



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Eero Rökköläinen

Kalorimetrisen mittalaitteiston muutostyön suunnittelu, toteutus ja varmennus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja Automaatiotekniikka

Insinöörityö

14.12.2018

Tekijä Otsikko	Eero Rökköläinen Kalorimetrisen mittauslaitteiston muutostyön suunnittelu, toteutus ja varmennus
Sivumäärä Aika	38 sivua 14.12.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Arja Ristola Pääsuunnittelija Janek Viman
<p>Insinööriyössä kehitettiin kalorimetrisen mittauslaitteistoon muutostyö, jolla voidaan mitata taajuusmuuttajan sisäinen tehohäviöjakauma kalorimetrisesti. Työn toimeksiantaja oli ABB Drives Oy, joka valmistaa sekä kehittää työssä käytettyjä taajuusmuuttajia. Työhön kuului kalorimetrisen mittauslaitteiston muutostyön suunnittelu, toteutus ja varmennus.</p> <p>Työssä kalorimetrisen mittauslaitteistoon suunniteltiin sekä rakennettiin lisäosa, jonka avulla testattavan laitteen tehohäviöjakauma mitattiin. Aluksi suoritettiin mittaukset testattavan laitteen ohjaus ja tehupuolien osalta. Lopuksi suoritettiin koko testattavan laitteen häviötehon mittaus kalorimetrisesti. Mittaustuloksista analysoitiin työn onnistumista sekä mittaustarkkuutta. Kalorimetrin lisäosan avulla testattavan laitteen tehohäviöjakauma saatiin mitattua riittävällä tarkkuudella.</p> <p>Testattavan laitteen ohjauspuolen tehohäviöiden osuudeksi koko testattavan laitteen tehohäviöihin nähden saatiin kalorimetrisesti mitattuna 6,9 prosenttia. Mittaustulosten perusteella työn aikana toteutettua kaksikammioista kalorimetristä mittauslaitteistoa voidaan jatkossa käyttää taajuusmuuttajien sisäisen tehohäviöjakauman mittaukseen.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi prototyyppi, jonka perusteella työn tilaaja voi rakennuttaa kestävämmistä materiaaleista vastaavan kaksikammioisen kalorimetrin taajuusmuuttajien verifiointitestausta varten.</p>	
Avainsanat	kalorimetri, tehohäviöjakauma, taajuusmuuttaja

Author Title	Eero Rökköläinen The Design, Implementation and Verification of a Modification for the Calorimetric Measuring System
Number of Pages Date	38 pages 14 December 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Arja Ristola, Senior Lecturer Janek Viman, Design Manager
<p>The subject of this study was to develop and modify a calorimetric measuring system, which would then calorimetrically measure the internal power loss distribution of a frequency converter. The Project work was done as an assignment to ABB Oy Drives, who manufactures and develops the frequency converter used in this work.</p> <p>The scope of the Project work consisted of planning, implementing and finally verification of the measuring system.</p> <p>An expansion of the calorimetric measuring system was planned and built, in order for it to take a measurement of the internal power loss distribution of the equipment under testing. Firstly, the measurements were conducted from the control and power sides of the device. After this, the power loss of the whole device was calorimetrically measured. The measuring results were analyzed in order to determine the accuracy and success of the work.</p> <p>The calorimetric expansion enabled the possibility to measure the power loss distribution of the device with sufficient accuracy.</p> <p>The power loss of the control side was 6.9 percent from the total power loss of the device. Based on the measuring results, the double-chambered calorimetric measuring system can be used to measure the internal power loss distribution of a frequency converter.</p> <p>As an end result of this study, a prototype was devised. ABB Oy Drives can build from more durable materials a corresponding double-chambered calorimetric measuring system to be used in the verification testing of their frequency converters.</p>	
Keywords	calorimeter, power loss distribution, frequency converter

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttaja sekä sen tehohäviöitä aiheuttavat komponentit	1
3	Kalorimetrinen mittausjärjestelmä	4
3.1	Valitun kalorimetrin mittauslaitteisto	4
3.2	Kalorimetrinen mittaus	6
3.3	Taajuusmuuttajan testaus	7
4	Kaksikammioinen kalorimetri	8
4.1	Kaksikammioisen kalorimetrin suunnittelu	8
4.2	Kaksikammioisen kalorimetrin rakentaminen	13
5	Mittaustulokset	19
5.1	Ohjauspuolen kalibroitivaiheen mittaustulokset	19
5.2	Ohjauspuolen tasausvaiheen mittaustulokset	22
5.3	Tehopuolen kalibroitivaiheen mittaustulokset	24
5.4	Tehopuolen tasausvaiheen mittaustulokset	27
5.5	Koko laitteen kalibroitivaiheen mittaustulokset	29
5.6	Koko laitteen tasausvaiheen mittaustulokset	32
6	Testattavan laitteen tehohäviöiden mittaus sähköisesti	35
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

1 Johdanto

Insinööriyössä perehdytään kalorimetrinen mittauslaitteiston muutostöiden suunnitteluun, toteutukseen ja varmennukseen ACS880-11, R6 45kW -taajuusmuuttajalla. Opin- näytetyön tarkoituksena on muokata kalorimetristä mittauslaitteistoa vastaamaan työn tilaajan, ABB Oy:n, Drives-yksikön käyttötarvetta.

Työn tarkoitus on päästä tutkimaan tarkemmin ACS880-11, R6 45kW -taajuusmuuttajan tehohäviöitä sekä selvittämään, mitkä komponentit aiheuttavat tehohäviöitä kyseisessä laitteessa. Opinnäytetyössä pyritään löytämään vastaus tutkimuskysymykseen: voidaan valittua kalorimetristä mittauslaitteistoa ja mittausmenetelmää muokata siten, että sillä voidaan mitata taajuusmuuttajan sisäinen tehohäviöjakauma?

Työssä selvitetään myös, kuinka tarkasti taajuusmuuttajan sisäinen tehohäviöjakauma voidaan mitata muokatulla kalorimetrisellä mittauslaitteistolla ja mittausmenetelmällä.

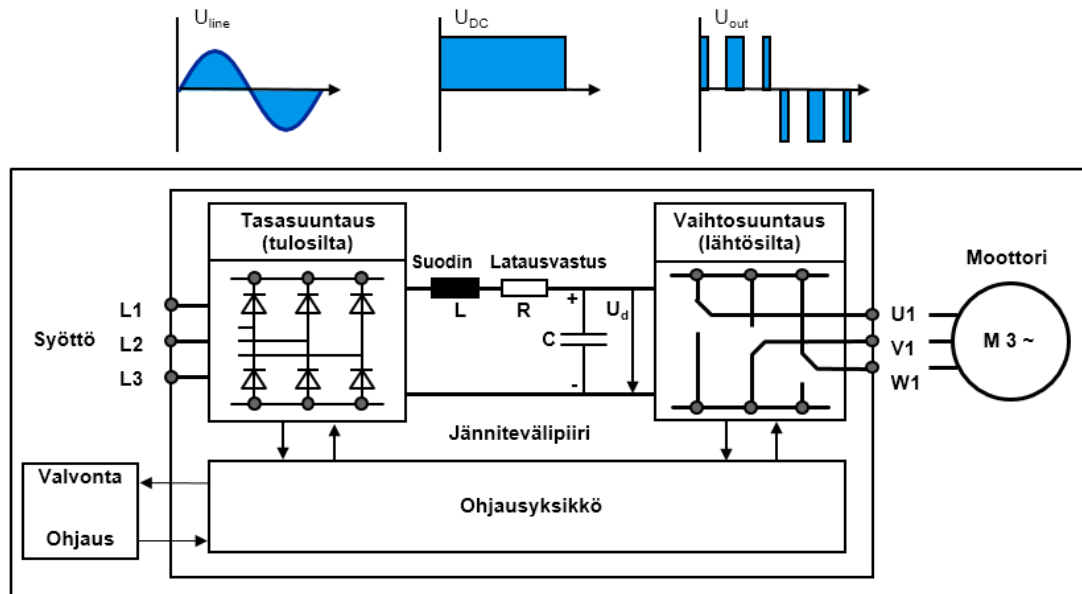
ABB Oy:n Drives-yksikkö valmistaa ja kehittää pienjännitteisiä taajuusmuuttajia kaikkiin sovelluksiin ja teollisuudenaloille maailmanlaajuisesti. Helsingin tehdas on ABB:llä taajuusmuuttajien tuotekehityksen johtava yksikkö.

ABB on taajuusmuuttajien valmistuksessa markkinajohtaja. Maailmanlaajuisesti ABB:llä työskentelee taajuusmuuttajien parissa 6000 henkilöä yli 80 maassa. Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla työskentelee noin 1300 henkilöä. (1.)

2 Taajuusmuuttaja sekä sen tehohäviöitä aiheuttavat komponentit

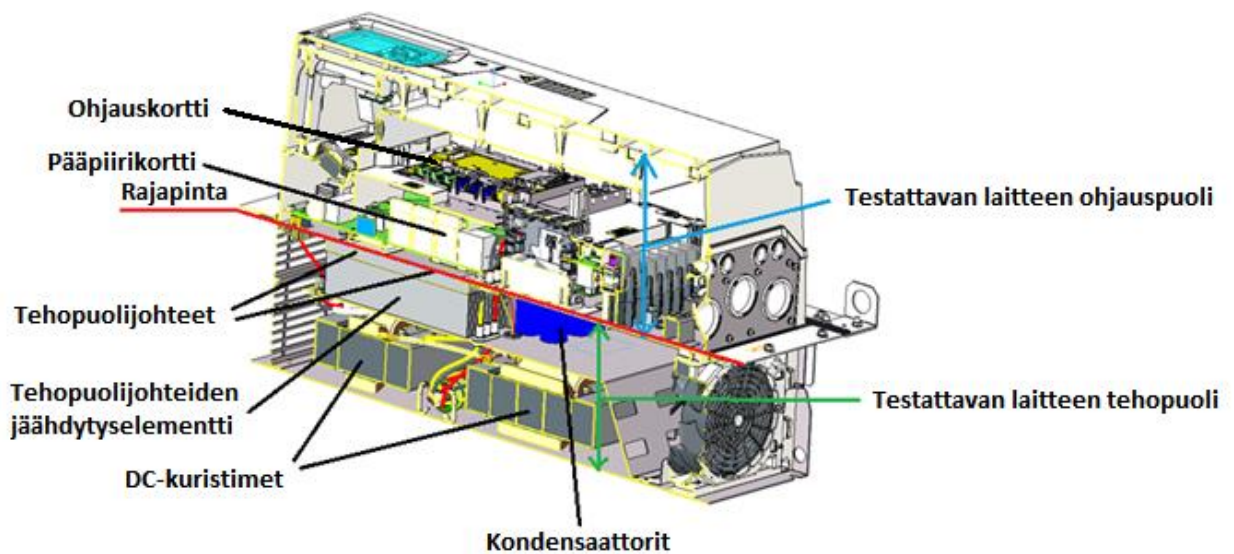
Taajuusmuuttajan rakenne voidaan jakaa neljään osaan: tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja sekä näitä kolmea osaa ohjaava ohjauspiiri (ks. kuva 1). Yksinkertaistettuna taajuusmuuttajan toimintaperiaate on seuraava: ensin sähköverkosta taajuusmuuttajalle syötetty sinimuotoinen vaihtojännite tasasuunnataan. Välipiirissä käytetään kondensaatoreita energiavarastoina, jotka tasaavat jännitettä. Välipiiristä tasajännite otetaan vaih-

tosuuntaajalle, joka muuttaa suodatetun tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntauksen jälkeen jännite syötetään ohjattavalle moottorille, jonka pyörimisnopeutta voidaan jännitteen taajuutta muuttamalla säätää portaattomasti. (2, 11.)



Kuva 1. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan periaatekaavio (3.)

Kuvassa 2 on havainnollistettu testattavan laitteen rakennetta sivuleikkauksen avulla. Kuvaan on merkitty punaisella rajapinta, joka jakaa testattavan laitteen rakenteen kahteen osaan, ohjauspuoleen ja tehpuoleen. Ohjauspuolella on testattavan laitteen pääpiirikortti, sekä ohjauskortti. Laitteen ohjauspuoli on tiivistetty IP55-suojausluokituksen mukaisesti omaan tilaansa, jotta laitteen piirikorteille ei pääsisi pölyä ja kosteutta. Tehopuolella on laitteen DC-kuristimet, kondensaattorit ja tehpuolijohteiden jäähdytyslementti.



Kuva 2. Testattavan laitteen sivuleikkaus komponenttien nimillä (4.)

Taajuusmuuttajassa syntyy tehohäviöitä, koska kaikkea tehoa ei saada käytettyä hyödyksi. Tehohäviöt lämmittävät laitteen komponentteja laitteen ollessa käynnissä. Tehopuolijohteet aiheuttavat suurimman osan testattavan laitteen tehohäviöistä. Kuten kuvasta 2 nähdään, tehopuolijohteet sijaitsevat laitteen pääpiirikortilla. Suurin osa tehopuolijohteiden häviötehosta johdetaan laitteen tehupuolelle jäähdytyslementin kautta. Kuitenkin osa niiden aiheuttamasta häviötehosta johtuu laitteen ohjauspuolelle tehopuolijohteiden pinnan kautta. Tämä on ongelmallista, sillä testattavan laitteen ohjauspuolella ei ole IP55 -suojaluokituksen vuoksi ilmareittiä ulos laitteen rakenteesta. Ohjauspuolelle johtuvan häviötehon täytyy haihtua ohjauspuolen ulkokuoren läpi, jonka vuoksi ohjauspuolen tehohäviöt pyritään saamaan mahdollisimman pieniksi.

