



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jari Niemelä

MUUNTAJAN KUPARIVUORAUKSEN SUUNNITTELUOHJE

Tekniikka ja liikenne
2014

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulun Kone- ja tuontantotekniikan koulutusohjelmassa kevään 2014 aikana. Työ toteutettiin Vaasan ABB Oy Transformersilla Vaasan yksikössä.

ABB Oy Transformersin suunnitteluyksiköstä opinnäytetyötä valvoi teräsosasuunnittelijoiden työnjohtaja Kari Salo. Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan – ja liikenteen yksiköstä valvoi yliopettaja Reijo Mäkelä.

Haluan kiittää työnvalvojien lisäksi hitsausten tarkastajaa Sakari Nurmista ja muita suunnitteluasiantuntijoita.

Vaasassa 3.4.2014

Jari Niemelä

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jari Niemelä
Opinnäytetyön nimi	Muuntajan kuparivuorauksen suunnitteluohje
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	31+4 liitettä
Ohjaaja	Reijo Mäkelä

Opinnäytetyön aiheena oli luoda muuntajan kuparivuorauksen mekaanisesta suunnittelusta suunnitteluohje ja kuparivuorauksen hitsauksesta ja asentamisesta tarvittavat työohjeet. Työn tuloksena tehdyn ohjeen avulla kuparivuoraukset suunnitellaan yhdenmukaisella ja ennalta ohjeistetulla tavalla. Kattava ohjeistus mahdollistaa kuparivuorauksen asennuksen tekemisen myös alihankkijaverkostossa. Tämän avulla ohjeistuksesta voidaan katsoa syntyvän myös valmistus- ja suunnittelutyön säästöä.

Työn alkuvaiheessa tehtiin selvitys muuntajan kuparoinnin vaikutuksesta ja sen hyödyistä. Suunnitteluohje tehtiin Creo Elements/Pro -ohjelmistolla. Suunnitteluohjeen materiaali saatiin haastattelemalla laatutarkastajaa ja muuntajien suunnitteluasiantuntijoita. Työn lopputuloksena saatiin suunnitteluohje, joka kattaa muuntajan säiliön ja kannen kuparoinnin ohjeen. Ohje sisältää suunnitteluohjeen, hitsausohjeen ja kokoonpano-ohjeen. Ohje laadittiin kaksikielisenä, suomeksi ja englanniksi. Ohjeessa huomioitiin muuntajan kuparivuorauksen kohteet. Muuntajan kuparoinnin suunnitteluohjeen muutokset ovat helposti päivitettävissä päivittämällä ohjetta tai revisioimalla.

ABSTRACT

Author	Jari Niemelä
Title	Design instructions for the Copper Shielding of the transformer
Year	2014
Language	Finnish
Pages	31+4 Appendices
Name of Supervisor	Reijo Mäkelä

The purpose of this thesis was to create instruction for the mechanical design of the Copper Shielding of the Transformer and work instructions for welding and installation of the copper Shielding. With these instructions the Copper Shielding will be designed in-line and in a pre-instructed way. The comprehensive instruction allows installing the Copper Shielding also in the subcontractor's network. This also lowers the costs of production and designing.

At the beginning of this work was made a survey about the effects and benefits of the coppering. This design instruction was done with the Creo Elements/Pro – program. Instructions material was collected by interviewing the Quality Controller and the Transformer designer experts.

The result of this thesis is this design instruction for the Transformer tank and the Coppering the cover. The instruction includes instructions for designing, welding and assembling. The objects of copper shielding are taken into account in the instructions. The instruction itself will be easy to update. This instruction was compiled in Finnish and in English.

KUVIOT JA LUETTELO

Kuvio 1.	Muuntajan käämit	s.10
Kuvio 2.	Kolmevaihemuuntajien käämien kytkennät	s.11
Kuvio 3.	Erikoismuuntajasäiliö	s.13
Kuvio 4.	Muuntajan kansi	s.14
Kuvio 5.	Muuntajan kuoren kuparointitapa	s.15
Kuvio 6.	Levyn päittäishitsauksen esimerkki.	s.25
Kuvio 7.	T-liitos hitsauksen esimerkki .	s.26
Kuvio 8.	Kuparilevyjen hitsausjälki ennen hiontaa.	s.27
Kuvio 9.	Kuparilevy hionnan jälkeen.	s.28
Kuvio 10.	T-liitos pala hitsauksen jälkeen	s.28
Taulukko 1.	Lämpötilajakauma	s.18
Taulukko 2	Kuparin hitsattavuus	s.19

MERKIT JA LYHENTEET

ABB = Asea Brown Boveri

SDT= Small distribution transformers, jakelumuuntajat

SPT= Small power transformers, pienet tehomuuntajat

YJ= Yläjännite

AJ= Alajännite

pWPS= Pre welding procedure specification, alustava hitsausohje

WPS= Welding procedure specification, hitsausohje

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA LUETTELO

MERKIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	3
2	ABB.....	4
	2.1 ABB Suomessa	4
	2.2 ABB-muuntajat	5
3	MUUNTAJA	6
	3.1 Yleisimmät muuntajat	6
	3.2 Erikoismuuntaja	6
4	MUUNTAJAN HÄVIÖT	7
	4.1 Häviöt.....	7
	4.2 Tyhjäkäyntihäviöt	7
	4.3 Kuormitushäviöt	7
	4.4 Kolmevaihemuuntajien kytkentäryhmät	8
	4.5 Hajavuo	9
5	MUUNTAJAN TERÄSKUORI.....	12
	5.1 Muuntajan säiliö.....	12
	5.2 Muuntajan kansi.....	14
6	KUPARIVUORAUS	16
	6.1 Kupari	16
	6.2 Teräs.....	17
	6.3 Kuparilevyn hitsattavuus teräslevyyn	17
	6.4 Muuntajan kuparivuoraus	20
	6.5 Hitsausmenetelmät	20
7	OHJEEN LAATIMINEN	22
	7.1 Lähtötilanne	22
	7.2 Työn eteneminen.....	22

7.3 Ohjeen sisältö.....	23
LÄHTEET	30
LIITTEET	31

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ABB:n muuntajatehtaalle. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kuparivuorauksen mekaanisesta suunnittelusta suunnitteluohje ja kuparivuorauksen hitsauksesta ja asentamisesta tarvittavat työohjeet. Öljyeristeisten tehomuuntajien öljysäiliöitä joudutaan häviöiden minimoimiseksi ja muuntajan teräsrakenteissa kiertävän hajakenttävaikutuksen hallitsemiseksi vuoraamaan sisäpuolelta kuparilevyllä. Toteutuksessa 4 - 8 mm paksu kuparilevy hitsataan reunoiltaan ja tulppahitsauksella levyn keskiöstä suoraan kiinni muuntajansäiliön rakenneteräksestä ja austeniittisesta teräksestä valmistettuun seinälevyyn. Työn lopputuloksena saatiin kuparivuorauksen suunnittelusta ja valmistuksesta sellainen ohje mikä täyttää laatujärjestelmän kriteerit.

Ohjeistus laadittiin pääasiallisesti ABB-muuntajien vanhoista ABB-materiaaleista ja suunnitteluasiantuntijoiden tietojen ja toiveiden pohjalta.

2 ABB

ABB on ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni, jonka pääkonttori sijaitsee Zürichissä, Sveitsissä. ABB on kansainvälinen yritys, joka toimii noin 100 maassa ja kaikilla mantereilla sekä työllistää yli 134 000 henkilöä. Pääjohtajana toimii 2013 vuodesta eteenpäin Ulrich Spiesshofer. Toimiala ABB:llä on automaatiotekniikka ja sähkövoimatekniikka. Tänä päivänä ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä.

ABB:n suomalaiset juuret ovat lähtöisin tätä edeltävästä yrityskaupasta vuodelta 1987 kun Asea Ab osti Kymi-Strömberg Oy:n sähköteknisen osan.

Teollisuuskonserni on perustettu vuonna 1988, kun ruotsalaisten Asea ja sveitsiläisten Brown Bover fuusioituivat./1/

2.1 ABB Suomessa

ABB toimii Suomessa yli 30 paikkakunnalla. Suurimmat tehdaskeskittymät sijaitsevat Vaasassa, Helsingissä ja Porvoossa. ABB on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. Vaasan alueella valmistuu sähkömoottorit, erikoismuuntajat, kytkintuotteet, releet, sähköverkonohjaus ja instrumentointiratkaisut sekä tehdastietojärjestelmät.

