

Tuomas Mämmelä

TERÄKSEN MAGNEETTISET OMINAISUUDET JA HITSATTAVUUS

TERÄKSEN MAGNEETTISET OMINAISUUDET JA HITSATTAVUUS

Tuomas Mämmelä
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotanto- ja metallitekniikan
suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Tuomas Mämmelä

Opinnäytetyön nimi: Teräksen magneettiset ominaisuudet ja hitsattavuus

Työn ohjaaja: Esa Törmälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014

Sivumäärä: 42 + 1 liite

Jäännösmagnetismin vaikutuksia hitsausprosessiin on tutkittu Suomessa erittäin vähän. Ilmiö on monille hitsareille tuttu, mutta asiaan ei osata tiedon puutteen vuoksi reagoida. Työn tilaaja Miilux Oy oli havainnut ongelman ja halusi aiheesta lisää tietoa, jotta se voisi ohjeistaa asiakkaitaan ongelmallisissa tapauksissa. Työn tavoitteena oli ensisijaisesti löytää keinoja jäännösmagnetismin poistamiseen ja haittavaikutusten minimointiin.

Työ jakaantui kolmeen osaan. Robottihitsauskokeella todennettiin remanenssin vaikutuksia hitsausprosessiin. Hystereesismittauksen avulla hankittiin tietoa eri kulutusteräslaatuojen, lämpötilan ja valssaussuunnan merkityksestä. Demagnetointikokeella kokeiltiin, voiko jäännösmagnetismin poistaa ennen hitsausta.

Tärkein havainto oli, että remanenssin voi hätätilanteessa poistaa tavallisella magneettijauhetarkastukseen tarkoitetulla vaihtovirtaieksellä. Menetelmä ei ole jatkuvassa käytössä kovin käytännöllinen, mutta toimii silloin, kun muuta vaihtoehtoa ei ole. Lisäksi huomattiin, että jäännösmagnetismi voi heikentää hitsin tunkeumaa ja aiheuttaa virheitä magneettivuon napaisuuden vaihtuessa. Todettiin, että esilämmitys ja valssaussuunta eivät vaikuta materiaalin magneettisiin ominaisuuksiin.

Asiasanat: teräs, magnetismi, remanenssi, demagnetointi, hitsaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in mechanical and production engineering, option of
production and metal engineering

Author: Tuomas Mämmelä

Title of thesis: Magnetic properties and weldability of steel

Supervisor: Esa Törmälä

Term and year of completion: spring 2014

Number of pages: 42 + 1

There is very little information available in Finland about how residual magnetism affects the welding process, and how it can be counteracted. This thesis was ordered by Miilux Abrasion Resistant Steel Centre. Main objective was to find out how remanence can be eliminated or reduced.

A robot welding test was conducted first to find out what are the effects of remanence in welding. Then a device was built to measure magnetic properties of wear resistant steels in different temperatures and in different angles relative to rolling direction. A demagnetizing experiment was done to confirm if remanence could be effectively reduced before welding.

The most important finding was that remanent magnetization can be removed using an alternative current magnetic inspection yoke. This method is not recommended for every day use, but it can be effective in an emergency. In addition it was noted that remanence can cause poor weld penetration and other faults. Preliminary heating will not reduce magnetization, and rolling direction does not affect magnetic properties of tested steels.

Keywords: steel, magnetism, remanence, demagnetizing, welding

ALKULAUSE

Opinnäytetyön tekeminen uudesta ja vähän ymmärretystä aiheesta on ollut mielenkiintoinen haaste. Kirjallisuutta löytyi pääasiassa englanniksi, eikä juuri mitään ollut tarjolla valmiiksi pureskeltuna, vaan tietoa on joutunut yhdistelemään ja soveltamaan runsaasti. Tarvittava teoriapohja on kyllä olemassa, mutta magnetismia ei ole vielä tunnistettu merkittävänä vaikuttajana jokapäiväisessä hitsaustoiminnassa siinä laajuudessa, kuin olisi tarpeen.

Haluan kiittää Miilux Oy:tä ja työelämänohjaaja Timo Sipilää avoimesta ja positiivisesta asenteesta opinnäytetyön tekemistä kohtaan. Sain käyttööni kaikki tarvittavat resurssit ja vapaudet, joiden avulla työn tekeminen onnistui. Toivon, että työstäni on yritykselle hyötyä ja että se jatkossakin antaa opiskelijoille näin hyvän mahdollisuuden opinnäytetyön tekemiseen.

Lisäksi haluan mainita opinnäytetyöni ohjaajan lehtori Esa Törmälän sekä opiskelijatoverini Mika Harjun. Sain molemmilta erittäin arvokasta tietoa, käytännön osaamista sekä ennen kaikkea tukea ja kannustusta työn suorittamiseen.

Eriyisen jännittävää on, että työn tiimoilta on avautunut mahdollisuus perustaa oma yritys. Vielä tässä vaiheessa lienee turha kuvitellakaan, millaiseen elämäntapamuutokseen tämä lopulta johtaakaan. Suuri kiitos avovaimolleni Annille, joka on suhtautunut tähän hullutukseen positiivisesti ja kannustavasti.

Raahessa 14.3.2014

Tuomas Mämmelä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 MAGNETISMI	9
2.1 Ferromagnetismi	9
2.2 Magneettivuo ja magneettivuon tiheys	13
2.3 Permeabiliteetti	13
2.4 Sähkömagneetti	14
2.5 Magneettikentän vaikutus hitsaukseen	15
2.6 Magneettivuon mittaaminen hall-efektin avulla	15
3. ROBOTIHITSAUSKOKEET	17
3.1 Koejärjestelyt ja hitsausparametrit	17
3.2 Tulokset	19
4 HYSTEREESISKÄYRIEN MITTAUS	22
4.1 Mittalaitteen toimintaperiaate	22
4.2 Koekappaleiden suunnittelu ja valmistus	24
4.3 Ensioökämin syöttö ja virtamittaus	26
4.4 Toisiökämin jännitteen integrointi	26
4.5 Laitteen toteutus ja säätö	29
4.6 Mittauksen suoritus	31
4.7 Tulokset	32
5 DEMAGNETOINTIKOE	35
5.1 Toteutus	35
5.2 Tulokset	36

6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	38
6.1 Jäännösmagnetismin vaikutukset	38
6.2 Ohjeita hitsaukseen	38
7. POHDINTA	40
LÄHTEET	41
LIITTEET	
LIITE 1. KOEKAPPALEIDEN VALMISTUSPIIRUSTUKSET	

1 JOHDANTO

Työn kirjoittamishetkellä kone- ja metalliteollisuus käy selviytymistaistelua heikon kannattavuuden vuoksi. Vaikka talous on lähtenyt vuoden 2008 rahoituskriisin jälkeen hitaaseen kasvuun, toimii neljännes alan yrityksistä kannattavuusrajan alapuolella, eikä nopeaa muutosta ole ennusteiden mukaan näköpiirissä. Toisaalta kone- ja metalliteollisuus tulee säilyttämään merkittävän roolin maailmalla väestön kasvun ja kaupungistumisen jatkuessa, ja sen seurauksena on elintärkeää säilyttää alan osaamista Suomessa. (1.)

Hitsaaminen on yksi yleisesti käytössä oleva liittämistekniikka, joka erityisesti erikoisteräksiä käytettäessä aiheuttaa merkittäviä kustannuksia konepajoille. Erikoislujien ja -kovien terästen hitsattavuus on merkittävästi huonompi kuin tavanomaisten rakenneterästen (2, s. 129 - 130). Lisäksi on havaittu, että erikoisteräsiin saattaa jäädä voimakas jäännösmagneettikenttä, joka haittaa hitsausta entisestään. Jos magnetismin haittavaikutukset voitaisiin välttää, tämä helpottaisi hitsausprosessia ja voisi aiheuttaa merkittäviä säästöjä, kun hitsaus nopeutuisi ja virheet vähenisivät.

Työn tilaaja on kulutusteräsratkaisuja tuottava Miilux Oy. Tavoitteena on tuottaa yrityksen teräslaatuojen magneettisista ominaisuuksista mittaustuloksia ja hyödyntää näitä yhdessä teorian ja käytännön havaintojen kanssa, jotta voitaisiin luoda ohjeet magneettisesti ongelmallisten saumojen hitsaukseen.

2 MAGNETISMI

Magnetismin tuntemuksen historia alkoi ainakin 2 500 vuotta sitten, kun havaittiin, että salaman iskun vaikutuksesta magnetiitti (Fe_3O_4) vetää puoleensa rautaesineitä. Magnetiittia esiintyi runsaasti Magnesian eli nykyisen Turkin tasavallan alueella, ja magneetti-sana on myöhemmin tullut muihin kieliin kreikasta. Kreikkalaiset tiesivät, että raudan saa magnetoitua hieromalla sitä magnetiitilla. Ensimmäinen tieteellinen julkaisu On the Magnet ilmestyi vuonna 1600, ja siinä käsiteltiin lähinnä maan magneettikenttää. Ensimmäinen merkittävä tieteellinen löytö tapahtui vuonna 1820, kun Hans Christian Oersted huomasi, että sähkövirta aiheuttaa magneettikentän. Viisi vuotta myöhemmin valmistettiin ensimmäinen sähkömagneetti. Tämän jälkeen kehitys kiihtyi, kun useat kuuluisat tiedemiehet, kuten Tesla, Faraday, Ampère, Maxwell ja Coulomb, tekivät aiheesta uusia löytöjä. (1, s. 1 - 17.)

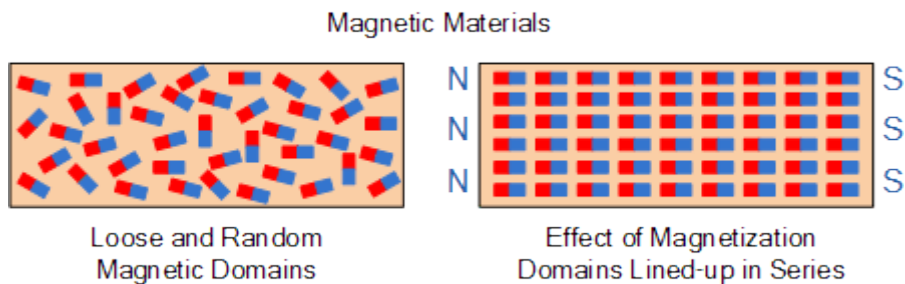
2.1 Ferromagnetismi

Aineet voidaan luokitella kolmeen pääryhmään sen perusteella, miten ne reagoivat ulkoiseen magneettikenttään. Jos kappaleen sisäinen vuon tiheys mitataan samalla, kun siihen kohdistetaan tunnettu ulkoinen kenttä, havaitaan, että diamagneettinen aine heikentää ja paramagneettinen voimistaa kenttää hieman, tyypillisesti noin 0,02 %. Ferromagneettinen materiaali sen sijaan voimistaa kenttää huomattavasti suuremmaksi. Dia- ja paramagneettisten materiaalien vaikutus on niin vähäinen, että yleensä ollaan kiinnostuneita vain ferromagnetismista. Ferromagneettisia aineita ovat rauta, nikkeli ja koboltti sekä muutama muu erikoisempi alkuaine ja seos. Teräksissä merkittävä vaikutus on lähinnä raudalla. Nikkeliä ja muita ferromagneettisia aineita teräs sisältää hyvin vähän. (3, s. 12, 141; 4.)

Rauta on spontaanisti magnetoituva aine, eli raudan magneettisuuden suuruus on aina sama riippumatta siitä, vaikuttaako se ulkoisesti magnetoituneelle. Tämän mahdollistaa se, että ferromagneettisessa aineessa on pieniä alkeisalueita, joiden sisällä atomien magneettimomenttien suunta on sama mutta jotka ovat toisiinsa nähden satunnaisesti järjestäytyneet. Näin käy

teräksen valmistuksessa, kun kappale on lämmitetty riittävän korkeaan lämpötilaan ja se on jäähtynyt ilman voimakkaiden ulkoisten magneettikenttien vaikutusta. Nämä niin sanotut Weissin alueet ovat järjestäytyneet mielivaltaisesti ja kappaleen magnetoituma on näennäisesti nolla. (3, s. 116 - 117.)