DC-kuristimet aiheuttavat tehopuolijohteiden jälkeen suurimmat tehohäviöt laitteessa. Kuristimien sijainnin vuoksi niiden tehohäviöiden lämmittämä ilma jää testattavan laitteen tehupuolelle, josta testattavan laitteen pääpuhallin puhalttaa sen ulos laitteesta.

Pienimmän osan testattavan laitteen häviöistä synnyttävät kondensaattorit. Kondensaattorit ovat kiinnitettyinä testattavan laitteen ohjauspuolelle, mutta suurin osa kondensaattorien pinta-alasta on testattavan laitteen tehupuolella. Tämän vuoksi kondensaattoreiden häviötehosta suurin osa poistuu laitteen tehupuolen kautta ja osa johtuu testattavan

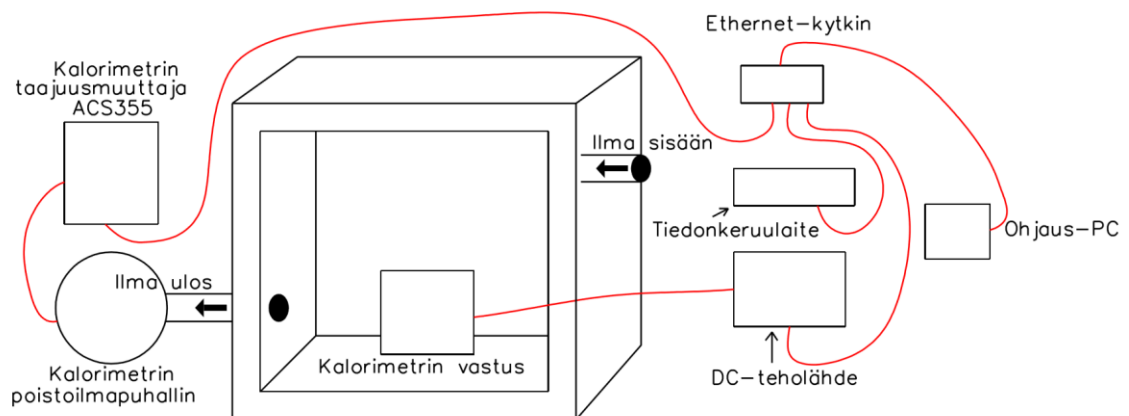
laitteen ohjauspuolelle. Kondensaattoreiden häviötehon osuus on kuitenkin laskettu olevan vain noin kaksi prosenttia tehopuolijohteiden ja kuristimien häviöihin verrattuna, joten niillä ei ole merkittävää vaikutusta häviötehon jakautumiseen.

3 Kalorimetrinen mittausjärjestelmä

Kalorimetrinen mittausjärjestelmän käyttötarkoitus on mitata testattavan laitteen tehohäviöt. Käytettäväksi valitun kalorimetrin toiminta perustuu testattavan laitteen tehohäviöiden mittaukseen testattavaa laitetta ympäröivästä ilmasta.

3.1 Valitun kalorimetrin mittauslaitteisto

Kuvassa 3 on havainnollistettu kalorimetristä mittauslaitteistoa. Mittauksessa käytössä olevien mittalaitteiden ohjaus tapahtuu Ethernet-yhteyden kautta. Kaikki mittalaitteet on kytketty Ethernet-kytkimeen, johon myös ohjaus-PC on kytketty Ethernet-kaapelilla. Näin kaikkia mittalaitteita pystytään ohjaamaan ohjaus-PC:llä käyttäen LabVIEW -ohjelmaa.



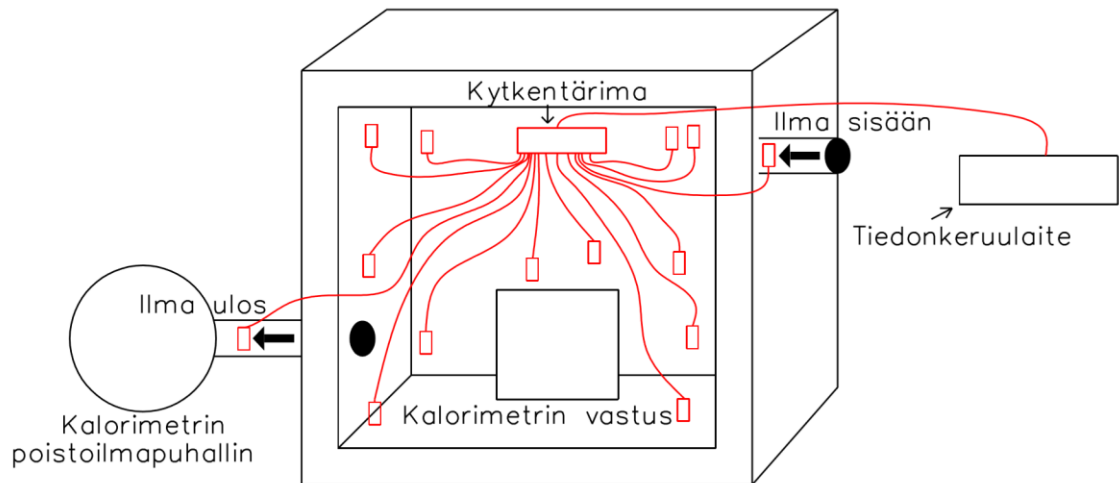
Kuva 3. Kalorimetrin mittalaitteet.

Kalorimetrin sisällä ilman lämpötilaa pystytään säätämään kalorimetrin poistoilmapuhaltimen sekä kalorimetrin vastuksen avulla. Poistoilmapuhallin luo kalorimetrin sisälle imun, joka saa ilman liikkumaan kalorimetrin läpi. Poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeutta kasvattamalla kalorimetriin virtaa kalorimetrin ympäristön lämpöistä ilmaa. Jos kalorimetrin sisällä oleva ilma on kuumempaa kuin ympäristön ilma, kalorimetrin sisäilma alkaa jäähtyä. Poistoilmapuhaltimen ohjaukseen käytetään ACS355-taajuusmuuttajaa.

Kalorimetrisessä mittauksessa testattava laite sijoitetaan kalorimetrin sisälle, jolloin testattavan laitteen tehohäviöt lämmittävät ilmaa kalorimetrin sisällä. Kalorimetrin sisällä ilman lämpötila pyritään nostamaan lämpötilaan 40 °C. Jos testattavan laitteen tehohäviöt eivät riitä lämmittämään ilmaa haluttuun lämpötilaan, voidaan lämmityksessä käyttää lisäksi kalorimetrin vastusta. Mikäli kalorimetrin vastusta käytetään ilman lämmityksessä, on sen syöttämiseen käytetty teho otettava huomioon mittaustuloksissa.

Kalorimetriin tulevan ilman lämpötila mitataan neljällä, nelijohtimisella PT100-lämpötilanturilla putkesta, josta ilma tulee sisään kalorimetriin. Neljää anturia käytetään tarkemman mittaustarkkuuden saavuttamiseksi. Anturit on sijoitettu 90°:n kulmaan toisiinsa nähden. Poistoilman lämpötilaa mitataan vastaavalla tavalla.

Kalorimetrin sisällä lämpötilan mittauksessa käytetään nelijohtimisiä PT100-lämpötilantureita. Kuvassa 4 on havainnollistettu kalorimetrin sisälämpötilan mittauspisteiden sijoittelua. Mittauspisteitä on 12 kappaletta kalorimetrin sisällä, joista kahdeksan kappaletta on sijoitettu kalorimetrin kulmiin ja neljä kappaletta sisäseinien keskelle. Näin pyritään mittaamaan mahdollisimman tarkasti koko kalorimetrin sisäilman lämpötila. Usean mittauspisteen avulla sisäilmanlämpötilojen epätasaisuudet tulevat paremmin esille ja niihin pystytään reagoimaan. Kaikki nelijohtimiset PT100-lämpötilanturit on kytketty kytkentärimaan, josta ne yhdistetään tiedonkeruulaitteelle. Kaikki lämpötila-antureiden mittaamat lämpötilat nauhoitetaan 10 sekunnin välein.



Kuva 4. Kalorimetrin sisälämpötilan mittaus.

3.2 Kalorimetrinen mittaus

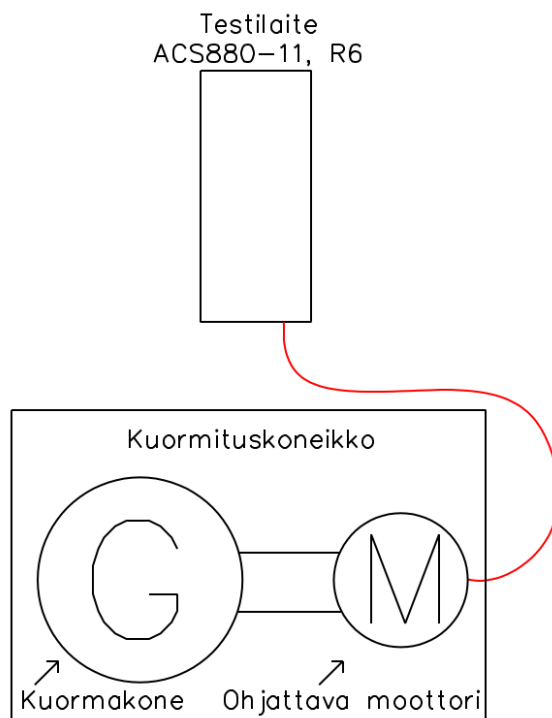
Kalorimetrinen mittaus koostuu kahdesta vaiheesta: kalibroituvaiheesta ja tasausvaiheesta.

Kalibroituvaiheessa testattavan taajuusmuuttajan häviöteho lämmittää ilmaa kalorimetrin sisällä. Kuten aikaisemmin mainittiin, kalorimetrin sisäilman lämpötilaa pystytään laskemaan kalorimetrin poistoilmapuhaltimen nopeutta kasvattamalla. Kalibroituvaiheen tarkoitus on selvittää, kuinka suurella kierrosnopeudella kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pitää pyöriä, jotta kalorimetristä lähtevän ilman lämpötila tasaantuu 40 °C:seen. Kalibroituvaiheessa testattavan laitteen kuormitusvirta nostetaan nimelliseen pisteeseen eli 87 A:iin, jolloin testattavan laitteen häviöt lämmittävät kalorimetrin sisäilman lämpötilan yli 40 °C:seen. Testattavan laitteen kuormitus käydään tarkemmin läpi luvussa 3.3. Kalorimetrin ACS355-taajuusmuuttaja ohjaa poistoilmapuhaltimen nopeutta kalorimetristä lähtevän ilman lämpötilan perusteella ja pyrkii säätämään lähtevän ilman lämpötilaksi 40 °C. Lämpötilojen tasaannuttua ACS355-taajuusmuuttajan ohjaaman poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus ei enää vaihtelee, vaan pysyy samassa arvossa. Tämä arvo kirjataan ylös ja taajuusmuuttaja asetetaan pitämään tämä arvo.

Seuraavaksi siirrytään tasausvaiheeseen. Tasausvaiheen alussa testattava laite sammutetaan ja kalorimetrin vastus kytketään päälle. Tasausvaiheessa kalorimetrin vastusta ohjaamalla pyritään luomaan kalorimetriin yhtä suuri lämmitysteho kuin kalibrointivaiheessa. Poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeuden pysyessä vakiona, lämmitystehoa säädetään kalorimetristä lähtevän ilman lämpötilan perusteella. Lähtevän ilman lämpötilaksi pyritään saamaan sama 40 °C kuin kalibrointivaiheessa. Testin lopussa lähtevän ilman lämpötila on tasaantunut 40 °C:seen. Lämpötilan tasaannuttua kalorimetrin vastuksen käyttämä teho on tasainen. Olosuhteiden ollessa molemmissa mittauksissa samanlaiset kalorimetrin vastuksen käyttämä teho on sama kuin testattavan laitteen tehoviivien määrä.

3.3 Taajuusmuuttajan testaus

Tässä luvussa havainnollistetaan tarkemmin taajuusmuuttajan testauksen kulkua. Kuten kuvasta 5 nähdään, testattava laite ohjaa sähkömoottoria, joka on kytketty samalle akselille kuormakoneen eli isomman sähkömoottorin kanssa. Tällä on tarkoitus simuloida oikeaa kuormaa, joka kohdistuu testattavan taajuusmuuttajan ohjaamaan sähkömoottoriin. Kuormakone asetetaan pyörimään vakionopeudella, joka on koneen nimellinen pyörimisnopeus moottorikäytössä. Testilaitteelle asetetaan momenttiohje, joka määrää, millä momentilla se vääntää ohjattavan moottorin akselia vastakkaiseen suuntaan, kuin kuormakone pyörittää akselia. Tämän takia testattavan laitteen virta ja momentti nousevat ja testattavan laitteen komponentit alkavat lämmetä.



Kuva 5. Taajuusmuuttajan testausperiaate.