Suomessa ABB:llä on työntekijöitä noin 6600.

Liikevaihto Suomessa 2 360 (MEUR) vuonna 2012./1/

2.2 ABB-muuntajat

ABB on yksi maailman suurin suurmuuntajien valmistaja ja sillä on toimintaa kymmenillä eri paikkakunnilla ympäri maailmaa. Vaasan suurmuuntajatehtaan kaltaisia spt-muuntajia valmistavia tehtaita on vain kuusi koko maailmassa. Tehtaat sijaitsevat mm. Italiassa, Yhdysvalloissa ja Kiinassa.

Suomessa muuntajavalmistus työllistää 335 henkilöä ja ympäri maailmaa noin 16 000 henkilöä. Suomessa muuntajia alettiin valmistamaan Helsingissä vuodesta 1949 lähtien. Suurmuuntajatuotanto siirrettiin Helsingistä Vaasaan vuosina 1955 - 1956, jonka myötä Vaasassa valmistetaan nykyään erikoismuuntajia – sdt- ja spt-muuntajia. Myös osa sähkölaitosmuuntajien valmistuksesta on siirretty Vaasaan kuljetuskustannuksellisista syistä. Vaasassa valmistetut erikoismuuntajat tehdään asiakkaan vaatimusten ja tarpeiden mukaan ja ne toimitetaan teknisesti ja ympäristöystävällisesti erittäin vaativiin olosuhteisiin, kuten öljy- ja kaasukentille.

3 MUUNTAJA

3.1 Yleisimmät muuntajat

Muuntaja on sähkömagneettinen laite, joka muuttaa vaihtosähkön jännitteen tai virran toiseksi samantaajuiseksi jännitteeksi tai virraksi. Tämä keksintö on yli 100 vuotta vanha. Yksinkertaisessa muuntajassa saman rautasydämen ympärillä on kaksi toisistaan eristettyä käämiä, ensiökäämi ja toisiokäämi. Energia siirtyy virtapiiristä toiseen käämien välisen keskinäisinduktanssin välityksellä. Ensiökäämissä kulkeva vaihtovirta synnyttää rautasydämeen muuttuvan magneettivuon. Se puolestaan indusoi toisiokäämin napoihin sen kierrosmäärää vastaavan jännitteen. Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetason perusteella siirto- ja jakeluverkkoihin. Vaihtojännitteen muuttaminen eri jännitetasoille tehdään muuntajan avulla. Muuntajan rakenne on pääpiirteittäin pysynyt samanlaisena.

Muuntajien hyötysuhde on noin 95 – 99 %. Häviöt syntyvät pääosin rautasydäimestä ja käämityksestä. Suunniteltu käyttöikä muuntajalle on noin 30 vuotta.

Muuntajia on monia erilaisia ja moneen eri tarkoitukseen. Tehot vaihtelevat 5MVA - 63MVA. Ne joko muuntavat jännitettä pienemmäksi tai suuremmaksi. Tavallisimpia ovat sähköasemamuuntajat, tasamuuntajat, laivamuuntajat, offshore-muuntajat. Rautateiden sähköistystä vaativia muuntajia ja taloja varten valmistetaan pylväsasennettuja jakelumuuntajia. Vuonna 1999 maailman ensimmäinen vedenalainen muuntaja otettiin käyttöön ja tämän ansiosta järjestetään tehoa kaasutuotannon painetta lisääviin kompressoreihin.

3.2 Erikoismuuntaja

Erikoismuuntaja on muuntaja, joka rakennetaan asiakkaiden vaatimusten mukaisesti. Muuntajat ovat perusrakenteeltaan melkein kaikki lähes samanlaisia. Rakenteeseen kuuluu aktiiviosa, säiliö, paisuntasäiliö, kansi, läpiviennit, jäähdyttimet ja erilaisia suojamittalaitteita.

4 MUUNTAJAN HÄVIÖT

4.1 Häviöt

Muuntajasta ulos tuleva teho on sisään tullut teho vähennettynä muuntajan sisäisillä häviöillä. Häviöiden osuus muuntajissa on tyypillisesti n. 0,5 – 1 % nimellistehosta.

Muuntajan häviöt syntyvät pääosin käämityksissä ja rautasydämessä. Häviöt muuttuvat lämmöksi ja tämän myötä sähköenergiaa menee hukkaan. Häviöt ilmoitetaan tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöinä. Niiden on oltava muuntajastandardin määräämien sekä tilausvaiheessa sovittujen toleranssien sisällä. Muuntajan koon noustessa nousee myös muuntajan häviöiden aiheuttama lämpöteho. Muuntajassa lämpötehon lämpenemispaikat ilmestyvät pienille alueille terämateriaaliin luoden kuumia pisteitä.

4.2 Tyhjäkäyntihäviöt

Silloin kun muuntaja on kytketty jännitteelliseen verkkoon, syntyy muuntajassa häviöitä ilman kuormitustakin. Näitä tyhjäkäyntihäviöitä syntyy melkein yksinomaan rautasydämessä.

Tyhjäkäyntihäviöiden suuruuteen vaikuttaa sydänlevyjen materiaali ja laatu. Vuontiheys vaikuttaa myös tyhjäkäyntihäviöiden suuruuteen. Mitä suurempi vuontiheys on, sitä suuremmat ovat tehohäviöt muuntajassa ja taas toisinpäin, mitä pienempi vuontiheys sitä pienemmät ovat häviöt.

4.3 Kuormitushäviöt

Muuntajaa kuormittaessa syntyy kuparista tai alumiinista tehdyissä käämeissä kuormitushäviöitä, jotka nostavat käämien lämpötilaa. Kuormitushäviöt muuttuvat

nimensä mukaisesti kuormituksen mukaan. Kuormitushäviöitä saadaan pienennettyä käyttämällä suurempia poikki-pinta-aloja käämi-johtimissa.

4.4 Kolmevaihemuuntajien kytkentäryhmät

Muuntajassa on vähintään kaksi peruskäämistä, yläjännite- ja alajännitekäämistä. Erikoismuuntajissa voi olla useita alajännitekäämistä. Näiden lisäksi yläjännitepuolella voi olla säätökäämi, joka on kytketty yläjännitekäämin jatkeeksi.

Käämit valmistetaan puhtaasta kuparista tai sähköalumiinista. Valintaan vaikuttavat asiakkaan mielipiteiden ja toivomusten lisäksi vallitsevat raaka-aineiden hintasuhteet ja muuntajan häviöarvostus.

Suurvirtaisissa käämeissä on johdin jaettava useampaan osajohtimeen häviöiden pienentämiseksi. Osajohtimet risteillään sopivalla tavalla keskenään. Risteilyllä pyritään siihen, että kukin johdin on keskimäärin yhtä voimakkaassa magneetikentässä yhtä pitkän matkan. Tällöin virran jakaantuminen rinnankytkettyjen osajohtimien kesken tulee tasaiseksi ja kaikki johtimet kuormittuvat samalla tavalla.

Käämeihin voidaan tehdä jäähdytyskanavia, joiden kautta öljy pääsee virtamaan. Käämien häviölämpö siirtyy virtaavaan öljyyn ja sitä kautta pois käämeistä.

Muuntajien käämit ovat rakenteeltaan erilaisia riippuen muuntajan tehosta sekä käämin jännitteestä ja virrasta.

Muuntajassa kytkennät ilmoitetaan kirjainsymboleilla ja tunnusluvuilla. Kolmevaihe muuntajan käämit voidaan kytkeä kolmio-(D,d), Tähti- (Y,y) tai hakatähtikytkentään (Z,z). Hakatähtikytkentää käytetään pääasiassa vaiheenkääntö- ja maadoitusmuuntajissa. Se on yleinen myös pienten jakelumuuntajien alajännitepuolella.

Isolla kirjaimella merkitään suuremman jännitteen käämitys ja pienillä pienempien jännitteiden käämitykset. Jos tähti- tai hakatähtikytketyn käämityksen tähtipiste on tuotu liittimelle, merkitään se N:llä tai n:llä välittömästi kyseisen käämityksen kirjainsymbolin jälkeen.

Kytkenästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvaamaan käytetään tunnuslukuina kellotaulun tuntilukemia. Tunnusluku on se kellolukema, jolle alajännitteiden vaihejännitevektorit asettuvat, kun saman yläjännitevaiheen vaihejännitevektorit asetetaan vaikkapa 12 ”kellotaululla”. Esim. Tunnusluku 11 tarkoittaa, että alajännite on 30 astetta yläjännitettä edellä. Jos jännitevektorit ovat samansuuntaiset, tunnusluku on 0. Tunnusluku kirjoitetaan kyseisen alajännitekäämityksen kirjainsymbolin jälkeen esim. Dyn11.

Muuntaja kytkettynä kolmeen vaiheeseen tähtikytkennällä saa aikaan nollavirran. **(Kuvio 1.)** Jos yhden vaiheen kytkee kolmio D-kytkentään voidaan estää nollavirran syntyminen. /3/

4.5 Hajavuo

Muuntajan käämien synnyttämä magneettivuo jaetaan päävuohon ja hajavuohon. Päävuo kulkee ensiö- että toisiokäämin läpi. Ensiökäämin hajavuo ei kulje päävuon reittiä, vaan etsii aina vaihtoehtoisen reitin. Hajavuo voi kulkea pitkiä matkoja teräs materiaalissa, jonka magneettivastus on suurempi kuin muuntajan rautasydämen.

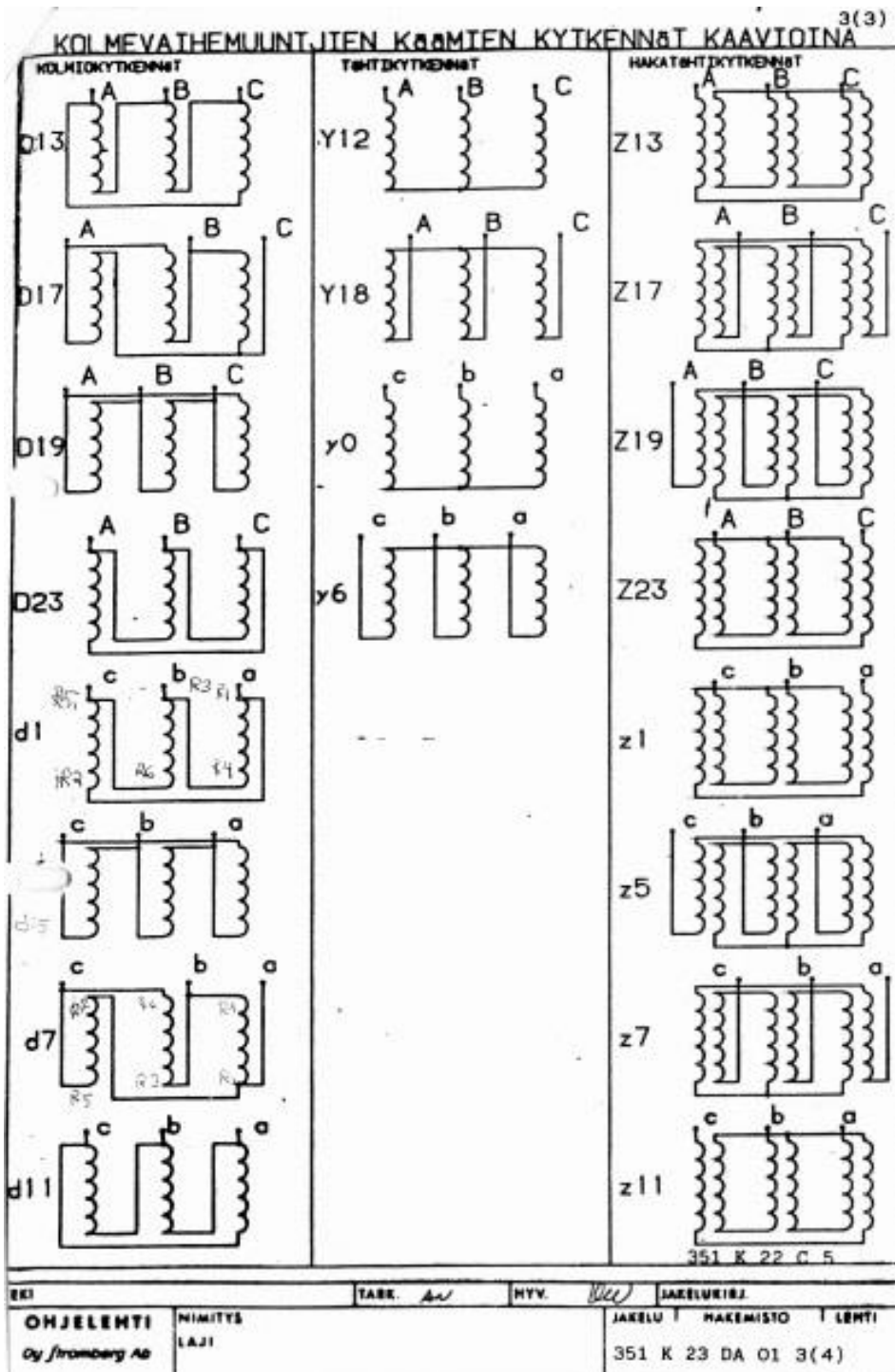
Muuntajan kuumat pisteet eli pyörrevirta, jotka aiheuttavat energiahäviöitä lämmittämällä muuntajan rautasydänmateriaalia, sekä aiheuttamalla vastakkaisuuntaisen sähkömotorisen voiman muuntajan käämeihin. Tehohäviöitä voidaan minimoida rakentamalla sydän toisistaan eristetyistä levyistä yhtenäisen sydänmateriaalin sijaan. Pyörrevirrat aiheuttavat myös johtimiin virran epätasaisen jakautumisen poikkipinnassa. Johtimen aiheuttama häviöteho keskittyy yleensä pienelle alueelle, jolloin tehotiheys saattaa muodostua hyvin suureksi. Suurten tehotiheyserojen vuoksi muuntajan rakenteisiin muodostuu

potentiaalieroja, jotka pyrkivät tasoittumaan rakenteissa kiertävien pyörrevirtojen avulla. Kiertävät pyörrevirrat aiheuttavat resistiivistä häviötä, joita vähennetään suojaamalla säiliö hyvin sähköä johtavalla epämagneettisella materiaalilla.

Muuntajan kuoren lämpeneminen on todennäköistä silloin, kun tähteenkytkettyä muuntajaa on kuormitettu epäsymmetrisellä tavalla eli vinokuormituksella. Tämä tarkoittaa sitä kun muuntajan kaikkia vaihteita ei kuormiteta samansuuruisella teholla. Jännitteen ollessa epäsymmetrinen kuormituksen virta muuttuu ja aiheuttaa muuntajan sisällä kuumia pisteitä. Nämä pisteet voivat muodostua niin kuumiksi, että muuntajan teräsrakenteeseen saattaa tulla pysyviä haittoja. Jännite epäsymmetrian voi ehkäistä Dy-kytkennällä (**Kuvio 2.**)



Kuvio 1. Muuntajan käämit kytkettynä eristimiin



Kuvio 2. Kolmevaihemuuntajien käämien kytkennät

5 MUUNTAJAN TERÄSKUORI

5.1 Muuntajan säiliö

Muuntajan säiliö on usein rakenteeltaan terästä. Rakenteen täytyy myös kestää ympäristön rasitukset. Sen tehtävänä on toimia muuntajan runkona, jäähdyttimenä ja öljysäiliönä. Erikoismuuntajissa jokainen säiliö suunnitellaan erikseen. Radiaattorisäiliö koostuu neljästä eri seinäelementistä, pohjasta ja kaulavanteesta. Tämä kokoonpano hitsataan yhteen. Säiliöön kiinnitetään erilliset jäähdyttimet, jotka yleensä ovat radiaattorit. Myös erikoistapauksissa jäähdytyksenä voidaan käyttää vesi - tai ilmajäähdytystä. Erikoismuuntajasäiliö (**kuvio 3.**)

Tietyissä erikoismuuntajissa toisiovirta on huomattavan suuri. Virta aiheuttaa muuntajan sisällä hajavuon joka indusoi pyörrevirtoja. Tämän estämiseksi suojataan tietyissä tapauksissa teräsvaippa kuparilevyllä.

Kuparin hyvä sähkönjohtavuus sekä epämagneettisuus vähentää muuntajan energiahäviöitä. Kuparilevyn poikkipinta-ala tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta peilivirta ja paluuvirta pääsevät vapaasti kiertämään levyn pinnalla. Tämän ansiosta säiliön seinämät eivät pääse lämpenemään liikaa.