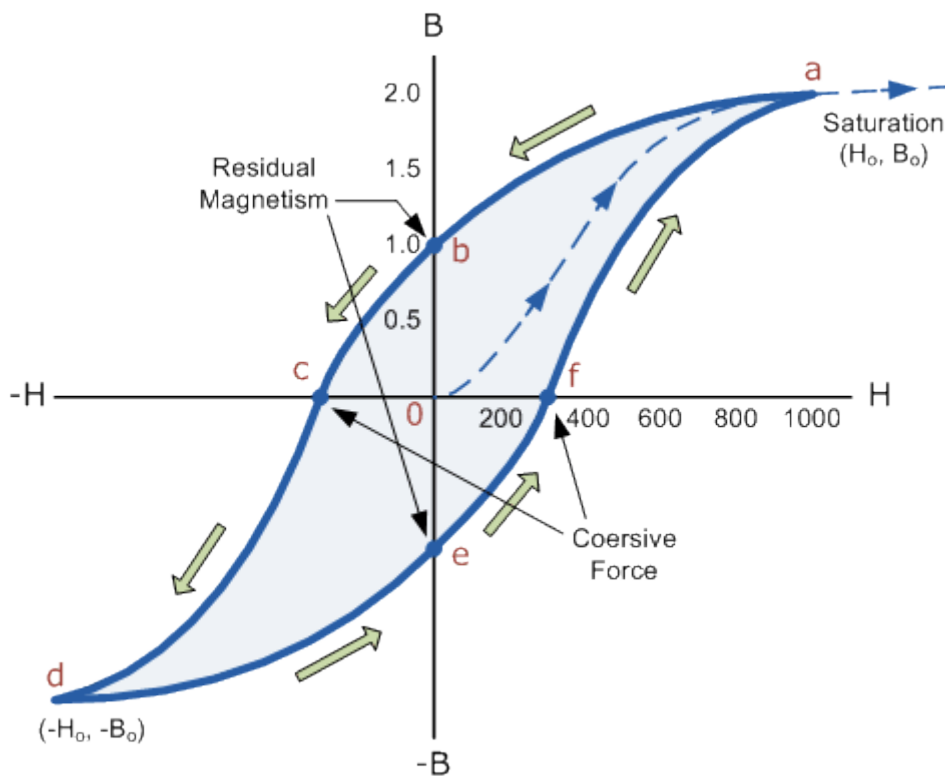
Ferromagneettinen kappale magnetoituu, kun siihen kohdistetaan riittävän suuri ulkoinen kenttä, jolloin kentän suuntaiset alkeisalueet alkavat kasvaa muiden kustannuksella, ja lopulta kaikki alueet kääntyvät ulkoisen kentän suuntaisiksi. Tällöin kappale on täysin magnetoitunut, eli se on saavuttanut saturaatiopisteen. Se ei pysty enää vahvistamaan kenttää lisää, joten saturaation jälkeen kentän voimakkuuden kasvu ei riipu enää ferromagneettisen materiaalin ominaisuuksista. Kuvassa 1 on yksinkertaistettu havainnollistus Weissin alueiden järjestäytymisestä ferromagneettisen kappaleen sisällä. (3, s. 116 - 117.)



KUVA 1. Weissin alueiden järjestäytyminen (5, linkki Electromagnetism)

Hystereesikäyrä on hyödyllinen kuvaaja, jonka avulla ferromagneettisia aineita on helppo verrata keskenään. Tämä on esitetty kuvassa 2. Kuvaajan vaakakselilla on ulkoisen magneettikentän voimakkuus ja pystyakselilla kappaleen sisäisen magneettivuon tiheys. Hystereesikäyrälle tyypillinen muoto saadaan näkyviin, kun koekappaletta magnetoidaan eri suuntiin niin suurella kentällä, että aine satureituu. Kuvaajasta voidaan havaita

- saturaatiopiste
- jäännösmagnetismin määrä
- koersiivikentän voimakkuus.



KUVA 2. Ferromagneettisen aineen hystereesiskäyrä (5, linkit Electromagnetism -> Page 4 - Magnetic Hysteresis)

Saturaatiopiste kertoo, kuinka suuri ulkoinen magneettikenttä tarvitaan, jotta materiaali saadaan magnetoitua täysin. Magneettisesti kovilla aineilla on korkea saturaatiopiste, mikä johtaa siihen, että ne säilyttävät magneettisuutensa hyvin, jos ne pääsevät magnetoitumaan. Tätä käytetään hyväksi, kun luodaan kestmagneetteja. Vastaavasti magneettisesti pehmeän materiaalin saturaatiopiste on matala, jolloin aine on helppo magnetoida ja demagnetoida. Tästä on hyötyä muun muassa muuntajien sydämissä, kun halutaan eron ylimääräisistä tehohäviöistä. (3, s. 18; 6, s. 135 - 136; 7, s. 150 - 151.)

Jäännösmagnetismin määrä eli remanenssi kuvaa kappaleen taipumusta säilyttää magnetoituma, kun ulkoinen kenttä poistetaan äkillisesti. Kuvan 2 tapauksessa, jos materiaali ajetaan saturaatiopisteeseen 1 000 A/m kentän voimakkuudella ja magnetoiva kenttä poistetaan, jää kappaleeseen remanenssia 1,0 teslaa. Koersiivikentän voimakkuus on yhteydessä

remanenssiin, ja se kertoo, kuinka suuri vastakkaissuuntainen kenttä on luotava, jotta aiempi magnetoituma saadaan kumottua. (7, s. 150.)

Hystereesikäyrää voidaan hyödyntää sähköisessä demagnetoinnissa. Tavoitteena on palauttaa kappaleeseen riittävä Weissin alueiden epäjärjestys, jotta magnetoituma on käytännön kannalta merkityksetön. Se tapahtuu niin, että kappaletta magnetoidaan vaihtovirralla aluksi niin suurella teholla, että se satureituu, minkä jälkeen kentän voimakkuutta vähitellen lasketaan. Näin kappaleen magnetoituma seuraa pienenevää hystereesikäyrää kohti nollaa. Tätä on havainnollistettu kuvassa 3. (7, s. 151.)

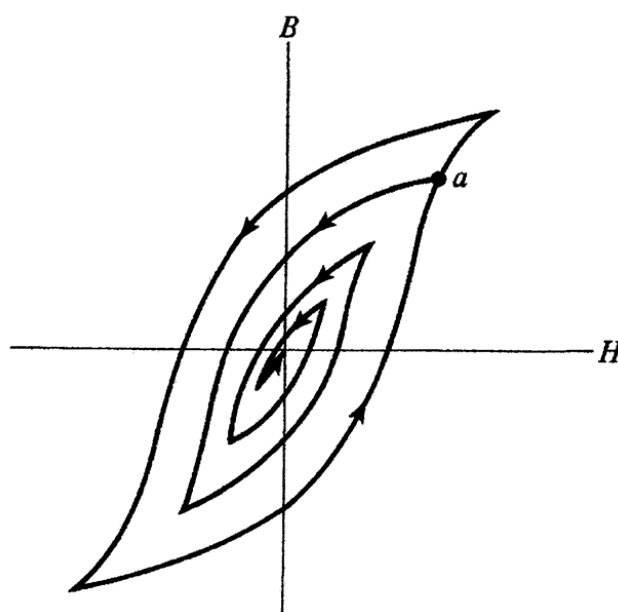


Fig. 1.16 Demagnetization by cycling with decreasing field amplitude.

KUVA 3. Demagnetointi vaihtovirran avulla (3, s. 20)

Toinen tapa demagnetoida kappale on nostaa sen lämpötila Curien lämpötilan yläpuolelle. Raudan Curien lämpötila on 770 °C. Tällä tavalla kappale saadaan nollattua täysin alkutilaansa, mutta metalliteollisuuden kannalta menetelmä on käytännössä hyödytön, sillä teräksen ominaisuudet muuttuvat Curien lämpötilassa huomattavasti, ja näin menetetään aiemmilla lämpökäsittelyillä saavutetut materiaalin ominaisuudet. (7, s. 151; 8, s. 37 - 48.)

2.2 Magneettivuo ja magneettivuon tiheys

Magneettikenttää voidaan havainnollistaa vuoviivojen eli kenttäviivojen avulla. Ne ovat aina sulkeutuvia käyriä, ja on sovittu, että ne kulkevat magneetin ulkopuolella pohjoiskohtiosta eteläkohtioon, ja edelleen kappaleen sisällä eteläkohtiosta pohjoiskohtioon. Magneettivuon tunnus on Φ , ja sen yksikkö on weber. (7, s. 119 - 121; 5, linkit Electromagnetism.)

Magneettivuon tiheys kuvaa magneettikentän voimakkuutta. Koska magneettivuon yksikkö on weber ja pinta-alan neliömetri, on magneettivuon tiheyden yksikkö näin ollen weber/m² ja tunnus B. Tämä yksikkö on nimetty myös Nikolai Teslan mukaan teslaksi, eli 1 T = 1 Wb/m². Yksikkönä voidaan käyttää myös gaussia. 1 G = 0,1 mT. Pohjimmiltaan magneettivuon tiheys määritellään varattuun hiukkaseen kohdistuvan magneettisen voiman avulla. (7, s. 119 - 121; 5, linkit Electromagnetism.)

2.3 Permeabiliteetti

Permeabiliteetilla kuvataan aineen kykyä kanavoida magneettivuo. Mitä suurempi permeabiliteetti, sitä voimakkaammin aine kanavoi ympäröivät kentät kulkemaan itsensä läpi. Tämä havaitaan kentän voimakkuuden kasvuna kyseisen materiaalin läheisyydessä. Permeabiliteettiä merkitään kirjaimella μ . Monesti ilmoitetaan suhteellinen permeabiliteetti μ_r , joka kertoo aineen permeabiliteetin suhteessa tyhjiön permeabiliteettiin kaavan 1 mukaisesti. (7, s. 137 - 138; 5, linkit Electromagnetism -> Page 3 - Electromagnet.)

$$\mu = \mu_r \times \mu_0$$

KAAVA 1. Permeabiliteetin suhde suhteelliseen ja tyhjiön permeabiliteettiin (7, s. 138)

Todellisuudessa aineen permeabiliteetti ei ole vakio, kuten havaitaan kuvasta 4. Kuvaajasta voidaan erottaa lähtöpermeabiliteetti μ_0 , jota ei pidä sekoittaa tyhjiön permeabiliteettiin, sekä suurin permeabiliteetti μ_m .

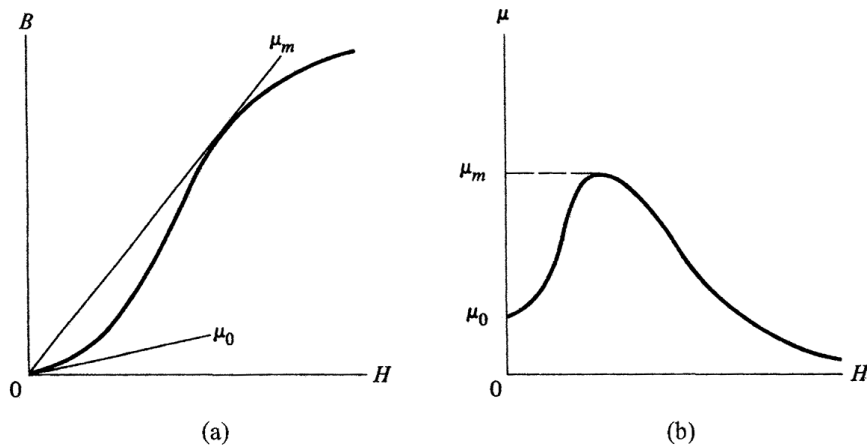


Fig. 1.13 (a) B vs H curve of a ferro- or ferrimagnetic, and (b) corresponding variation of μ with H .