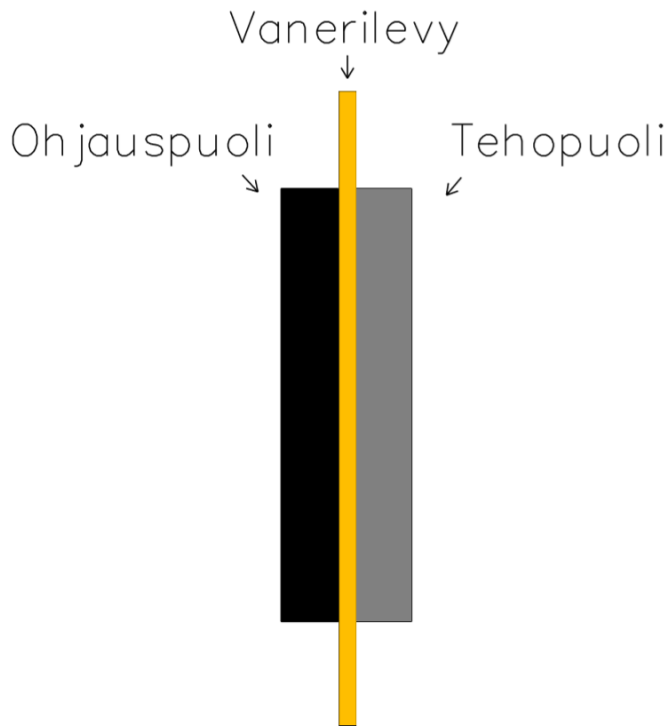
Kalorimetrisessä testissä halutaan selvittää testattavan laitteen häviöteho 40 °C:n ympäristön lämpötilassa, nimellisellä kuormitusvirralla. Momenttia, jolla testattava moottori vääntää kuormakonetta vastaan, nostetaan niin korkeaksi, että testattavan laitteen nimellisvirta 87 A saavutetaan. Kuormakone on aina suurempi kuin testattavan laitteen ohjaama testimoottori. Tämän vuoksi testissä pystytään kuormittamaan testattavaa laitetta testimoottorin virran nimelliseen pisteeseen asti. Kuormituskoneikko valitaan aina testattavan laitteen perusteella sopivaksi.

4 Kaksikammioinen kalorimetri

4.1 Kaksikammioisen kalorimetrin suunnittelu

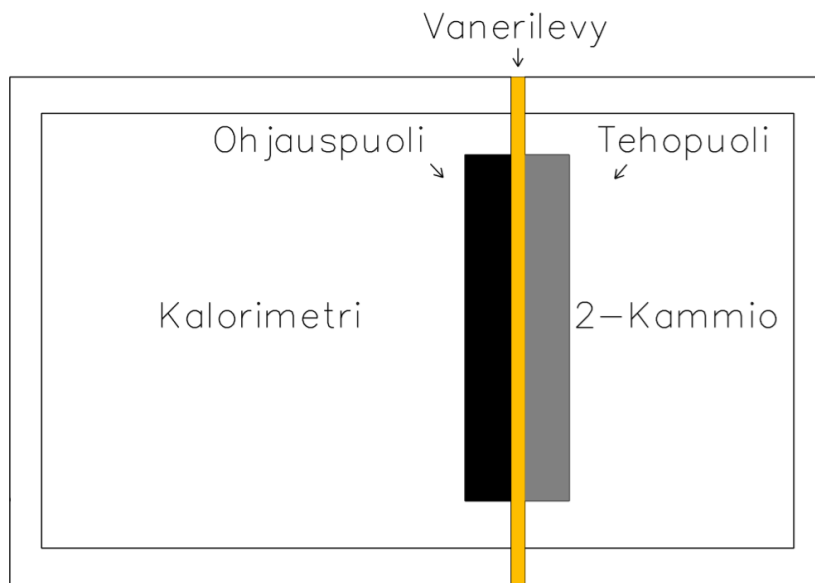
Kaksikammioisen kalorimetrin suunnitteluvaihe aloitettiin miettimällä, miten taajuusmuuttajan sisäinen häviöjakauma voidaan mitata kalorimetrisesti. Testattavan taajuus-

muuttajan rakenteessa olevaa rajapintaa hyväksikäyttäen ohjaus- ja tehopuolen tehohäviöt on mahdollista mitata erikseen. Rajapinnan ympärille tehdään vanerilevystä kuvan 6 mukainen kehys, jonka läpi lämpöä ei pääse siirtymään. Kehyksen avulla ohjauspuolen tehohäviöt saadaan rajattua eri tilaan tehopuolen tehohäviöihin nähden.



Kuva 6. Vanerilevy jakaa testattavan laitteen rakenteen ohjauspuoleen ja tehopuoleen.

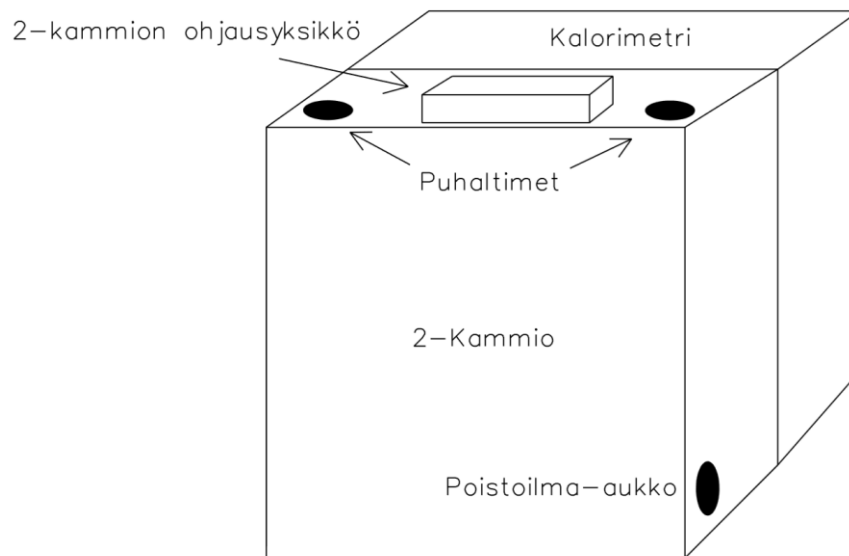
Kalorimetrisessä mittauksessa tehohäviöiden lämmittämä ilma pitää sulkea ilmatiiviiseen mittauskammioon. Lämpöä eristävän sekä ilmatiiviin kammion ansiosta saadaan mitattua ilman lämmitykseen kulunut lämmitysteho. Täydellisessä kalorimetrissä seinien läpi ei johdu ollenkaan lämpöhäviöitä. Laitteen rakenteessa olevaa rajapintaa hyödyntäen molemmat puolet testattavasta laitteesta suljetaan omiin ilmatiiviisiin kammioihinsa kuvan 7 osoittamalla tavalla. Vanerilevy asennetaan roikkumaan kalorimetrin oven tilalle. Mittaukset suoritetaan kalorimetrin puolella. Testattavan laitteen toinen, kalorimetrin ulkopuolelle jäävä puoli suljetaan toiseen kammioon eli 2-kammioon.



Kuva 7. Testattava laite asennetaan vanerilevyyn kahden kammion väliin.

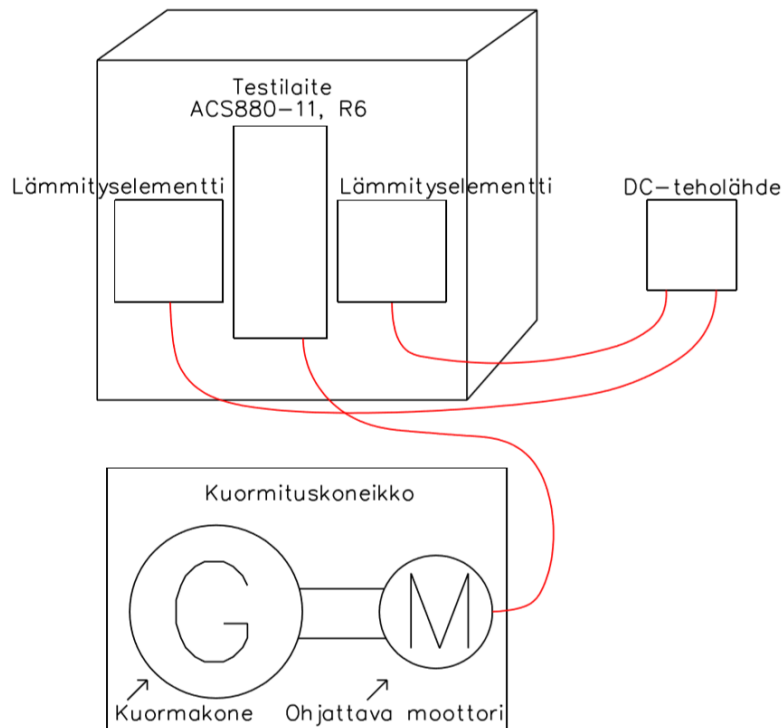
Testattavan laitteen rakenteen läpi siirtyvä lämpö pyritään minimoimaan säätämällä ympäristön lämpötila 40 °C:seen molemmissa kammioissa. Kalorimetriin suunnitellun muutostyön tarkoituksena on saada testattavan laitteen tehohäviöt jäämään sille puolelle laitetta, jolla ne syntyvät. Tavoitteen onnistuessa testattavan laitteen ohjaus- ja tehopuolen tehohäviöt yhteenlaskettuna ovat yhtä suuret kuin testattavan laitteen kokonaishäviöteho.

Testattava laite voidaan asentaa vanerilevyyn myös 180 astetta käännettynä, joten molemmat puolet testattavasta laitteesta pystytään mittaamaan erikseen. 2-kammion sisäilman lämpötilalle toteutetaan säädin, jolla saadaan säädettyä 2-kammion sisäilman lämpötila 40 °C:seen. Lämpötilan säätö toteutetaan PID-lämpötilan säätimellä, joka asetetaan ohjaamaan 2-kammion kattoon sijoitettavia puhaltimia (ks. kuva 8). Puhaltimia varten lisäosan kattoon yläkulmiin tehdään kaksi reikää, joihin molempiin asetetaan puhaltimet puhaltamaan kammioon huoneenlämpöistä ilmaa. 2-kammion seinien alareunaan porataan riittävän suuret reiät, jotta ilma kiertää kammion läpi.



Kuva 8. 2-kammio paikoilleen asennettuna.

Kuvasta 9 nähdään vanerilevyyn 2-kammion puolelle asennettavat lämmityselementit, jotka asennetaan testattavan laitteen viereen molemmille sivuille. Lämmittiminä käytetään tehovastuksia, jotka kiinnitetään jäähdytyselementteihin lämmön tasaisemman jakautumisen vuoksi. Käyttötarkoituksen vuoksi jäähdytyselementeistä käytetään tässä yhteydessä nimitystä lämmityselementti. Lämmityselementteihin asennetaan puhaltimet puhaltamaan ilmaa lämmityselementtien läpi, jolloin lämmitetty ilma kiertää tasaisemmin 2-kammion sisällä. Tällä saavutetaan tasainen kammion sisäisen ilman lämpötila, joka vastaa ympäristön lämpötilaa normaalikäytössä. 2-kammion kattoon sijoitettavien puhaltimien avulla ylimääräinen lämmin ilma puhalletaan ulos lisäosan sisältä, jolloin tehovastuksille ei tarvita PID-lämpötilan säädintä.



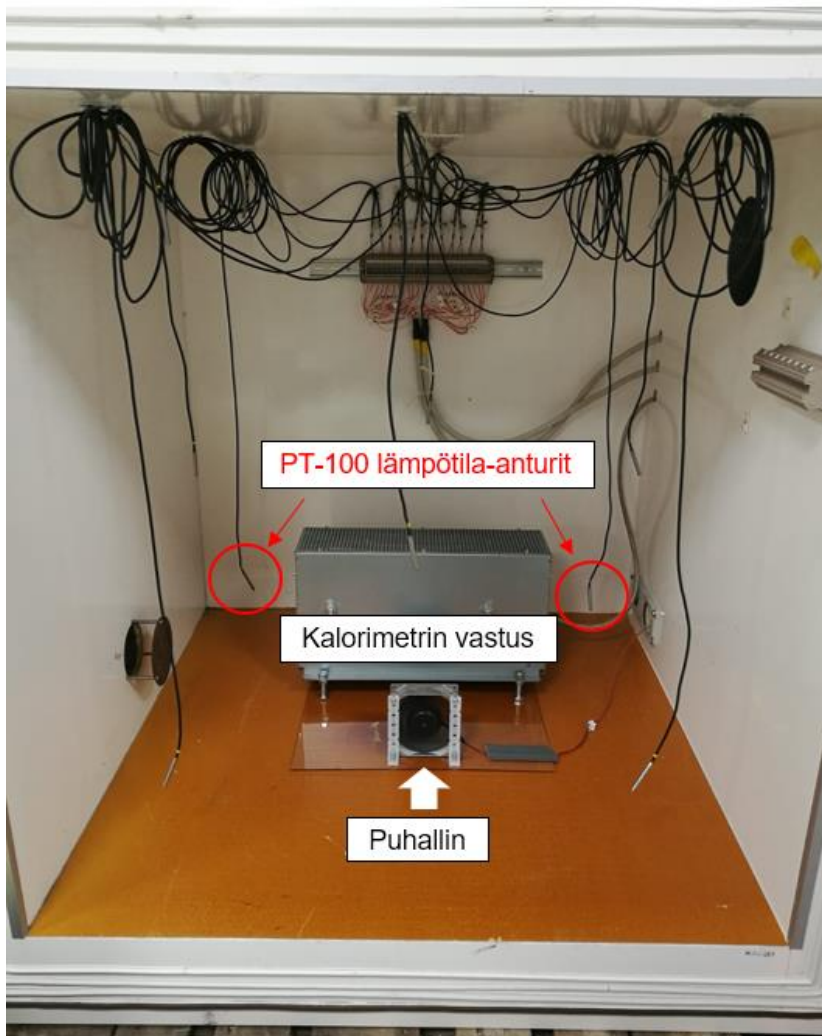
Kuva 9. Testattava laite sekä lämmityselementit vanerilevyyn asennettuina.