Kuvio 3. Erikoismuuntajasäiliö

5.2 Muuntajan kansi

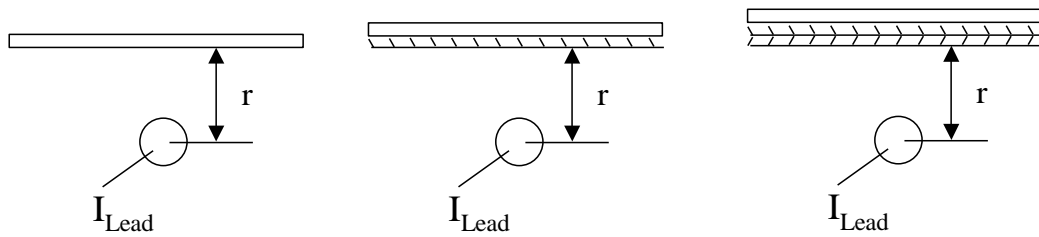
Muuntajan kansi kiinnitetään aluksi muuntajan eli aktiiviosaan. Kannen avulla se lasketaan muuntajan säiliön sisään. Muuntajan teräsrakenne on suunniteltu siten, että säiliöön hitsataan kaulavanne, jonka ansiosta kansi ja säiliö kiinnitetään toisiinsa, joko pulteilla tai hitsaamalla. Tiivisteinä käytetään korkkitiivistettä tai kumilankaa. Muuntajan kanteen kiinnitetään suurin osa muuntajan varusteista. Varusteisiin kuuluu virtamuuntajan rasiat, erilaiset kytkimet, läpiviennit, venttiilit ja kannen alapuolelle voidaan kiinnittää myös virtamuuntajia.

Läpivientien avulla muuntaja kytketään sähköverkkoon ja samalla muodostaa eristeosan avulla maapotentiaalissa olevaan kanteen tai säiliöön. **(kuvio 4.)**

Kannen kuparointia joudutaan usein tekemään silloin, kun kompensoimattomia virtakiskoja kulkee muuntajan sydämen yläpuolella lähellä kannen alapuolta. **(Kuvio 5.)**



Kuvio 4. Muuntajan kansi



Kuvio 5. Muuntajan kuoren kuparointitapa

a

b

c

Säiliön sisäseinämien suojaaminen kuparilla.

- a.** suojaamaton seinä
- b.** teräslevy suojattu 4 mm kuparilevyllä
- c.** teräslevy suojattu 2 x 4 mm kuparilevyllä.

6 KUPARIVUORAUS

6.1 Kupari

Kupari on venyvää, pehmeää ja siliävää metallia. Sen väri on punaruskeaa. Yleisin kuparilaatu on happikupari, jota käytetään esim. sähköjohdoissa ja kuparikatoissa. Sulaan kupariin liuennut happi muodostaa kiinteässä olomuodossa linssimäisiä rakenteita. Happikupari ei ole yhtä allerginen epäpuhtauksille, kuin hapeton kupari, koska happilinssit sitovat tehokkaasti epäpuhtauksia. Happikuparin johtokyky on alhaisempi kuin hapestoman kuparin, eikä sitä voida käyttää pelkistävässä olosuhteissa. Muita puhdistettuja kupareita ovat deoksidoitu (fosforisoitu) kupari ja hapeton kupari mitä käytetään myös sähköjohdoissa.

Teknisen käytön kannalta kuparin ominaisuuksista ovat tärkeimpiä hyvä sähkön- ja lämmönjohtavuus, joissa vain hopea on kuparia parempi. Kuparilla on myös hyvä syöpymisenkestävyys, joka perustuu sen jaloutteen sähkökemiallisessa jännitesarjassa sekä pintaa suojaavan oksidikalvoon pintakeskisen kuutiohilansa vuoksi kuparia on sitkeää ja sitä on helppo muokata eri lämpötiloissa.

Kuparia on enimmäkseen sulfidimalmeissa, usein vähemmän kuin 1 %. Malmin murskaamisen, jauhamisen ja rikastamisen jälkeen kuparirikasteen arvometallisuus on 20 – 30 %

Kuparin tiheys on $8,96 \times 10^3$ kg/m³ ja aineen kovuus 3,0 mohsin asteikolla./4/

6.2 Teräs

Teräs on yleinen nimi metalliseoksille, joita muokataan takomalla tai valssaamalla.

Teräksen valmistuksen raaka-aineena käytetään masuunista saatavaa takkirautaa, joka mellotaan konvertterissa teräkseksi. Masuunissa rautaoksidi pelkistetään hiilen avulla metalliseksi raudaksi, joka on aivan liian kovaa ja haurasta työstettäväksi; melloituksesta takkiraudasta hapetetaan siihen imeytynyt hiili pois.

Erilaisia teräslajeja valmistustavan mukaan:

suurlujuuksiset matalaseosteiset teräkset (HSLA-teräkset)

- säänkestävät teräkset
- kuumalujat teräkset
- tulen kestävät teräkset
- ruostumattomat teräkset
- nuorrutusteräkset
- hiiletys- ja typetyškarkaistut teräkset. /5/

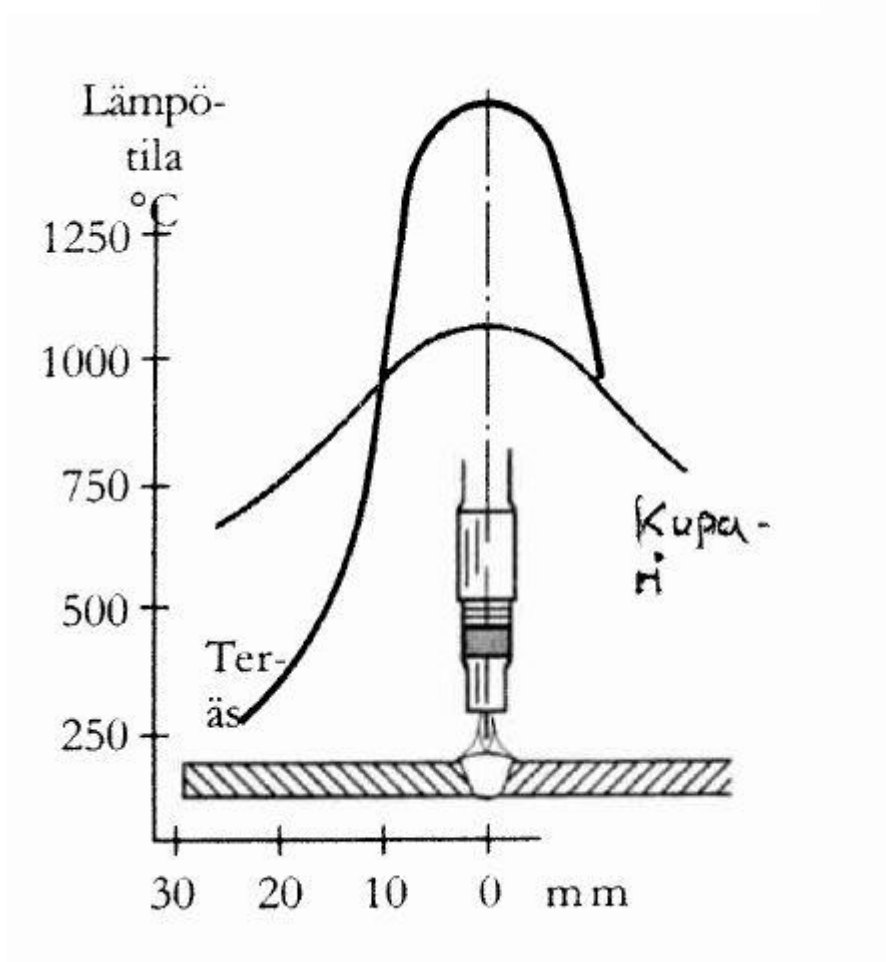
6.3 Kuparilevyn hitsattavuus teräslevyyn

Materiaaliominaisuuksina laaja lämpölaajeneminen sekä erittäin hyvä lämmönjohtavuus vaikuttavat kupariseosten hitsattavuuteen. Hitsin läheisyydessä myös kylmämuokatut rakenteet pehmenevät.

