää millainen malli voisi olla.

	ABB Oy P.O.Box 822 FI-65101 Vaasa Finland www.abb.com/lowvoltage
	QTY
	 UK ABB Ltd, Tower Court Coventry, CV6 5NX CA UNITED KINGDOM
MADE IN FINLAND	

Kuva 10 Merkkkaus malli.

Kuva 11 näyttää merkkauksen muuttuvat tiedot. Kuvassa eri tiedot on numeroituna ja selitteet niille löytyvät alla olevasta listasta.

1. ILA-koodi. Tämä koodi kertoo mikä lopputuotteesta ja sen varusteista. Tämä tieto löytyy Adafosta
2. Kytkimen tyyppi. Tämä tieto löytyy Adafosta
3. Selite kytkimen tyypistä. Tämä voi olla esimerkiksi vaihtokytkin. Tämä on kirjoitettu eri kielillä. Kuinka monelle kielelle tyyppi on käännetty, eroaa tapauskohtaisesti. Jotta tämä saataisiin toimimaan parhaiten laserilla, pitäisi päättää kuinka monella kielellä halutaan kirjoittaa tyyppi. Tämän voisi esimerkiksi toteuttaa tekemällä tälle tiedolle tietokannan, missä eri selitykset ja niiden käännökset ovat valmiina. Oikea tyyppi, minkä perusteella oikeat käännökset haettaisiin, löytyy Adafosta.
4. Selite napojen märästä sekä virtaluokasta. Tämä tieto löytyy Adafosta.
5. Tuotteen EAN-koodi. Tämä tieto löytyy Adafosta.
6. Kappalemäärä. Löytyy Adafosta
7. Moduulin sarjanumero. Tämä tieto löytyy Adafosta sillä jokaisen kytkimen sarjanumero skannataan keräilyvaiheessa. Jotta oikea QR-koodi tulisi oikeaan laatikkoon, pitäisi järjestys kärryllä pysyä samana keräilyvaiheesta pakkaukseen asti. Toinen mahdollisuus olisi, että oikea QR-koodi saataisiin siitä, kun QR-koodi skannataan uudestaan ennen pakkausvaihetta. Tämä QR-koodi on sama kuin itse moduulissa, joten skannattu koodi pitäisi vain kopioida merkkaukseen. QR-koodia ei nykyisessä tarrassa ole, joten tämä paikoitus on vain ehdotus.
8. Kytkimen tyyppi. Löytyy Adafosta
9. Aikaleima joka kertoo koska tuote on pakattu. Aikaleiman voisi toteuttaa laserin omalla aikaleimalla.



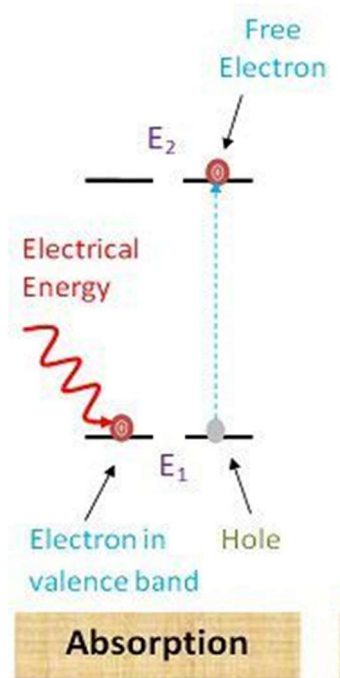
Kuva 11 Merkkäus muuttuvilla tiedoilla.

3 Teoria

Teoria kappaleessa käsittelee teoriaa sekä aikaisempia tutkimuksia, johon lopputyö perustuu. Kappaleessa esitetään, mitenkä lasermerkintä toimii ja kolme tavallisinta laser tyyppiä, mitä teollisuudessa käytetään.

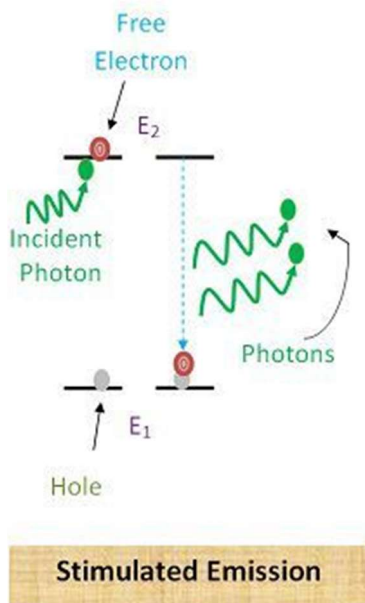
3.1 Laser

Laser, tulee sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ja laser sanaa käytetään nimikkeenä laitteelle, millä tehdään valoa, missä kaikki valoaalot (sähkömagneettista säteilyä) ovat saman pituisia ja värähtelevät samassa suunnassa ja samalla taajuudella eli koherenttia valoa. Tällainen säteily on mahdollista stimuloitun emission avulla (Wikipedia, 2023). Jotta stimuloitu emissio saadaan aikaiseksi, käytetään laseroivaa väliainetta. Tällainen aine voi olla esimerkiksi hiilidioksidi. Laseroivan väliaineen atomin elektroni nostetaan ylemmälle vireystilaan syöttämällä energiaa sähkö muodossa elektroniin. Tätä kutsutaan pumppaamiseksi (National Ignition Facility & Photon Science, 2023) (Kuva 12).



Kuva 12 Laser aineen pumppaaminen (Electronicscoach, 2023).

Pumppaamisen jälkeen väliaineen elektroneja stimuloidaan valolla tai muulla energianlähteellä, mikä johtaa siihen, että korkeammassa vireystilassa oleva elektroni palaa niin sanottuun perustilaan. Kun elektroni palaa perustilaan, pumppaus vaiheessa lisätty energia emittoituu fotonin muodossa (Kuva 13). Koska fotonin energia määräytyy kaava 1 mukaan, tulee tämän emittoitun laservalon aallonpituus riippumaan siitä, kuinka paljon energiaa purkautuu. Purkautuva energiamäärä on sama kuin aineen vireystilojen energianero ja koska eri aineiden vireystilojen energiaerot ovat eri kokoisia, tulee jokaisella aineella olemaan oma emittointi aallonpituus (National Ignition Facility & Photon Science, 2023).



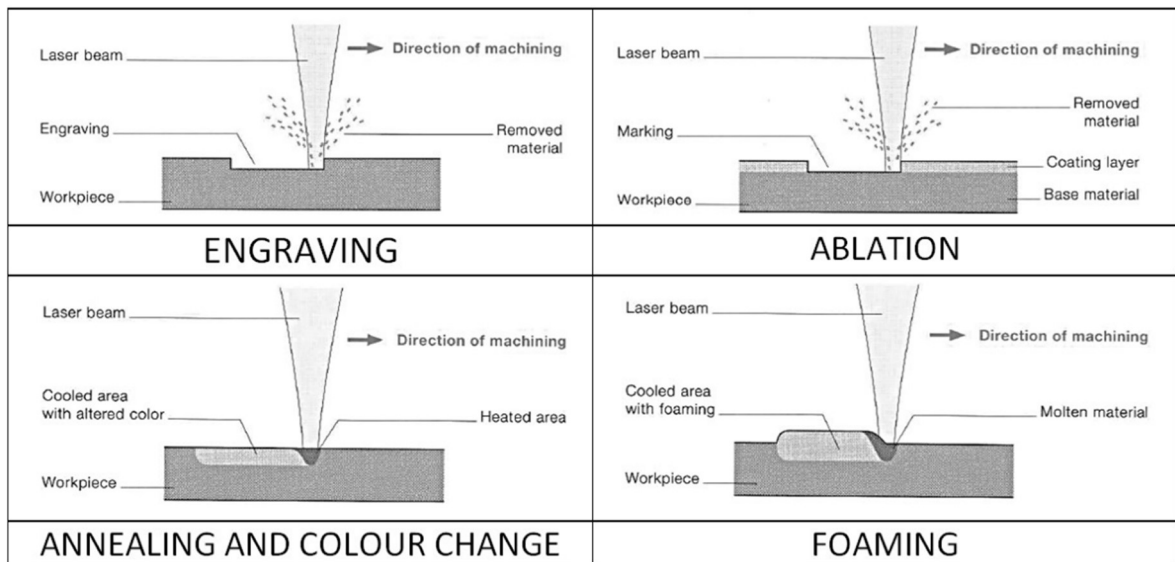
Kuva 13 Stimuloitu emittointi (Electronicscoach, 2023).

$E = \frac{hc}{\lambda}$	Kaava 1. Fotonin energia.
--------------------------	---------------------------

3.2 Lasermerkintä

Lasermerkinnässä tehokas, koherentti lasersäde kohdistetaan pintaan mihin halutaan tehdä merkintä. Lasersäteen energia reagoi materiaalin pintaan ja jättää siihen pysyvän jäljen. Jäljen laatu riippuu muun muassa laserin tehosta, aaltopituudesta, taajuudesta, nopeudesta ja laserin fokuksesta. (LaserAX, 2023)

Lasermerkinnässä käytetään neljää eri tapaa (Kuva 14) tehdä jälki merkattavaan materiaaliin. Kaivertaminen (Engraving), ablaatio (Ablation), hehkutus ja värinmuutos (Annealing and color change) ja vaahdotus ja etsaus (Foaming, ja Etching). (Badida, 2017)



Kuva 14 Eri lasermerkintätavat (Badida, 2017).

3.2.1 Kaivertaminen

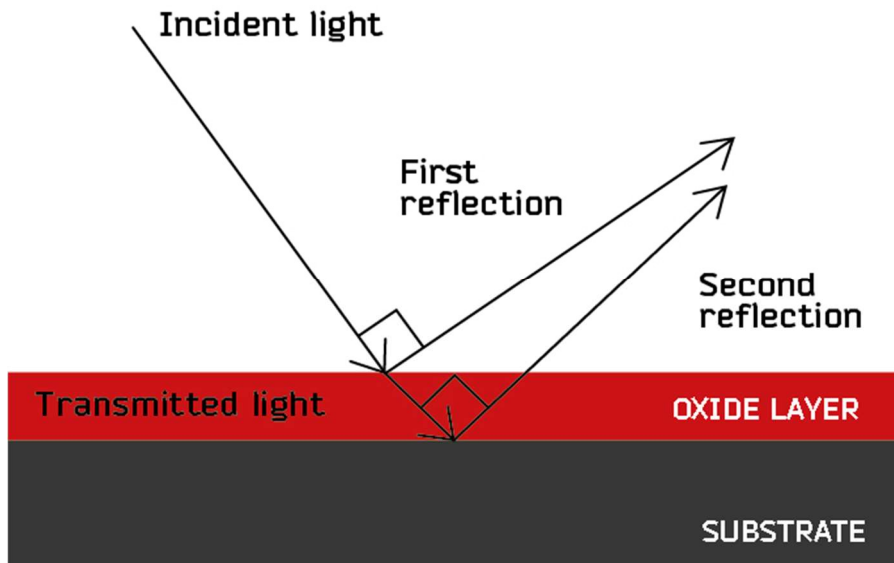
Kaivertamisessa rikotaan osa materiaalista pölyksi laserin avulla. Tämä jättää syvän jäljen materiaaliin. Kaiverrusta käytetään paikoissa, joissa merkkkaus altistuu kulumiselle tai jonkinlaiselle jälkikäsittelylle esimerkiksi hiekkapuhallukselle tai maalaukselle, mutta täytyy silti olla luettavissa (Kuva 14). (LaserAX, 2023) Kaiverruksen jälki on metalleissa maksimissaan 0,508 mm, mutta esimerkiksi grafiitissa jälki voi olla jopa 3,175 mm (Tykma Electrox, 2023).