Suunnittelutyön haasteena on kalorimetrin lisäosan suunnittelu niin, ettei kalorimetrin rakenteeseen tehdä pysyviä muutoksia. Vanerilevyyn tehdään saranat, jotka pystytään kiinnittämään kalorimetrin oven saranoihin. 2-kammion ja kalorimetrin väliin asennetaan vaneriin sahataan testattavan laitteen kokoinen reikä. Laippa-asennus lisäosaa hyödyntäen testattava laite kiinnitetään vaneriin. Vanerilevy eristetään Finnfoam-eristelevyllä lämmön siirtymisen minimoimiseksi.

Materiaalina 2-kammiossa käytetään Finnfoam-eristelevyä sen hyvän eristyskyvyn vuoksi. Levyllä on myös hyvä lämmönkesto, joten se on turvallinen materiaali testikammion rakennuksessa.

4.2 Kaksikammioisen kalorimetrin rakentaminen

Kuva 10 on otettu alkuperäisen kalorimetrin sisältä. Kalorimetri on tilavuudeltaan yhden kuution kokoinen. Kuvasta nähdään kalorimetrin sisälämpötilan mittaukseen tarkoitetut PT-100 lämpötila-anturit, kalorimetrin vastus sekä kalorimetrin sisäilmaa kierrättävä puhallin. Puhallin lisättiin alkuperäiseen kalorimetriin, jotta kalorimetrin sisälämpötila saadaan mahdollisimman tasaiseksi. Ilman puhallinta kalorimetrin sisäilma kerrostuu, jolloin kuuma ilma nousee ylös ja viileämpi ilma painuu alas.



Kuva 10. Alkuperäinen kalorimetri sisältä.

Kuva 11 havainnollistaa testilaitteen asennusta kalorimetrin ja 2-kammion väliin.



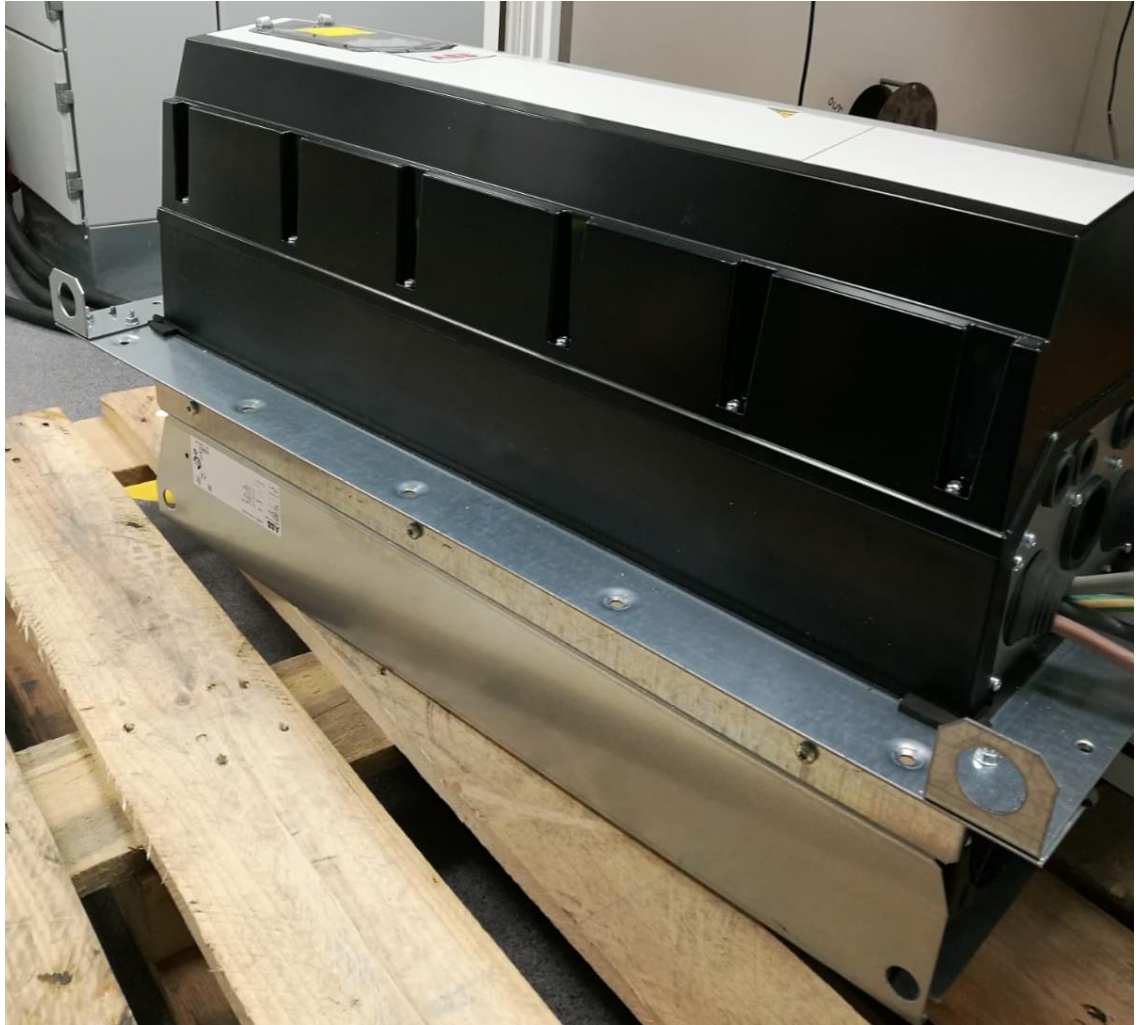
Kuva 11. Testilaitteen asennus kalorimetrin ja 2-kammion väliin.

Kuvasta 12 nähdään testattavan laitteen sekä lämmityselementtien kiinnitys vanerilevyyn kahden kammion väliin. Vanerilevy roikkuu alkuperäisen kalorimetrin oven tilalla itse tehtyjen saranoiden varassa. Kuvassa ylhäällä on keltainen kuormaliina, jolla varmistetaan vanerilevyn paikoillaan pysyminen.



Kuva 12. Testattava laite sekä jäähdytyslementtien kiinnitys vanerilevyyn kammioiden välissä.

Kuvassa 13 on testattava laite laippa-asennuslisäosan kanssa. Laite on kiinnitetty vanerilevyyn kuvassa 12 kyseisellä laippa-asennuslisäosalla. Laippa-asennuslisäosaa käytetään erottamaan taajuusmuuttajan tehopuoli ohjauspuolesta. Tämän ansiosta ohjauspuoli jää kojeistoon ja suurimmat tehohäviöt tuottava tehopuoli ulos kojeistosta. Tämä mahdollistaa kojeistojen jäähdytyksen optimoinnin sekä täysin suljetut kojeistoratkaisut. (5, 11.)



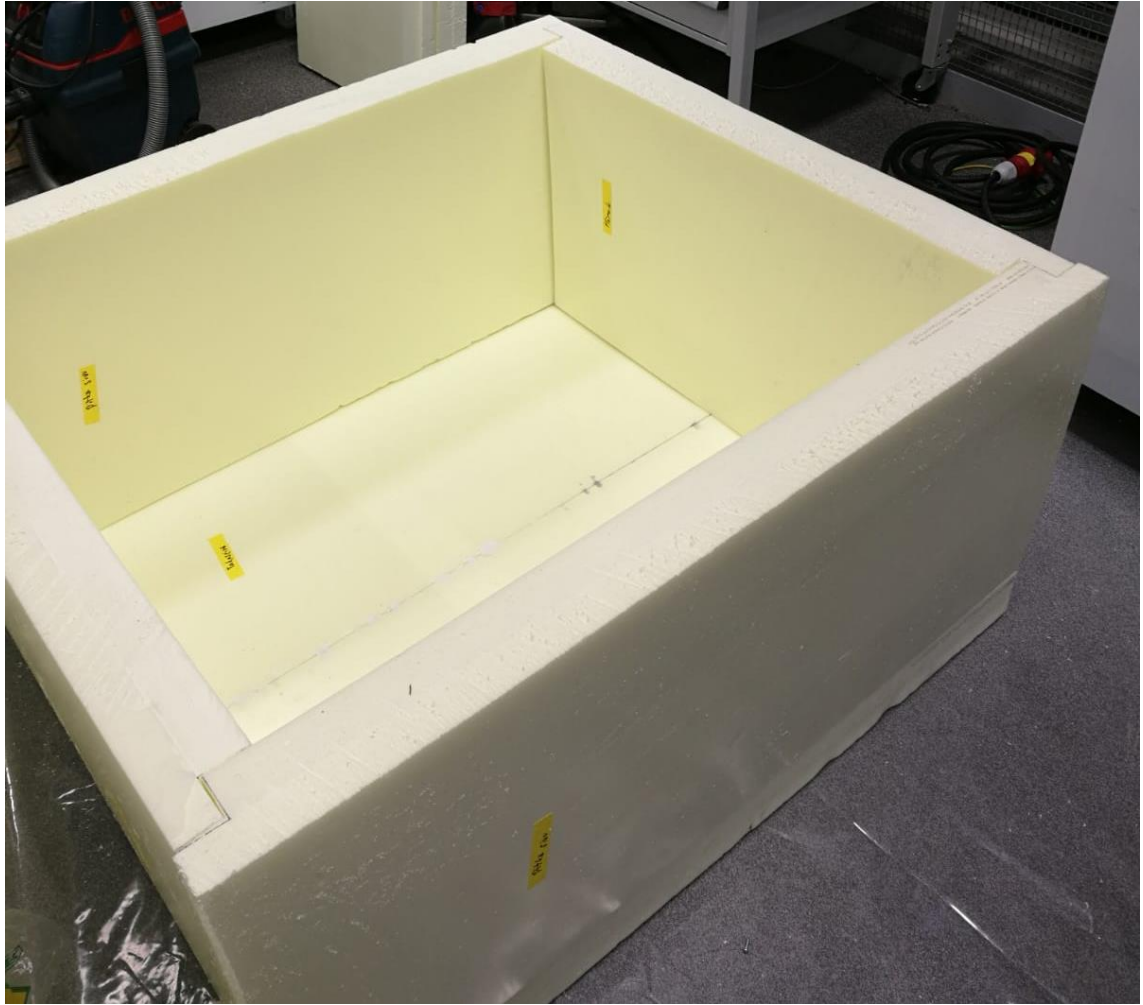
Kuva 13. Testattava laite laippa-asennus lisäosan kanssa.

Kuvassa 14 vanerilevy on eristetty Finnfoam-eristelevyllä kammiosta toiseen siirtyvien tehohäviöiden estämiseksi. Lämmityselementteihin on kytketty tehovastukset, joilla säädetään 0–4 kW lämmitysteho tarpeesta riippuen. Lämmityselementteihin on rakennettu ilmanohjaimet, joihin on kiinnitetty pienet puhaltimet. Puhaltimet puhaltavat ilmaa lämmityselementtien läpi, jolloin lämmin ilma leviää 2-kammion sisälle. Puhaltimille ei toteuteta ohjausta, sillä ne voivat pyöriä koko ajan samaa nopeutta.



Kuva 14. Valmis kammiot toisistaan jakava välisenä sekä 2-kammion lämmityselementit.

2-kammion liitoskohdissa käytetään kuvan 13 mukaista liitostekniikkaa parhaan eristyskyvyn saavuttamiseksi.



Kuva 15. 2-kammion liitokset.

Kuvassa 14 on valmis kaksikammioinen kalorimetrinen mittauslaitteisto. Kuvasta nähdään vasemmalla alkuperäinen kalorimetri, jonka vasemmalla sivulla on kalorimetrin poistoilmapuhallin sekä sitä ohjaava ACS355-taajuusmuuttaja. Kalorimetrin edessä on 2-kammio kiinnitettynä sinisellä kuormaliinalla kalorimetriin. Kalorimetrin ja 2-kammion välissä on testattava laite, jota ei erota kuvasta. 2-kammion päällä on ohjausyksikkö, jossa on 2-kammion puhaltimia säättävä PID-säädin sekä lämmityselementtien tehon säätöön käytetty releohjaus. Kuvan oikealla puolella on kolme kaappia, joissa on mitauksissa tarvittavat DC-teholähteet, ethernet-kytkin, tiedonkeruulaite sekä tehoanalysointilaite.



Kuva 16. Valmis kaksikammioinen kalorimetrinen mittausteisto.