Ominaisuuksiin sisältyy myös kyky liuottaa kaasuja sulassa tilassa. Kiinteässä tilassa se voi aiheuttaa hitsin jähmettyessä huokoisuutta.

Teräshitsin ja kuparihitsin välinen johtavuusero on suuri. Kuparin korkea lämmönjohtavuus vaikeuttaa hitsaamista minkä vuoksi suuret kappaleet on normaalisti esikuumennettava sekä hitsauksessa on tuotava enemmän lämpöä.(Taulukko1.)

Taulukko 1. Lämpötilajakauma



Hitsin lämpö vaikuttaa suuresti kylmämuokattuun rakenteeseen, joka luo pehmeän vyöhykkeen hitsin ympärille. Kappaletta voimakkaasti työstettäessä muutosvyöhyke (HAZ) on herkkä halkeamille. Kappaleen pehmenemistä voidaan pitää alhaisena hallitsemalla välipalko- sekä esilämmityslämpötiloja.

Taulukossa on esitetty kuparin soveltuvuutta hitsattavaksi eri hitsausmenetelmillä.

Kuparilla on suuri jähmettymisalue, joten se on herkkä kuumahalkeamille. Halkeamia voi minimoida esimerkiksi vähentämällä välipalon lämpötila sekä lämmöntuonti minimiin, samoin jäännösjännityksien vähentäminen hitsauksen aikana. Myös ilmaraon kokoa pienentämällä sekä juuripalon sulan kokoa lisäämällä. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Kuparin hitsattavuus

SS-nr	Kaasu-hitsaus	Puikko-hitsaus	Kaasukaari-hitsaus	Piste- ja kiekko hitsaus	Tyssä-hitsaus	Leimu-hitsaus	Hitsattavuuden arvosteluasteikko
Kupari							5 = hyvin helppo suorittaa
5010	1	1	3	2	4	3	4 = helppo suorittaa
5011	1	1	3	2	4	3	3 = melko helppo suorittaa
5013	1	1	3	2	4	3	2 = vaikea suorittaa
5030	4	2	5	3	4	3	1 = ei voida suorittaa hyvällä tuloksella

Joillakin seosaineilla on matala kiehumispiste. Hitsauksessa näiden aineiden kaasuuntuminen aiheuttaa huokoisuutta. Huokoistumista ja ensinnäkin kaasuuntumista voidaan vähentää nostamalla hitsausnopeutta ja valitsemalla lisäaineita joissaon hyvin vähän helposti haihtuvia ainesosia.

Kromikuparin sekä berylliumkuparin pintaoksidit ovat erittäin vaikeita poistaa ja vaikeuttavat usein hitsausta.

Kaasukaarihitsausmenetelmät ovat useimmin käytetty menetelmä kuparimateriaaleissa. Yksinkertaisissa hitseissä puikkohitsauskin on mahdollinen, mutta kaasukaarimenetelmät ovat suositeltavia. Esimerkiksi perinteisenä LVI-kupariputkien hitsausmenetelmänä käytetään kaasuhitsausta.

Käytettynä menetelmänä tunnetaan kuparimateriaalien juottaminen. Sitä tehdään että pehmeä-, myös kovajuottona. Kaasuhitsauksessa ja juotossa on ehdottomasti käytettävä juoksutetta. Ongelmia aiheutuu mikäli puhdistusta ei tehdä huolellisesti.

MIG-, TIG- ja plasmahitsauksessa käytetään suojakaasuna heliumia, argonia tai näiden sekoitusta.

Seoskaasua (75% He ja 25% Ar) suositellaan yli 3,3 mm ainepaksuuksille käsi- sekä mekanisoidussa hitsauksessa. Tämä koskee myös heliumia. Valokaaren suuren lämpösisällön takia helium on järkevä vaihtoehto. Argonia taas käytetään alle 3,3 mm paksujen levyjen hitsauksessa. /7/

6.4 Muuntajan kuparivuoraus

Muuntaja on vanha keksintö ja kuparivuorauksen avulla saadaan aikaan monta erilaista toimenpidettä, esimerkiksi äänen vaimennus. Tutkimusten myötä on myös havaittu, että kuparin avulla pystytään pienentämään muuntajassa syntyviä häviöitä tai suojaamaan teräskuorta turhan korkealta lämpenemiseltä. Yleisimpiä kuparivuorauspaikkoja ovat erikoismuuntajasäiliön sisäseinämät tai kannen alapuoli.

Käämien kytkennät tai suuret tehohäviöt kertovat milloin kuparivuoraus on syytä laittaa..

Normaali öljymuuntajan säiliönseinämän lämpötila on noin kaksinkertainen öljyn lämpötilaan nähden eli n. 80 °C .

6.5 Hitsausmenetelmät

Hitsausmenetelmä on (WPS) hitsausmenetelmän valinta, joka on riippuvainen materiaalista ja sen paksuudesta ja railon muodosta. Näistä muuttujista saadaan valittua hitsausohje. Hitsausohje on asiakirja, jossa on esitetty kaikki vaadittavat muuttujat hitsausmenetelmään. Hitsausohjeesta täytyy selvittää yksityiskohtaiset tiedot toteuttamaan hitsaustyö. Hitsausohjeen avulla liitokset on hyvin standardoituja ja ne täyttävät liitokselle vaaditut ominaisuudet.

Hitsausmenetelmällä tarkoitetaan hitsaukseen liittyviä toimenpiteitä, joissa selvitetään tiedot hitsausprosessista, materiaaleista, railosta, hitsausarvosta, esikuumennuksesta, hitsauksen suoritustavasta, käytettävistä laitteista ja

hitsausenergiasta. WPS on yhtenäiset kirjalliset hitsausohjeet joiden tulee olla hyväksytyt yrityksellä, mikä on luokiteltu testaamaan ja tarkastamaan kyseiset hitsaukset. Tähän on käytössä useita standardimenettelyitä. WPS hitsausmenetelmässä on kerrottu kaikki tarvittavat tiedot hitsauksen suorittamiseen sekä menetelmä pätevyysalueesta. Tällä menettelyllä varmistetaan, että WPS:ää noudattamalla hitsi suurella täyttää sille asetetut vaatimukset.

Yrityksen hitsauskoordinaattori on vastuussa hitsausmenetelmien ja hitsaajien pätevöinnistä sekä koulutuksesta.

7 OHJEEN LAATIMINEN

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kuparivuorauksen mekaanisesta suunnittelusta suunnitteluohje ja kuparivuorauksen hitsauksesta ja asentamisesta tarvittavat työohjeet. Öljyeristeisten tehomuuntajien öljysäiliöitä joudutaan häviöiden minimoimiseksi ja muuntajan teräsrakenteissa kiertävän hajakenttävaikutuksen hallitsemiseksi vuoraamaan sisäpuolelta kuparilevyllä. Toteutuksessa 4 – 8 mm paksu kuparilevy hitsataan reunoiltaan ja tulppahitsauksella levyn keskiöstä suoraan kiinni muuntajansäiliön rakenneteräksestä ja austeniittisesta teräksestä valmistettuun seinälevyyn. Tarkoituksena on luoda kuparivuorauksen suunnittelusta ja valmistuksesta sellainen ohje mikä täyttää laatujärjestelmän kriteerit.

7.1 Lähtötilanne

Nykytilanteessa muuntajien tehohäviöitä tai pyörrevirtojen estämiseen ei ole keksitty muuta kuin vuorata muuntajan sisäseinät tai virtakiskojen yläpuolelta teräskantta kuparilla.

Vaasan Suurmuuntajatehtaalla oli hieman vajavainen suunnitteluohje kuparivuorauksesta ja suurinosa tiedoista olivat muuntajien eri henkilöstön muistissa. Kokoamalla haastatteluista ja vanhoista materiaaleista yhtenäisen paketin, saimme luotua ohjeistuksen.

7.2 Työn eteneminen

Työn alkuvaiheessa tehtiin selvitys muuntajan kuparoinnin vaikutuksesta, sen hyödyistä, kuparivuorauspaikoista ja kuparivuorauksen tarpeesta.

Suunnitteluohjeen materiaalia saatiin haastatteleamalla laatutarkastajaa ja muuntajien suunnittelu asiantuntijoita. Työn aikana suoritimme

hitsausmenetelmän kuparin hitsaamiselle teräkseen. Tämän avulla saimme luotua yhtenäisen menetelmän hitsaukselle.

