



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KARKAISTUN METALLIN MERKITSEMINEN TASAVIRTASÄHKÖLLÄ

Valteri Ojala

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Lentokonetekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Lentokonetekniikka

OJALA, VALTTERI:

Karkaistun metallin merkitseminen tasavirtasähköllä

Opinnäytetyö 20 sivua  
Toukokuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella laite, jolla voidaan merkitä sähköllä karkaistusta metallista valmistettu kappale. Karkaistun metallin merkintä on haastavaa, kun halutaan tehdä jälki, joka kestää kulutusta, mutta jonka tekemisestä ei muodostu lastua tai purua.

Merkintämenetelmäksi valittiin valokaari tasasähköllä. Työssä tutustuttiin sähkömerkin­nän toimintaperiaatteeseen ja laskettiin teorian pohjalta merkintään tarvittava energiamäärä merkintälaitteen mitoittamiseksi.

Työssä päädyttiin käyttämään kondensaattoriin ladattua sähköenergiaa, joka puretaan merkittävään kappaleeseen valokaarena hitsauselektrodilla. Vastaavan lämpövaikutuksen voi aikaansaada myös laserilla tai plasmalla. Sähkö on kuitenkin halvin, mutta ei ongelmaton. Sähköä käytettäessä materiaalia voi roiskua, mikä voi aiheuttaa ongelmia.

Opinnäytetyön aikana opittiin, että valokaari ei ole tyypillinen metallin merkintätapa, mutta, haluttaessa vahva ja pysyvä merkki edullisilla hankinta ja käyttökustannuksilla ja ilman metallipurua, valokaari on hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto.

Asiasanat: valokaari, merkitseminen, mekaniikka

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Aircraft Engineering

OJALA, VALTTERI:  
Marking of Hardened Metal with a DC Arc

Bachelor's thesis 20 pages  
May 2018

The purpose of the thesis was to design a device for marking hardened steel with an electric arc. Making a lasting impression on hardened steel is difficult, when creation of loose material is undesirable.

The chosen method was a DC arc. This thesis goes through the theory of electric arc marking and the formulas required to calculate the required energy to make the desired mark.

It was decided that a capacitor should be used to supply the power for marking. The charge is discharged through a welding electrode. A comparable heat effect could be achieved via a laser or plasma. However, an electric arc was by far the easiest and cheapest to implement. Also, a low voltage electric device requires less shielding than laser or plasma. Use of electricity is not, however, without problems. The arc may cause metal splatter that may cause problems.

Key words: arc, marking, mechanism

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄHTÖKOHDAT.....	7
	2.1 Sähköinen merkitseminen.....	7
	2.2 Metallin merkitsemismenetelmiä.....	7
3	SUUNNITTELU .....	9
	3.1 Suojakaasu .....	9
	3.2 Polariteetti.....	9
	3.3 Elektrodi.....	10
	3.4 Sytytys .....	10
	3.4.1 Liftarc .....	10
	3.4.2 Valinta.....	11
	3.5 Vaihtovirran hylkääminen .....	11
	3.6 Elektrodién pituuskompensointi .....	11
4	TESTAUS .....	14
5	POHDINTA.....	19
	LÄHTEET.....	20

**LYHENTEET JA TERMIT**

Tunkeuma	syvyys, jolle perusmateriaali sulaa hitsatessa
Läpilyönti	sähkövirran purkautuminen eristeen läpi
Läpilyöntijännite	jännite jolla eriste muuttuu sähköä johtavaksi
Lift-arc	valokaaren automaattinen sytytys elektrodin irrotessa työkap- paleesta

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää tarvittavat teoreettiset ja käytännölliset huomiokohdat karkaistua metallia sähköllä merkittäessä ja merkitsemisen tekevän laitteen suunnittelussa.

Koneen suunnittelu aloitettiin asiakkaan tarpeesta tehdä karkaistun metallikappaleen pintaan merkki ilman varsinaista lastuavaa työstöä. Näin vältetään purun kertyminen laitteen ympäristöön ja kappaleet pysyvät puhtaina. Laite tehtiin tilaustyönä Metecno Oy:n asiakkaalle osana laajempaa kokonaisuutta.

Koska sähköinen merkitsemismenetelmä oli yrityksessä uutta, testattiin menetelmää ensin. Testien havainnot ja niihin liittyvä teoria on kirjattu tässä opinnäytetyössä.

Koska laite tuli tuotantokäyttöön, automatisoituun soluun, oli olennaista, että laite toimii luotettavasti ja kestää pitkäaikaista toistuvaa käyttöä. Lopputuloksena saatiin laite, joka pystyy luotettavasti merkitsemään kappaleita tuotanto-oloissa, ilman ihmisen valvontaa.