KUVA 4. Permeabiliteetti riippuu magneetoivan kentän voimakkuudesta (3, s. 15)

2.4 Sähkömagneetti

Sähkömagneetti on yksinkertainen tapa luoda voimakas magneettikenttä. Se muodostuu magneettisesta sydäimestä ja sen ympärille kiedotusta kuparijohtimesta eli käämistä. Käämin läpi johdettu virta aiheuttaa sähkömagneetin sisälle lähes homogeenisen magneettikentän, jos käämin pituus on suurempi kuin sen halkaisija. Magneettikentän voimakkuus sähkömagneetin keskipisteessä riippuu virrasta, käämin kierrosten lukumäärästä ja käämin pituudesta. Sähkömagneetilla luodun kentän voimakkuuden yksikkö on A/m ja tunnus H . Kentän voimakkuuden voi laskea kaavan 2 avulla. (3, s. 25 - 26, 33.)

$$H = \frac{IN}{L} \frac{\text{ampeeri kierrosta}}{\text{metri}}$$

H = magneettikentän voimakkuus

N = käämin kierrosten lukumäärä

I = sähkövirta

L = käämin pituus

KAAVA 2. Magneettikentän voimakkuus käämin keskipisteessä (3, s. 16)

2.5 Magneettikentän vaikutus hitsaukseen

Yleisesti käytettyjä hitsausmenetelmiä ovat ainakin puikkohitsaus, jauhekaarhitsaus, MIG/MAG-hitsaus sekä TIG-hitsaus. Näistä jokainen menetelmä perustuu sähkövirran aiheuttamaan valokaareen, joka sulattaa perus- ja lisäaineen. (9, s. 10 - 11, 75.)

Magneettikenttä aiheuttaa liikkuvaan varaukseen voiman, joka on verrannollinen sähkövaraukseen, sen nopeuteen, suuntaan ja magneettivuon tiheyteen (7, s. 120). Jos hitsattavat kappaleet ovat magnetoituneet täysin satunnaisesti, voi hitsausrailoon muodostua kenttä jonka, suunta ja voimakkuus vaihtelee koko railon matkalta. Tämä voi aiheuttaa muun muassa valokaaren epävakautta, vaihtuvasuuntaista magneettista puhallusta sekä lisääntyneitä sulan roiskumista, mikä voi johtaa hauraaseen hitsiin. (10, linkit Demagnetizers -> Degaussing services, 11.)

2.6 Magneettivuon mittaaminen hall-efektin avulla

Yksi yleisesti magneettivuon mittaamiseen käytetty menetelmä perustuu hall-efektiin. Kun levymaisesta johtimen läpi kulkee tunnettu sähkövirta, ja johtimeen vaikuttaa poikittaissuuntainen magneettikenttä, syntyy johtimen poikkisuuntaan magneettivuon suuruuteen verrannollinen jännite. Vuomittarien toiminta perustuu siis yksinkertaisuudessaan tarkasti tunnettuun virtaan sekä hall-jännitteen mittaamiseen. (3, s. 38 - 39.)

Tämän työn mittauksissa käytettiin Oulun ammattikorkeakoululta lainattua AlphaLab GM 1-ST -vuomittaria, joka käyttää kiinteästi yksikkönä gaussia. Sen tarkkuudeksi on ilmoitettu ± 1 % lämpötilassa 16 °C - 29 °C. Näyttämän resoluutio on 0,1 G. Ohut anturi on sijoitettu lattakaapelin päähän, joten se sopii hankalienkin paikkojen mittaukseen. (12.)

3 ROBOTTIHITSAUSKOKEET

Työssä tehdyillä robottihitsauskokeilla haluttiin todeta, millaisia vaikutuksia remanenssilla voi olla hitsauksen onnistumiseen. Kokeessa käytettiin Raahen Seudun Teknologiakeskuksen tuotantostudion Motoman-hitsausrobotia, joka on varusteltu MIG-/MAG-hitsauslaitteistolla. Robotilla hitsatessa saadaan nostettua kokeiden toistettavuutta ja luotettavuutta, kun polttimen asento ja kuljetusnopeus sekä hitsausparametrit pysyvät tarkasti samoina läpi kokeen.

3.1 Koejärjestelyt ja hitsausparametrit

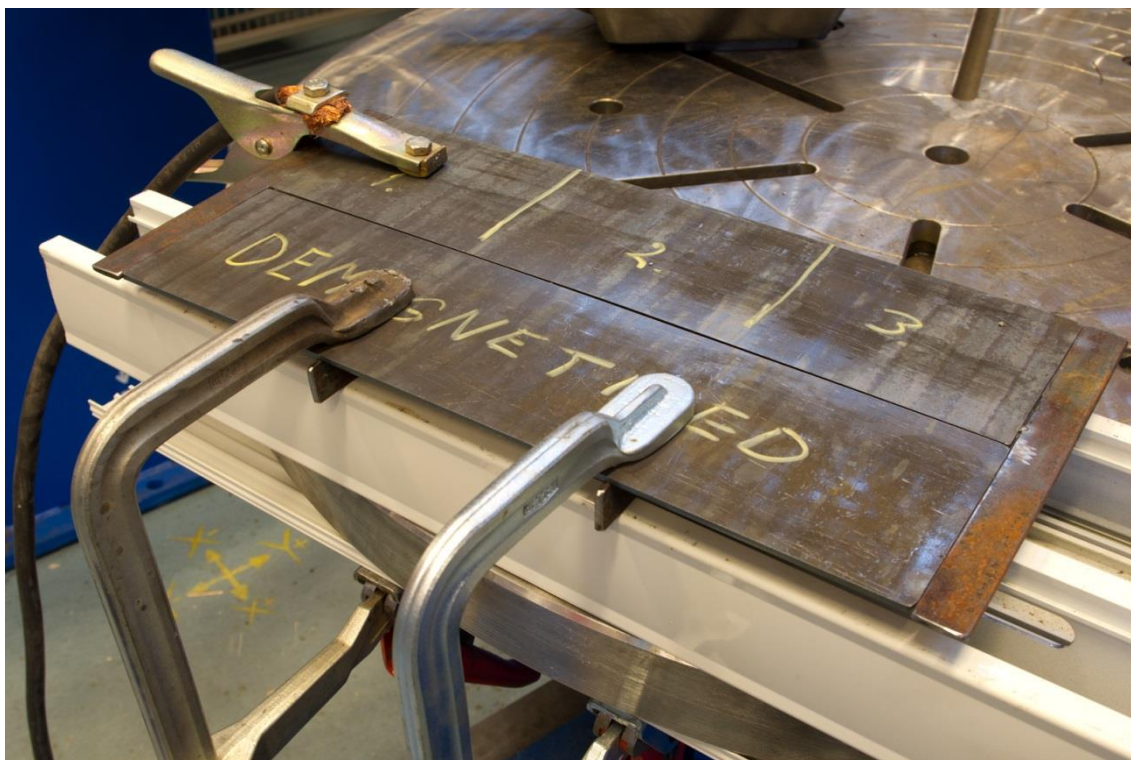
Hitsattava materiaali oli 3,2 mm paksua Miilux 500 -kulutusterästä. Paksuuteen päädyttiin, koska se on suurin paksuus, jonka voi hitsata I-railoon yhdeltä puolelta. Näin kokeiden suorittamiseen kuluva aika saatiin säästettyä. Ilmaraoksi valittiin paksuudelle suositeltu 2 mm. Lisäainelangaksi valittiin Miiluxin hitsausohjeen suosittelema Esab OK Autrod 12.51, jonka paksuus oli 1,2 mm (13). (9, s. 127.)

Muut hitsausparametrit haettiin kokeilemalla sopiviksi, joskin alkuarvot otettiin kirjasta Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet (9). Arvot todettiin sopiviksi, kun hitsi oli silmämääräisesti oikean muotoinen ja hitsautunut myös juuresta. Kaikki harjoittelukappaleet demagnetoitiin Parker Research Corp. B300S -vaihtovirtaieksellä. Menetelmän periaate on kuvattu tarkemmin luvussa 5. Lopulliset hitsausarvot, joita käytettiin varsinaisiin koekappaleisiin, on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Lopulliset hitsausparametrit

Parametri	Arvo
Jännite	17,0 V
Kuljetusnopeus	35 cm/min
Vapaalanka	10 mm
Lisäaine	OK Autrod 12.51, paksuus 1,2 mm
Suojakaasu	Mison 18
Suojakaasun virtaus	15 l/min
Liitos	päittäisliitos, I-railo, 2 mm ilmarako
Hitsausasento	jalko

Robotti ohjelmoitiin kuljettamaan poltinta suoraan pystyasennossa, eli ei vetävästi tai työntävästi. Poltinta vedettiin suoraan ilman vaaputusta. Koejärjestely näkyy kuvassa 5.



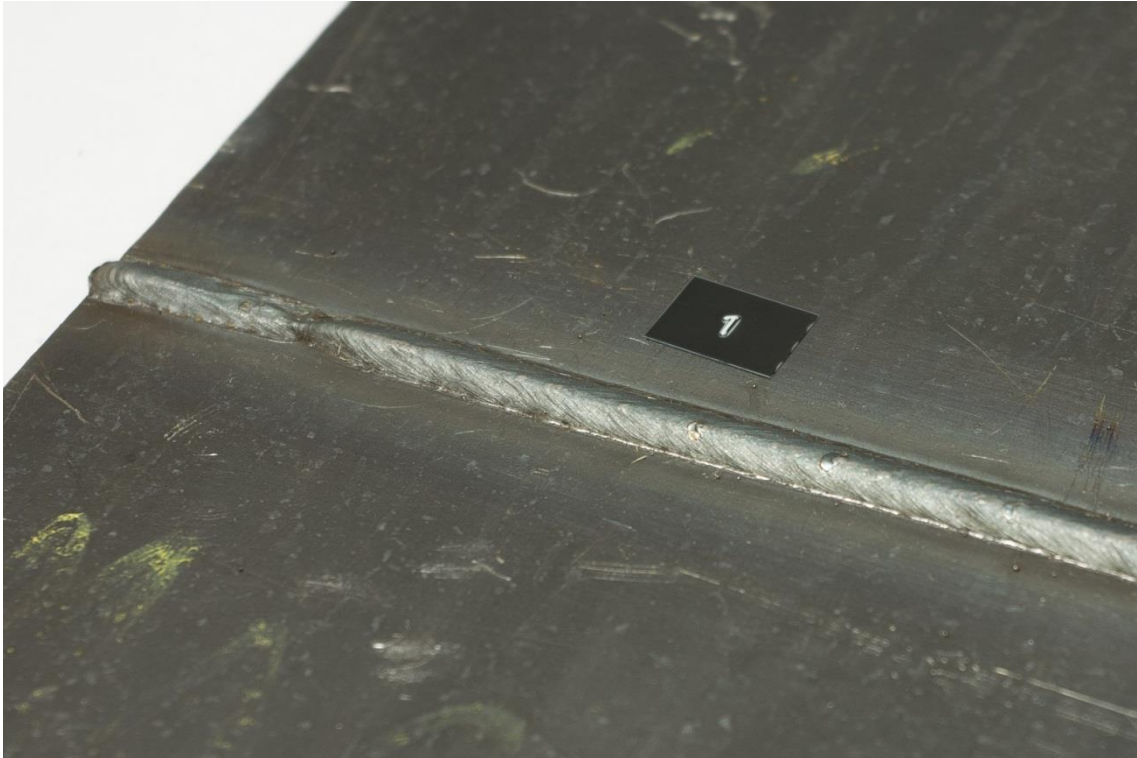
KUVA 5. Koejärjestely, demagnetoitu koekappale

Kuvasta 5 nähdään, että kappaleet kiinnitettiin toisiinsa muodonmuutosten estämiseksi yhteensä neljällä lattaraudalla, jotka silloitushitsattiin koekappaleisiin. Hitsauspöydän magneettisuuden vaikutus haluttiin minimoida, joten apuna käytettiin alumiinisia kouruja, joiden avulla kappale irrotettiin pöydästä. Kiinnitys tapahtui kahdella puristimella. Maadoituskaapeli kiinnitettiin aina samaan kohtaan kappaleen vasempaan yläreunaan. Hitsaus suoritettiin kummallekin koekappaleelle kolmella erillisellä vedolla niihin merkityn numerojärjestyksen mukaisesti. Kaikki vedot myös kuvattiin videolle järjestelmäkameralla ja erillisellä ääninauhurilla.