7.3 Ohjeen sisältö

Suunnitteluohje

Suunnitteluohjeessa käydään läpi miten kyseinen työ saadaan suunniteltua ja valmistettua mahdollisimman laadullisesti ja ajan käytön kannalta helposti. Suunnittelu työ tehdään Creo 3D-suunnitteluohjelmalla.

Suunnittelija luo 3D-mallin suunnitteluohjelmalla ja samalla myös luo tarvittavat valmistuskuvat joiden avulla valmistetaan kappaleet.

Suunnittelussa huomiota on otettava kuparoinnin paikka ja miten korkea kuparilevyn tulisi olla sekä kuparilevyn paksuus.

Kuparilevyn sijoituksen päättää ABB muuntajissa muuntajan laskijat jotka laskevat sähköiset voimat muuntajan sisällä ja päättävät mikä kohta on muuntajassa se kriittinen paikka mihinkä pyörrevirrat pääsevät tekemään kuumia pisteitä.

Kuparin paksuus valitaan, kun tiedetään paljonko muuntajassa kulkee virtaa ja on muistettava että, käämissä kulkee 1/3 tähtipisteen virrasta Z0-kytkennässä. Muuntajan laskelman avulla voidaan tarkastaa kuparilevyn paksuuden riittävyys. Lasku esimerkki: Oletetaan, että sallitaan yj-käämin nimellisvirta yj-tähtipisteen läpi, että käämin kierrosluku on 1023 ja käämin nimellisvirta on 165 A. Sallitaan siis 165 A yj-puolen tähtipisteen läpi jatkuvuustilassa. Oletetaan lisäksi, että vuorauksen paksuus on 4 mm. Virrantiheys on aina muuntajassa 5.5 A/mm². Tämä vastaa lämpenemään 40 K öljyyn nähden.

Yleinen kuparilevyn paksuus mitä on käytetty vuorauksessa on 4 mm - 8 mm.

Kuparilevyä mitoittaessa on huomioitava, että kuparilevyn on oltava korkeampi kuin muuntajan kääminkorkeus.

Tässä muutama laskuesimerkki: Laskelmista voidaan katsoa kääminkorkeus ja sen avulla voidaan katsoa, että

(1)

$$\text{Kuparilevyn paksuus} = \frac{\left(\frac{1}{3}\right) \times 1023 \times 165A}{5.5A} = 10230\text{mm} \div \text{kääminkorkeus}$$

(2)

$$\text{Tarvittava kuparivuorauksen korkeus} = \frac{\left(\frac{1}{3}\right) \times 1023 \times 165A}{4\text{mm} \times 5.5A} = 2557\text{mm}$$

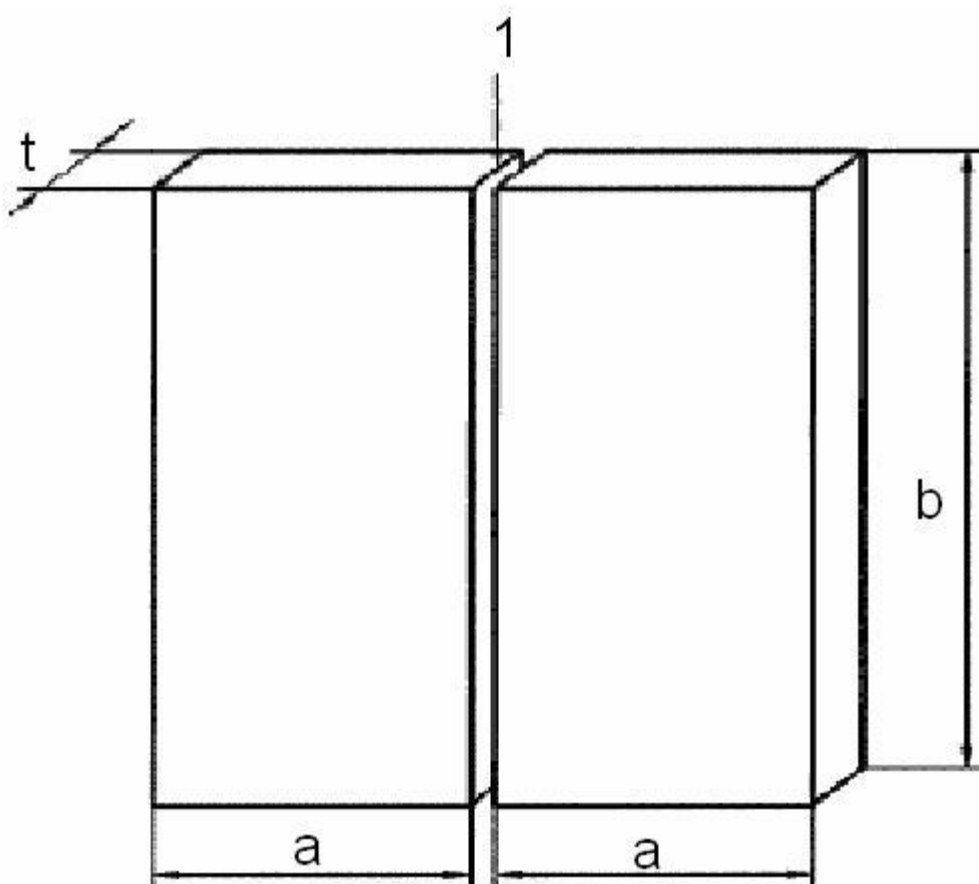
Jos kuparin paksuus on liian pieni saattaa virta keskittyä liikaa kupariin ja lämmittää kuparilevyn sulaksi.

Kiinnitysohjeessa kerrotaan, kuinka kuparilevy kiinnitetään ja mihinkä paikkaan. Tässä osiossa on hyvä kertoa myös millä tekniikalla levy kiinnitetään seinään.

Paikoituksessa on huomioon otettava, kun kuparilevy laitetaan muuntajan säiliön päätyseinään. Hitsataan se kiinni silloin, kun säiliön pääty on vielä irtonainen. Kuparilevy täytyy taittaa kulmista oikeaan kulmaan, koska se toimii jatkopalana säiliön sivuseinämiin tulevissa paloissa. Säiliön seinämistä puhutaan aj –seinä ja yj-seinä. Molempiin seinämiin hitsataan kuparilevyt paloissa ja sovittamalla.

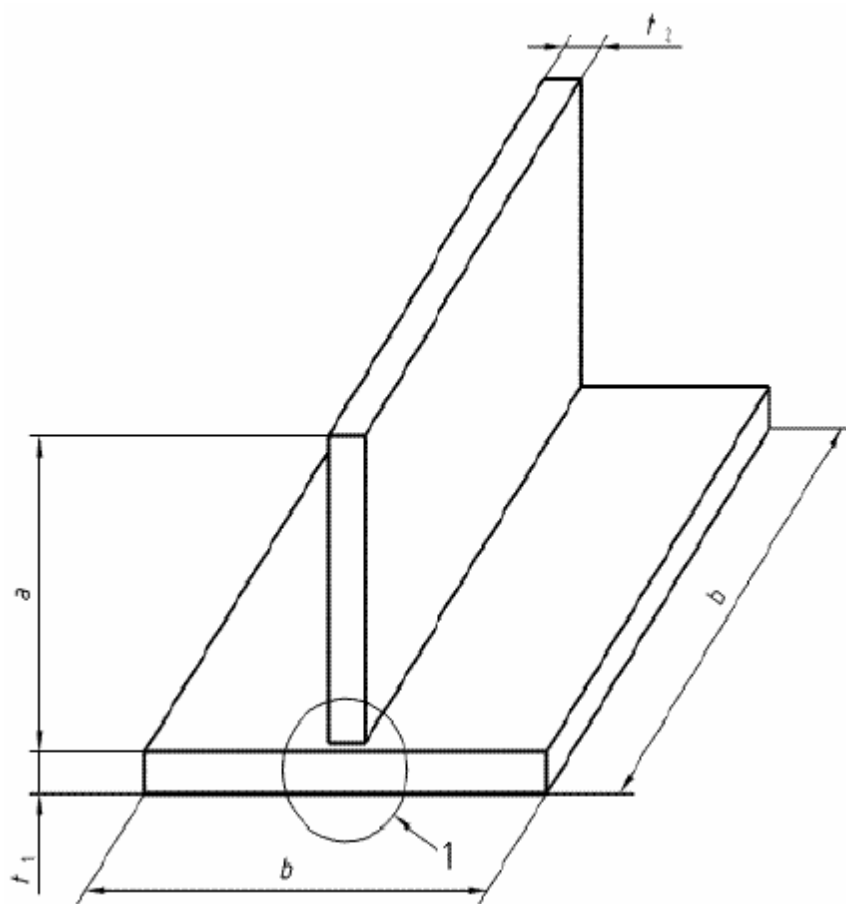
Ohjetta luodessamme teimme kuparin ja teräksen välille hitsauksen menetelmäkokeet eli WPS menetelmän ja tämän tekemiseksi meidän täytyi suorittaa menetelmäkokeet kuparin hitsaamiselle teräkseen. **(Kuvio 6 - 7.)**

- 1 railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen mukaan.
- a vähintään 150 mm
- b vähintään 350 mm
- t aineen paksuus.