## 2 LÄHTÖKOHDAT

Niin sähkö- kuin mekaniikkasuunnittelussa pyrittiin yksinkertaisuuteen, pitkäikäisyyteen ja vähäiseen huollon tarpeeseen. Koska merkintälaitte tarkoitettiin osaksi tuotantolaitetta, jossa merkittävään kappaleeseen kohdistuu suuria voimia ja mittatarkkoja toimenpiteitä, oli merkintälaitteen rungosta tehtävä hyvin jyrävä. Sen materiaaliksi valittiin teräs, joka lisäksi pintakarkaistiin kulutuskestävyyden lisäämiseksi ja mittatarkkuuden säilyttämiseksi.

Tilaja toimitti 3D-mallit omasta työkappaleen paikoitinlaitteestaan. Malleja käytettiin mekaniikkasuunnittelun pohjana. Merkitseminen tapahtuu usealla elektrodilla, kappaleen alapuolelta, samalla kun kappaleeseen painetaan yläpuolelta ahdistusovitteinen holkki.

### 2.1 Sähköinen merkitseminen

Sähköinen merkitseminen perustuu ensisijaisesti kohdistettuun lämpövaikutukseen, jonka saa aikaan syttyvä valokaari (Leinonen 2007, 6). Valokaari toimii tehovastuksen tavoin ja muuttaa sähköenergiaa lämmöksi. Riippuen sähkövirran suunnasta, lämpö keskittyy joko työstettävään kappaleeseen tai elektrodiin. Elektrodin ollessa positiivinen, suurempi osa lämmöstä keskittyy elektrodin päähän valokaarta (Leinonen 2007, 80.)

Sähköisen merkitsemisen taustatutkimuksessa valokaaren käyttämisestä metallin merkintään löytyi niukasti tietoa. Metallin merkitsemiseen on tarjolla monia menetelmiä, mutta valokaari ei kuulu tyypillisiin ratkaisuihin.

### 2.2 Metallin merkitsemismenetelmiä

Metallin merkitsemiseen on tarjolla useita menetelmiä. Yleisesti käytössä olevia menetelmiä ovat laser-etsaus, muste, merkin lyöminen ja kemiallinen etsaus. (Shannon, 2008.) Niin laserilla kuin kemikaaleilla etsatessa, poistetaan metallin pinnasta hyvin ohut kerros materiaalia. Musteella merkitseminen on käytännössä pinnoittamista. Merkki on metallin päälle lisättyä ainetta, joka erottuu perusaineesta.

Kemiallinen etsaus on vanha menetelmä. Sen heikkoutena ovat sekä hitaus ja suhteellisen korkeat käyttökulut. Mustesuihku on paljon nopeampi, mutta myös kallis menetelmä. Merkki voi myös ajan saatossa kulua pois tai peittyä likaan. Merkin painaminen tai lyöminen on merkistä riippuen joko nopea tai monta iskua vaativien monimutkaisten merkien kohdalla hidasta. (Shannon, 2008.)

Karkaistun kappaleen merkitseminen painamalla tai lyömällä on ongelmallista, koska merkitsemisterän täytyy olla kovempaa kuin perusaineen. Lisäksi karkaistu aine tyypillisesti ei myöä vaan murtuu. Shannonin (2008) mukaan Laser-etsauksella on eniten etuja puolellaan. Merkin laatu on hyvä, merkintä on nopeaa, halpaa ja vaatii vain vähän huoltoa. Merkki on pysyvä, mutta voi silti peittyä likaan, koska merkin syvyys on pieni.

Laser laitteiston huonoihin puoliin kuuluu korkea hankintahinta (Shannon, 2008). Koneetta rakentaessa komponenttihinta on kriittisen tärkeä. Merkki voidaan myös kaivertaa, mikä on halpaa, mutta tuottaa metallipurua. Metallipuru ei sovellu ympäristöihin, joissa on hienomekaanisia toimintoja tai hygieeniavaatimuksia.

Vaikka valokaarta ei mainittukaan vaihtoehtona, on sillä erityispiirteensä, joiden vuoksi se on erityisen soveltuva tilaajan tarkoitukseen. Valokaaren tuottaminen on halpaa, eikä laitteisto yksinkertaisimmilla ole myöskään kallis. Toisin kuin laser, pienoisjännitteellä toimiva sähkömerkkain ei tarvitse tuotanto-olosuhteissa perusteellista suojausta. (Säköturvallisuuslaki 2016/1135). Valokaarella voidaan merkitä myös karkaistua metallia. Riittäväällä energiamäärällä saadaan aikaan merkki, joka on sekä pysyvä, että havaittavissa vielä paksunkin likakerroksen alta. Laserin tapaan sähkömerkkkaus ei vaadi paljoa huoltoa mutta elektrodit täytyy ajoittain vaihtaa.