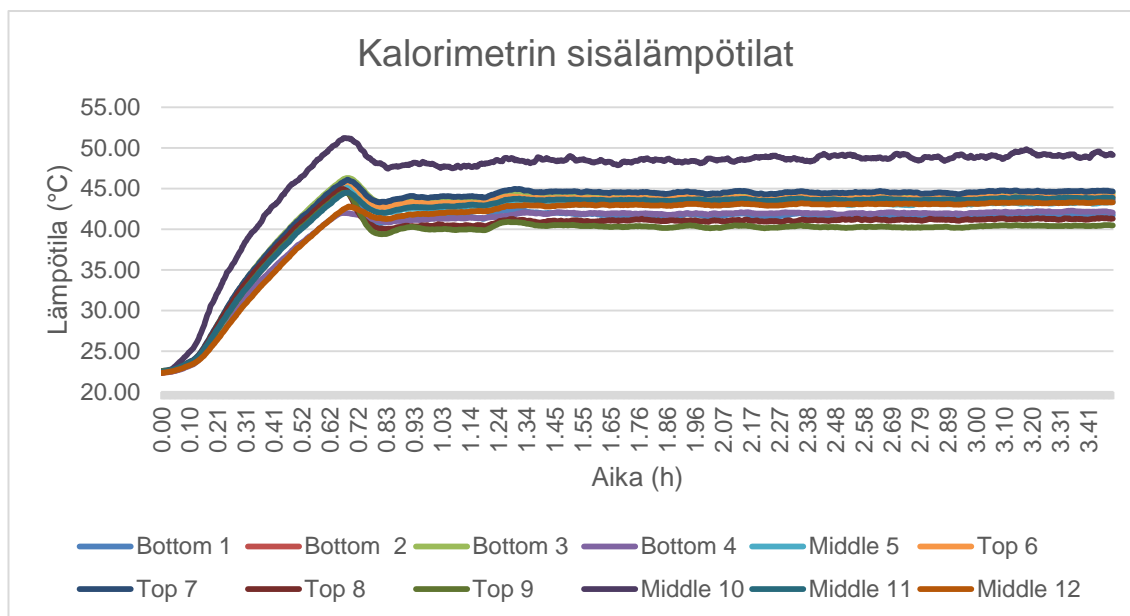
5 Mittaustulokset

Aluksi selvitetään, kuinka paljon lämpötehoa kalorimetrin rakenteen läpi johtuu ulos kalorimetrinä. Kalorimetrin sisälämpötila nostetaan 40 °C:seen ja kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman reiät tukitaan. Kalorimetrin vastusta ohjaamalla selvitetään, kuinka suurella teholla vastusta pitää syöttää, jotta kalorimetrin lämpötila pysyy 40 °C:ssa. Tulokseksi saadaan 37 W. Tämä tehomäärä on otettu kaikissa esitettävissä mittaustuloksissa huomioon.

5.1 Ohjauspuolen kalibroituvaiheen mittaustulokset

Kalibroitimittauksessa kalorimetrin sisälämpötilat pyritään saamaan mahdollisimman tasaisiksi. Lämpötilojen tasaannuttua kalorimetrin rakenne sekä testattavan laitteen rakenne ovat lämpimiä, jolloin lämpötilojen vaihtelua ei tapahdu. Kalorimetrisessä mittauksessa lämpötilan vaihtelu vaikuttaa merkittävästi mittauksen lopputulokseen. Kuviosta 1 nähdään, että sisäilman lämpötilat tasaantuvat hyvin testin aikana. Kuviosta nähdään

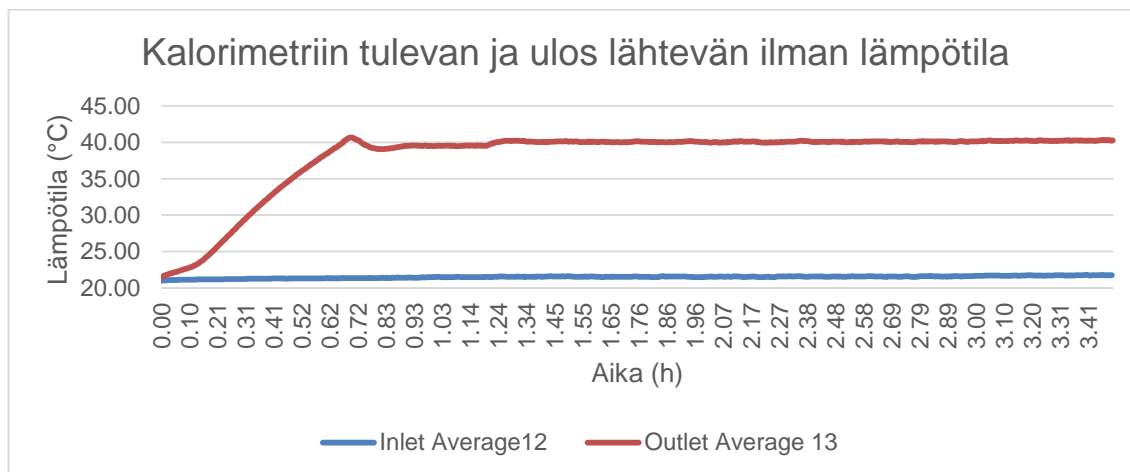
myös, että mittapisteiden välillä ei ole kovin suurta lämpötilaeroa. Mittauspiste Middle 10 on mitannut muita lämpötiloja korkeampaa lämpötilaa, koska se on sijoitettu suoraan kalorimetrin vastuksen yläpuolelle.



Kuvio 1. Ohjauspuolen kalibroitimittaus kalorimetrin sisälämpötilat.

Testissä käytetään pohjakuormana kalorimetrin vastusta, jota lämmitetään kalibroitivaiheen aikana 500 W:n teholla. Kalorimetrin sisäilmaa lämmitetään siis testattavan laitteen ohjauspuolen häviöiden lisäksi 500 W:n lämmitin. Tämä 500 W:n teho pitää ottaa myöhemmin huomioon tasausvaiheen tuloksessa. Pohjakuormaa käytetään testissä, koska arvioidaan, että ohjauspuolen tehohäviöt ovat liian pienet tarkan mittaustuloksen saamiseksi. Kyseisessä kalorimetrissä liian pieniä tehohäviöitä mitattaessa kalorimetrin poistoilmapuhallin ei pyöri tarpeeksi nopeasti. Liian pienellä poistoilmapuhaltimen kierrosnopeudella kalorimetriin ei muodostu tarpeeksi vahvaa imua, jolloin ilma ei kierrä kalorimetrin läpi. Kalorimetrinen mittaus perustuu kalorimetristä lähtevän ilmamäärän mittaukseen ja tilanteessa, jossa ilmaa saattaa kulkeutua myös ilman sisäänottoaukosta ulos, tulee mittauksesta epätarkka.

Kuviossa 2 on esitetty kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilan keskiarvo-käyrät. Näiden kahden lämpötilan ero tulee olla yli 15 °C, jotta kalorimetrin mittaustarkkuus ei heikkene (6). Kuvioista 2 nähdään, että lämpötilaero on riittävän suuri sekä lämpötilat tasaantuvat hyvin testin aikana.



Kuvio 2. Ohjauspuolen kalibrointimittaus kalorimetriin tulevan ja lähtevän ilman lämpötila.

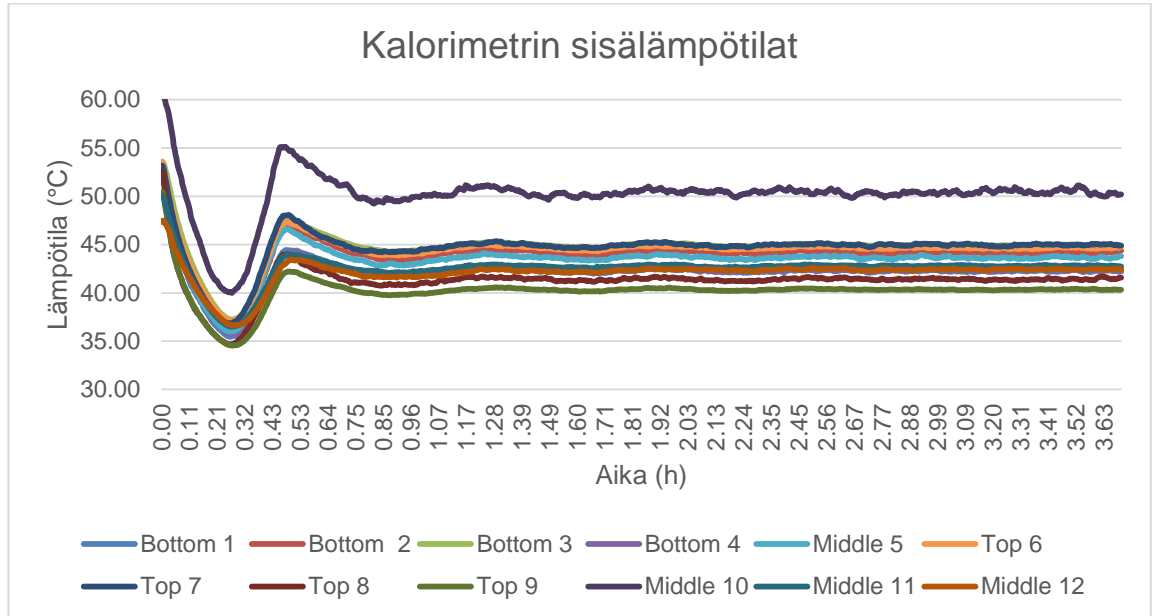
Kuviossa 3 on esitetty kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus hertseinä. Kalibrointivaiheen päätarkoituksena on selvittää mihin nopeuteen kalorimetrin poistoilmapuhaltimen nopeus tasaantuu. Kuvioista 3 huomataan, että poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus tasaantuu noin 18,7 Hz:iin. Seuraavaksi mitataan tasausvaihe, jonka ajaksi kalorimetrin poistoilmapuhaltimen nopeudeksi määritetään 18,7 Hz.



Kuvio 3. Ohjauspuolen kalibroitimittaus kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus.

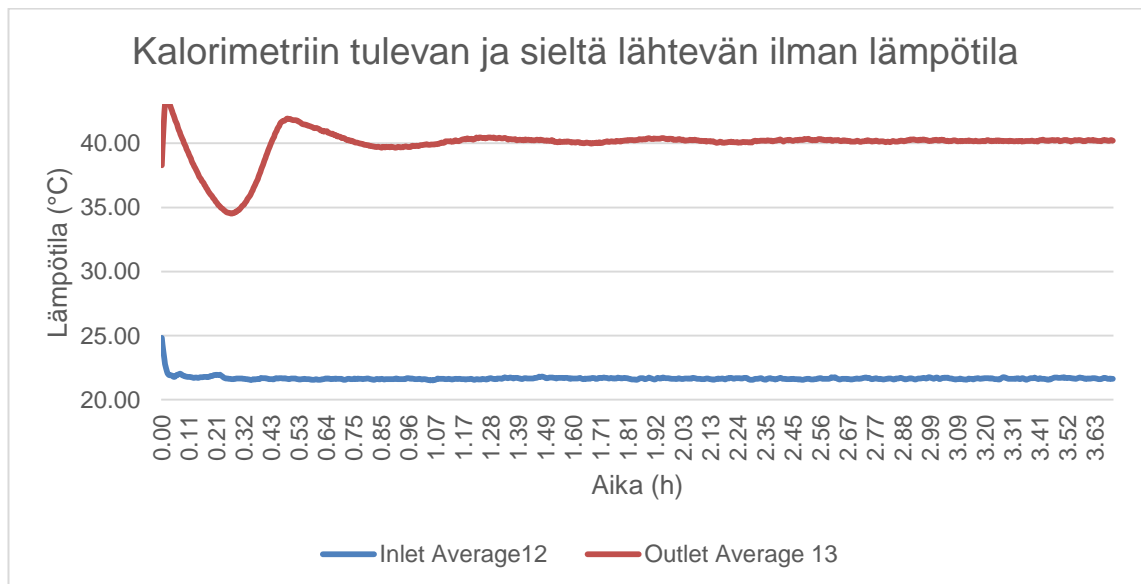
5.2 Ohjauspuolen tasausvaiheen mittaustulokset

Kuviossa 4 on esitetty kalorimetrin sisälämpötilat testattavan laitteen ohjauspuolen tasausvaiheessa. Kuten kuvioista 4 nähdään, kalorimetrin sisälämpötilat tasaantuvat toivottavalla tavalla noin 40 °C ja 45 °C välille. Mittauspisteen Middle 10 lämpötila on muita lämpötiloja korkeampi vastaavalla tavalla kuin kalibroitivaiheessa. Korkeampi lämpötila johtuu tässäkin tilanteessa mittauspisteen sijainnista kalorimetrin vastuksen yläpuolella.