Kuvio 6. Levyn päittäishitsauksen esimerkki.

Toinen standardikoe kappale oli T-liitos. Koekappaletta voidaan käyttää sekä läpihitsatuille päittäishitseille, että pienahitseille.



Kuvio 7. T-liitos hitsauksen esimerkki.

- 1 railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan.
- a vähintään 150 mm
- b vähintään 350 mm
- t aineen paksuus.

Koekappaleina käytimme 4 mm kuparilevyä ja 8 mm teräslevyä. Koekappaleita tehtiin kolme kappaletta. Kappaleiden väliin jätettiin 6 mm rako hitsaamista varten. Hitsausasento mitä pyritään käyttämään on jalkohitsaus. Hitsaus oli

erikoinen syytä, koska kuparilevy hitsattiin teräslevyyn kiinni. Koekappaleiden aineenpaksuus t , on aina sama.

Laadunvalvonta tapahtuu hitsauksen kokeenaikana valvojan läsnä ollessa. Sen tavoitteena on estää ja korjata hitsausvirheet mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Koekappaleen hitsauksen jälkeen valvoja tarkistaa hitsausliitoksen silmämääräisesti. Jos kappale hylätään tarkistuksen jälkeen, on suoritettava uusi koekappale. /10/



Kuvio 8. Kuparilevyjen hitsausjälki ennen hiontaa.

Testissä määritellään mitkä ovat hitsauksen parametrit:

-hitsaustyökalu

-liekki

-suojakaasu

-lanka

-palamisnopeus

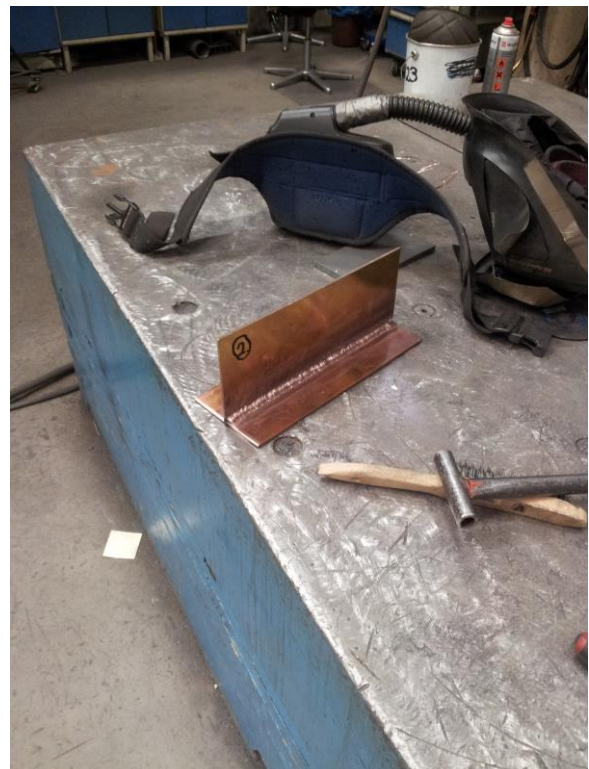
-hitsausvirta

-hitsausjännite.

Hitsausmenetelmäkokeissa huomataan myös millä kyseistä kappaletta voidaan hioa. (Kuvio 8 - 10.)



Kuvio 9. Kuparilevy hionnan jälkeen.



Kuvio 10. T-liitospala hitsauksen jälkeen.

Kun valmiit testikappaleet saatiin hitsattua, ne lähetettiin testattavaksi. Testauksessa tarkastetaan kappaleille silmämääräinen tarkastus, magneettijauh tarkistus, makrohietutkimus, kovuusmittaus ja havaitut hitsausvirheet sekä niiden estäminen.

Hitsausohje

Hitsausohje on erinomainen työkalu, kun halutaan varmistaa hitsausliitosten laatu. Tämän avulla voidaan vähentää hitsausvirheitä. Hitsausohjeeseen täytyy sisältää WPS menetelmä, yksityiskohtaiset tiedot metallurgiasta, mekaanisista ominaisuuksista ja hitsausliitoksen geometriasta.

Hitsauksesta vastuussa on henkilö tai organisaatio joka suorittaa hitsaustoiminnan. Jos hitsauksen suorittaa alihankkija on sen täytettävä samat vaatimukset, kuin valmistaja. Valmistaja voi olla ABB tai jokin ulkopuolinen yritys, kenellä on sopimussuhde ABB:n kanssa.

Hitsausohjeessa käydään läpi kuinka kappaleet hitsataan toisiinsa kiinni ja mihin paikkoihin hitsausauma tulee laittaa.

Kuvissa esitetään hitsausmenetelmä ja mistä materiaalista on kyse.

Hitsausohjeessa on myös tärkeää kertoa kuinka hionta tehdään kyseiselle kappaleelle. Jännitteisten osien lähellä olevat saumat täytyy tasoittaa ja reunat pyöristettävä sähkökenttien takia.

Tarkastuksessa on käydä läpi hitsauksen tiiveys. Hitsausohjeessa on tärkeää myös näyttää toimenpide miten testataan ja toimenpiteet jos sauma ei ole tiivis.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy. ABB lyhyesti. 2014. Viitattu 10.1.2014.
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- /2/ Nordman, H.2014. Tutkimusjohtaja. Haastattelu ABB Transformers
- /3/ Muuntajatekniikan perusteet. Opintomoniste. ABB.n sisäinen koulutusmateriaali.
- /4/ Vaasan ammattikorkeakoulu. Materiaalit kupari ja kupariseokset. Kurssimateriaali.2010.
- /5/ Teräsmateriaali viitattu 15.01.2014. <https://fi.wikipedia.org/wiki/teräs>
- /6/ Muhonen, J. 2014. Hitsauskordinaattori. Haastattelu ABB Transformers
- /7/ Pettinen, R 2014. Hitsauksen materiaalioppi. 4.korj.p. Suomen hitsausteknillinen yhdistys ry. Kuparin hitsattavuus.
- /8/ Rautiainen, M. 2014. Suunnittelija. Haastattelu ABB Transformers
- /9/ Nurminen, S. 2014. Laatutarkastaja. Haastattelu ABB Transformers.
- /10/ SFS-EN ISO 15614-6 Standardi. Menetelmäkoheet.

LIITTEET

LIITE 1. sisällysluettelo

LIITE 2. ote Suunnitteluohjeen tulppa hitsaus aukoista

LIITE 3. ote suunnitteluohjeen päätykappaleiden paikoitusta

LIITE 4. ote suunnitteluohjeen aukkojen ylitykset kohdasta

LIITE 1.