3.2.2 Ablatio

Laser ablaatioissa materiaalista poistetaan pinnoite, joka voi esimerkiksi olla maalikerros tai anodisoitu pinta. Ablatio on sama asia kuin laser puhdistus, mutta tarkoituksena ei ole puhdistaa vaan tehdä merkkkaus. Tämä on usein nopein merkkkaus tapa, mutta vaatii materiaalin esikäsittelyn (Kuva 14). (LaserAX, 2023)

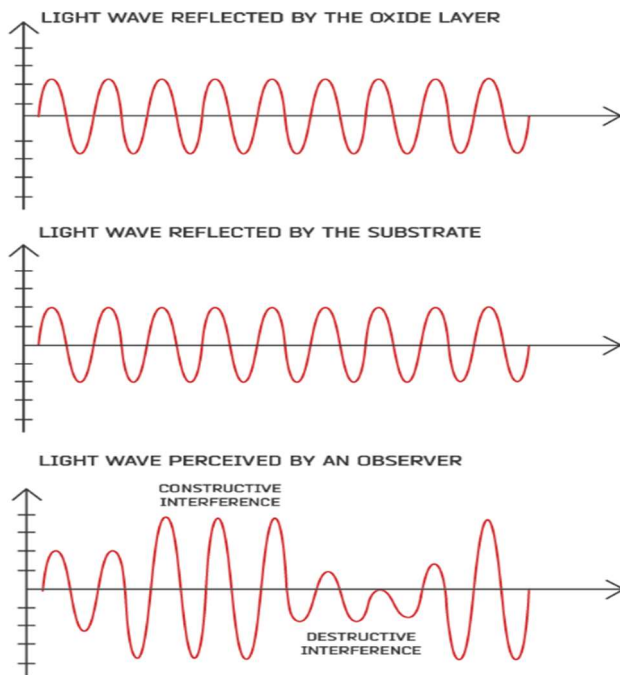
3.2.3 Hehkutus ja värinmuutos

Hehkutus ja värinmuutos menetelmässä materiaalin oksidipinta hehkutetaan kuumaksi. Hehkutettu materiaali reagoi ilman hapen kanssa ja muodostaa ohuen oksidipinnan materiaalin uloimmaksi kerrokseksi (Kuva 14). Valo heijastuu sekä oksidipinnasta, että perusmateriaalin ja oksidipinnan rajavyöhykkeestä (Kuva 15).



Kuva 15 Valon takaisin heijastuminen (LaserAX, 2023).

Nämä takaisinheijastukset eivät enää ole tahdissa ja niiden aaltopituudet ovat muuttuneet. Yhdessä nämä takaisin heijastuvat aallot voivat näyttää eri väriseltä kuin alkuperäinen valo. Tämä johtuu siitä, että takaisin heijastuneet sähkömagneettiset aallot voivat joko vahvistaa tai heikentää toisiansa (Kuva 16).



Kuva 16 Takaisin heijastuneet sähkömagneettiset aallot erikseen ja yhdessä (LaserAX, 2023).

Tätä menetelmää voidaan vain käyttää tiettyihin materiaaleihin kuten titaaniin, teräkseen ja ruostumattomaan teräkseen (LaserAX, 2023).

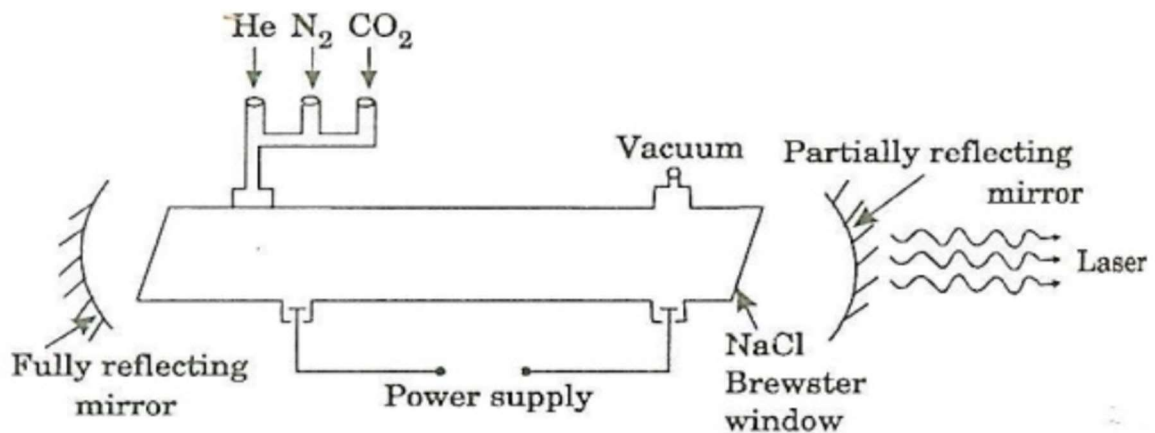
Värimuutoksessa kyse on myös kyse kemiallisesta reaktiosta, mutta sen sijaan että valo muuttaa aaltopituutta heijastumalla eri pinnoista, tulee värin muutos esimerkiksi siitä, että lämmityksessä tapahtunut kemiallinen reaktio muuttaa aineen väriä. Tällainen reaktio voi olla esimerkiksi, että lämmityksessä on vapautunut kaasuja, kuten vetyä ja happea. Tämä kaasu purkautuminen jättää jälkeensä korkeamman hiilipitoisuuden, joka näyttää tummemmalta. Tämä tummennus tunnetaan nimellä hiiltyminen (Telesis, 2023).

3.2.4 Vaahdotus ja etsaus

Vaahdotuksen ja etsauksen toimintaperiaate on sama, mutta etsaus nimeä käytetään, kun kyseessä on metalli, ja silloin ei muodostu kuplia aineeseen (LaserAX, 2023) ja vaahdotus nimeä käytetään, kun kyseessä on esimerkiksi erin laiset muovit ja tällöin muodostuu kuplia aineeseen (AMADA weld tech, 2023). Laserilla sulatetaan materiaali, jonka seurauksena sulatettu alue kohoaa. Jäljen syvyys on yleensä alle 0,025 mm (Kuva 14) (Tykma Electrox, 2023)

3.3 CO₂ Laseri

Hiilidioksidi laserissa aktiivisena väliaineena toimii hiilidioksidiseos. CO₂ Laser koostuu putkesta, mikä on täytetty kaasuseoksella. Tätä putkea kutsutaan optiseksi resonaattoriksi (Kuva 17).



Kuva 17 CO₂ laserin optinen resonaattori (Brainkart.com, 2023).

Tähän kaasuseokseen syötetään virtaa, mikä saa väliaineen pumppauksen aikaiseksi. Tyypillisessä kaasuseoksessa on 1–9 % hiilidioksidia mikä toimii aktiivisena väliaineena ja emittoi laser valoa. Tyypeä on 13–35 % (Kujanpää, Salminen, Vihinen, & (yhdistys), 2005) ja se toimii eräänlaisena energian välittäjänä. Sähköenergia nostaa typen elektronin korkeampaan vireystilaan ja typpiatomien törmätessä hiilidioksidiatomiin, typpeen lisätty energia siirtyy hiilidioksidiatomiin, joka nostaa vuorokseen hiilidioksidin elektronin korkeampaan vireystilaan ja typen elektroni palaa perustilaan. Kun populaatioinversio on saavutettu, voi spontaanisesti emittoitunut fotoni, eli kun elektroni palaa itseksensä alempaan vireystilaan ilman ulkopuolista stimulanttia, aloittaa lasertoiminnan putkessa stimuloimalla muita ylemmällä vireystasolla olevia elektroneja, joka saa aikaseksi ketjureaktion. Elektronin vireystaso siirtymismahdollisuuksia on kaksi. Siirtymä voi tapahtua vireystaso viideltä (E₅) neljännelle tasolle (E₄) jolloin lasersäteiden aallonpituus on 10600 nm. Jos siirtymä tapahtuu E₅ tasolle E₃ tulee aallonpituus olemaan 9600 nm. (Brainkart.com, 2023). Heliumia kaasuseoksessa on eniten, 60–85 %. Kaasua kierrätetään lämmönvaihtimen läpi ja helium johtaa hyvin pois lasertoiminnassa syntyneen lämmön lämmönvaihtimeen, ilman että se vaikuttaa itse lasertoimintaan (Kujanpää, Salminen, Vihinen, & (yhdistys), 2005).

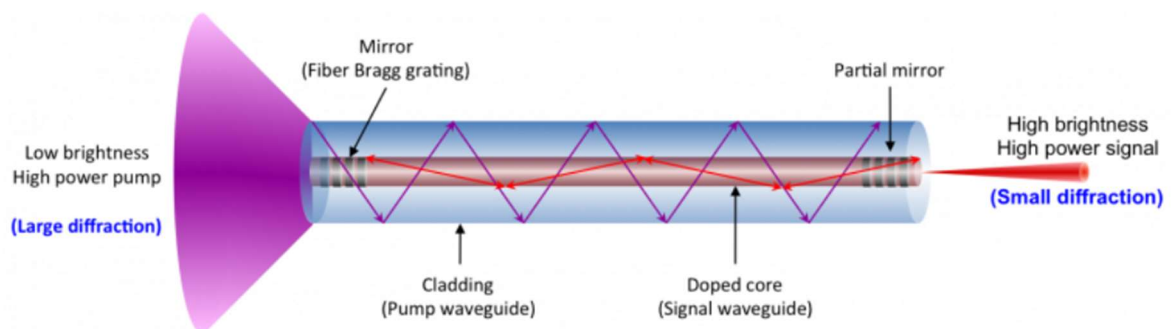
Putken päässä on peili, mikä ohjaa valon yhteen suuntaan ja toisessa päässä puoliläpäiseväpeili, mikä johtaa laservalon ulos putkesta. Ennen peiliä on kuitenkin natriumkloridi Brewster-ikkuna (Brainkart.com, 2023). Brewster-ikkuna päästää säteen P-polarisaatiokomponentin kulkemaan häviöttömästi läpi ja muu valo heijastuu takaisin ikkunasta. Brewster-ikkunaa käytetään usein laseroinnissa (bj-laseri, 2023).

CO₂ lasereita käytetään usein paperin, muovin, lasin ja keraamien merkkäamiseen. Tehokkaimpia malleja käytetään myös laserleikkaamiseen (Keyence, 2023).