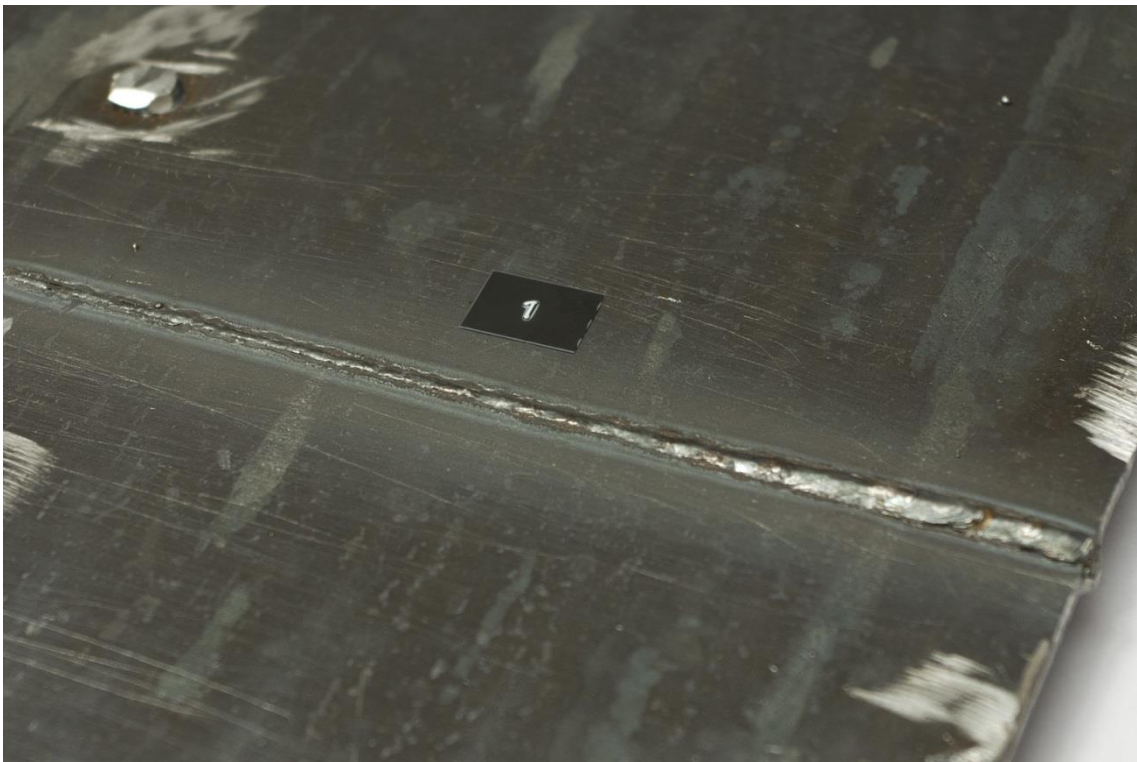
Demagnetoidun kappaleen railosta mitattiin ennen hitsausta magneettivuon maksimiarvoksi 5,2 G. Vastaavasti magneettisen koekappaleen railosta mitattiin 296,0 G. Lisäksi havaittiin, että magneettisen kappaleen 1. vedon alkupäässä magneettikentän napaisuus vaihtui.

3.2 Tulokset

Hitsauksen jälkeen koekappaleet valokuvattiin, lattaraudat irrotettiin, kappaleet puhdistettiin ja kuvattiin uudelleen. Visuaalisen tarkastelun ja videomateriaalin perusteella tehtiin kaksi merkittävää havaintoa: magnetoituneen kappaleen juuri ei onnistunut ja kohtaan, jossa railon magneettivuon napaisuus vaihtui, syntyi virhe. Nämä on esitetty kuvissa 6 ja 7.

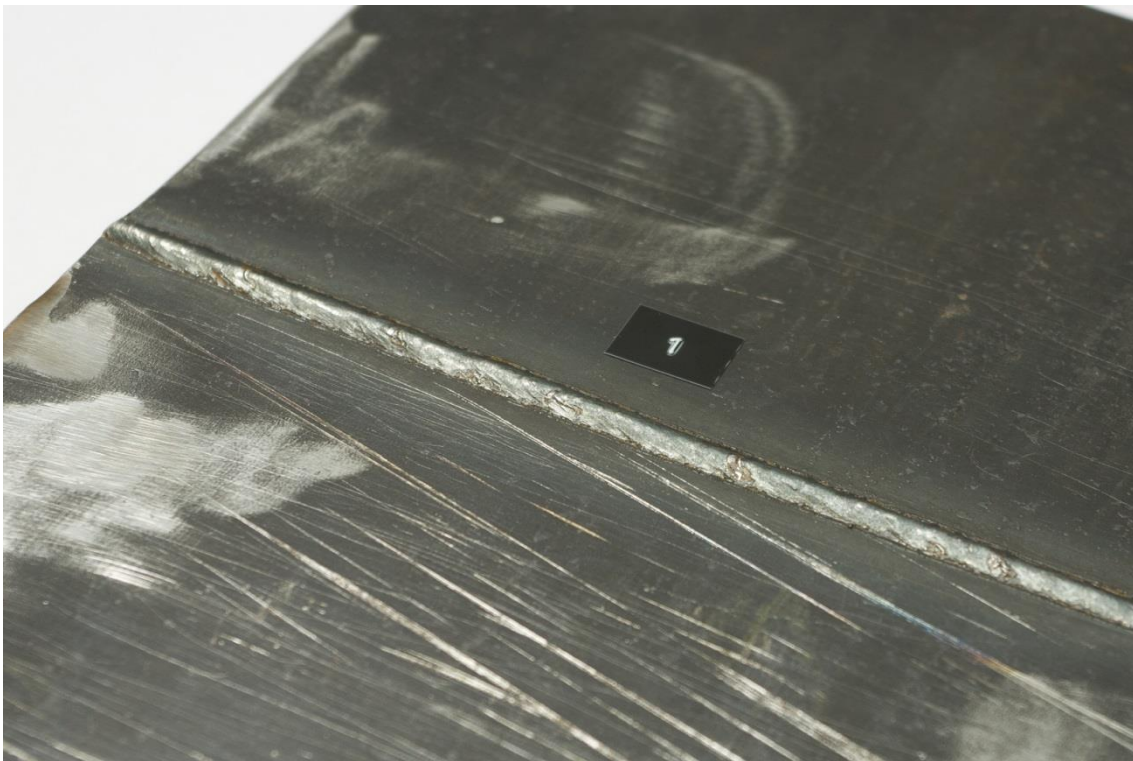


KUVA 6. Hitsiin syntyi virhe napaisuuden vaihtumiskohtaan



KUVA 7. Magnetoituneen kappaleen juuri epäonnistui

Kuvan 6 virheen synty havaitaan selvästi videolta. Valokaari alkaa katkeilla ja ääni muuttuu selvästi, kun poltin on kyseisessä kohdassa. Juuren virheen huomaa selvästi, kun sitä vertaa kuvan 8 demagnetoidun kappaleen juureen. Tunkeumassa on selvä ero, ja demagnetoidussa juuren koko ja laatu säilyvät tasaisena koko hitsin pituudelta. Juuri parani hieman myöhemmissä vedoissa, mutta ei missään vaiheessa demagnetoidun veroiseksi. On huomattava, että kappaleet hitsattiin samaan suuntaan: myöhemmin kiinnitetyt numerotarrat tuli toiseen kappaleeseen väärinpäin, minkä vuoksi kuvat on otettu eri suunnista.



KUVA 8. Demagnetoidun kappaleen juuri

Kokeiden aikana havaittiin myös, että toinen kiinnitykseen käytettävistä puristimista oli voimakkaasti magnetoitunut. Se aiheutti demagnetoituun kappaleeseen voimakkaan 50 gaussin vuon, joka poistui, kun puristin vaihdettiin toiseen.

4 HYSTEREESISKÄYRIEN MITTAUS

Yksi työn tavoitteista oli kehittää mittalaite, jonka avulla voitaisiin vertailla Miilux Oy:n eri teräslaatuojen magneettisia ominaisuuksia sekä niiden riippuvuutta lämpötilasta ja valssaussuunnasta. Tarkoituksena oli saada tietoon, voisiko teräslaadun valinnalla, esilämmityksellä tai kappaleen sijoittelulla valssaussuuntaan tai sitä vastaan vaikuttaa remanenssin tuomiin ongelmiin. Tässä luvussa kuvaillaan laitteen kehitysprosessi suunnittelusta testaukseen ja lopulliset mittaustulokset. Koska työn kannalta varsinainen elektroniikkasuunnittelu ei ole olennaista, on tekstistä rajattu turhat yksityiskohdat pois ja kerrottu sopivaksi katsotulla tarkkuudella yleiset periaatteet.

4.1 Mittalaitteen toimintaperiaate

Mittalaitteen toimintaperiaatteeksi valittiin suljettuun magneettipiiriin perustuva menetelmä. Testattavasta materiaalista valmistetaan rengas, jonka ympärille tehdään ensiö- ja toisiokäämit. Ensiökäämiin johdetaan vaihtovirta, jonka suuruutta ja suuntaa mitataan jatkuvasti. Näin toisiokäämiin indusoituu Faradayn lain mukaan jännite, jonka suuruus on verrannollinen materiaalin sisäisen magneettivuon muuttumisnopeuteen. Tämä jännite täytyy integroida, jotta saadaan magneettivuon suuruus. Lopulta sekä ensiövirta että integroitu toisiojännite esitetään oskilloskoopin näytöllä XY-tilassa niin, että vaaka-akselille muodostuu ulkoisen magneettikentän voimakkuus ja pystyakselille sisäinen magneettivuon tiheys. (3, s. 39 - 47; 14.)

Kuvassa 9 on esitetty periaatekaavio mittausmenetelmästä. Poikkeuksena A/D-muuntimen ja tietokoneen korvaa oskilloskooppi eikä ensiökäämiä kierretä koko kappaleen ympärille. Sen sijaan renkaaseen tehdään kaksi lyhyttä käämiparia, toinen valssaussuunnan myötäisesti ja toinen sitä vastaan. Näin voidaan tutkia valssaussuunnan vaikutusta aineen magnetoitumiseen.

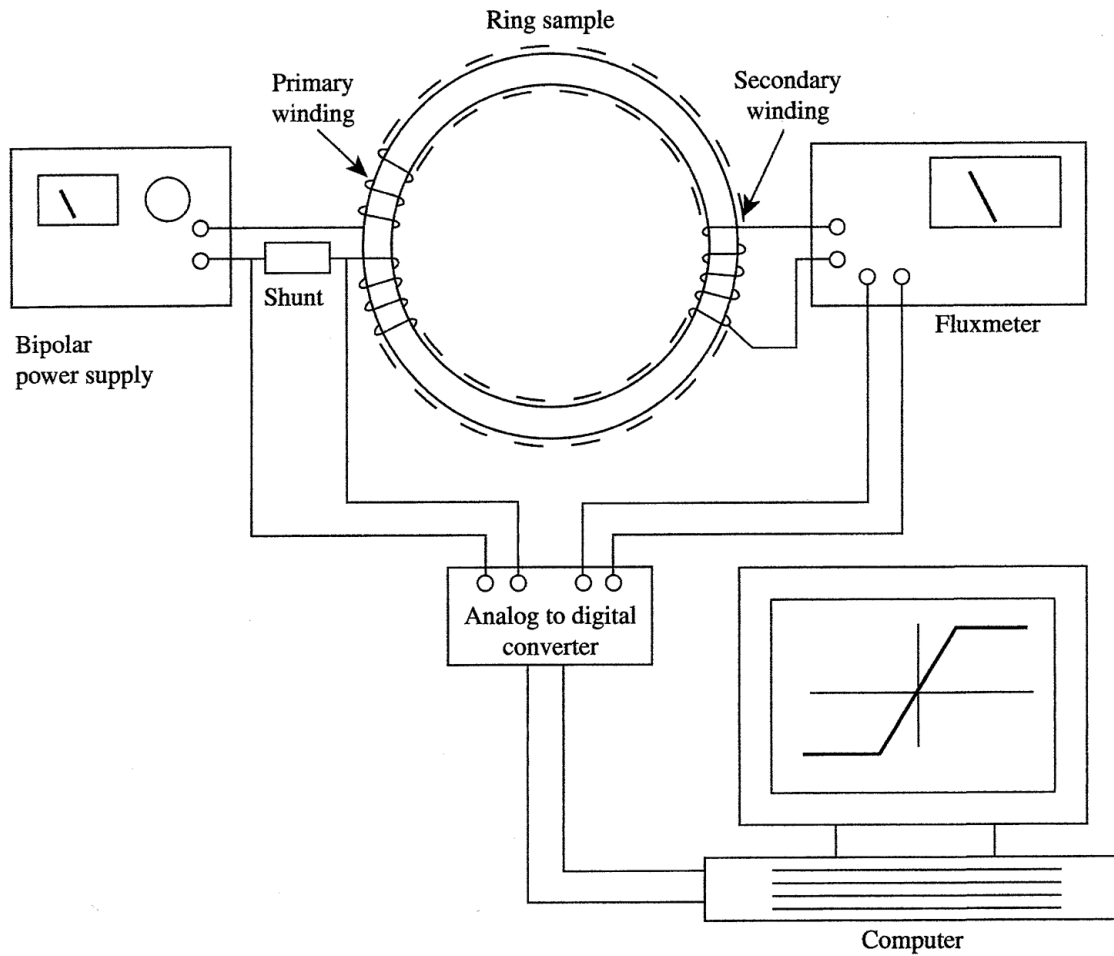


Fig. 2.20 Arrangement for measuring the magnetic properties of a ring sample.