### 3 SUUNNITTELU

Suunnittelussa otettiin periaatteeksi se, että laitteen täytyy olla varmatoiminen, minkä vuoksi sen täytyy olla mahdollisimman yksinkertainen. Laitteen täytyy kyetä pitkäjaksoiseen toimintaan ilman ihmisen valvontaa. Sähköturvallisuuslain perusteella päätettiin, että laitteen tulisi toimia pienoisjännitteellä – alle 50 VAC tai alle 120 VDC. Näin laitteen turvavaatimukset ovat pienemmät ja laitteen suojaus helpottuu. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135.)

#### 3.1 Suojakaasu

Suojakaasun käyttäminen auttaisi stabiloimaan valokaarta, ja vähentää roiskeita (Salonen 2018). Laitteen suunnittelussa pyrittiin pieneen kokoon ja yksinkertaisuuteen, joten suojakaasun tarvitsemille suojakaasusuuttimille ja -kanaville ei ollut tilaa. Idea suojakaasun käyttämisestä päätettiin hylätä. Todettiin, että koska pistemäisen merkin tekemiseen ei tarvita kuin lyhyt kipinä, ei vakaata valokaarta tarvita.

#### 3.2 Polariteetti

Tavanomaisesta hitsauksesta poiketen, päädyttiin käyttämään niin kutsuttua käänteistä polariteettia. Tämä tarkoittaa, että työkappale on maadoitettu ja elektrodi on positiivinen. (Lincoln Electric 2018). Tähän päädyttiin koska laitteen muiden rakenteellisten vaatimuksien vuoksi, laitteen rungon on oltava terästä ja on näin ollen sähköä johtavaa. Koska työkappale on kiinteässä kosketuksessa runkoon, olisi positiivista työkappaletta käytettäessä liian suuri riski kipinöinnistä rungon ja jonkin muun osan välillä. Polariteetista joh-tuen sähkökipinän lämpö keskittyy elektrodiin, jolloin sen kuluminen hieman nopeutuu. Toisaalta tunkeuma merkittävässä kappaleessa vähenee, mutta myös levenee (Lincoln Electric 2018).

Koska tunkeuma vähenee, voidaan arvella, että jos metallia höyrystyy merkintäkohdassa, se ei tapahdu syvällä, eikä laajenevalla kuplalla ole päällään paljon materiaalia, jota se voisi singota ympäristöönsä.

### 3.3 Elektrodi

Elektrodiksi valittiin tavanomainen 2,4 mm paksu volframi-elektrodi. Päättä ei teroitettu, koska se kuluisi joka tapauksessa pois. Kokeissa havaittiin myös, että tasapäinen elektrodi teki tasaisemman ja leveämmän merkin ja aiheutti vähemmän roiskeita kuin teräväkärkinen elektrodi.

### 3.4 Sytytys

Koska syttyäkseen valokaari tarvitsee riittävän lyhyen ilmvälin – täysin kuivassa ilmassa noin 4,7 kV/mm – on pienoisjännitteellä – alle 120 VDC – kipinäraako hyvin pieni (MAOL 2006, 95). Tästä saadaan johdettua kaava 1 enimmäisraosta, jonka yli läpilyönti voi tapahtua kuivassa ilmassa pienoisjännitteellä.

$$\frac{1 \text{ mm}}{4,7 \text{ kV}} * 120 \text{ V} \approx 0,03 \text{ mm}$$

Kaava 1. Läpilyöntietäisyys

Kaavasta voidaan todeta, että ilmväli voi olla suurimmallakin käytettävissä olevalla jännitteellä vain 0,03 mm eli 30 µm. Niin pienen ilmaraon hallitseminen mekaanisesti on hyvin vaikeaa ja vaatii erityisen tarkkoja toleransseja. Lisäksi elektrodi kuluu käytettäessä, jolloin kipinäväli kasvaa. Näistä syistä kipinävälin vakioiminen puhtaasti mekaanisella menetelmällä poissuljettiin.