3.4 Kuitu Laseri

Kuitulaserissa käytetään valokuitua, minkä ytimeen on seostettu niin sanottu harvinainen-maa elementti. Tämä elementti on alkuaine ja toimii kuitulaserin väliaineena. Kuitulaserin aallonpituus riippuu, mitä elementtiä on käytetty. Tavallisia elementtejä ja niiden emittoitua aaltopituudet ovat neodyymi (780-1100 nm), ytterbium (100-1100 nm), praseodyymi (1300 nm), erbium (1460-1640 nm), tulium (1900-2500 nm), holmium (2025-2200 nm) ja dysprosium (2600-3400 nm).

Kuitulaserissa käytetään sähköä energianlähteenä. Tämä energia muutetaan valoksi niin sanotuilla pumppu laser diodeilla. Laadukkaat diodit tuottavat valoa vain yhdellä, halutulla aaltopituudella. Tämä diodeilta tuleva valo johdetaan jokaiselta yksittäiseltä diodilta yhdeksi voimakkaammaksi valo säteeksi. Tämä säde johdetaan optiseen kuituun, joka koostuu ytimestä, mihin on seostettu väliaine, ja verhouksesta (Kuva 18).



Kuva 18 Kuitulaserin toimintaperiaate (Fractory, 2023).

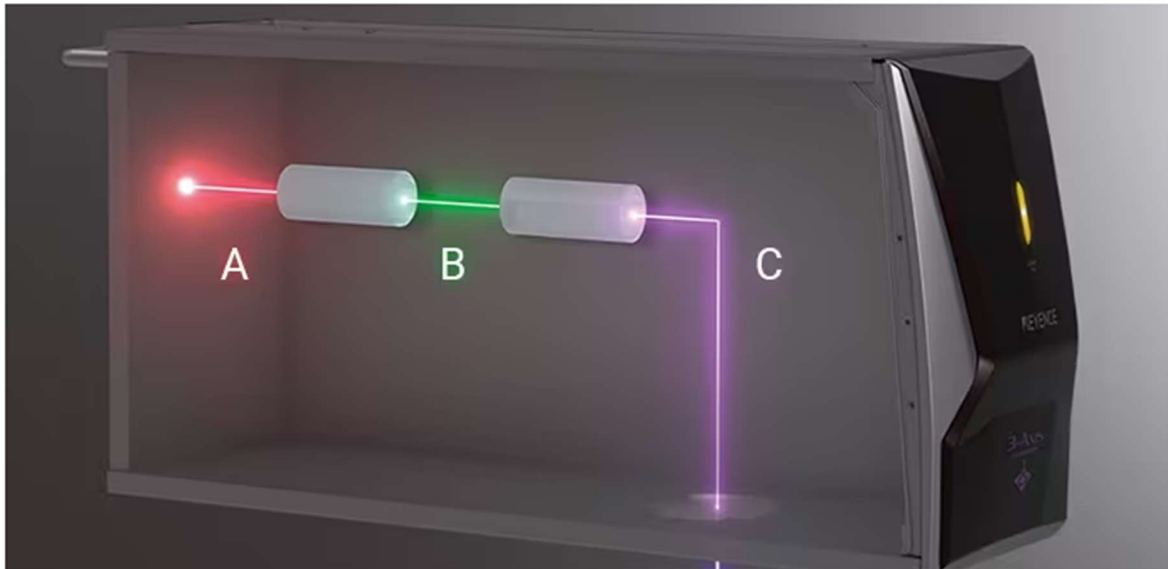
Kun valo osuu verhoukseen, heijastuu se takasin ytimeen. Tämä valo tulee osumaan seostettuun osaan kuidusta. Tätä osaa tunnetaan nimellä laserontelo. Ytimen väliaineeseen osunut valo nostaa elektronit korkeampaan vireystilaan. Populaatioinversio saavutettua jokin näistä elektroneista palaa perustilaan ja emittoi fotonin. Tämä aloittaa kuidussa lasertapahtuma. Tämä valo vahvistetaan FBG:llä (Fibre Bragg Gratings), joita on sijoitettu koko kuidun mitalle. Nämä päästävät tietyn aaltopituuden läpi, joka muodostaa lasersäteen, ja muu valo jää heijastumaan edes takaisin FBG:n väliin (Fractory, 2023).

Kuitulasereita käytetään muun muassa metallien, muovien ja keraamien merkkäamiseen. Kuitulaseri on tehokas ja nopea. Kooltaan kuitulaseri on pienin verrattuna muihin laser tyyppeihin (Keyence, 2023).

3.5 UV Laseri

UV lasereita on kahta eri tyyppiä ja ne luokitellaan sen mukaan, miten lasersäde muodostetaan. Ensimmäinen tapa on excimer-laser menetelmä. Tämä menetelmä on sama kuin CO₂ laseri, mutta väliaine on toinen (gentec-eo, 2023). Tavallisimmat välieineet ja niiden emittoituvat aaltopituudet ovat fluori (157 nm), argon fluoridi (193 nm), krypton fluoridi (248 nm), ksenon bromidi (252 nm), ksenon kloridi (308 nm) ja ksenon fluoridi (351 nm) (rp-photonics, 2023).

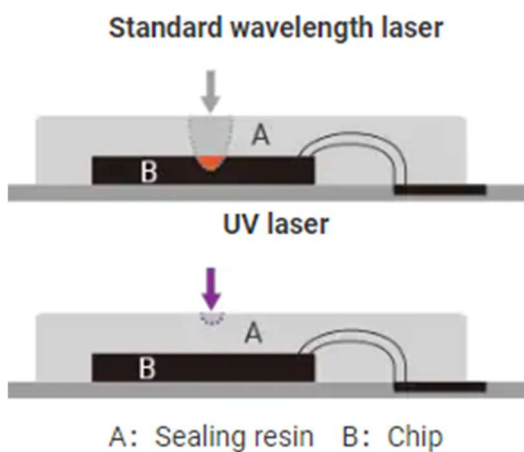
Toinen tapa on käyttää taajuutta muuttavia kristalleja. Tällöin on mahdollista käyttää esimerkiksi kuitulaseria ja muuttaa sen tuottaman lasersäteen aallon pituutta, muuttamalla taajuutta. Tavallinen tapa on käyttää YAG kuitulaseria (1064 nm) ja johtaa sen tuottama säde kahden kristallin läpi saadakseen aallonpituudesta 355 nm (Kuva 19) (gentec-eo, 2023).



A: 1064 nm standard wavelength B: 532 nm green wavelength C: 355 nm UV wavelength

Kuva 19 UV laseri, missä hyödynnetään taajutta muuttavia kristalleja (Keynce, 2023).

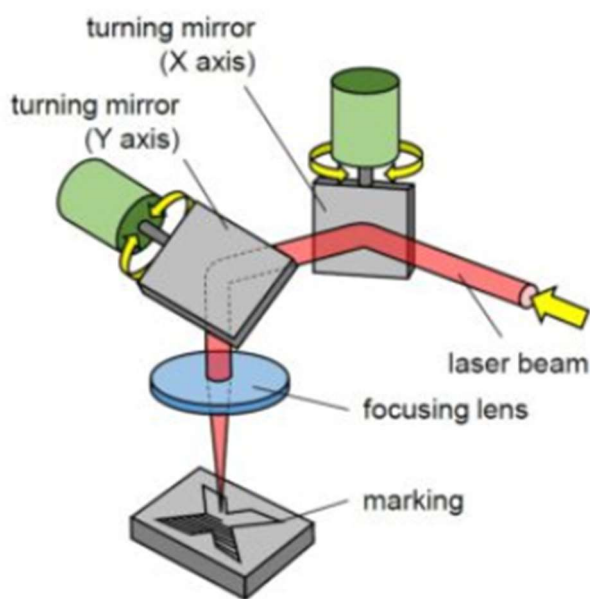
UV valo absorboituu erittäin hyvin melkein kaikkiin metalleihin. Tämän minimoi työkappaleen vaurioitumisen. UV lasereita käytetään esimerkiksi elektroniikan merkkäamisessä koska UV laserilla energiaa ei johdu yhtä syväälle kuin muilla lasereilla, joka voisi tuhota herkkiä komponentteja (Kuva 20) (Keynce, 2023).



Kuva 20 Elektroniikan merkkäminen UV laserilla (Keynce, 2023).

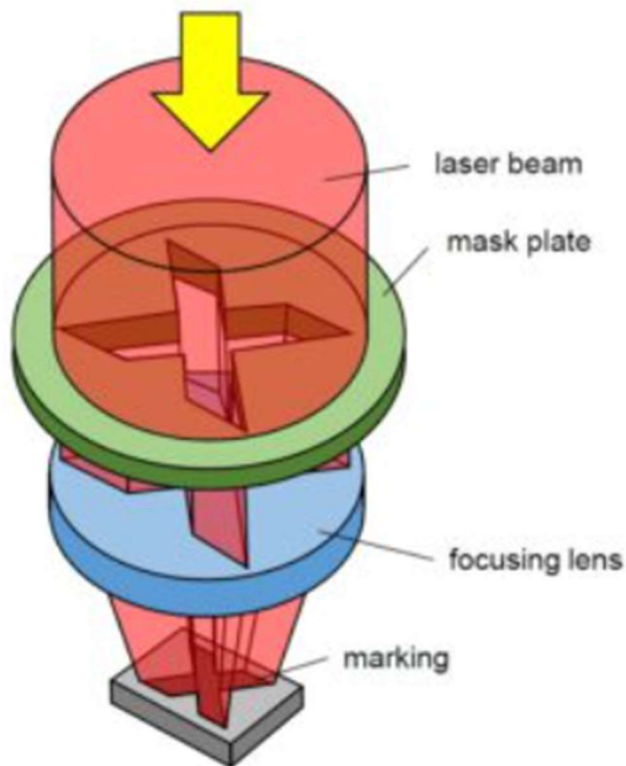
3.6 Lasersäteen ohjaus ja pulsaatio

Saadakseen merkkkaus toivotun muotoiseksi, käytetään kahta eri tapaa. Ensimmäinen ja tavallisempi tapa on käyttää skannausoptiikkaa. Lasersädettä ohjataan X ja Y peilillä haluttuun paikkaan ennen tarkennuslinssiä (Kuva 21). Näillä peileillä on mahdollista siirtää lasersädettä monta metriä sekunnissa työkappaleen pinnalla. Tämä tapa on erittäin joustava, sillä riittää että muuttaa ohjelmaa, mikä ohjaa peilejä saadakseen erilainen merkkkaus (Ionix, 2023).



Kuva 21 Merkkaaminen skannausoptiikalla (Ionix, 2023).

Toinen tapa on käyttää maskioptiikkaa. Lasersäde ohjataan niin sanotun maskin läpi, joka päästää läpi halutun muotoisen säteen. Tämä säde menee tarkennuslinssin läpi ja osuu työkappaleelle peilikuvana maskin muodosta (Kuva 22). Tämä tapa on erittäin nopea ja käytetään esimerkiksi liikkuvien työkappaleiden merkkamiseen, mutta saadakseen erilainen merkkkaus, pitää koko maski vaihtaa (Ionix, 2023).