KUVA 9. Mittalaitteen periaatekaavio (3, s. 45)

Tässä työssä koekappaleet tilattiin Miiluxilta piirustusten mukaan (liite 1). Oskilloskooppina käytettiin Tektronixin TDS 210 -mallia ja muu elektronikka sekä koekappaleiden käämitys suunniteltiin ja rakennettiin itse. Lisäksi mittalaitteen virtalähteenä käytettiin Bang & Olufsen SN16A -laboratoriovirtalähdettä.

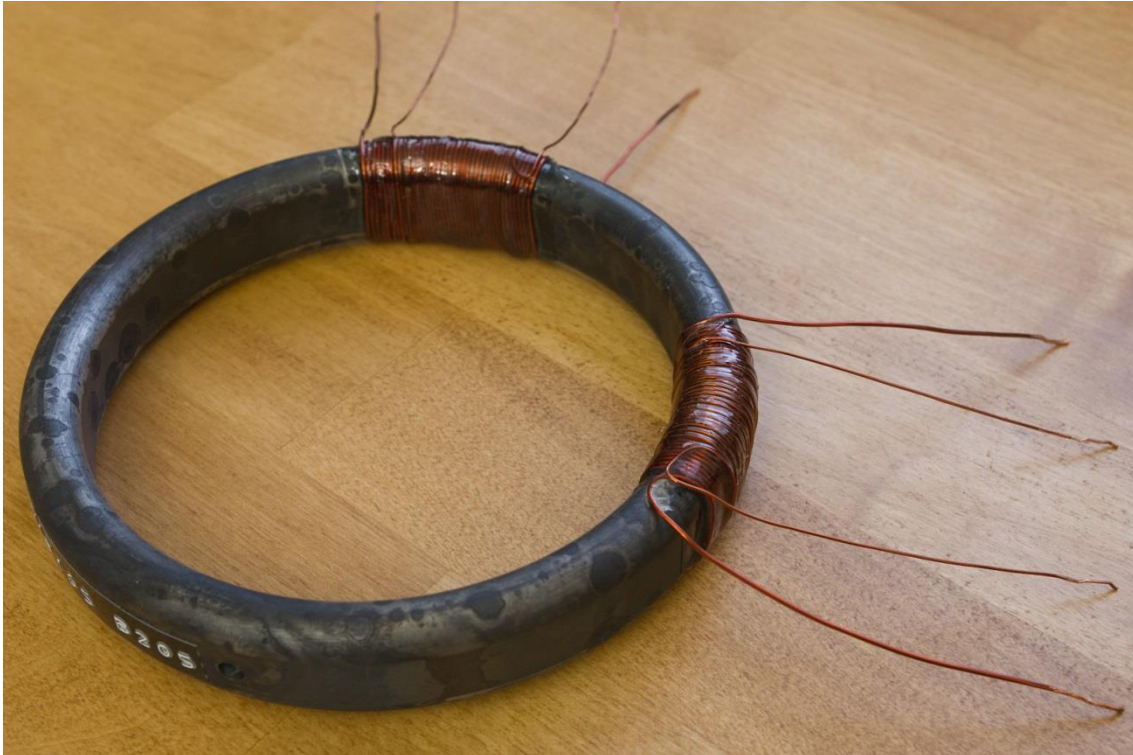
4.2 Koekappaleiden suunnittelu ja valmistus

Käytettävä menetelmä vaatii, että koekappale muodostaa suljetun magneettipiirin. Näin kappaleen sisälle ei muodostu magneettisia napoja. Tällöin magneettivuoto on kappaleen sisällä tasalaatuinen eikä se riipu kappaleen muodosta. Lisäksi on oleellista, että jokaisen koekappaleen mitat ovat tarkasti samat, jotta mittavirheistä ei synny mittaukseen epätarkkuutta. Lisäksi kappaleiden muodon on mahdollistettava ensiö- ja toisiokäämien käämimisen helposti ja niin, että käämeistä saadaan mahdollisimman samanlaiset. (3, s. 44 - 45.)

Vaatimusten perusteella luotiin liitteen 1 mukaiset piirustukset koekappaleille. Rengas toimii suljettuna magneettipiirinä, ja pyöritykset sekä riittävä halkaisija mahdollistavat käämien helpon ja tarkan luomisen. Toleranssit asetettiin niin pieniksi kuin mahdollista, kuitenkin niin, ettei valmistus olisi tarpeettoman vaikeaa ja kallista. Koska valssaussuunnan säilyminen koekappaleissa oli tärkeää, piirustuksissa ohjeistettiin poraamaan jokaiseen 3 mm reikä valssaussuunnan myötäisesti. Oletuksena oli, ettei reikä aiheuttaisi oleellista vuotokenttää, ja se otettiin myöhemmin huomioon käämien sijoittelussa.

Koekappaleita valmistettiin kolme seuraavista kulutusteräslaaduista: Miilux 400, 450 ja 500. Ne polttoleikattiin, koneistettiin ja suorakarkaistiin. Lopuksi pinta puhdistettiin teräsharjalla ja hienolla hiomapaperilla karkaisusta aiheutuneen hilseen poistamiseksi.

Ensiökäämi tehtiin halkaisijaltaan 0,75 mm käämilangasta. Toisiokäämissä käytettiin ohuempaa 0,50 mm lankaa, koska siinä ei kulje merkittävää sähkövirtaa. Ensiökierroksia koekappaleissa on 38 ja toisiokierroksia 26. Yksi käämipari asetettiin valssaussuunnan myötäisesti, ja toinen valssaussuuntaa vastaan, kuitenkin niin, ettei valssaussuuntaa osoittavan porauksen päälle tullut käämiä missään koekappaleessa. Lopuksi käämit liimattiin kuumankestävällä epoksiliimalla. Kuvassa 10 on esitetty yksi kolmesta valmiista koekappaleesta.



KUVA 10. Valmis koekappale

Kierrosten lukumäärää ei valittu minkään tietyn laskentatavan mukaan. Riittää, että määrä on tiedossa ja kaikki käämit ovat samanlaisia. Koska Faradayn induktiolain mukaan indusoituva jännite riippuu kierrosten lukumäärästä, pyrittiin mahdollisimman suureen määrään kuitenkin niin, ettei käämin pituus estä valssaussuunnan vaikutuksen havaitsemista (7, s. 166 - 167). Käämilangan paksuudet todettiin käytännön kokeilla riittäviksi ennen lopullisten koekappaleiden valmistusta. Koska mittaus kestää vain muutamia sekunteja, käämit eivät ehdi kuumentua liikaa.

4.3 Ensiökäämin syöttö ja virtamittaus

Ensiöpiirin tehtävänä on tuottaa mahdollisimman suuri sähkövirta ensiökäämille sekä tuottaa virran suuruudesta riippuva antojännite oskilloskoopille. Virran mittaukseen käytettiin ACS 712 -piiriä, jonka toiminta perustuu hall-anturiin. Kun piirin läpi johdetaan virta, se antaa virran suuruudesta ja suunnasta riippuvan jännitteen ulostuloon. Käytössä oli x20A-malli, joka on optimoitu $-20 - 20$ A virralle ja sen herkkyys on $100 \text{ mV} / \text{A}$. Se siis antaa 1 ampeerin virralla 100 mV ulostulojännitteen. Tarkkuudeksi on ilmoitettu $\pm 1,5 \%$ ja kohinasoksi 21 mV . (15.)

Ensiökäämin virransyöttö toteutettiin 12 V muuntajan sekä 22Ω säädettävän tehovastuksen avulla. Vastuksen tehonkesto on 100 W ja muuntajan suurimmaksi virraksi on ilmoitettu $4,17 \text{ A}$. Virta säädettiin vastuksen avulla niin, että virranmittauspiiri antoi oskilloskoopin näytölle suurimmaksi arvoksi noin 300 mV eli 3 A . Tällöin vastuksen tehohäviöksi laskettiin 27 W , mikä on vähemmän kuin suurin sallittu. Muuntajan ensiöpuoli on suojattu 300 mA 250 V lasiputkisulakkeella.

4.4 Toisiökäämin jännitteen integrointi

Toisiökäämin jännitettä integroimalla saadaan tulokseksi materiaalin sisäisen vuon tiheys (14). Eräs tapa integroida jännite on käyttää analogista operaatiovahvistimeen perustuvaa integraattoripiiriä. Se perustuu yksinkertaisimmillaan yhteen operaatiovahvistimeen, kondensaattoriin ja vastukseen. Antojännite on tulojännitteen integraali, jonka suuruus riippuu myös kondensaattorin ja vastuksen arvoista. Periaate on esitetty kuvassa 11. (6, s. 643.)

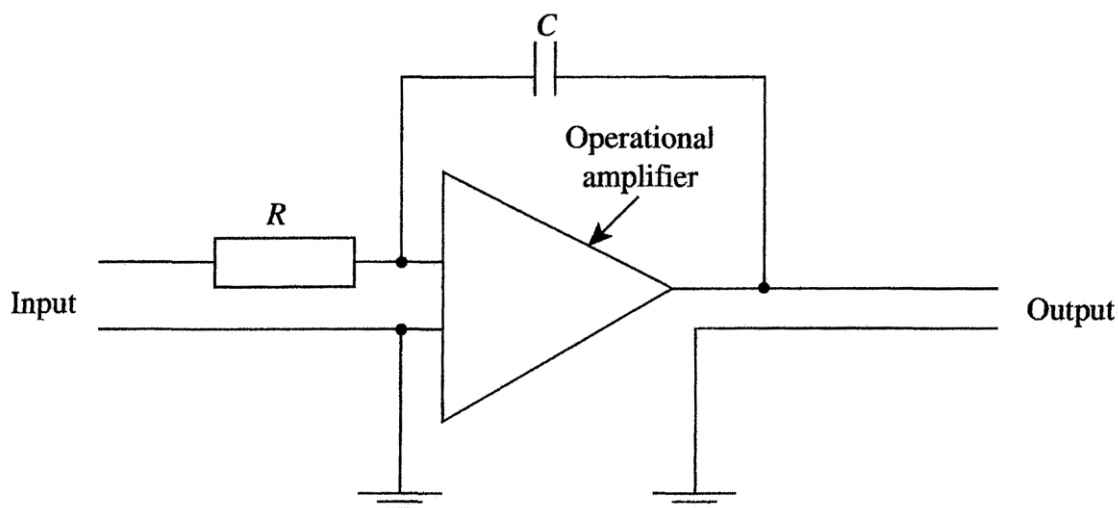
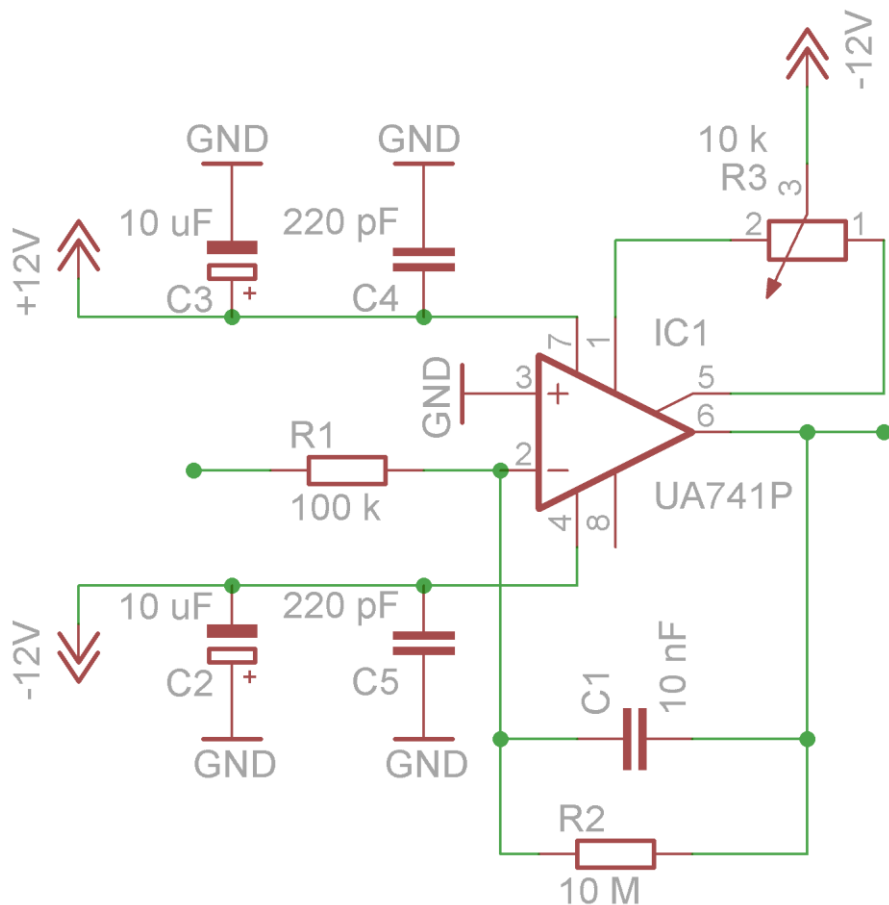