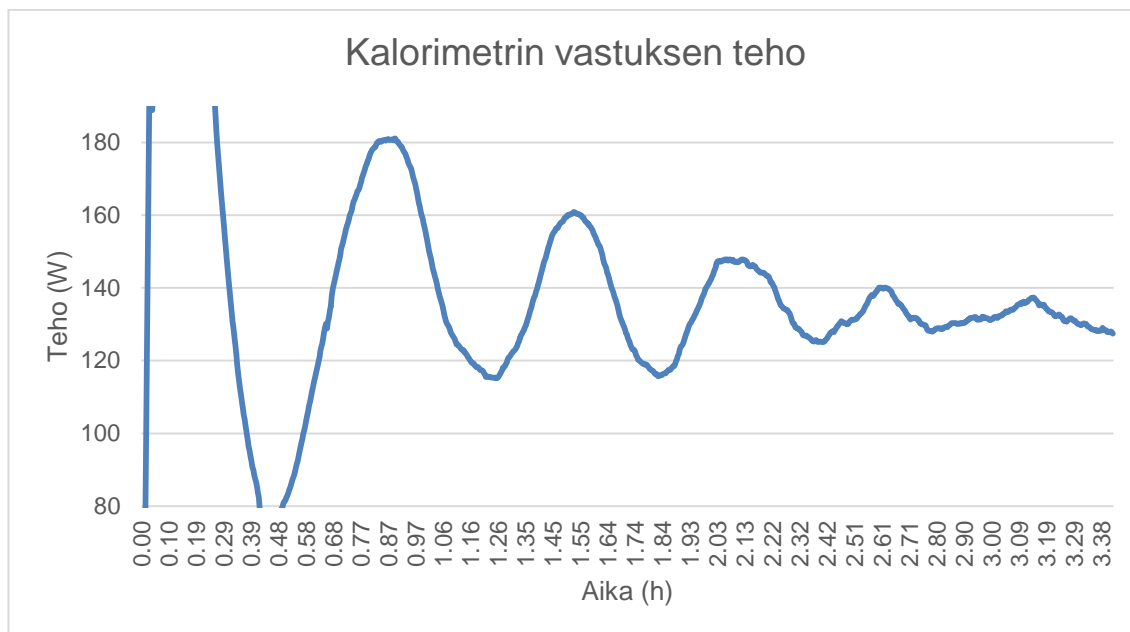
Kuvio 4. Ohjauspuolen tasausmittaus kalorimetrin sisälämpötilat.

Kuviossa 5 on kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilojen keskiarvot ohjauspuolen tasausmittauksessa.



Kuvio 5. Ohjauspuolen tasausmittaus kalorimetriin tulevan ja lähtevän ilman lämpötila.

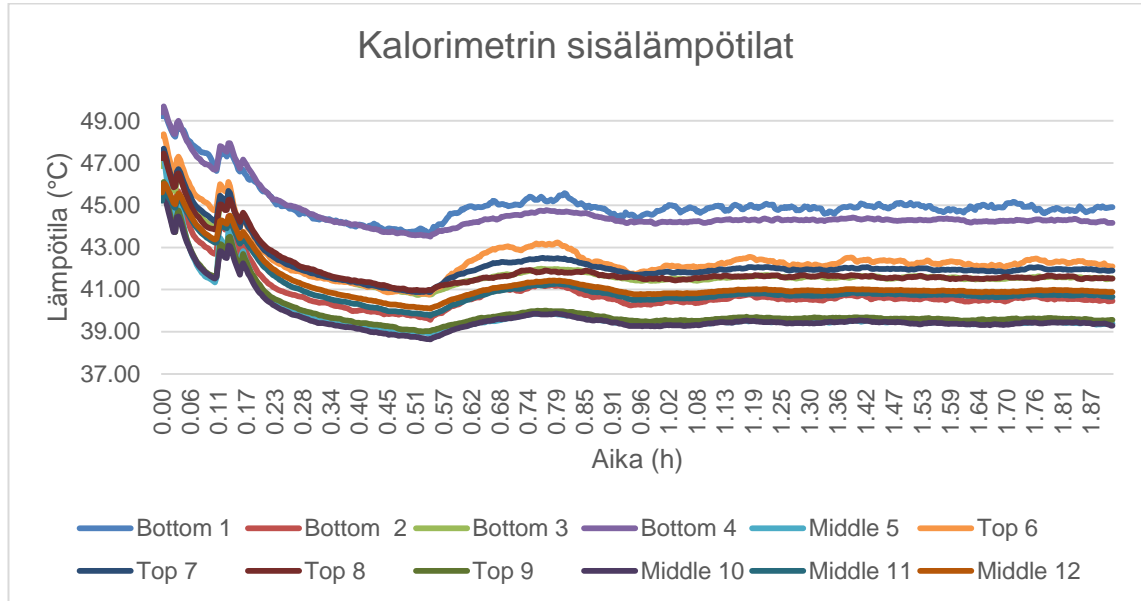
Kuviossa 6 on testattavan laitteen ohjauspuolen mittauksen lopputulos. Kuviosta havaitaan kalorimetrin vastuksen käyttämän tehon tasaantuminen noin 130 W:iin. Testituloksessa on otettu huomioon kalibrointivaiheessa käytetty 500 W:n pohjakuorma sekä kalorimetrin seinien läpi johtuva 37 W:n lämpöteho. Kalorimetrin vastuksen käyttämän tehon keskiarvo testin viimeisen tunnin ajalta on 133 W. Tämä on testattavan laitteen ohjauspuolen tehohäviö kalorimetrisesti mitattuna.



Kuvio 6. Ohjauspuolen tasausmittaus kalorimetrin vastuksen käyttämä teho.

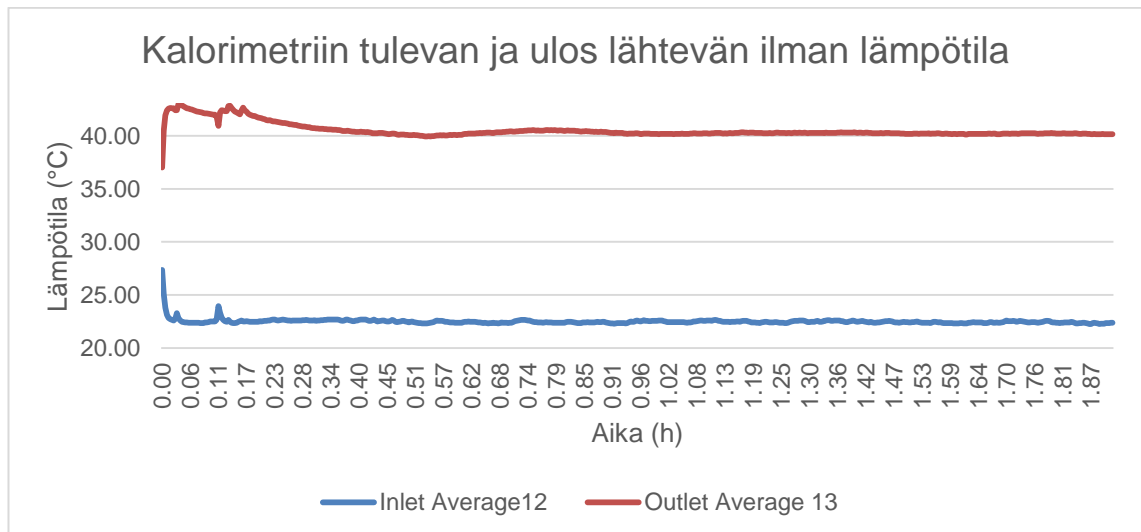
5.3 Tehopuolen kalibrointivaiheen mittaustulokset

Tehopuolen mittauksia varten testattava laite käännetään toisin päin vanerilevyssä, jolloin testattavan laitteen tehopuoli on kalorimetrin puolella. Kalibrointivaiheen aikana testattavaa laitetta kuormitetaan samalla 87 A:n kuormitusvirralla kuin ohjauspuolen mittausten aikana. Kuviossa 7 on kalorimetrin sisälämpötilakäyrät tehopuolen kalibrointivaiheen mittauksesta. Mittapisteissä Bottom 1 ja Bottom 4 on mitattu hieman muita mittauspisteitä korkeampaa lämpötilaa, koska ne ovat sijoitettu lähimmäksi testattavaa laitetta. Testattavan laitteen pääpuhallin puhalttaa lämmintä ilmaa ulos testattavasta laitteesta, jolloin mittapisteiden Bottom 1 ja Bottom 4 lämpötilat nousevat.



Kuvio 7. Tehopuolen kalibroitimittaus, kalorimetrin sisälämpötilat.

Kuviossa 8 on esitetty kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman keskiarvolämpötilat tehopuolen kalibroitimittauksessa. Mittauksen alussa kalorimetristä lähtevän ilman lämpötila oli 40 °C, koska testattava laite oli ollut toiminnassa jo ennen mittauksen alkua. Tämä ei kuitenkaan vaikuta testin kulkuun.



Kuvio 8. Tehopuolen kalibroitimittaus kalorimetriin tulevan ja ulos lähtevän ilman lämpötilat.

Kuviosta 9 nähdään kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus testattavan laitteen tehpuolen kalibroitimittauksessa. Mittauksen alussa poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus on aluksi tasan 60 Hz, ja noin kuuden minuutin kohdalla pyörimisnopeus nousee 70 Hz:iin. Kalorimetriä ohjataan LabVIEW -ohjelmalla, johon on määritetty poistoilmapuhaltimen maksiminopeus. Testin alussa maksiminopeus oli 60 Hz ja kuuden minuutin kohdalla maksiminopeus saatiin nostettua 70 Hz:iin. Poistoilmapuhaltimen nopeutta piti nostaa, koska sen pyörimisnopeus ei riittänyt jäähdyttämään kalorimetristä lähtevän ilman lämpötilaa 40 °C:seen. Noin 30 minuuttia testin alusta kalorimetrin poistoilmapuhaltimen nopeus alkaa laskea, koska kalorimetristä lähtevän ilman lämpötila laski 40 °C:seen.



Kuvio 9. Tehopuolen kalibroitimittaus poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus hertseinä.

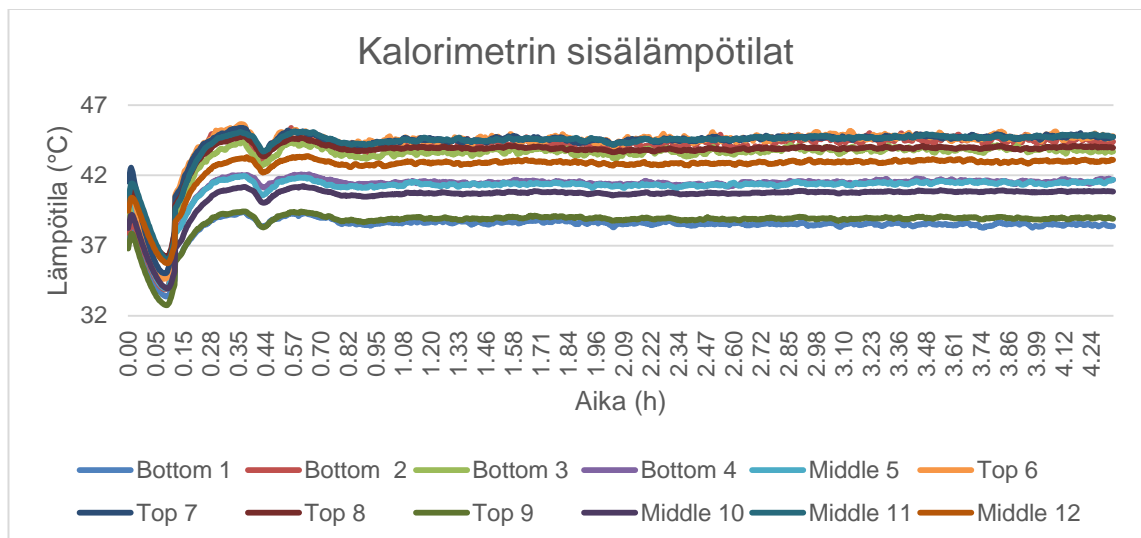
Kuviossa 10 on esitetty kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus 45 minuutin ajalta tehpuolen kalibroitimittauksen lopusta. Kuviosta 10 nähdään, että kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus tasaantui 61,2 Hz:iin. Seuraavaksi tehdään tassaavaiheen mittaus, jonka ajaksi kalorimetrin poistoilmapuhallin asetetaan pyörimään 61,2 Hz:n nopeudella.



Kuvio 10. Tehopuolen kalibrointimittaus poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus hertseinä.

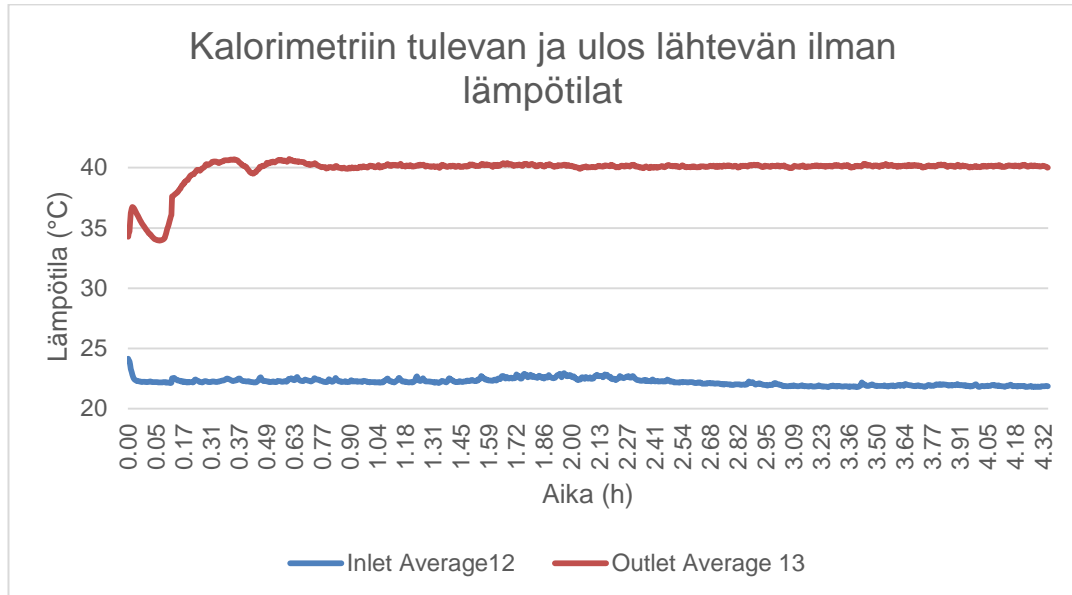
5.4 Tehopuolen tasausvaiheen mittaustulokset

Tehopuolen tasausvaiheessa kalorimetrin sisälämpötilat tasaantuivat hyvin, kuten kuvista 11 nähdään.