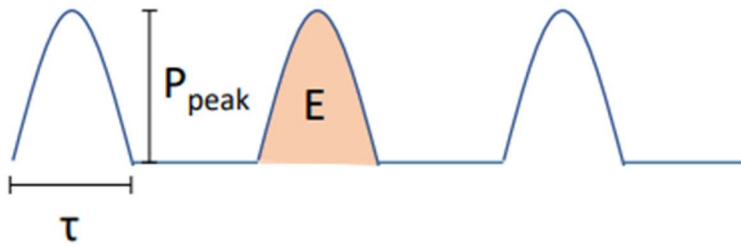


Kuva 22 Merkkaaminen maskioptiikalla (Ionix, 2023).

Lasersädetä voidaan myös pulsoida. Tämä tarkoittaa sitä, että jatkuvan säteen (Kuva 23) sijaan lasersäde on pulssi muodossa (Kuva 24). Pulssin kuvaamiseksi käytetään eri termejä, P_{peak} kertoo huipputehon, τ kertoo pulssin keston, E kertoo pulssin energian ja f kertoo taajuuden, eli kuinka monta pulssia on sekunnissa. Eri taajuuksilla saadaan aikaiseksi erilaiset merkkaukset. Pulssilaserit tarjoavat paremman lämmitysnopeuden ja pienemmän lämpövaikutusalueen (Laserax, 2023).



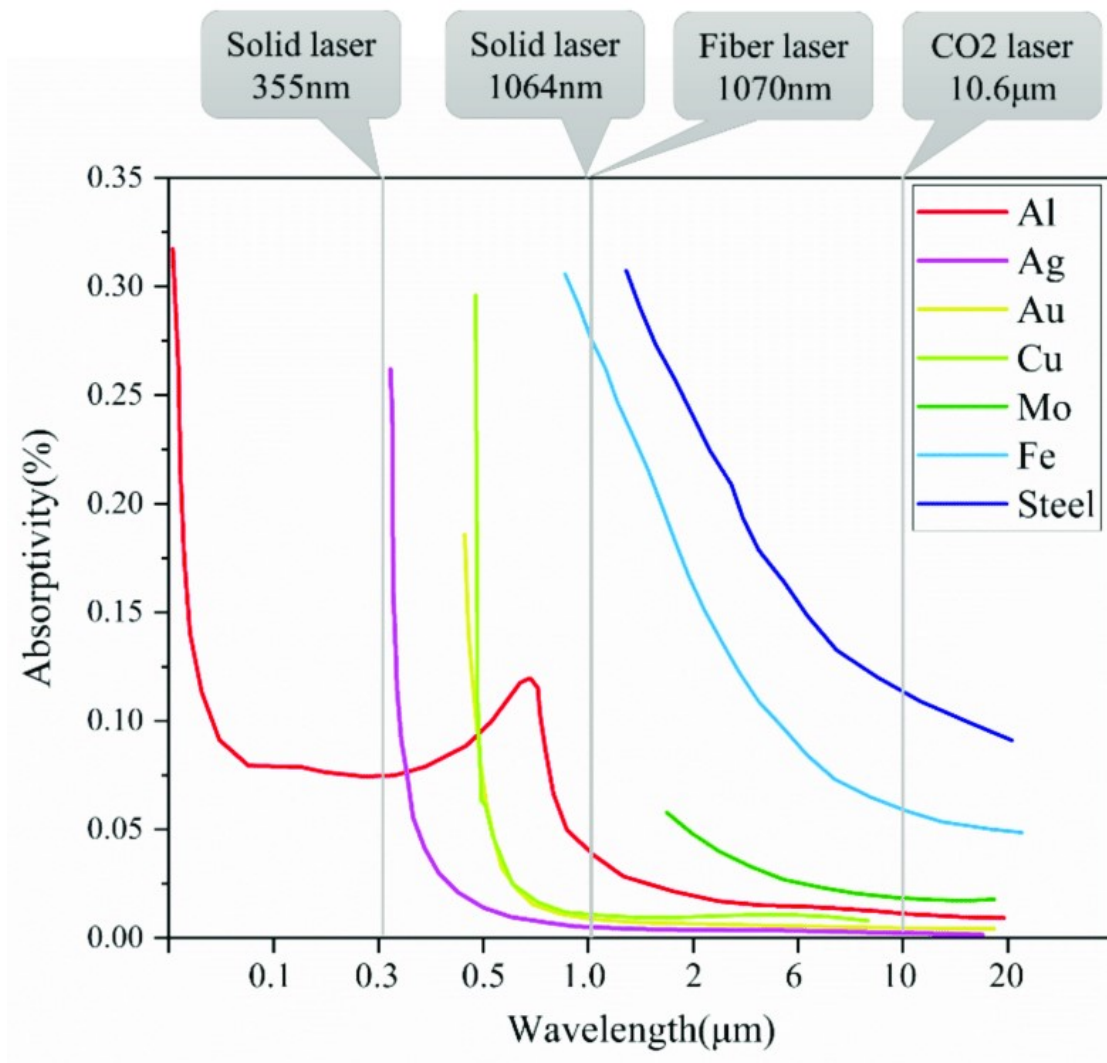
Kuva 23 Kuvaus jatkuvasta laser säteestä (Cajo, 2023).



Kuva 24 Kuvaus pulssilaserin lasersäteestä (Cajo, 2023).

3.7 Eri materiaalien merkkaus

Laser merkkauksessa on tärkeää valita oikea laseri sille materiaalille mihin merkkaus tulee. Eri materiaalit absorboivat ja heijastaa eri aallon pituuksia erin lailla (Kuva 25). Täten sitä enemmän materiaali absorboi lasersädettä, sitä enemmän energiaa välittyy työkappaleeseen, eli haluttuun määränpähän sillä tällä energialla saadaan merkkaus aikaiseksi. Jotkin materiaalit heijastavat tietyt aaltopituudet kokonaan ja esimerkiksi laseja on vaikea merkata sillä suurin osa aallon pituuksista, läpäisee lasin. Tämän takia joitakin materiaaleja ei voi merkata lainkaan joillakin lasereilla (Endurancelaser, 2023).



Kuva 25 Eri materiaalien absorbointi aaltopituudet (ResearchGate, 2023).

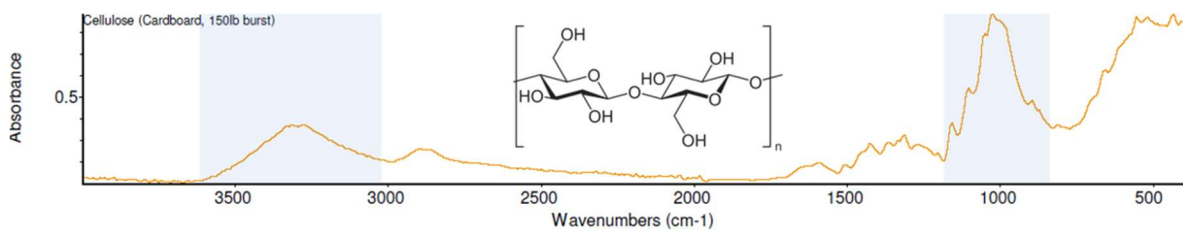
Eri materiaalien lasermerkkaamista on tutkittu paljon. Suurin osa tutkimuksista ja kokeiluista on tehty laser valmistajien toimesta, ja he ovat tulleet samoihin tuloksiin. Kuva 26 näyttää Keyence nimisen valmistajan testien lopputuloksen. Tulos osoittaa, että CO₂ laseri on ideaalinen pahvin, puun, keraamien sekä läpinäkyvien materiaalien merkkaamiseen (Keyence, 2023).

	Fiber laser	CO2 laser	UV laser
Metal (iron)	✓	X	X
Metal (copper)	X	X	✓
Resin (PE)	✓	X	✓
Cartons	X	✓	✓
Transparent targets	X	✓	X
Pouches	X	X	✓

✓ ... High visibility
X ... Low visibility

Kuva 26 Keyence tulokset eri materiaalien merkkauksesta eri lasereilla (Keyence, 2023).

Pahvi valmistetaan sellusta ja eri lisäaineilla saadaan pahville eri ominaisuuksia esimerkiksi eri värejä, kestävyksiä ja pintoja. Valmiissa pahvissa on 70–80 % sellua (Knowpap, 2023). Tämän takia pahvi absorboi valoa samalla tavalla kuin sellu. Sellu absorboi parhaiten pitkiä aaltopituuksia (Kuva 27), noin 1000 cm⁻¹, eli 10000 nm aallonpituista valoa (maplaboratory, 2023).



Kuva 27 Sellun absorbanssi spektri (maplaboratory, 2023).

3.8 Pahvin merkkäminen

Pahvia merkataan paljon teollisuudessa ja aihetta on tutkittu paljon. Keyencen koemerkkaukset pahviin näkyvät alla (Kuva 28). Kuvista nähdään, että kuitulaserilla ei saada näkyvää jälkeä aikaseksi. CO₂ sekä UV-laserilla saadaan näkyvä jälki, joista CO₂ jälki on paremmin erottuva taustasta. (Keyence, 2023).

Fiber Laser



CO₂ Laser



UV Laser



Kuva 28 Keyencen suorittamat koemerkkaukset valkoiseen pahviin (Keyence, 2023).

3.9 Laserluokat

Laserit jaetaan eri turvallisuusluokkiin riippuen niiden valon aallonpituudesta, valotyypistä ja tehosta. Luokat ovat vaarattomimmasta vaarallisimpaan 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Luokka 1 laserit ovat käytännössä vaarattomia ja luokan 4 laserit voivat aiheuttaa pysyviä vammoja (Stuk, 2023).

3.9.1 Luokka 1

UV, näkyvä, IR. Aina turvallinen normaalikäytössä.

3.9.2 Luokka 1M

UV, näkyvän ja IR aallonpituuksilla, enintään 500 mW säteilyteho ja säteily ei ole silmille vaarallinen koska säde hajooa voimakkaasti tai sitä on levitetty optisesti.

3.9.3 Luokka 1C

Suunniteltu silmille turvalliseksi, mutta voi aiheuttaa ihovaurioita.

3.9.4 Luokka 2

Enintään 1 mW säteilyteho, näkyvän valon aallonpituus (400-700 nm), pitkä altistus voi aiheuttaa silmävamman (yli 0,25 s, Silmän reaktioaika). Viivakoodinlukija on esimerkiksi tässä luokassa.

3.9.5 Luokka 2M

Näkyvän valon aallonpituus, enintään 500 mW säteilyteho, hajoava säde samanlailla kuin 1M luokassa, pitkä altistus voi aiheuttaa silmävamman.

3.9.6 Luokka 3R

Samanlainen luokkien 1 ja 2 kanssa, mutta viisinkertainen tehoraja. Hetkellinen silmien altistuminen on vaaraton, vaikka silmän altistuksen enimmäisarvot ylittyvät. Esimerkiksi rakentamisessa käytetyt mitta laserit kuuluvat tähän luokkaan.

3.9.7 Luokka 3B

Laserit, joiden emissiorajat ylittävät 3R-rajat. Enintään 500 mW säteilyteho jatkuvalla säteellä. Suora ja heijastuneet säteet voivat aiheuttaa silmävammoja. Voi aiheuttaa ihovaurioita.