#### 3.4.1 Liftarc

Yksi käsitelty idea oli ”lift TIG” tai ”liftarc” tyyppinen sytytys (Salonen. 2018). Ajatus oli, että hitsauselektrodiin ohjataan heikko koejännite. Kun elektrodilla kosketaan työkappaleen pintaan, jännite elektrodissa putoaa ja virta on erisuuri kuin nolla. Jännite on niin heikko, ettei se aiheuta kipinäointiä, mutta valvontaelektroniikka tunnistaa muutoksen. Kun elektrodi sitten nostetaan varovaisesti irti työkappaleesta, katkeaa virta jälleen, jolloin valvontaelektroniikka kytkee sytytysvirran. Sytytysjännite on niin suuri, että se riittää läpilyöntiin ja valokaaren sytyttämiseen. Elektroniikka on niin nopea, että kun elektrodi irtoaa pinnasta, virta kytkeytyy välittömästi, jolloin ilmväli ei ole ehtinyt liian

suureksi. Näin sytytysväli pystyttäisiin vakioimaan logiikan avulla, ilman tarvetta tarkkuuskoneistetuille mekaanisille osille. Toinen etu sytytystavassa oli, että elektrodi ei todennäköisesti hitsaantuisi kiinni merkittävään kappaleeseen, kun elektrodi olisi jo valmiiksi liikkumassa pois päin kappaleesta.

Idea jouduttiin hylkäämään, koska komponentti, joka kytkemisen suorittaisi, joutuisi kestämään sisäisiä läpilyöntejä ja olemaan hyvin nopea. Saatavilla olleet kontaktorit eivät kestäneet tarvittavan energiamäärän kytkemistä, vaan rikkoutuivat sisäisten läpilyöntien seurauksena. Puolijohde olisi tarpeeksi nopea, mutta riittävän kestävää puolijohdekomponenttia ei löytynyt (Tuomisoja, T. 2018). Valmiin *liftark*- hitsauslaitteen hankkiminen osiksi jouduttiin hylkäämään budjettirajoitteiden takia.

### 3.4.2 Valinta

Sytytysmenetelmäksi valittiin lopulta kosketus. Elektrodi tuodaan vakionopeudella kappaleen pintaan. Piiri kytketään ennen kosketusta ja kipinä syttyy, kun etäisyys on riittävän lyhyt. Menetelmä on vaihtoehtoista yksinkertaisin ja kipinäointiä tapahtuu vain elektrodin ja kappaleen välissä.

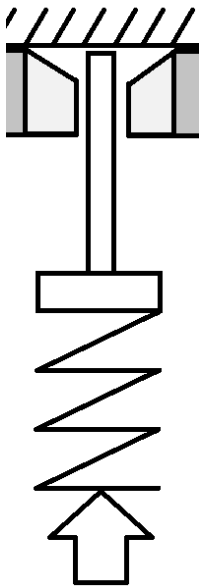
### 3.5 Vaihtovirran hylkääminen

Aiemmin käsitellyn jännitteellisen rungon ongelman lisäksi vaihtovirta matalalla jännitteellä soveltui huonosti valittuun sytytysmenetelmään. Saavutettaessa kipinäetäisyys, sähköön vaihe ei aina ole huipussaan, eikä riitä läpilyöntiin. Koska etäisyys on vain 30  $\mu\text{m}$ . Elektrodi saavuttaa kappaleen pinnan hyvin nopeasti tämän jälkeen. Jännitteen vaihe ei välttämättä missään vaiheessa ehdi nousta, riittääkseen läpilyöntiin. On myös mahdollista, että läpilyönti tapahtuu, mutta epäedullisessa sähköön vaiheessa, siten että purkaantuva energia ei riitä kunnollisen merkin tekemiseen. Tämä havaittiin testauksessa. Identtisissä testeissä tehdyt merkit olivat hyvin eri kokoisia.

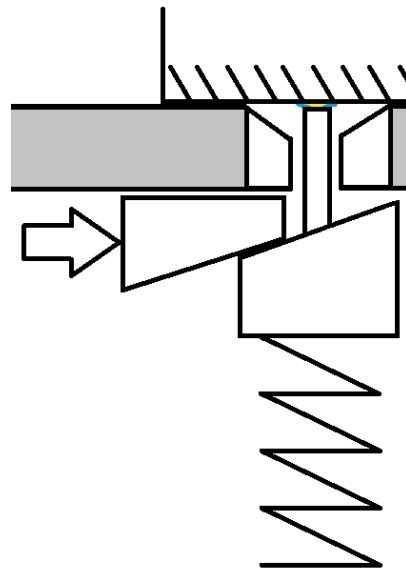
### 3.6 Elektrodien pituuskompensointi

Koska elektrodit kuluvat merkkejä tehtäessä, täytyi suunnitella menetelmä elektrodien pituusmuutosten kompensoimiseksi. Yksi vaihtoehto olisi ollut mitata elektrodien pituutta ja toteuttaa elektrodien liike servomootoreilla. Tämä olisi kuitenkin hyvin kallis ratkaisu vaihtoehtoon nähden. Elektrodit jousitettiin päistään siten, että liike voi olla aina samanlainen, mutta kosketuksen jälkeen elektrodin jousi ottaa vastaan ylimääräisen liikkeen (kuva 4).