Kuparivuorauksen suunnitteluohje Rev. A

**Suunnitteluohje muuntajan
kuparivuoraukselle**

1. YLEISTÄ	2
2. MITOITUS	3
2.1 Materiaali.....	4
2.2 Kuparilevyn mitoitus.....	5
2.3 Kuparilevyn korkeus.....	5
2.4 Kuparilevyn paksuus.....	6
3. KIINNITYS	7
3.1 Tulppahitsaus aukot.....	7
3.2 Päätykappaleet.....	9
3.3 Aukkojen ylitykset.....	10
3.4 Säiliö.....	11
3.5 Kansi.....	13
4. HITSAUS JA TYÖOHJEET	14
4.1 Hionta.....	17
4.2 Tiivistys.....	17

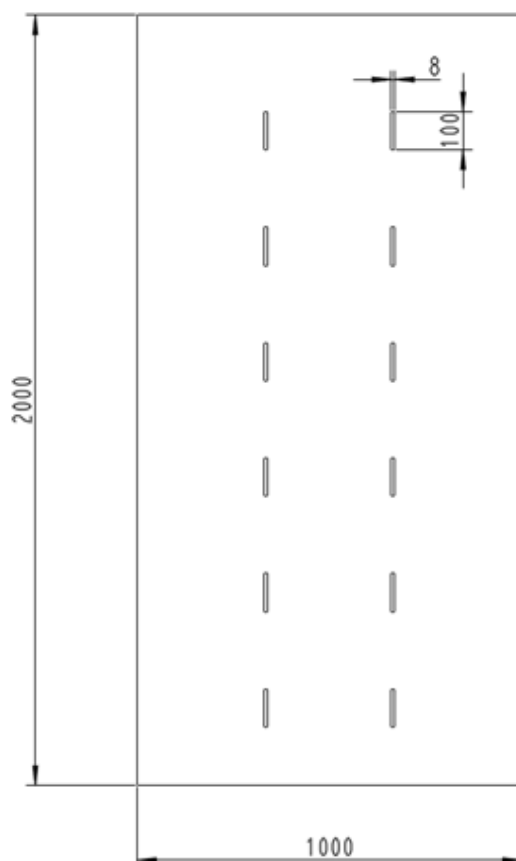
LIITE 2

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. ©ABB Oy

3. KIINNITYS

3.1 Tulppahitsaus aukot

Kuparilevyihin vesileikataan 8 mm x 100 mm aukkoja tulppahitsausta varten. Tulppahitsausta käyttämällä vältetään kuparilevyn menemistä pussille. **(Kuva 1.)** Lisäksi tulppahitsauksen avulla varmistetaan kuparilevyn kiinnitys säiliön seinämään. Aukkoja suunniteltaessa on otettava huomioon etteivät aukot tule liian lähelle levyn reunoja. Pyörityksiä ei tarvitse tehdä levyihin.



Kuva 1. Tulppahitsausreikä

Doc. Name	Kuparivuorauksen suunnitteluohjeet							
Company Name	ABB Oy / Transformers			Doc. Code	Lang.	Rev. Ind.	Page	7
ABB					FI	A	No. of pages	18

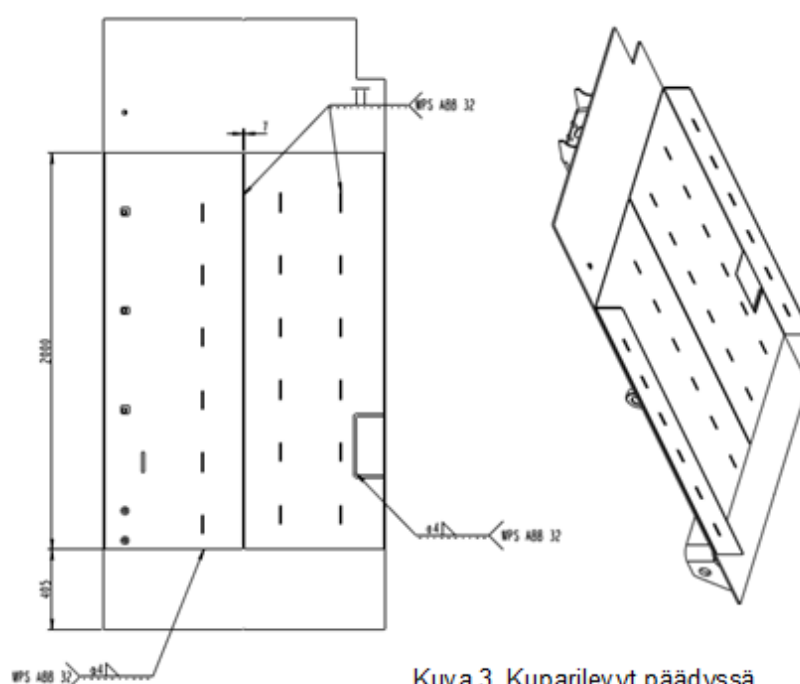
LIITE 3

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. ©ABB Oy

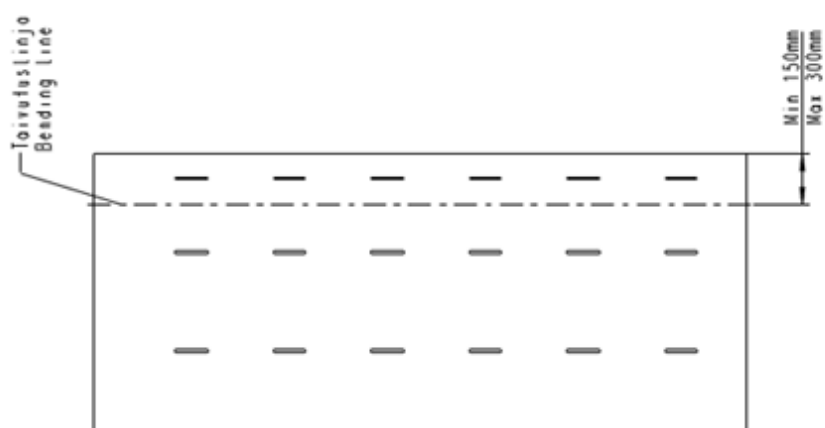
3.2 Päätäkappaleet

Päätükuparilevyt taitetaan kulumista min. 150 mm ja max. 300 mm sisäänpäin.

Hitsauksesta saattaa jäädä jälki toiselle puolelle terästä, joten hitsausauma olisi hyvä jättää säiliön tukipalkin kohdalle. **(Kuva 3-4.)**



Kuva 3. Kuparilevyt päädysssä



Kuva 4. Kuparilevyn taitos

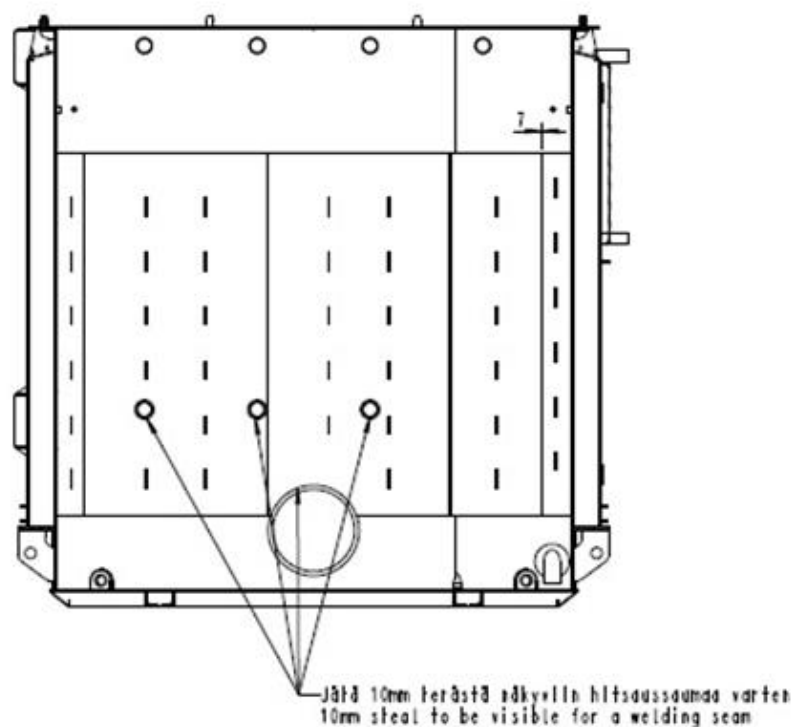
Doc. Name	Kuparivuorauksen suunnitteluohjeet				
Company Name	ABB	Doc. Code	Lang	Rev. Ind.	Page
	ABB Oy / Transformers		FI	A	9
				No. of pages	18

LIITE 4.

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. ©ABB Oy

3.3 Aukkojen ylitykset

Muuntajan seinälevyissä on pyöreitä reikiä radiaattoriputkille ja tarkastusluukuille. Näiden ympärille kuparilevy on muokattava niin, että levy ei tule reikien esteeksi vaan jää 10 mm ulommas. Tarkoituksena on, että terästä jää näkyviin hitsaussaumaa varten (**kuva 5.**)



Kuva. 5 reikien ylitykset

Doc. Name	Kuparivuorauksen suunnitteluohjeet				
Company Name	ABB Oy / Transformers	Doc. Code	Lang.	Rev. Ind.	Page
ABB			FI	A	10
				No. of pages	18