Fig. 2.16 Electronic integrator (schematic). $E_{\text{out}} = 1/RC \int_0^t E_{\text{in}} dt$.

KUVA 11. Analoginen integraattori (3, s. 40)

Kuvan 11 kytkennän lisäksi tarvitaan operaatiovahvistimen yli suuriresistanssinen vastus, joka parantaa integraattorin vakautta. Työssä käytettiin operaatiovahvistimena STMicroelectronics UA741 -mallia, jossa on käytettävissä antojännitteen hienosäätö. Tämä toteutetaan kytkemällä säätövastus negatiivisen jännitelinjan ja vahvistimen säätöpinnien välille. Lisäksi jännitelinjoissa käytetään kondensaattoreita suodattamassa häiriöitä ja tasaamassa virtapiikkejä. Lopullisen kytkennän piirikaavio on esitetty kuvassa 12. (6, s. 643, 651.)

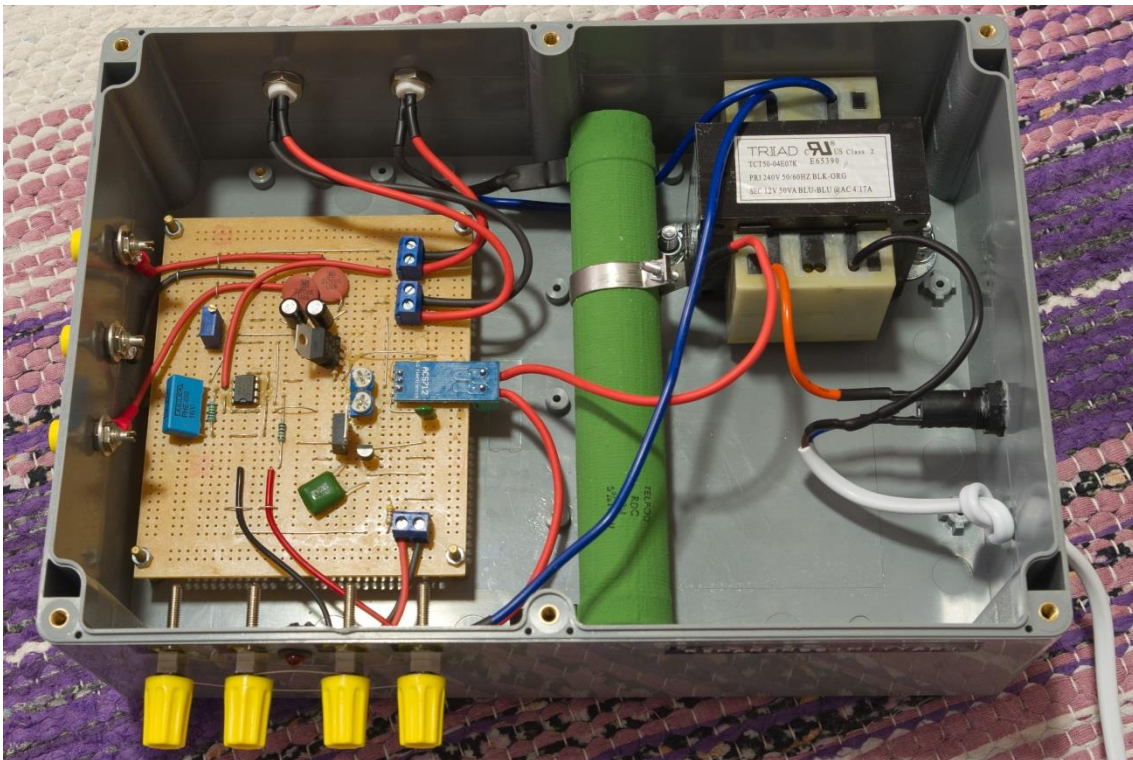


KUVA 12. Toisiokäämin antojännitteen integrointikytkentä

Säätövastuksella R3 säädetään ulostulo niin, että kun sisään ei tule jännitettä, myös antojännite on nolla. Kuten kuvasta 12 nähdään, operaatiovahvistin tarvitsee toimiakseen sekä positiivisen että negatiivisen käyttöjännitteen. Nämä saadaan suoraan SN16A-laboratoriovirtalähteestä, joten omaa virtalähdettä laite ei tarvitse.

4.5 Laitteen toteutus ja säätö

Laitte koottiin roiskeenpitävän muovikotelon sisälle. Kuten kuvasta 13 havaitaan, varsinainen elektroniikka on juotettu ja asennettu protolevyille kotelon vasemmalle puolelle, ja muuntaja sekä virran säätöön käytettävä tehovastus sijaitsevat kotelon oikealla puolella. Ensiöpiiriin tulee virta kytkimellä varustettua kalustekaapelia pitkin. Vedonpoisto on toteutettu johdon solmulla. Sulakepesä on kaapelin sisääntulon vieressä. Sulake voidaan vaihtaa avaamatta kotelo. Vasemmalla puolen alareunassa näkyy ruuviliittimet, joihin koekappaleen ensiö- ja toisiokäämit kytketään. Niistä seuraavana vasemmalla sivustalla on banaaniliittimet, joiden kautta elektroniikalle tuodaan virransyöttö ulkoisesta virtalähteestä. Yläreunassa näkyy oskilloskooppikytkentää varten BNC-liittimet. Kaikki liitännät on merkitty kohotekstilapuilla.



KUVA 13. Valmis mittalaite ilman suojakantta

Huomionarvoista on, ettei laitteen suunnittelussa huomioitu sähköturvallisuusmääräyksiä. Laite on tarkoitettu käytettäväksi vain prototyyppinä laitteen tuntevan henkilön toimesta. Esimerkiksi muuntajan kiinnitys toteutettiin kotelon läpi tulevilla pulteilla. Jos muuntajaan tulee vika, on mahdollista, että pultit tulevat jännitteellisiksi. Laitteessa ei ole myöskään suojausta sähkömagneettista säteilyä vastaan. Tämä tarkoittaa sitä, että laite sekä säteilee tuntemattoman määrän sähkömagneettista säteilyä ulospäin että ottaa säteilyä myös vastaan, jolloin laitteen tarkkuus voi mahdollisesti kärsiä ulkopuolisten kenttien vuoksi.

Lopuksi laitetta sisäänajettiin pitämällä elektroniikkapuolta päällä noin 50 tuntia. Tämän jälkeen integraattorin hienosäätö asetettiin niin, että antojännite on nolla, kun toisiokäämin kytkentänavat oli oikosuljettu rautalangalla. Myös ACS 712 -piirin käyttöjännite $\pm 2,5$ V hienosäädettiin trimmeripotentometriellä arvoihin +2,501 ja -2,497. Mittaus suoritettiin Uni-T UT61E -yleismittarilla 21 °C lämpötilassa. Käytännössä näillä toimenpiteillä keskitettiin mittalaitteen näyttämä oskilloskoopin vaaka- ja pystyakseleilla.

4.6 Mittauksen suoritus

Mittaus suoritettiin 27.1.2014 lämpötilassa 22 °C. Tektronix TDS 210 -oskilloskooppi ja B&O SN16A -laboratoriovirtalähde kytkettiin maadoitettuun pistorasiaan. Oskilloskoopille suoritettiin tehdasasetusten palautus ja automaattinen kalibrointi. Ulkoisen virtalähteen jännitteeksi asetettiin ± 12 V. Oskilloskoopista asetettiin päälle seuraavat toiminnot:

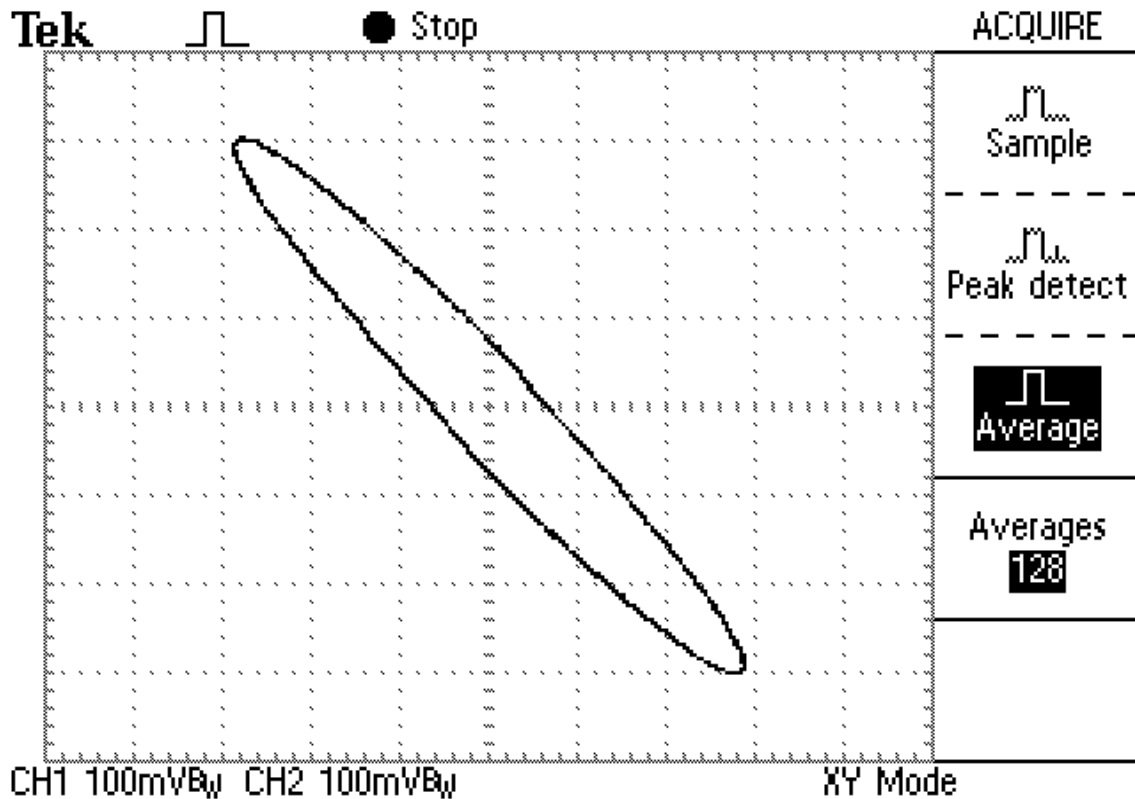
- bandwidth limit 20 MHz rajoittaa näytteenottotaajuutta
- AC coupling jättää tasajännitekomponentin huomiotta
- average 128 samples eli keskiarvo 128 näytteestä.