Koska testeissä oli havaittu elektrodien taipumus hitsautua kiinni työkappaleeseen, täytyi suunnitella varma keino irrottaa elektrodit työkappaleesta. Koska sähkömoottorit oli jo suljettu pois, oli vaihtoehtona paineilmatoimilaitteet. Tilanahtauden vuoksi, paineilmasylinteri joutuisi olemaan sivummalla, joten suunniteltiin yksinkertainen mekanismi sivulla tapahtuvan lineaariliikkeen siirtämiseksi elektrodiin pystysuuntaiseksi. Ratkaisu oli kiila (kuva 5.). Näin saatiin myös liikkeeseen enemmän voimaa nopeuden kustannuksella ja voitiin käyttää pienempää sylinteriä.

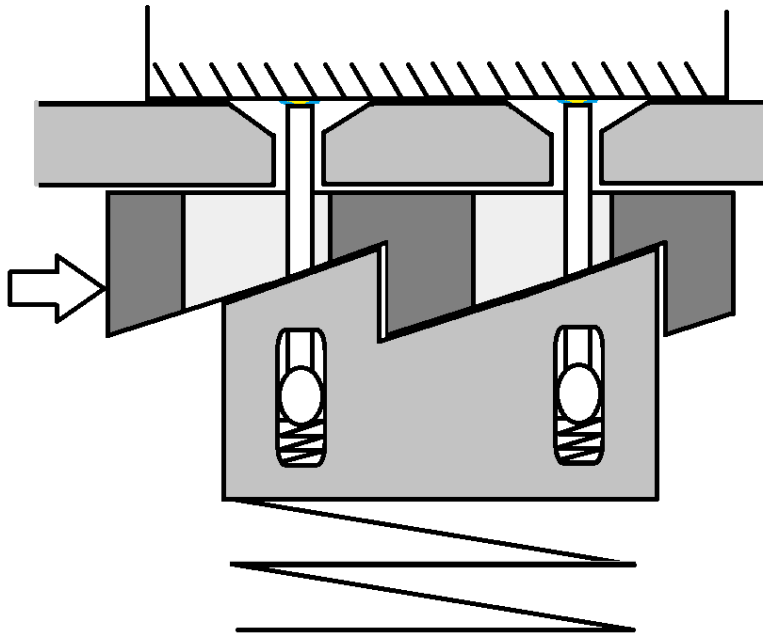


Kuva 4. Elektrodin jousitus



Kuva 5. Kiilamekanismi

Koska kerralla tehtiin useampi merkki, jokainen elektrodi jousitettiin erikseen, elektrodien pituuserojen kompensoimiseksi. Elektrodit liitettiin myös kaikki yhteiseen apurunkoon (kuva 6). Koko apurunko jousitettiin ja apurunko kiinnitettiin siten, että se voi liikkua ainoastaan pystysuunnassa. Näin kiilamekanismi ei siirrä sivuttaisvoimia eikä vääntöä elektrodeihin. Elektrodien jouset huolehtivat vain pituuskompensoitiosta, kun taas apurungon jousitus toimii kiilan vastavoimana.



Kuva 6. koko mekanismi

#### 4 TESTAUS

Merkitsemisen testaamista varten koottiin kuvassa 1 näkyvä koelaitte, jolla elektrodi voitiin tuoda kappaleen pintaan vakionopeudella. Tämä tehtiin vapaassa ilmassa olleella paineilmasylinterillä. Kun sylinteri päästettiin laskemaan omalla painollaan. Sylinterin venttiilin vastus hidasti elektrodin laskeutumisen tasaiseksi, hitaaksi ja hallituksi liikkeeksi. Näin voitiin varmistaa, että valokaarella on mahdollisimman paljon aikaa palaa.