3.9.8 Luokka 4

Laserit, jotka ylittävät kaikkien muiden laserluokkien rajat. Aiheuttaa ihovaurioita ja myös hajallaan oleva säteily ja heijastunut säteily on haitallista silmille. Merkintälaser kuuluu tähän luokkaan. (Stuk, 2023)

3.10 SAP

SAP on ERP (Enterprise Resource Planning) järjestelmä eli toiminnanohjausjärjestelmä. SAP:in tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu muun muassa toimitusketjun hallinta, huoltojen suunnittelu, varaston hallinta, kauppojen ja myyntien käsittely sekä yhtiön talouden hallinta (SAP, 2023).

4 Menetelmät ja työnkulku

Tässä luvussa kerrotaan mitä menetelmiä on käytetty työn suorittamiseen ja kuvaus työnkulusta.

4.1 Prosessin seuraaminen

Seuraamalla itse pakkausprosessia, tekemällä muistiinpanoja sekä työntekijöitä haastatteleamalla, saa hyvän kokonaiskuvan pakkausprosessista, mikä on tärkeää saadakseen hyvän lopputuloksen. Työntekijöitä haastatteleamalla sai tietää tarkalleen mitä prosessissa tapahtuu, nykyisen prosessin ongelmakohdat ja ehdotuksia, mitä voisi tehdä toisin mahdollisessa uudessa prosessissa. Myös mahdollisista muutoksista keskusteltiin, esimerkiksi mitenkä laitteita voisi siirtää solun sisällä. Työntekijöiden mielipide on tärkeä, sillä se on he, jotka tietävät parhaiten mitenkä prosessi oikeasti toimii ja mikä toimisi ja mikä ei toimisi uudessa prosessissa. Vaikka on ohjeita mitenkä jokin, asia tulee tehdä, voidaan se tehdä työntekijöiden toimesta hieman toisin, koska heillä on omasta mielestä nopeampi ja helpompi tapa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että tämä käyttäjien tapa olisi aina oikein. Joissain tapauksissa tällainen toiminta voi johtaa muihin ongelmiin. Tällaiset kohdat tulee käydä tarkemmin läpi, sillä ideaalisesti ohjeistettu tapa pitäisi olla paras tapa tehdä asiat, eikä ohjeistuksesta poikkeava, työntekijöiden kehittämä tapa

4.2 Henkilökohtainen kommunikaatio

Juttelemalla tuotannonkehitys tiimin kanssa saatiin tietää mitenkä prosessi tulisi oikeasti toimia ja tiedon siitä mitä prosessissa tapahtuu, mitä työntekijä ei näe, esimerkiksi tiedonkulun SAP:issa ja Adafos:ssa.

Tieto hinnoista ja tarkemmat tiedot itse lasereista saatiin sähköpostitse eri laservalmistajilta. Eniten kommunikointia oli Cajo lasereiden myyjän kanssa, jolla on muita vastaavia projekteja työn alla ABB:llä. Hän oli monta kertaa paikan päällä ja pystyi neuvomaan tarkemmin mitä asioita tulee huomioida laserlaitteen sijoittamisessa sekä valinnassa.

4.3 Kokouksia

Kokouksia oli eri laservalmistajien sekä ABB henkilökunnan kanssa. Laservalmistajien kanssa käytiin läpi, millainen pakkausprosessi on, pakkausmateriaali ja vaatimukset laserille esimerkiksi nopeus. Näiden tietojen perusteella valmistajat pystyi tarjoamaan oikeanlaista laseria. ABB:n henkilökunnan kanssa käytiin läpi vaatimukset itse merkkaukselle, ja päätettiin, onko merkkkaus laatu tarpeeksi hyvä.

4.4 Koemerkkauksia

Jotta saataisiin tietää tahti aika sekä merkkauksen laatu juuri ABB:n käyttämään pakkauspahviin, tehtiin koemerkkauksia. Koska ABB:llä on ennestään kuitulaseri, tehtiin myös sillä koemerkintä, mutta tulos oli sama kuin Keyncen koemerkkaus kuitulaserilla pahviin eli merkkkaus ei ollut hyvin näkyvä (Kuva 29).

Suomalaiseen Cajo laservalmistajaan sekä Trumpf lasereiden suomen edustajaan otettiin yhteyttä. Trumpf:ilta sanottiin heti, että heillä ei ole CO₂ laseria, mikä sopii parhaiten pahviin, mutta he voivat yrittää tehdä merkkauksen UV-laserilla, mutta laatu ei olisi taattu. Tämä kestäisi kuitenkin kuukausia ennen kuin saisimme koemerkkaukset takaisin. Cajo sai koemerkkaukset muutamissa viikoissa ja heidän merkkauksensa jäi ainoaksi koemerkkaukseksi, minkä nopeuksia ja laatuja pystyttiin käyttämään tässä työssä.



Kuva 29 ABB:n kuitulaserilla tehty koemerkkaus.

4.5 Työn kulku

Tammikuussa 2023 aloitimme työn startup kokouksella ABB:n ohjaajan ja koulun ohjaajan kanssa. Tässä kokouksessa aloitimme keskustelemalla, onko tämä aihe sopiva opinnäytetyöksi ja päädyimme siihen tulokseen, että se on. Tämän jälkeen kävimme työhön liittyviä asioita läpi esimerkiksi rajaukset, jotta saataisiin hyvä lähtökohta työlle.

Startup kokouksen jälkeen työ aloitettiin seuraamalla prosessia, jotta saataisiin kokonaiskuvan prosessista. Samalla kirjattiin mitä eri vaiheissa tapahtuu, ja mitä ehdotuksia työntekijöillä on. Samalla kelloitin aikoja, jotka vaikuttavat laserin sijoittamiseen. Tässä vaiheessa otettiin yhteyttä myös laservalmistajiin, jotta saataisiin koemerkkaukset niin nopeasti takaisin kuin mahdollista. Tämä koska merkkaus aika vaikuttaa suuresti mihin kohtaan prosessia laserin voi sijoittaa ja esimerkiksi jos tarvitaan jonkinlaista puskuria, jos laserin merkkaus aika on pidempi kuin työntekijän pakkaus aika.

Tiedonkulku selvitettiin tämän jälkeen haastattelemalla tuotannonkehitys tiimiä ja se yhdistettiin siihen mitä työntekijä tekee, näin saatiin hyvä kuva siitä mitä prosessissa tapahtuu, oikeassa järjestyksessä sekä työntekijän näkökulmasta, että tiedonkulun puolesta.

Tämän jälkeen aloitettiin selvittämään miltä merkkkaus saa näyttää, mitä vaatimuksia sillä on ja mihin kohtaan laatikkoa sen voi laittaa. Merkkauksen paikka laatikossa vaikuttaa laserlaitteen hintaan, jos esimerkiksi korkeus on muuttuva, täytyy laserlaitteessa olla korkeudensäätö.

Kun koemerkkaukset oli saatu takaisin, aloitettiin suunnittelu, mihin kohtaan laite tulisi sijoittaa. Katsottiin, että on kaksi mahdollista paikkaa laserille ja toiseen paikkaan kaksi eri tiedonkulku mahdollisuutta. Jotta näistä vaihtoehdoista valittaisiin oikea, tehtiin taulukko ja annettiin pisteitä eri osa-alueista eri vaihtoehdoille ja valittiin se mikä sai eniten pisteitä.

Lopuksi tein kuvauksen uudesta prosessista laserin kanssa ja otin selvää tiedoista mitä tarvitsen tehdäkseni kannattavuuslaskelmat.

5 Työn lopputulos

Tässä luvussa kerrotaan, minkälaiseen laseriin on päädytty ja mihin se kannattaisi sijoittaa. Uusi prosessi kuvataan laserin kanssa. Myös tarvittavat muutokset, tiedonkulku ja laserin kannattavuus käydään tässä luvussa läpi. Lopussa annetaan ehdotuksia jatkotutkimuksiin.

5.1 Laseri ja sen sijoitus

Skannausoptiikalla oleva CO₂ laseri sopii parhaiten käyttötarkoitukseen. Tämä koska CO₂ laserin aallon pituus sopii parhaiten pahville, mikä käy ilmi Kuva 27 näyttämästä spektristä. Spektri näyttää, että sellu, mistä pahvi on suurimmaksi osaksi tehty, absorboi eniten 10000 nm aallonpituutta, mikä on sama aallonpituus kuin CO₂ laserin emittoimalla säteellä. Tämä tarkoittaa sitä, että suurin osa laserin energiasta menee merkkaukseen eikä se esimerkiksi heijastu pahvin pinnasta pois. Tätä tukee myös koemerkkauksista (Kuva 26 ja Kuva 29) saadut tulokset.

Koska merkkkaus on muuttuva, ei ole mahdollista käyttää maskioptiikkaa (Kuva 22), joten skannausoptiikka (Kuva 21) on ainoa mahdollinen ratkaisu säteen ohjaamiseen. Merkkaustapa millä pahvia merkataan, on kaiverruksen ja värin vaihdon sekoitus, sillä laseri polttaa pois pahvin pinnan ja saa samalla aikaiseksi värin muutoksen pahviin.

Laserin luokka tulee olla 1 jotta työntekijöille ei aiheudu vaaraa koneesta. Koska merkkkauslaserit kuuluvat luokkaan neljä, tarkoittaa tämä sitä, että laserilla pitää olla jonkinlainen suojakotelointi, niin että se luokitellaan luokkaan yksi.

Koemerkintä tehtiin tällaisella laserilla ja merkkkaus sekä jälki, että merkkkaus aika oli kiitettävä (Kuva 30).



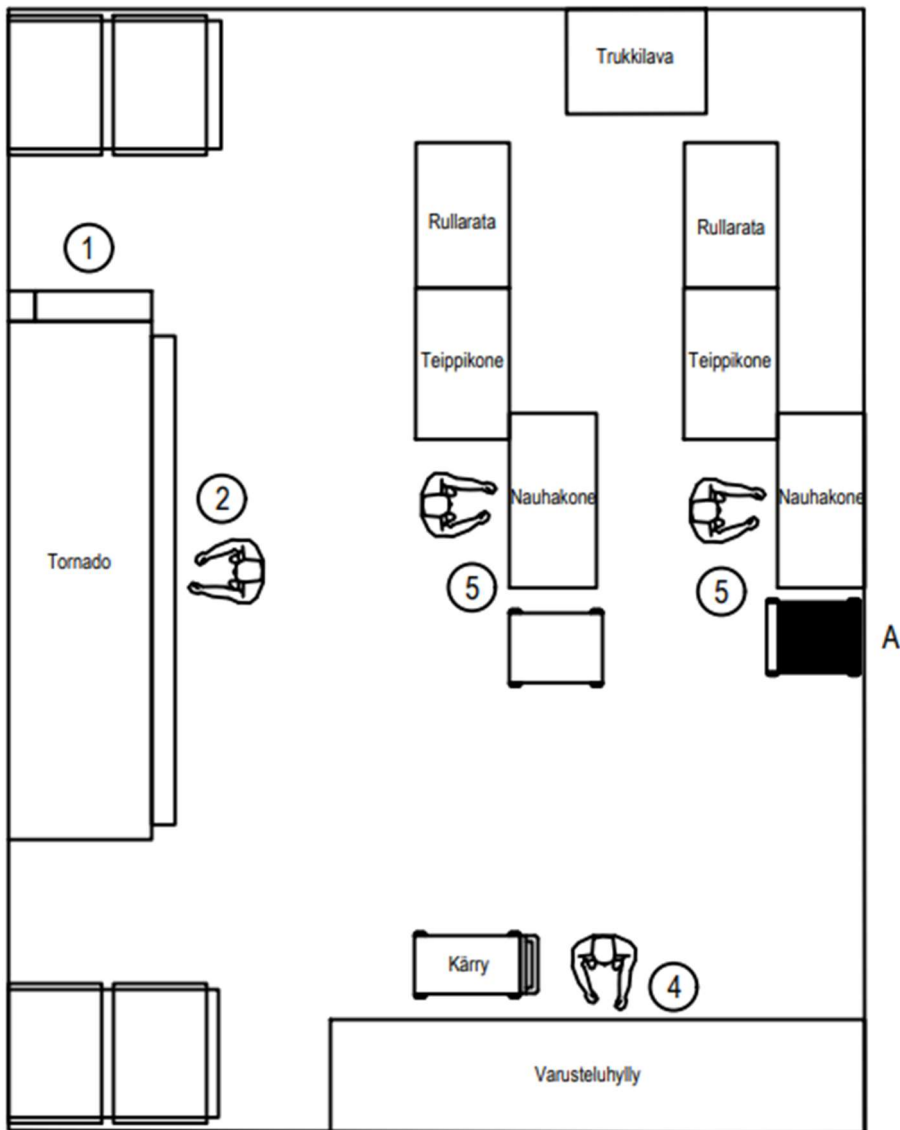
Kuva 30 Cajo 30w CO₂ laserilla tehty koemerkkaus.