Näytteenottotaajuuden rajoittaminen vähentää hiukan signaalin kohinaa, ja koska tässä tapauksessa mitattavan signaalin taajuus on sama kuin verkkojännitteen taajuus eli 50 Hz, ei tämä vaikuta mitattavaan signaaliin. AC coupling -toiminto jättää signaalin tasajännitekomponentin huomiotta, jolloin signaali keskittyy ruudulle, vaikka mittalaitteen säädöt olisivatkin hiukan väärin. 128 näytteen keskiarvoistuksen avulla saadaan luotettavampi näyttämä, jossa yksittäiset häiriöpiikit eivät näy. Mittaustulokset siirrettiin tietokoneelle Tektronixin OpenChoice-ohjelmistolla.

Kaikista koekappaleista mitattiin huoneenlämmössä tulokset sekä valssaussuuntaan että sitä vastaan. Lisäksi Miilux 400 -laadulle suoritettiin mittaukset korotetussa lämpötilassa. Todellista kappaleen lämpötilaa mittaustilanteessa ei saatu todennettua, mutta lämpötila oli kuitenkin lähellä sataa celsiusastetta. Kappale lämmitettiin tavallisessa kodin uunissa 110 celsiusasteeseen, minkä jälkeen mittaukset suoritettiin noin viiden minuutin sisällä uunista poistamisesta.

4.7 Tulokset

Mittauksesta saatiin kuvan 14 mukaiset kuvaajat. Koska oleellista on vertailla magneettista kovuutta, laskettiin jokaiselle koetilanteelle vertailuarvo kaavan 3 mukaisesti. Vertailuarvo kertoo, kuinka suuri koersiivikentän voimakkuus on suhteessa magnetoivan vuon tiheyteen.



TDS 210 - 11:03:06 27.1.2014

KUVA 14. Esimerkkikuvaaja, Miilux 400 valssaussuuntaan lämpötilassa 22 °C

$$\text{vertailuarvo} = \frac{\text{koersiivikentän voimakkuus (mV)} \times 100}{\text{magnetoivan vuon tiheys (mV)}}$$

KAAVA 3. Vertailuarvon laskentakaava

Kuvaajasta huomataan myös, ettei materiaali saavuta saturaatiopistettä, minkä vuoksi tuloksena on soikea osittainen hystereesikäyrä. Ennen varsinaisia mittauksia suoritettiin dokumentoimattomia koemittauksia. Eräs koemittaus suoritettiin ilman ensiöpiirin vastusta, eli ensiöpiirin virtaa rajoitti vain muuntajan sekä itse käämin ominaisuudet. Edes tällöin ei saavutettu saturaatiopistettä, minkä vuoksi varsinaiset mittaukset suoritettiin vastus asennettuna, jotta välttyttiin komponenttien ylikuumenemiselta ja tulipalovaaralta. Koemittauksia suoritettiin myös pehmeälle muuntajateräkselle. Tällöin saavutettiin saturaatiopiste jo 3 A virralla, ja muoto oli selvästi havaittavissa oskilloskoopin näytöltä. Näin saatiin varmuus siitä, että mittausmenetelmä toimii ja että varsinaisissa mittauksissa kyseessä todellakin on osittainen hystereesikäyrä.

Vertailuarvo lasketaan kuvaajasta suoraan millivolteina. Olisi myös mahdollista muuntaa ne tesloiksi ja ampeerimetreiksi lähteen 14 kaavojen avulla, mutta tämä ei vaikuta vertailuarvojen laskentaan. Koska kyseessä on vain osittainen hystereesikäyrä, myöskään permeabiliteetin laskemisella ei olisi saavutettu minkäänlaista vertailukelpoista informaatiota. Taulukossa 2 on esitetty kuvaajista saadut alkuarvot ja lasketut vertailuarvot.

TAULUKKO 2. Magneettisen kovuuden vertailuarvot

Laatu	T / °C	Mittaussuunta	H / mV	B / mV	Vertailuarvo / %
400	22	1	65	302	21,5
400	22	2	72	300	24,0
400	100	1	71	320	22,2
400	100	2	70	312	22,4
450	22	1	68	308	22,1
450	22	2	66	308	21,4
500	22	1	58	302	19,2
500	22	2	62	304	20,4

1 = valssaussuuntaan

2 = valssaussuuntaa vastaan

Vertailulukujen perusteella mitään selkeää trendiä ei voida havaita. Mahdolliset erot peittyvät mittauksen epätarkkuuksista aiheutuvan hajonnan sekaan. Voidaan todeta, ettei tämän mittauksen perusteella lämpötilan, valssaussuunnan ja eri Miilux-kulutusteräslaatujen välillä ole eroa magneettisessa kovuudessa, tai jos eroja on, ne ovat merkityksettömän pieniä.

5 DEMAGNETOINTIKOE

Robottihitsauskokeiden avulla todennettiin, että jäännösmagnetismilla on negatiivisia vaikutuksia hitsausprosessiin. Magneettisten mittausten avulla ei löydetty keinoa vaikuttaa remanenssin määrään, mutta teorian mukaan se on mahdollista poistaa vaihtovirran avulla. Koska varsinaista demagnetointilaitetta ei ollut käytettävissä, päätettiin toimenpidettä kokeilla magneettijauhe-tarkastuksessa käytettävän vaihtovirtaieksen avulla. Tuotantostudiolta saatiin lainaan Parker Research Corp. B300S -ies. Siinä on säädettävät jalat, joiden avulla magneettivuo voidaan kohdistaa haluttuun kohtaan. Valmistaja ilmoittaa kyseisen mallin virraksi 3 A. Kuten edellisessä luvussa todettiin, näin pienellä virralla ei magneettisesti kovaa materiaalia saa vietyä saturaatiopisteeseen, minkä vuoksi on odotettavissa, ettei laite ole tarkoitukseen kovin tehokas. (16.)

5.1 Toteutus

Demagnetoinnin kohteeksi valittiin osittain silloitushitsattu kauhan sauma. Molemmat liitettävät materiaalit olivat Miilux 400 -terästä, paksuudeltaan 20 mm. T-liitokseen oli työstetty osaviistetty K-railo, ilmarako noin 2 mm. Saumaan merkittiin rasvaliidulla yhteensä kuusi mittauspistettä, joista mittaukset suoritettiin AlphaLab GM 1-ST -vuomittarilla. Mittaukset suoritettiin ennen demagnetointia sekä aina kahden demagnetointivedon jälkeen.

Demagnetointi suoritettiin asettamalla ieksen jalat niin, että ne olivat mahdollisimman lähellä saumaa sen molemmin puolin. Demagnetointi aloitettiin sauman toisesta päästä, minkä jälkeen laitetta vedettiin hitaasti mitattavan sauman yli ja sen loppupäähän. Laite sammutettiin vasta, kun se oli vedetty vähintään 10 cm päähän sauman lopusta. Näin ehkäistiin jäännösvuo, joka voi syntyä, jos kenttä katkaistaan yhtäkkisesti demagnetoitavan alueen päällä (3, s. 20). Laitteen hidas liikuttaminen sauman yli aiheutti käytännössä sen, että jokainen sauman kohta käsiteltiin hitaasti vaimenevalla vaihtovirtakentällä, kuten teorian mukaan tulee tehdä. Demagnetoitava sauma on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Demagneoitava T-liitos kulutusteräskauhassa

5.2 Tulokset

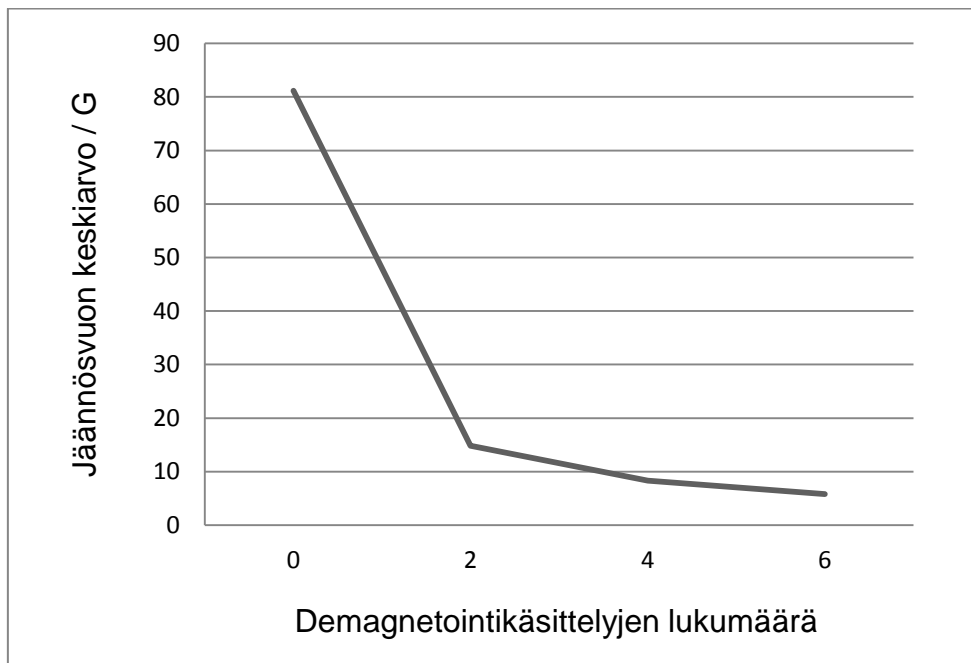
Taulukossa 3 on esitetty demagnetointikokeen tulokset. 1. mittaus suoritettiin ennen demagnetointia. Mittauspiste 6 sijaitsi lähellä silloitushitsiä.

TAULUKKO 3. Demagnetoinnin tulokset

B / G	Mittauspiste					
Mittauksen nro.	1	2	3	4	5	6
1	174	88	86	82	57	0
2	40	20	14	10	5	0
3	27	10	7	5	1	0
4	21	6	3	1	2	2

Taulukosta 3 voidaan havaita, että huolimatta ieksen pienestä tehosta jäännösmagnetismi saatiin poistettua tyydyttävästi. Tämä vaati kuitenkin yhteensä kuusi vetoa. Fyysisesti toimenpide oli kohtalaisen raskas, sillä vaihtovirrasta huolimatta laite tarrautui teräkseen kiinni ja sen liikuttaminen vaati voimaa. Lisäksi laite painaa 3,4 kg, joten sen kannattelu epäergonomisessa asennossa ei ole ainakaan jatkuvassa käytössä käytännöllinen ratkaisu (16).

Kuvassa 16 on esitetty graafisesti remanenssivuon vähentyminen käsittelykertojen lukumäärään verrattuna. Tässä tapauksessa vaihtovirtaieksellä saatiin jo kahdella vedolla suuri parannus aikaiseksi.



KUVA 16. Remanenssin keskiarvo ja käsittelyjen lukumäärä kaaviona

Kokeella ei selvitetty sitä, kuinka pysyvä vaikutus saatiin aikaiseksi. Kuitenkin on todettava, että demagnetointi onnistuu teorian mukaisesti, ja hätäratkaisuna on kannattavaa kokeilla magneettijauhetarkastukseen tarkoitettua vaihtovirtaieksistä, jos muuta keinoa ei ole käytettävissä.

6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa käydään läpi, mitä oleellisia havaintoja työn aikana tehtiin ja millä keinoin jäännösmagnetismiongelmaan voidaan vaikuttaa. Työn onnistumiseen liittyvä pohdinta on myöhemmin luvussa 7.