Kuva 1. Koelaitte

Aluksi testattiin erilaisilla virtalähteillä ja eri virtamäärillä, vahvimman merkin selvittämiseksi. Kokeiltiin muun muassa hitsausvirtalähdettä. Johdonmukaisimmat tulokset saatiin sarjaan kytketyillä 5 A, 24 V virtalähteillä. Virtalähteiden sisäinen suoja katkaisi virran oikosulun jälkeen, jolloin sähköä ei haaskattu enää kipinän jälkeen. Sähköä ei myöskään tarvinnut erikseen katkaista merkin jälkeen. Keskusteluissa suunnittelijat Salonen ja Tuomisoja suosittelivat kondensaattorin käyttöä. Todettiin, että virtalähteiden merkki todennäköisesti tuotettiin lähinnä niiden sisäisten kondensaattorit purkamalla. Kondensaattori myös luultavasti kestäisi varmemmin suuria virtoja, kuin virtalähde. (Salonen, M ja Tuomisoja, T. 2018.)

Kondensaattorin mitoittamiseksi laskettiin teoreettinen tarvittavan energian määrä halutun – noin 3 mm halkaisijaltaan (D) ja puoli millinä syvän (h) – merkin tekemiseksi. Tehtiin arvio, että merkki saadaan aikaan siten, että sulatetaan metallia merkin vaatima tilavuus (Kaava 2).

$$V = h \cdot \pi \frac{D^2}{4} = 0,5 \text{ mm} \cdot \pi \frac{(3 \text{ mm})^2}{4} \approx 3,53 \text{ mm}^3$$

Kaava 2.

Sulatettava massa saatiin kaavasta 3.

$$m = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot V \approx 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

Kaava 3.

Energiamäärä, jonka metallin kuumentaminen sulamispisteeseen tarvitsee, saatiin kaavasta 4.

$$E = \Delta T \cdot m \cdot c = (1350^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \cdot 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot 0,46 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \approx 0,0168 \text{ KJ}$$

Kaava 4.

Kuuman metallin sulattamiseen tarvittava energiamäärä saatiin kaavasta 5. Ominaislämmön arvona käytettiin MAOL taulukkokirjan arvoa raudalle. Sen arvioitiin vastaavan riittävän hyvin tuntemattoman teräslaadun ominaislämpöä.

$$E_{sula} = s \cdot m = 276 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \cdot 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 0,00759 \text{ KJ}$$

Kaava 5.

Näin ollen kokonaisenergia on kaavan 6 mukaan.

$$E_{tot} = E_{heat} + E_{sula} = 16,8 \text{ J} + 7,59 \text{ J} \approx 24 \text{ J}$$

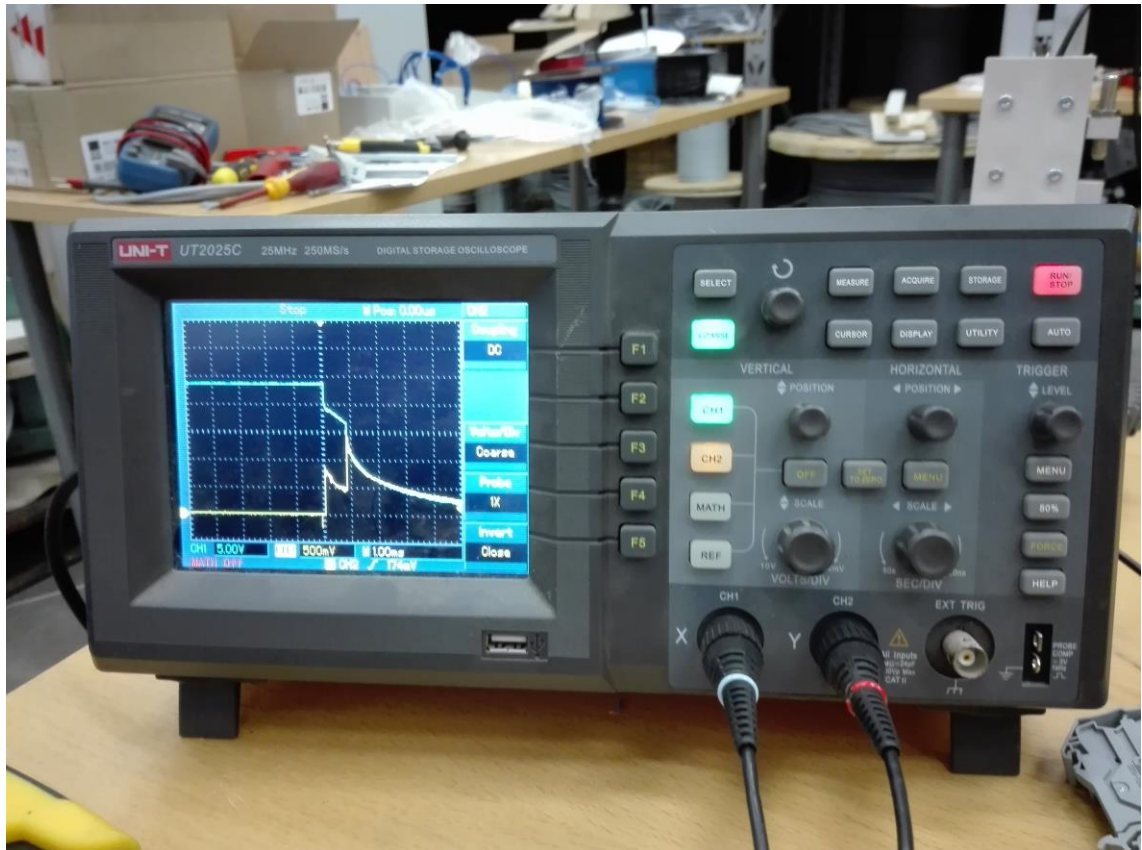
Kaava 6.