Koemerkkauksen merkkkaus aika oli 14,3 sekuntia. Merkkkausajan lisäksi tulee ottaa huomioon aika, mikä laitteella kestää siirtää pahvilaatikko merkkkaus kohtaan, pois laitteesta ja aukaista sekä sulkea mahdollisissa suoja, jotta uusi laatikko voidaan merkata. Tämä aika on laserin tahtiaika. Koska laserlaitetta ei ole suunniteltu tai testattu, ei laitteen tahtiaikaa tiedetä. Koska tiedämme prosessin tahtiajat, voimme esittää vaatimuksen laserlaitteen maksimi tahtiajalle, mikä laitteen tulee alittaa, jotta sen voi sijoittaa ajateltuun paikkaan. Tämä tahtiaika alitettua laseria ei tarvitse odottaa, joka johtaa siihen, että tarrojen

liimaamiseen kuluva aika säästetään prosessissa. Eri ratkaisussa esitetään tämä vaadittu tahtiaika. Prosessin eri ajat voivat vaihdella suuresti työntekijöiden välillä sekä eri tuotteiden välillä. Sijoituksen harkinnassa on käytetty nopeimpia mahdollisia tahtiaikoja. Tornadokeräilyn keskimääräinen tahtiaika on 42 sekuntia, lisätarvikekeräilyn 34 sekuntia ja pakkauksen 20 sekuntia moduulia kohden.

5.1.1 Ratkaisu A

Ratkaisu A:ssa (Kuva 31) laserin paikka on kuvattu mustalla neliöllä ja on pakkauspisteen alussa, hihnakoneen vieressä. Toisin kun ratkaisu B:ssä, A:ssa pahvilaatikot merkataan ennen pakkaamista. Laser laitteessa voisi esimerkiksi olla makasiini, mihin merkkamattomat pahvilaatikot laitetaan, jonka jälkeen laseri merkkaa niihin tulevan merkkauksen ja syöttää ne ulos toiseen makasiiniin. Tästä makasiinista työntekijä ottaa pahvilaatikon ja pakkaa siihen oikean kytkimen. Laserlaite olisi mahdollista myös sijoittaa esimerkiksi tornadon tai varusteluhyllyn luo, mutta se lisäisi työvaiheen, missä työntekijä ottaa laatikon laserista ja laittaa sen kärrylle myöhempää käyttöä varten. Pakkauspisteellä laatikko otetaan laserista silloin kun sitä tarvitaan, mikä nopeuttaa prosessia. Tämän takia paikka A on soveliaim makasiinityyppiselle laserille.



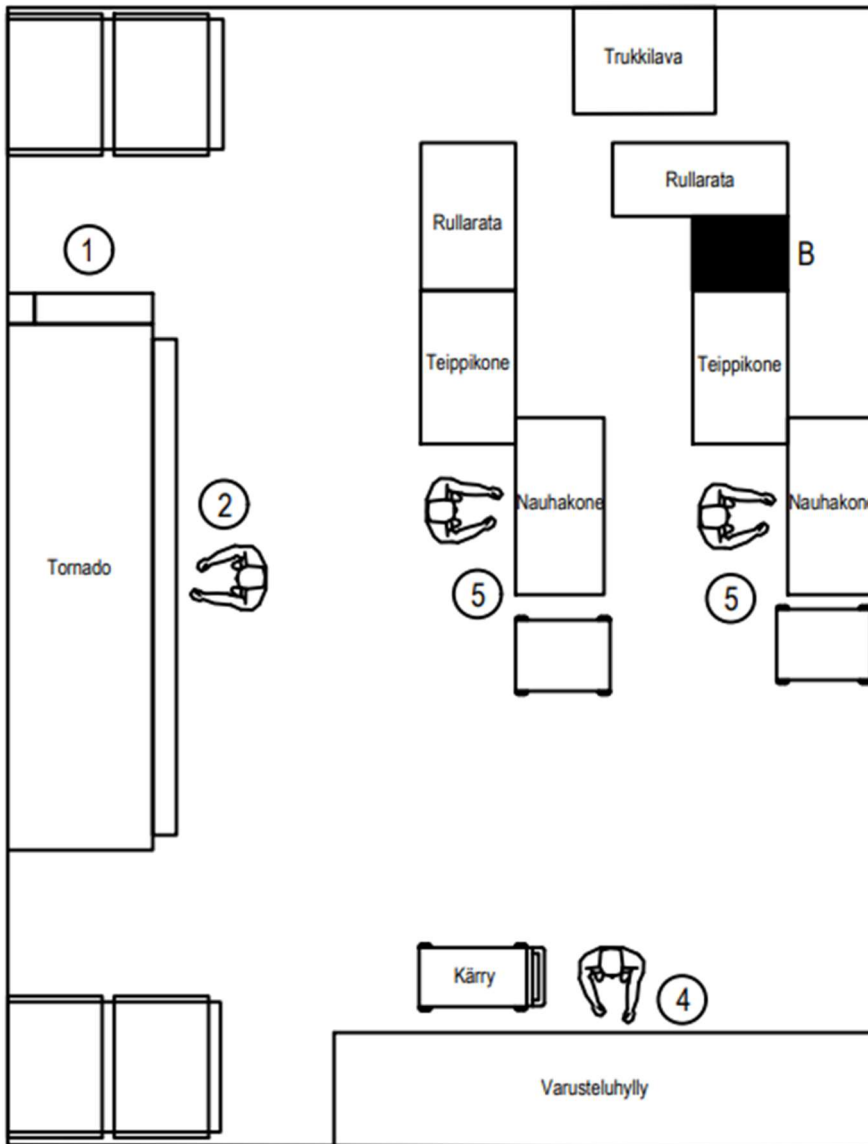
Kuva 31 Ratkaisu A laserin sijoitukselle.

Tieto laserille merkkauksesta pitäisi hakea jo tornado vaiheessa. Tämä jotta laseri voisi merkata laatikon valmiiksi ennen kuin kärry tulee pakkauspisteelle. Jos laseri aloittaisi merkkauksen vasta silloin kun kärryllä oleva moduuli skannataan pakkauspisteellä, hidastuisi prosessi ensimmäisen moduulin kohdalla sillä pakkauksessa pahvilaatikko tarvitaan nauhoituksen ja QR-tarran lisäämisen jälkeen. Nauhoitus ja tarran liimaaminen kestää tahtiajan mukaan keskimäärin 20 sekuntia, joka riittäisi laserille, mutta nopea työntekijä voi tehdä nämä alle 15 sekunnissa. Tämä johtaisi vaadittuun tahtiaikaan, mikä olisi mahdoton saavuttaa sillä aikaa laatikon siirtämiseen laserilaitteella olisi 0,7 sekuntia. Tämä ongelma voitaisiin ratkaista siten, että laseri aloittaa laatikoiden merkkauksen silloin kun kärry skannataan varusteluhyllällä. Tällöin vaadittu tahtiaika olisi 20 sekuntia ja jos laite

voisi merkata laatikoita puskuriin, voisi tahtiaika olla 50 sekuntia. Oikeat sarjanumerot laserille saataisiin tornadolla tehdystä skannauksesta, jossa moduulit ja niiden sarjanumerot on yhdistetty karryyn. Jotta järjestys pysyisi ja moduulit laitettaisiin oikeaan laatikkoon, tulisi karryyn tehdä numerointi, niin että työntekijä näkee helposti missä järjestyksessä moduulit tulee pakata. Koska on mahdollista, että karryjen järjestys muuttuu pakkauspisteen ja varusteluhyllyn välissä, jos työntekijä tekee monta karryä samanaikaisesti, olisi hyvä lisätä Aadafo:on toiminto mikä tarkastaa järjestyksen. Tämä ei lisäisi työvaihetta, sillä moduulit skannataan joka tapauksessa pakkauspisteellä erikseen. Toiminto tarkastaisi vain, että moduulit skannataan siinä järjestyksessä, missä laserlaite on tulostanut niille laatikot. Ratkaisu mahdollistaa myös sen, että teippauskoneen jälkeen olevaa rullarataa voisi pidentää niin, että siihen mahtuisi koko karryn laatikot saman aikaisesti. Tämä säästäisi aikaa, jos solussa on vähän työntekijöitä, koska silloin työntekijä voi pakata koko karryn heti, eikä tarvitse välillä mennä siirtämään laatikoita rullaradalta trukkilavalle, kun rullarata täyttyy.

5.1.2 Ratkaisu B

Ratkaisu B:ssä laseri on sijoitettu teippikoneen jälkeen (Kuva 32). Laser laite voisi esimerkiksi toimia hihnalla ja suojalla. Kun työntekijä on pakannut laatikon ja syöttänyt sen teippikoneen läpi, laatikko jatkaisi laserin hihnalle, joka pysähtyisi laserin kohdalle. Tämän jälkeen laskeutuisi suoja laatikon yli ja laseri merkkaisi laatikon. Suoja nousisi merkkauksen jälkeen ja hihna kuljettaisi laatikon rullaradalle, joka olisi käännetty 90 astetta jotta pituus pysyisi samana ja sille mahtuisi yhtä monta laatikkoa, kuin ennen. Myös tässä ratkaisussa olisi mahdollista pidentää rullarataa, säästäen näin aikaa.



Kuva 32 Ratkaisu B laserin sijoitukselle.