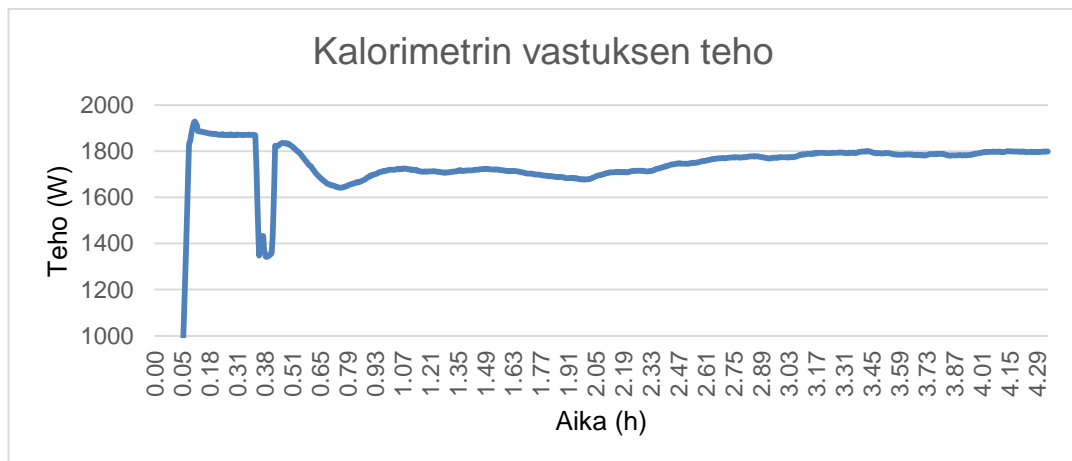
Kuvio 11. Tehopuolen tasausvaihe kalorimetrin sisälämpötilat.

Kuviossa 12 on kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilojen keskiarvot tehopuolen tasausvaiheessa.



Kuvio 12. Tehopuolen tasausvaihe kalorimetriin tulevan ja ulos lähtevän ilman lämpötilat.

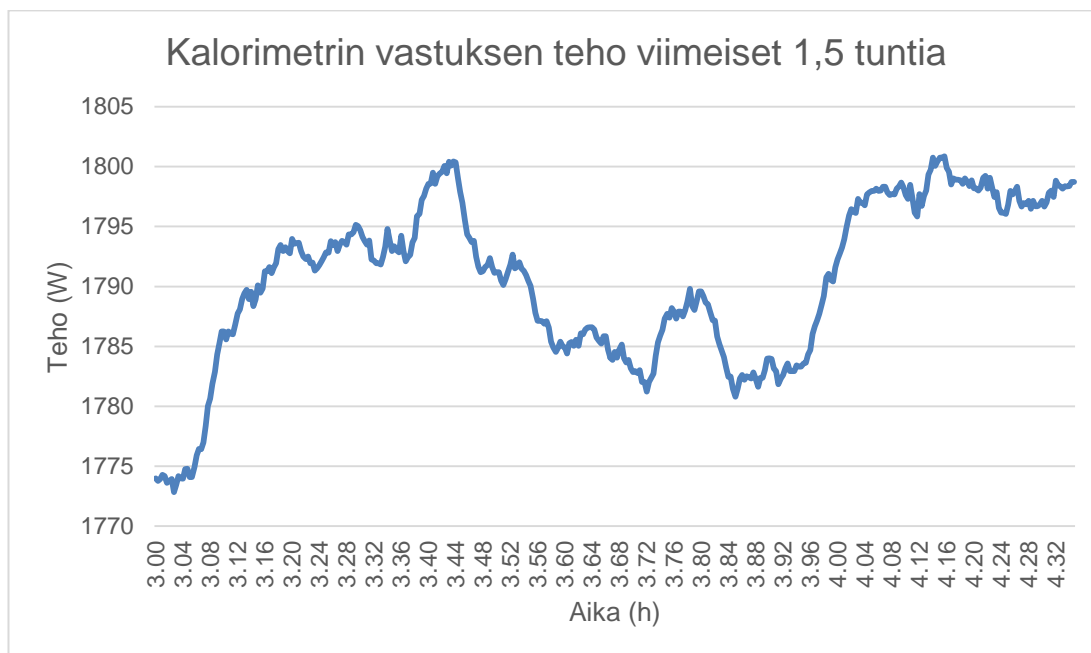
Kuviosta 13 nähdään kalorimetrin vastuksen käyttämä teho tasausvaiheessa.



Kuvio 13. Tehopuolen tasausvaihe kalorimetrin vastuksen teho.

Kuviossa 14 on kalorimetrin vastuksen käyttämä teho viimeisen 1,5 tunnin ajalta tehopuolen mittauksen tasausvaiheessa. Kalorimetrin vastuksen käyttämän tehon keskiarvo

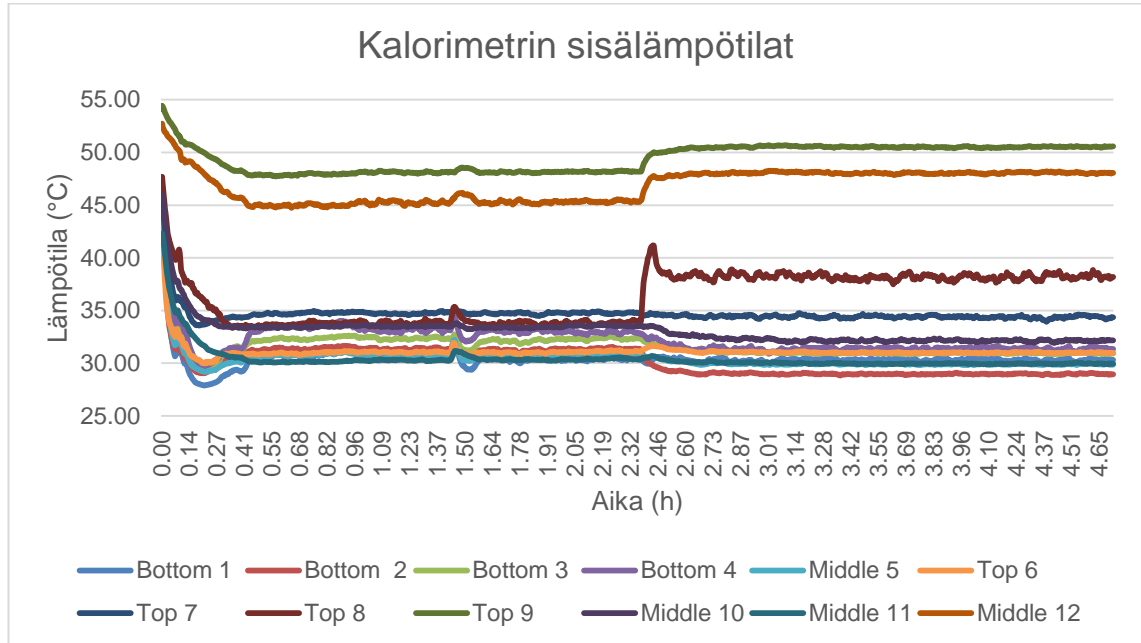
viimeisen tunnin ajalta on 1791 W. Tämä on testattavan laitteen tehopuolen häviötehon määrä.



Kuvio 14. Tehopuolen tasausvaihe kalorimetrin vastuksen teho viimeisen 1,5 tunnin ajalta.

5.5 Koko laitteen kalibroitivaiheen mittaustulokset

Koko laitteen kalibroitimittauksessa kalorimetrin sisälämpötiloissa on melko suuria lämpötilaeroja, kuten kuviosta 15 nähdään. Mittapisteen middle 12 ja top 9 mittasivat noin 45–50 °C:n lämpötiloja muiden mittausten ollessa noin 30–35 °C. Mittausten epätasaisuus johtuu testattavan laitteen suuresta koosta kalorimetrin sisämittoihin nähden. Testattava laite on sijoitettu mittauksen ajaksi kalorimetrin pohjalle, jonka takia ilma ei pääse virtaamaan kalorimetrin läpi esteettömästi. Mittauksen puolella välissä huomattiin kalorimetrin kaapeliläpivienti reiän olevan auki. Kun reikä tukittiin, osa lämpötiloista nousee jyrkästi. Mittauksen lopputulos on silti tarkka, koska kalorimetrisessä mittauksessa vain mittauksen lopussa lämpötilojen pitää olla tasaisia.



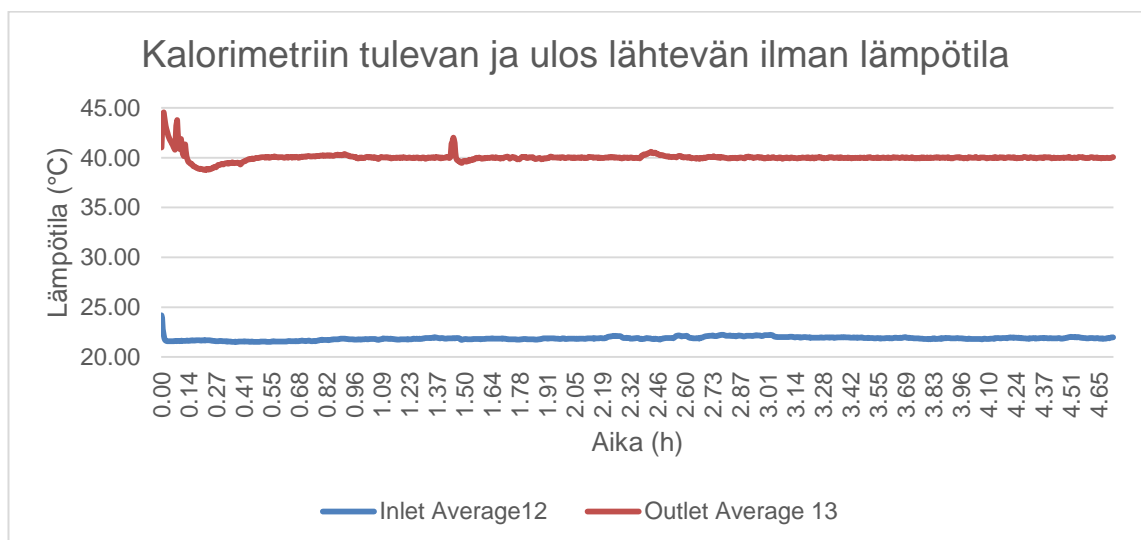
Kuvio 15. Koko laitteen kalibrointimittaus kalorimetrin sisälämpötilat.

Kuva 17 on otettu alkuperäisen kalorimetrin sisältä ennen koko laitteen kalorimetrin mittausten alkua. Kuten kuvasta nähdään, testattavan laitteen suuri koko vaikuttaa ilman kiertoon kalorimetrin sisällä. Koko laitteen mittauksissa käytetään suurempitehoista kalorimetrin vastusta kuin aikaisemmissa mittauksissa. Ohjaus- ja tehpuolen mittauksissa käytetyn vastuksen teho on 2 kW. Koko testattavan laitteen häviötehon arvioidaan olevan yli 2 kW, jonka vuoksi vastus vaihdetaan. Vastuksen teho on oltava suurempi kuin testattavan laitteen häviötehon määrä. Vastuksen vaihto ei vaikuta mittaustuloksiin.



Kuva 17. Testattava laite alkuperäisen kalorimetrin sisällä koko laitteen kalorimetrin mittaus.

Kuviossa 16 on kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilojen keskiarvot koko laitteen kalibrintimittauksessa.



Kuvio 16. Koko laitteen kalibrintimittaus kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötila.

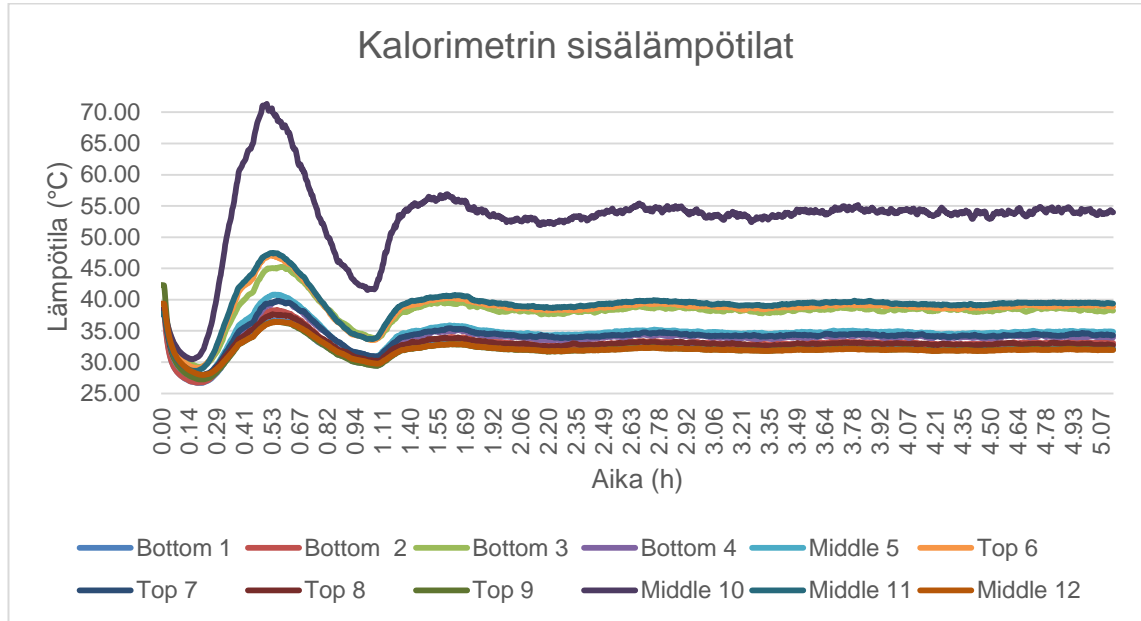
Kuviossa 17 on kalorimetrin poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus koko laitteen kalibroitimittauksessa. Kuviosta havaitaan, että mittauksen puolessa välissä kalorimetrin poistoilmapuhallin kiihdyttää noin 50 Hz:n nopeudesta noin 59 Hz:n nopeuteen. Tämä johtuu edellä mainitusta ilmapuodosta kalorimetrin seinässä. Vuodon tukkimalla testattavan laitteen häviötehon lämmittämä ilma ei pääse vuotamaan ulos kalorimetristä. Poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus tasaantuu 58,4 Hz:iin. Seuraavaksi mitataan koko laitteen tasausmittaus, jonka ajaksi kalorimetrin poistoilmapuhaltimen nopeudeksi asetetaan 58,4 Hz.