Tarvittava kondensaattorin kapasitanssi saatiin kaavan 7 mukaan.

$$C = \frac{2E}{U^2} = \frac{2 \cdot 24 \text{ J}}{(30 \text{ V})^2} = 0,053 \text{ F} \approx 50 \text{ mF}$$

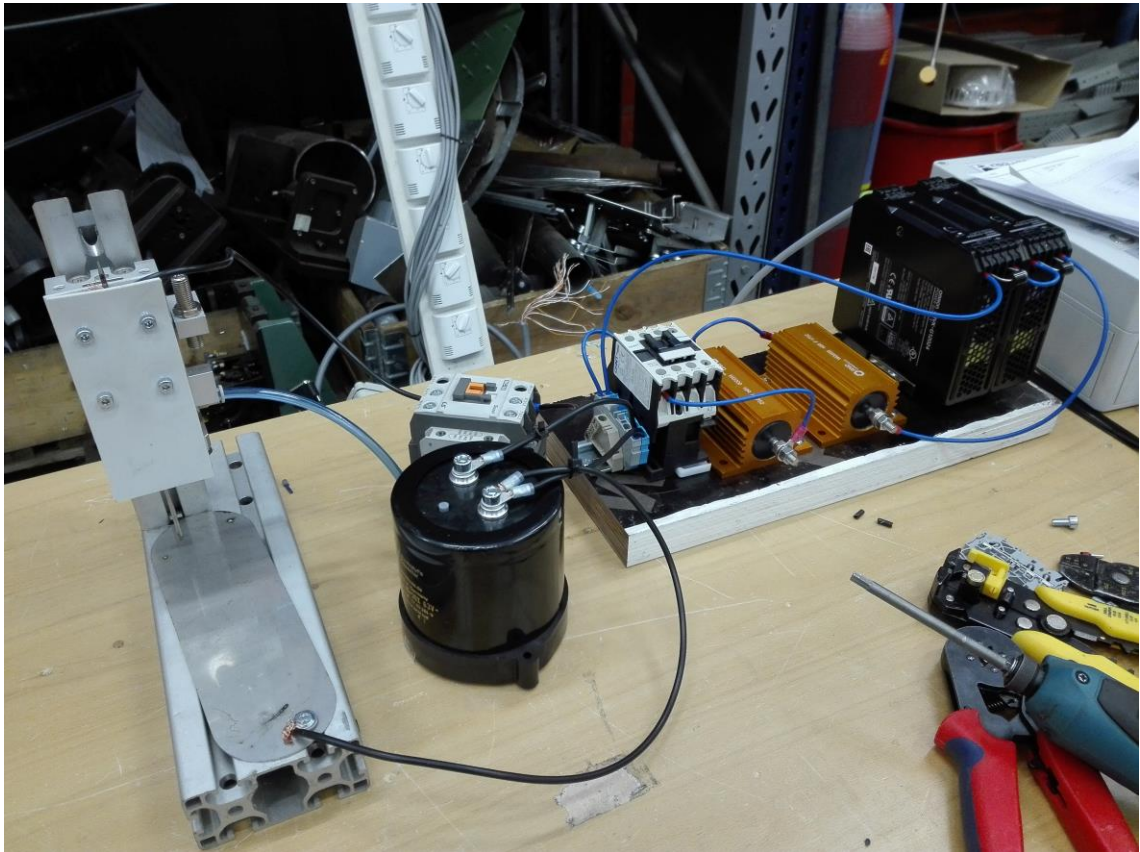
## Kaava 7.

Laskelmien pohjalta hankittiin testejä varten 50 mF ja 100 mF kondensaattorit. Teoreettisen laskelman lisäksi tehtiin mittauksia (kuva 2) aiemman menetelmän energiamäärän arvioimiseksi, jotta sen pohjalta voidaan arvioida teoreettisten laskelmien oikeellisuutta.