Laserlaitteen vaadittu tahtiaika ilman minkäänlaista puskuria on 20 sekuntia. Laitteelle jäisi 5,7 sekuntia siirtää laatikko ja avata sekä sulkea suojat. Käyttämällä puskurirataa teippikoneen ja laserlaitteen välillä, tahtiaikaa saataisiin lisättyä kahdella sekunnilla jokaista laatikkoa kohden mikä radalle mahtuu. Tieto saataisiin laserille QR-koodin skannauksesta pakkaus pisteellä.

5.1.3 Vertailu ja ratkaisun valinta

Tärkeimmät kohdat, mitkä tulee huomioida laserin sijoituksessa, on prosessin nopeus ja toiminta varmuus, eli se että laatikoissa ja moduuleissa on oikeat sarjanumerot. Varmuuteen kuuluu myös se, että millaisiin virheisiin on mahdollisuus. Virhe ei vain tarvitse johtaa siihen, että väärä moduuli menee väärään laatikkoon. Virhe voi myös olla sellainen mikä johtaa toimenpiteisiin, jotka poikkeavat normaalista prosessista, esimerkiksi vian korjaus. Tällainen virhe voisi olla esimerkiksi, että väärä moduuli skannataan, mikä johtaa siihen, että Adafa hälyttää virheestä. Tällöin pitää esimerkiksi etsiä oikea moduuli, mikä vie aikaa. Myös laitteiston hinta, käyttökulut, koko, joustavuus sekä käyttäjäystävällisyys tulee ottaa huomioon.

Valitakseen oikea ratkaisu vaihtoehdoista A ja B, verrataan ratkaisuja antamalla niille pisteitä yhdestä viiteen eri osa-alueilla. Pisteytys on verrattu nykyiseen prosessiin missä kolme on neutraali, eli osa-alue ei parane eikä huonone. Yksi merkitsee, että osa-alue on nykyistä huonompi ja viisi, että osa-alue on nykyistä parempi. Tärkeiden osa-alueiden pisteet kerrotaan kahdella antaakseen niille enemmän painoarvoa. Nämä osa-alueet ovat varmuus ja nopeus. Taulukko 1 näyttää ratkaisujen pisteet ja alla pisteytyksen perustelut.

Ratkaisu	A	B
Nopeus (x2)	8	6
Varmuus (x2)	4	6
Hinta	2	1
Käyttökulut	4	4
Koko	3	2
Joustavuus	2	1
Käyttäjäystävällisyys	3	5
Pisteet	26	25

Taulukko 1 Ratkaisujen pisteet

Nopeus: Kummallakin ratkaisulla on mahdollista saavuttaa vaadittu tahtiaika, mutta ratkaisu A mahdollistaa korkeamman käyttöasteen sillä puskurin laajentaminen ei veisi paljoa tilaa ja sen avulla voitaisiin käyttää kumpaakin pakkauspistettä samanaikaisesti. Tällaiselle toiminnolle ei kuitenkaan ole tarve usein mutta jos toteutettu hyvin, se säästäisi reilusti aikaa silloin kun on kiire. Ratkaisu B saa kolme pistettä sillä se täyttää vaatimukset ja ratkaisu A saa neljä pistettä edellä mainitun mahdollisuuden takia.

Varmuus: Sekä A, että B ratkaisu saadaan varmatoimiseksi niin, että oikea moduuli menee oikeaan pakettiin. Ratkaisu B:llä ei myöskään ole mahdollista, että väärä moduuli skannattaisiin, sillä merkkkaus tapahtuu heti skannauksen jälkeen ja käytännössä ei ole mahdollista, että pakettiin laitettaisiin toinen moduuli skannatun sijaan. Ratkaisu A:ssa on mahdollista, että moduulit skannattaisiin väärässä järjestyksessä. Näin voi käydä, jos monta kääryä käsitellään samanaikaisesti tai työntekijä ottaa kääryltä moduulin väärässä järjestyksessä. Tämä johtaa siihen, että työntekijän täytyy etsiä oikea moduuli tai tulostaa uusi laatikko. Tämä vie aikaa ja hidastaa sen takia pakkausprosessia. Prosessin varmuus pysyy samana Ratkaisu B:llä, joten B saa kolme pistettä ja A ratkaisu saa kaksi pistettä sillä on olemassa mahdollisuus virheeseen, mikä hidastaa prosessia.

Hinta: Hintaa arvio perustuu eri laservalmistajien karkeaan arvioon ja voi muuttua puolin ja toisin. Ratkaisu A:ssa laite on pienempi ja vie vähemmän tilaa sekä helpompi saada suojattua. B ratkaisussa on enemmän liikkuvia osia, isompi ja sisältää jonkin tyyppisen kuljettimen. Näistä päätellen B ratkaisu tulee olemaan kalliimpi. Koska kummatkin ratkaisujen investointihinta tulee olemaan suurempi kuin nykyinen tulostin, saa Ratkaisu A kaksi pistettä ja ratkaisu B yhden pisteen.

Käyttökulut: Kuten kannattavuuslaskelmista näkyy luvussa 5.3, on laserilla halvemmat käyttökustannukset kuin tarrojen käyttämisellä. Ratkaisujen käyttö kustannukset eivät eroa toisistaan huomattavasti, joten kummatkin ratkaisut saavat neljä pistettä.

Koko: Ratkaisu A ei ota enempää tilaa kuin nykyinen pöytä pakkauspisteellä, missä pahvilaatikoita pidetään pakkausta odottamassa. Ratkaisu B sen sijaan vie enemmän tilaa ja jos täytyy käyttää puskurirataa, se vie kaksi kertaa enemmän tilaa kuin ratkaisu A. Tämän takia ratkaisu A saa kolme pistettä ja ratkaisu B kaksi pistettä.

Joustavuus: Ratkaisu B on osa teippauslinjaa eikä helposti siirrettävä esimerkiksi toiselle linjalle. Jos jokin muu laite esimerkiksi teippikone hajoaa, tulee linja seisomaan, kunnes laite korjataan tai vaihdetaan. Jos esimerkiksi jossakin mallissa olisi staattinen merkkkaus, ei

Ratkaisu B:n merkkaukset nopeutuisi. Ratkaisu A on sen sijaan joustavampi. Jos merkkaukset olisi staattinen, voisi laseri merkata jatkuvasti laatikkoja valmiiksi. Ratkaisu A ei myöskään ole kiinteä, eli jos jokin pakkauspisteen laitteista, voisi laseri merkata myös laatikoita toiselle pakkauspisteelle tai jopa kummallekin pisteelle samanaikaisesti. Tarra on kuitenkin kaikista joustavin. Tämän takia Ratkaisu A saa kaksi pistettä ja B yhden.

Käyttäjäturvallisuus: Ratkaisu A:ssa työntekijän tulee ladata makasiini oikealla määrällä laatikoita ja pitää huolta siitä, että kärryt sekä moduulit pysyvät järjestyksessä. Jos makasiiniin ladataan enemmän laatikoita kuin tarve ja laatikon koko muuttuu seuraavalle työlle, pitää makasiini ensin tyhjentää. Työn määrä on verrattavissa nykyiseen prosessiin. Ratkaisu B:ssä työntekijän ei tarvitse pitää huolta järjestyksestä ja voi ottaa laatikko pinon pakkauspisteen pöydälle ajattelematta sen enempää sen lajittelua tai määrää. Tämän lisäksi tarrojen liimaus jää pois laserin myötä. Tämän takia ratkaisu A saa kolme pistettä ja ratkaisu B viisi.

Taulukko 1 näyttää, että ratkaisu A sai enemmän pisteitä, mutta kuitenkin vain yhden enemmän kuin ratkaisu B. Ratkaisu A valittiin pisteiden perusteella.

5.2 Prosessi laserin kanssa

Prosessi laserin kanssa ei eroaisi paljoa nykyisestä prosessista. Alla on eroavaisuudet nykyiseen prosessiin verrattuna prosessivaiheittain.

Työn vastaanotto: Työn vastaanotossa tulostin ei tulosta enää tarroja ja sen sijaan, että työntekijä hakee laatikot ja liimaa niihin tarrat, hän lataa oikean määrän laatikoita laserlaitteen makasiiniin.

Tornado: Tornadon kohdalla eroavaisuus on se, että työntekijän tulee lastata moduulit kärrylle numeroituun kohtiin siinä järjestyksessä, kun hän skannaa ne.

Pakkauspiste: Pakkauspisteellä työntekijän pitää huomioida kärryjen järjestys ja ottaa ne työn alle siinä järjestyksessä, kun ne on tullut varusteluhyllyltä. Myös moduulien pakkauksessa tulee huomioida järjestys, mikä näkyy kärryjen numeroinnista. Laatikot ei otettaisi pinosta kuten nykyisessä prosessissa vaan laserlaitteen makasiinista.

5.3 Kannattavuus

Liitteessä 1 on laserin ja nykyisen menetelmän kululaskelmat ja liitteessä 2 on laserlaitteen kannattavuuslaskelmat. Apuna laskelmissa on käytetty Mathcad laskelmaohjelmaa. Laskuissa on laskettu, että investointi maksaisi 50000 € ja rahoitettaisiin lainalla. Lainan korkona on käytetty 5,12 %, mikä oli vuonna 2022 alle 250000 € yrityslainojen keskiporkko (Suomen pankki, 2023). Laskelmissa lasketaan nykyisen menetelmän vuosittaiset kulut, mitkä ovat 810 € vuodessa. Nämä kulut koostuvat tarrojen hinnoista. Laserin kulut koostuvat sähkökuluista ja ylläpitokuluista ja ovat yhteensä 680 € vuodessa. Laserin käyttökulut ovat siis 130 € vuodessa pienemmät. Suurin säästö muodostuu säästetystä ajasta, kun ei tarvitse liimata tarroja laatikoihin. Liimaus kestää keskimäärin viisi sekuntia per laatikko. Vuodessa säästetty aika on 226 tuntia. Teollisuuden keskimääräiset työvoimakulut ovat 37,20 €/h (Teollisuusliitto, 2022). Tämä tarkoittaa, että vuodessa laseri säästää 8407 € yhtiölle työvoimakuluissa. Yhteensä laserlaitteen vuosittaiset säästöt ovat 8537 €. Investoinnin takaisinmaksu menetelmällä (Wikipedia, 2023) näillä säästöillä investointi on maksanut itsensä takaisin seitsemässä vuodessa. Koska ABB:n vaatimus investoinnille on, että se maksaa itsensä takaisin kolmessa vuodessa, tarkoittaa se sitä, että tuottovaatimus on kolmannes investoinnin hinnasta. Nykyarvomenetelmällä (Wikipedia, 2023) laskettuna laserilaite on kolmen vuoden jälkeen tuottanut noin 35000 € alle tuottovaatimuksen. Laserlaitteen käyttöään jälkeen eli 12 vuoden jälkeen laite on tuottanut 25000 € alle tuottovaatimuksen. Kannattavuuslaskelmissa ei ole otettu huomioon mahdollista lisäarvoa asiakkaalle ympäristöystävällisemmästä pakkauksesta sekä jäljitettävyydestä, josta olisi hyötyä ABB:lle.