6.1 Jäännösmagnetismin vaikutukset

Robottihitsauskokeen perusteella havaittiin, että voimakas remanenssivuo hitsausrailossa vaikuttaa oleellisesti hitsausprosessin onnistumiseen. Voimakkaimmin vaikutukset näkyivät juuren puolella. Voimakkaasti magnetoituneen kappaleen juuri hitsautui heikosti, vaikka täsmälleen samalla tavalla hitsatun demagnetoidun kappaleen juuri onnistui hyvin. Lisäksi vuon suunnan vaihtuminen hitsausrailossa voi aiheuttaa merkittäviä ongelmia. Tässä tapauksessa kohtaan syntyi selvä virhe myös kuvun puolelle.

6.2 Ohjeita hitsaukseen

Magnetoituneen kappaleen hitsauksessa kannattaa ensisijaisesti pyrkiä poistamaan magneettikenttä railosta. Tähän tarkoitukseen on saatavilla laitteita, jotka on kehitetty poistamaan remanenssi tehokkaasti ja pitkävaikutteisesti (10, linkki Demagnetizers). Jos erityistä laitteistoa ei kuitenkaan ole tai sitä ei haluta hankkia, voi tarkoitukseen käyttää tavallista magneettijauhetarkastukseen käytettävää vaihtovirtaiesta. Rajoittuneen tehon ja ergonomian vuoksi tämä ei ole hyvä ratkaisu jatkuvaan käyttöön, mutta väliaikaisratkaisuna se saattaa toimia. Tällöin laitetta vedetään hitaasti railoa pitkin niin monesti, että tyydyttävä tulos on saatu aikaiseksi.

Hitsauskokeiden aikana havaittiin, että demagnetoituunkin kappaleeseen voi tulla voimakas remanenssivuo, jos kiinnitykseen käytettävä työkalu on magnetoitunut. Tällöin käytettävä työkalu täytyy vaihtaa tai demagnetoida.

Käytännössä näiden toimenpiteiden onnistunut toteuttaminen vaatii vuomittarin käyttöä. Vaikka magneettisuuden voi havaita muun muassa siitä, että raiioon jäänyt metallipöly hakeutuu vuon suuntaiseen asentoon, on remanenssin tarkka todentaminen mahdotonta ilman mittaria. Mittarin hankinnassa on oleellista, että mittapää on riittävän ohut, jotta se mahtuu kapeaankin ilmarakoon.

On hyvä tiedostaa, ettei jäännösmagnetismiin voida vaikuttaa esilämmityksellä. Ferromagneettisten aineiden magneettisuus katoaa äkillisesti curie-pisteessä, mutta sitä aiemmin lämpötilan nostolla ei näytä olevan vaikutusta. Näin vältetään turha ajan ja energian tuhlaus, kun ei yritetä toimenpidettä, mistä ei ole hyötyä. Myöskään valssaussuunnalla ei ole vaikutusta. Samoin eri Miilux-teräslaatuojen välillä ei ole havaittavaa eroa.

7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli löytää keinoja jäännösmagnetismin poistamiseen ja haittavaikutusten minimointiin. Tavoite saavutettiin, koska havaittiin, että jäännösmagnetismin poistaminen onnistuu vaihtovirtaieksellä. Tämä on hyödyllinen tieto, sillä magneettijauhetarkastuksessa käytettävät iekset ovat yleisiä konepajoilla, joten ongelmaan on usein saatavilla helpotusta ilman laitehankintoja. Toisaalta menetelmä todettiin epäkäytännölliseksi, joten se sopii vain yksittäisiin tapauksiin.

Miilux-koekappaleiden mittaus onnistui, mutta mittausten avulla ei löydetty keinoja vaikuttaa jäännösmagnetismin ongelmaan. Tämä oli pieni pettymys, mutta ainakin asia on nyt tiedossa, joten jatkotutkimukset osataan kohdistaa oikein. Toisaalta mittalaitteen tarkkuudessa on varmasti parannettavaa, joten on mahdollista, että tarkemmilla mittauksilla voitaisiin löytää ainakin jonkinlainen korrelaatio esilämmityksen ja valssaussuunnan vaikutuksesta magneettisuuteen. Jatkotutkimuksilla tämän asian suhteen tuskin on merkitystä käytännön toiminnan kannalta.

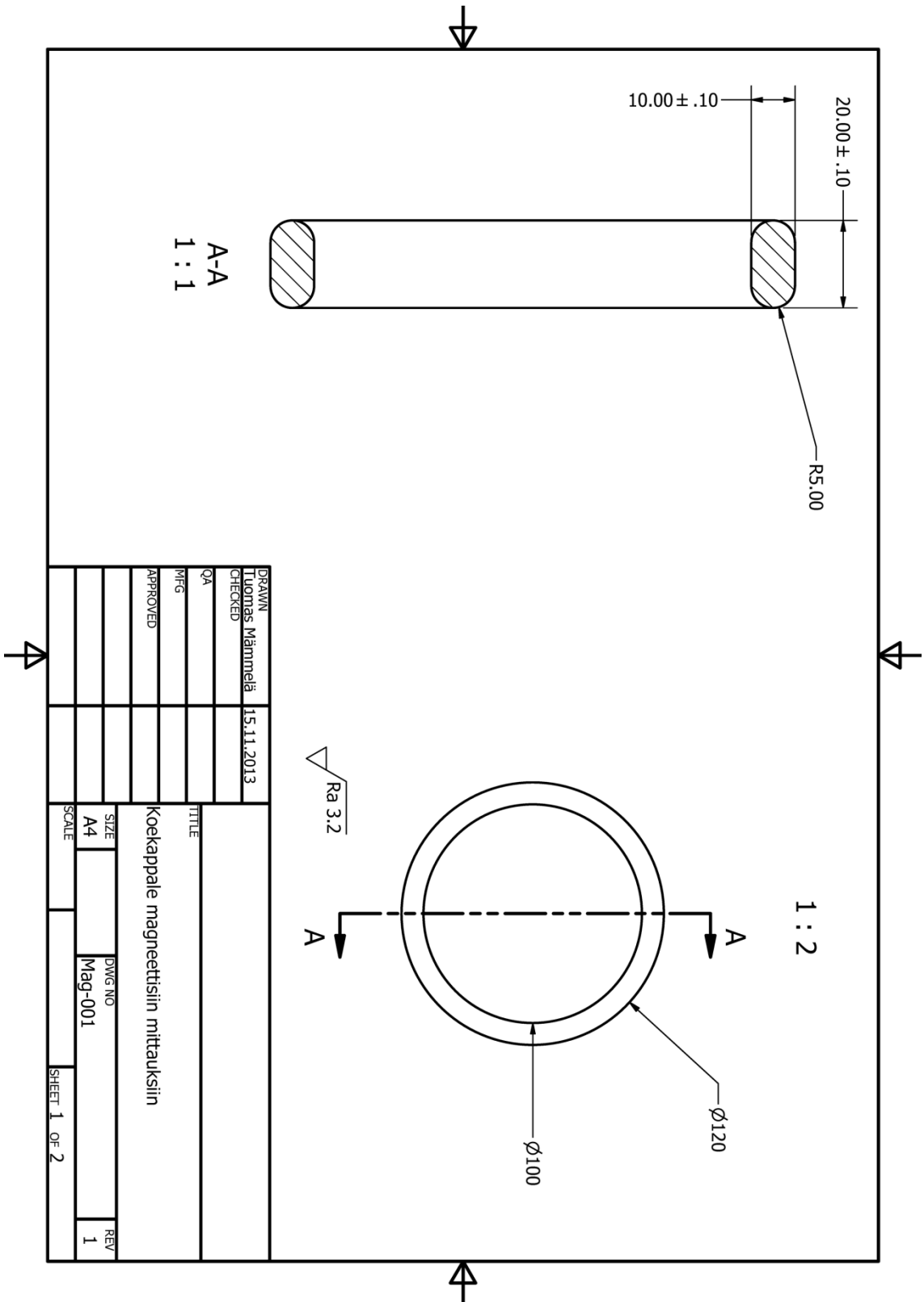
Robottihitsauskokeella ei ollut suoraa merkitystä työn tavoitteen saavuttamisessa. Siitä huolimatta kokeen tulokset olivat erittäin mielenkiintoiset ja vahvistivat käsitystä siitä, että jäännösmagnetismi on todellinen ongelma. On hyvä, että jäännösmagnetismin vaikutuksista on nyt olemassa konkreettista aineistoa.

Itse työn tekijänä olen tyytyväinen koko opinnäytetyöprosessiin ja saavutettuihin tuloksiin. Sain tehtyä työn ajallaan, vaikka ennen työn aloittamista käsitys aiheesta oli hyvin sekava ja kysymyksiä oli enemmän kuin vastauksia. Työn tilaaja sai haluamansa tiedon, ja lisäksi olen prosessin aikana oppinut aiheesta paljon sellaistaakin, mitä ei tässä työssä ole mainittu.

LÄHTEET

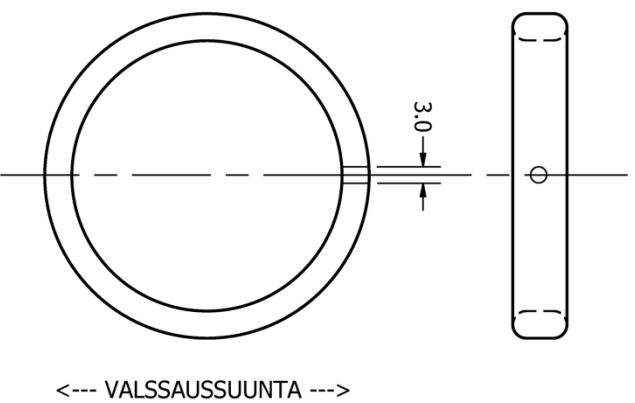
1. Toimialan tilannekuva. Teknologiateollisuus ry. Saatavissa: www.teknologiateollisuus.fi/fi/toimialat/konejametaltilannekuva.html. Hakupäivä 13.1.2014.
2. Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2010. Konetekniikan materiaalioppi. 12.-13. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
3. Cullity, B. D. – Graham, C. D. 2009. Introduction to magnetic materials. 2. painos. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
4. Koekappaleiden ainestodistus M19165. Miilux Oy.
5. Storr, Wayne. Basic Electronics Tutorials. Saatavissa: www.electronicstutorials.ws. Hakupäivä 13.1.2014.
6. Scherz, P. – Monk, S. 2013. Practical Electronics for Inventors. 3. painos. Yhdysvallat: McGraw-Hill Education.
7. Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka 2009. Momentti 2. 2.–3. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
8. Kivivuori, Seppo – Härkönen, Seppo 2009. Lämpökäsittelyoppi. 2. painos. Tampere: Esa Print Oy.
9. Lepola, Pertti – Makkonen, Matti 2011. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.–5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

10. Degaussing services. Maurer Magnetic AG. Saatavissa:
www.maurermagnetic.ch/030_E_magnets.html. Hakupäivä 7.2.2014.
11. Magnetized pipelines. Demag Solutions. Saatavissa:
www.demagsolutions.com/pipelines. Hakupäivä 7.2.2014.
12. DC Gaussmeter Model GM 1-ST Instructions. AlphaLab Inc.
13. Hitsausohjeet Miilux 400 | 450 | 500. Miilux Oy.
14. Clarke, R. 2008. Plotting Magnetization Curves. Saatavissa:
info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/BHCkt/index.html. Hakupäivä 10.2.2014.
15. ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC. 2012. Allegro MicroSystems LLC.
16. B-300 Series Contour Probes. Parker Research Corp. Saatavissa:
www.parkreshcorp.com/b300.htm. Hakupäivä 10.3.2014.



Valssaus suunnan tarkka merkintä ja säilyminen kappaleessa tärkeää!

Esim. porataan polton jälkeen yksi 3 mm reikä valssaus suunnan myötäisesti:



**EI SAA KÄSITELÄ MAGNEETTEILLA
KARKAISUN JÄLKEEN**

ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL
1	1	Mag-001	Miilux 400
2	1	Mag-001	Miilux 450
3	1	Mag-001	Miilux 500

DRAWN Tuomas Mämmelä	15.11.2013	TITLE		
CHECKED		Koekappale magneettisiin mitauksiin		
QA		TITLE		
MFG		Koekappale magneettisiin mitauksiin		
APPROVED		TITLE		
		SIZE	DWG NO	REV
		A4	Mag-001	1
		SCALE	SHEET 2 OF 2	