Kuva 2. Virran ja jännitteen mittaaminen kipinässä





Kuva 3. Testilaite

Testauksessa havaittiin, että täyteen ladattu 50 mF kondensaattori (kuva 3) tuotti toivotunlaisen merkin jokaisella iskulla. Havaittiin myös, että elektrodi hitsautui osittain kiinni testikappaleeseen. Elektrodi oli kuitenkin irrotettavissa käsivoimin. Hitsautumisesta tehtiin huomio mekaniikkasuunnittelua varten.

Merkitsemistä kokeiltiin myös pidemmillä johdoilla, koska kondensaattoreita ei välttämättä pystytä sijoittamaan aivan elektrodien lähelle. Havaittiin, että jopa suhteellisen paksuilla kaapeleilla energiahäviö kasvoi johtimissa nopeasti hyvin suureksi.

Laitteen energiahäviöille on yksinkertainen selitys. Kondensaattorin purkuvirta on hyvin suuri. Mikään käytettävissä oleva realistisesti käytettävissä oleva kaapeli ei ole tarkoitettu niin suurille virroille, vaan vastustavat voimakkaasti kovaa sähkövirtaa. Kaikki johtimet toimivat vastuksina kaavan 8 mukaan.

$$U = RI$$

Kaava 8. Jännitehäviö vastuksessa

Vaikka vastus ( $R$ ) olisikin hyvin pieni, virran ( $I$ ) kasvaessa hyvin suureksi, jännitehäviö tulee taas merkittäväksi.

## 5 POHDINTA

Kokeissa havaittiin, että elektrodi ei merkittävästi lämmennyt merkkejä tehtäessä. Tämän perusteella voidaan päätellä, että kipinäraon vastus on paljon suurempi kuin muun piirin. Tällöin suurin osa energiasta kohdistuu pistemäisesti kipinäraoon, eikä esimerkiksi kuumenna johtimia tai elektrodin vartta merkittävästi. Johtimia pidennettäessä havaittiin kuitenkin, että häviöt kasvoivat hyvin nopeasti hyvin suuriksi. Tämä olisi kannattanut ottaa huomioon jo heti mekaniikkasuunnittelun alkuvaiheessa, jotta kondensaattoreille olisi voinut varata tilaa läheltä elektrodeja.

Lift-arc sytytys olisi ollut paras vaihtoehto kipinävälin vakiointiin ja prosessin ja häiriötömään toimintaan. Vaikka tarvittavia komponentteja ei löytynyt, ne ovat olemassa. Menetelmä on käytössä joissain kalliimmissa TIG-hitsauslaitteissa. Lift-arc sytytys poistaisi myös metalliroiskeiden syntymisen (Selvi, Vishvaksenan & Rajasekar 2017, 29). Selvi ym. (2017, 29) mukaan roiskeet syntyvät, kun elektrodi koskee metallisulaan jännitteen ollessa kytkettynä.

Merkkaimessa käytettiin paljon muovisia mekaniikkaosia sähkön eristämiseksi. Monet osista olivat erikoisosia, joiden valmistuksessa hyödynnettiin 3D-tulostamista. Tulostettujen osien pinnat olivat karheammat kuin koneistettujen, mutta se ei vaikuttanut merkittävästi osien kitkaan.

## LÄHTEET

Leinonen, J. 2007. Hitsaustekniikka. Oulun Yliopisto. Konetekniikan osasto. Opintomonieste.

Selvi, S., Vishvaksenan, A. & Rajasekar, E. 2017. Cold metal transfer (CMT) technology - An overview. *Defence Technology*. 14 (1), 28–44. Pdf. Luettu 4.5.2018. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.08.002>

Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L. & Meriläinen, P. 2005. MAOL-  
taulukot. 2.–3. painos. Helsinki: Otava.

Shannon, G. How To Choose The Right Marking Technology For Your Application. Luettu 15.5.2018. <https://www.meddeviceonline.com/doc/how-to-choose-the-right-marking-technology-for-your-application-0001>

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

AC/DC Understanding Polarity. Lincoln Electric. Luettu 13.4.2018. <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/understanding-polarity-detail.aspx>

Sähköinfo Oy. Sähkön vaarallisuus. Sähköturvallisuuskoulutus 29.3.2018

Salonen, M. 2018. Suunnittelija. Metecno Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 21.2.2018

Salonen, M & Tuomisoja, T. 2018. Suunnittelijat. Metecno Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 10.3.2018

Tuomisoja, T. 2018 Sähkö- ja automaatio suunnittelija. Metecno Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 21.3.2018