5.4 Tuloskeskustelu

Lopputulokset on, että lasermerkkauksen hyödyntäminen yksittäispakkauksissa on mahdollista CO₂ laserilla, mutta se ei ole kannattava investointi. Jos hanke toteutettaisiin, tulisi käyttää ratkaisu A:ta ratkaisu B:n sijaan

Laskettuna ABB:n vaatimuksilla ja lukuun ottamatta kestävä kehityksen sekä jäljitettävyyden tuomaa lisäarvoa laserlaitteeseen ei tule investoida. Näissä laskelmissa ei ole huomioitu jäljitettävyyden ja kestävä kehityksen tuomaa lisäarvoa. Jos nämä asiat tuovat paljon lisäarvoa, voi laseri olla kannattava investointi. Tulee myös muistaa, että suuri osa arvoista on arvioita, sillä laitetta ei ole vielä rakennettu eikä testattu. A ja B ratkaisut

erosivat vain yhdellä pisteellä vertailussa. Koska arviot voivat muuttua laitteita suunnitellessa ja mahdollisesti testauksissa uusien asioiden tullessa esiin tarkoittaa tämä sitä, että todellisuudessa on mahdollista, että ratkaisu B olisi parempi kuin ratkaisu A. Tämän takia Ratkaisu B:tä ei tule poissulkea kokonaan. Laitteen hinta on myös karkea arvio, joten takaisinmaksu aika ja kannattavuus voivat olla todellisuudessa hieman eri kuin tässä työssä lasketut arvot. Karkeasti katsottuna ne kuitenkin korreloivat todellisten arvojen kanssa.

Työ on antanut vastauksen kysymyksiin, jotka olivat työn tavoitteena. Työssä on saatu selville, onko laserin käyttö mahdollista, millaista laseria tulisi käyttää sekä mihin se tulisi sijoittaa. Nykyinen prosessi sekä prosessi laserin kanssa on kuvailtu työntekijän näkökulmasta sekä tiedonkulun osalta. Merkinnän mahdollinen ulkonäkö paikoitus sekä QR-koodin lisäys on selvitetty ja esitetty työssä. Myös investoinnin kannattavuus esitetään työssä.

5.5 Ehdotuksia jatkotutkimuksiin

Työn aikana on tullut esille monta jatkotutkimus mahdollisuutta. Niistä merkittävin on lasermerkinnän myötä tulevan jäljitettävyyden ja kestäväen kehityksen tuoman lisäarvon selvittäminen. Tämä asia selvitettyä voidaan päättää, onko laserlaite kannattava investointi.

Toinen mahdollinen aihe olisi pakkaussolun layoutin suunnittelu. Ottaessa selvää kuinka solun layoutia voi muuttaa mahdollisen laserin tultua, huomattiin, että layout suunnittelu on liian iso työ sisällyttää tähän työhön. Koska toinen pakkauslinja toimii enimmäkseen vain varalinjana, olisi hyvä ottaa selvää tarkemmin, kuinka paljon sitä käytetään. Jos se osoittautuu tarpeettomaksi, tulisi selvittää, jos erikoisvarustelu pistettä on mahdollista pienentää ja siirtää pakkaussolun sisälle. Tällä hetkellä erikoisvalmistelupiste on liian iso mahtuakseen solun sisälle. Erikoisvalmistelupiste koostuu 200A ja 400A puolesta. Olisiko mahdollista yhdistää nämä yhteen ja näin pienentää pistettä niin paljon, että se mahtuisi soluun sisälle?

6 Henkilökohtainen arvio ja pohdinta

Mielestäni työ oli erittäin mielenkiintoinen tehdä. Olen oppinut paljon uutta työn aikana, sekä työhön liittyvistä asioista kuten lasereista, mutta myös sellaisista asioista, jotka eivät suoraan liity työhön kuten tuotannon automatisoinnista sekä erilaisista roboteista. Työ oli mielestäni laaja ja osittain myös yksityiskohtainen. Mahdollisuuksia työn laajentamiseen tuli vastaan jatkuvasti työn aikana, joten rajaukset tulivat tarpeen, jottei työstä tulisi liian laaja. Työssä jouduin käyttämään paljon lasereiden valmistajien tekemiä arvioita, mutta myös omia arvioita. Tämä johti siihen, että tulos ei ole täysin tarkka. Itse olisin halunnut hieman tarkemmat arviot ja tulokset. Olisi voinut esimerkiksi tehdä laserlaitteesta tai koko pakkauksesta simuloinnin saadakseen tarkemmat ajat, mutta tämä olisi vienyt reilusti enemmän aikaa ja loppujen lopuksi työn lopputulos ei jäänyt kiinni laserin tahtiajasta. Olisi myös ollut mahdollista käyttää useamman laservalmistajan merkkausaikaa työssä, mutta valmistajilla oli pitkät toimitusajat koemerkkauksille joidenka saaminen olisi kestänyt liian kauan. Kaikki asiat mukaan huomioiden lopputulos on mielestäni hyvä ja tavoitteiden mukainen.

Lopuksi haluan kiittää ABB:tä mahdollisuudesta tehdä tämän työn heille. Haluan myös kiittää koko Smart Power:in tuotannon kehitys tiimiä sekä työntekijöitä, jotka ovat olleet suureksi avuksi antamalla ehdotuksia, selittäneet asioita ja vastanneet heille esittämiini kysymyksiin. Erityisesti haluan kiittää ohjaajiani Tobias Mäenpäättä ja Leif Backlundia. Mäenpäältä olen voinut kysyä mitä tahansa ja olen aina saanut siihen vastauksen. Jos hän ei ole itse osannut vastata kysymykseen hän on osannut heti ohjata minut oikealle henkilölle, joka osaa vastauksen. Backlundilta olen saanut hyviä ehdotuksia ja nopeita vastauksia lopputyöhön liittyviin kysymyksiin.

7 Lähdeluettelo

- ABB. (2021). *ABB Packaging Design Project*. Hamburg: Strichpunkt.
- ABB. (2023). Noudettu osoitteesta ABB lyhyesti: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- ABB. (2023). Noudettu osoitteesta ABB Suomessa: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- ABB. (2023). *ABB Smart Power*. Noudettu osoitteesta <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/smart-power>
- AMADA weld tech. (2023). *Laser foaming*.
- Badida, L. S. (2017). Laser marking as environment technology. *Open Engineering*.
- bj-laseri. (3 2023). *Brewster-ikkunar*. Noudettu osoitteesta <https://www.bj-laseri.com/fi/Brewster-Windows-s.html>
- Brainkart.com. (3 2023). *CO2 Molecular gas laser: Principle, Construction, Working, Characteristics, Advantages, Disadvantages and Applications*. Noudettu osoitteesta https://www.brainkart.com/article/CO2-Molecular-gas-laser--Principle,-Construction,-Working,-Characteristics,-Advantages,-Disadvantages-and-Applications_6884/
- Cajo. (4 2023). Laser safety. Kempele.
- Electronicscoach*. (2023). Noudettu osoitteesta <https://electronicscoach.com/laser-diode.html>
- Endurancelaser*. (4 2023). Noudettu osoitteesta <https://endurancelasers.com/absorption-wavelength-spectrum-for-different-materials/>
- Fractory. (3 2023). *Fibre Lasers – Working Principles, Applications & More*. Noudettu osoitteesta <https://fractory.com/fibre-lasers-explained/>
- gentec-eo. (3 2023). *How do ultraviolet lasers work?* Noudettu osoitteesta <https://www.gentec-eo.com/blog/how-ultraviolet-lasers-work>
- Ionix. (3 2023). *Laser Marking*. Noudettu osoitteesta <https://www.ionix.fi/en/technologies/laser-processing/laser-marking/>
- Keyence. (4 2023). *Fiber vs. CO2 vs. UV: Which laser marker should I choose?* Noudettu osoitteesta <https://www.keyence.com/ss/products/marketing/laser-marking-central/basics/fiber-co2-uv-laser.jsp>
- Keyence. (3 2023). *Laser Marking Types*. Noudettu osoitteesta <https://www.keyence.com/ss/products/marketing/laser-marking-central/basics/wavelength.jsp>
- Keynce. (3 2023). *UV Laser Marking*. Noudettu osoitteesta <https://www.keyence.com/ss/products/marketing/laser-marking-central/basics/uv-laser.jsp>

- Knowpap. (4 2023). *Paperin ja kartongin valmistus-tiivistelmä*. Noudettu osoitteesta https://www.knowpap.com/www_demo_version/suomi/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm<https://papermark.fi/2022/03/31/mista-tata-kartonkia-oikein-tulee/>
- Kujanpää, V.;Salminen, A.;Vihinen, J.;& (yhdistys), T. (2005). *Lasertyöstö*. Helsinki: Teknoliogiateollisuus Ry.
- LaserAX. (2023). *How does laser annealing work?* Noudettu osoitteesta <https://www.laserax.com/blog/how-does-laser-annealing-work>
- LaserAX. (2023). *How does laser marking work in 5 steps*. Noudettu osoitteesta <https://www.laserax.com/blog/how-does-laser-marking-work>
- Laserax. (4 2023). *Laser characteristics by material*. Noudettu osoitteesta <https://www.laserax.com/technical-support/knowledge-base/laser-characteristics-material>
- LaserAX. (2023). *Laser Etching: Everything you need to know*. Noudettu osoitteesta <https://www.laserax.com/blog/laser-etching>
- Mäenpää, T. (18. 2 2023). ABB:n MES järjestelmä Adafo. (V. Järvinen, Haastattelija)
- maplaboratory. (4 2023). *Infrared Spectroscopy Example Analyses (FTIR)*. Noudettu osoitteesta <https://www.maplaboratory.net/infrared-spectroscopy-ftir-examples.html>
- National Ignition Facility & Photon Science. (2023).
- ResearchGate. (3 2023). *The absorption rate of common metals*. Noudettu osoitteesta https://www.researchgate.net/figure/The-absorption-rate-of-common-metals_fig1_335778292
- rp-photonics. (3 2023). *Excimer Lasers*. Noudettu osoitteesta https://www.rp-photonics.com/excimer_lasers.html
- SAP. (14. 4 2023). *SAP ERP solutions*. Noudettu osoitteesta <https://www.sap.com/india/products/erp/what-is-sap-erp.html>
- Stuk. (4 2023). *laserluokat*. Noudettu osoitteesta <https://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>
- Suomen pankki. (7. 5 2023). *Yrityslainojen korot nousiva voimakkaasti vuonna 2022*. Noudettu osoitteesta https://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot2/tilastotiedotteet_fi/rahalaitosten-tase/2023/yrityslainojen-korot-nousivat-voimakkaasti-vuonna-2022/
- Telesis. (3 2023). *Mikä on lasermerkintä?* Noudettu osoitteesta <https://telesis.com/fi/what-is-laser-marking/>
- Teollisuusliitto. (2022). *Palkkakatsaus*. Teollisuusliitto.
- Tykma ElectroX. (2023). *What are the differences between laser marking, laser engraving and laser etching*. Noudettu osoitteesta <https://www.permanentmarking.com/what-are-the-differences-between-laser-marking-laser-engraving-and-laser-etching/>

Wikipedia. (8. 5 2023). *Investointilaskelmat*. Noudettu osoitteesta
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Investointilaskelmat>

Wikipedia. (2023). *Laser*. Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Laser>

8 Liitteet

Liitteet ovat salassa pidetty