Kuvio 17. Koko laitteen kalibroitimittaus poistoilmapuhaltimen pyörimisnopeus.

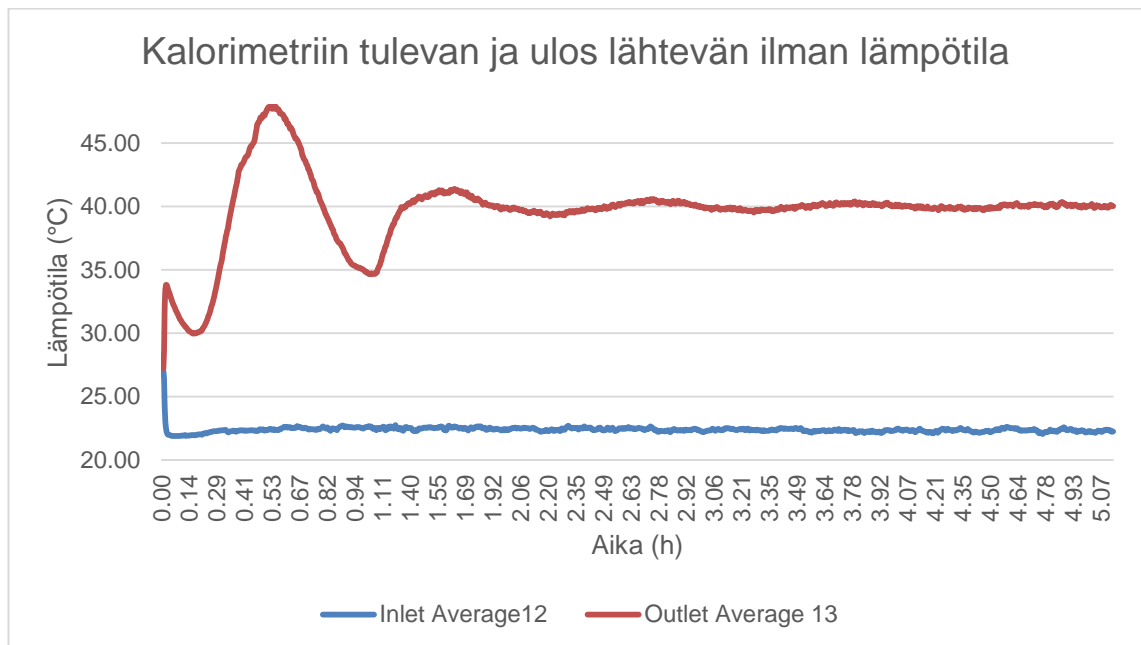
5.6 Koko laitteen tasausvaiheen mittaustulokset

Koko laitteen tasausvaiheen mittauksessa kalorimetrin sisälämpötilat ovat melko alhaisia kuten kalibroitivaiheessa. Kuviosta 18 nähdään, että mittauspiste Middle 10 mittaa korkeaa lämpötilaa, koska se sijaitsee kalorimetrin vastuksen yläpuolella.



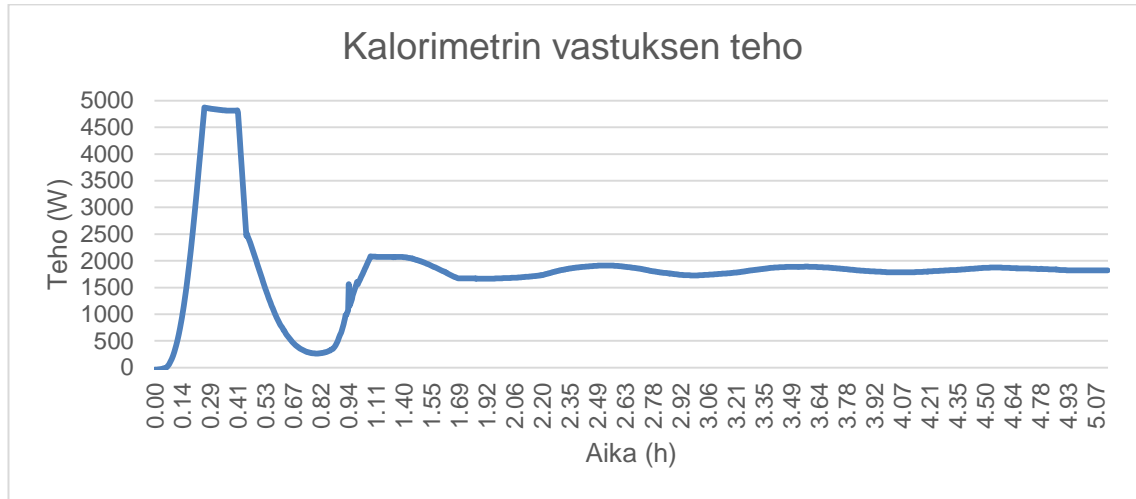
Kuvio 18. Koko laitteen tasausmittaus kalorimetrin sisälämpötilat.

Kuviossa 19 on kalorimetriin tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilojen keskiarvot koko laitteen tasausvaiheessa.



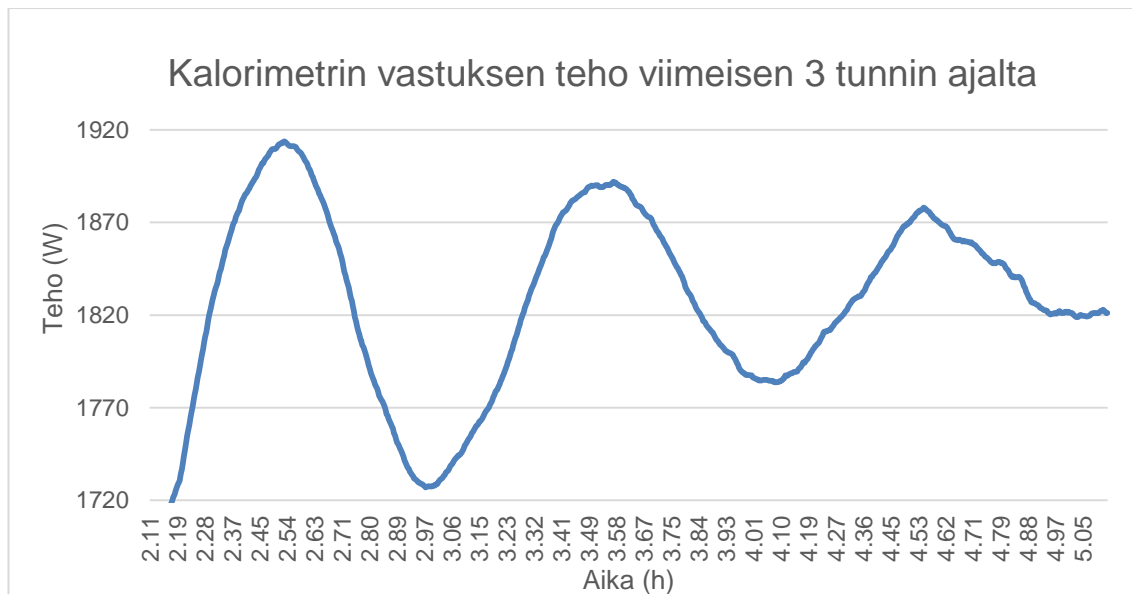
Kuvio 19. Koko laitteen tasausmittaus kalorimetriin tulevan ja ulos lähtevän ilman lämpötilat.

Kuviosta 20 nähdään kalorimetrin vastuksen käyttämä teho koko laitteen tasausmittauksessa.



Kuvio 20. Koko laitteen tasausmittaus kalorimetrin vastuksen teho.

Kuviossa 21 on kalorimetrin vastuksen käyttämä teho tasausvaiheen mittauksessa viimeisen kolmen tunnin ajalta. Vastuksen käyttämän tehon keskiarvo mittauksen lopussa viimeisen tunnin ajalta on 1834 W. Tämä on testattavan laitteen häviötehon määrä.



Kuvio 21. Koko laitteen tasausmittaus kalorimetrin vastuksen teho viimeisen kolmen tunnin ajalta

6 Testattavan laitteen tehohäviöiden mittaus sähköisesti

Kuvassa 18 on testattavan laitteen häviötehon mittausta tehoanalysaattorilla mitattuna. Sähköisessä häviötehon mittauksessa testattavan laitteen kuormitus on sama kuin tehdyissä kalorimetrisissä mittauksissa. Kuvassa elementti 1 ja elementti 2 ovat testattavaa laitetta syöttävien vaiheiden L1 ja L2 mittauksia. Tehoanalysaattori laskee L1- ja L2-vaiheiden mittausten perusteella puuttuvan vaiheen L3 jännitteen ja virran. Tehoanalysaattori laskee jännitteestä ja virrasta testattavaa laitetta syöttävän pätötehon P. Tehoanalysaattori laskee myös näennäistehon S sekä loistehon Q. Elementti 3 ja elementti 4 ovat mittauksia testattavan laitteen moottoria syöttävistä navoista U ja V. Tehoanalysaattori tekee niiden perusteella samat funktiot kuin elementtien 1 ja 2 kohdalla, eli puuttuvan vaiheen W jännitteen, virran, pätötehon, näennäistehon ja loistehon.

Normal Mode		Uover: ■ ■ ■ ■		I1-2 : 500mA rms		YOKOGAWA	
Store: Stop		Iover: ■ ■ ■ ■		Integ: Reset			
	Element1	Element2	Σ A(3P3W)	Element3	Element4	Σ B(3P3W)	PAGE
Voltage	600Vrms	600Vrms		600Vrms	600Vrms		
Current	500mA rms	500mA rms		500mA rms	500mA rms		
U [V]	413.544	412.377	412.960	454.343	454.416	454.379	1
I [A]	64.129	64.600	64.365	88.258	88.218	88.238	2
P [W]	22.739k	23.111k	1.45.850k	33.101k	10.809k	2.43.910k	3
S [VA]	26.520k	26.639k	46.038k	40.099k	40.088k	69.444k	4
Q [var]	-13.647k	13.249k	-0.399k	22.633k	38.603k	61.236k	5
λ []	0.85743	0.86755	0.99593	0.82548	0.26963	0.63231	6
φ [°]	D 30.971	G 29.824	5.170	G 34.363	G 74.358	50.779	7
fU [Hz]	49.994	-----	-----	-----	-----	-----	8
fI [Hz]	49.998	-----	-----	-----	-----	-----	9
***** Efficiency *****							
η1	95.768 [%]						
η2	104.419 [%]						
η3	72.194 [%]						
η4	----- [%]						
Update 42		2018/10/19 13:36:48					

Kuva 18. Koko laitteen häviötehon mittausta tehoanalysaattorilla.

Kuvasta 18 nähdään testattavan laitteen lähtövirta eli moottorille syötettävä virta elementti 3 ja elementti 4 sarakkeen I kohdalla. Lähtövirtana testeissä käytetään testattavan laitteen itse mittaamaan virtaa. Testeissä testattava laite mittasi lähtövirraksi 87 A, joka

on tehoanalysaattorilla mitattuna noin 88,2 A. Tällä kuormitusvirralla tehoanalysaattori mittasi syöttötehoksi 45,85 kW kuvassa 18 punaisella värillä korostettu numero 1. Testattavan laitteen lähtötehoksi tehoanalysaattori mittasi 43,91 kW kuvassa 18 vihreällä värillä korostettu numero 2. Kaavalla

$$P_{Loss} = P_{Syöttö} - P_{Lähtö} \quad (1)$$

jossa P_{Loss} on laitteen häviöteho, saadaan testattavan laitteen häviöteho laskettua sähköisen mittauksen perusteella. Laskutoimituksesta vastaukseksi saadaan 1,94 kW.

Kuvasta 18 nähdään myös tehoanalysaattorin testattavalle laitteelle laskema hyötysuhde, kuvassa Efficiency η_1 95,77 %. Tämä on hyvin lähellä valmistajan laitteelle ilmoittamaa 96 prosentin hyötysuhdetta.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella, toteuttaa ja varmentaa kaksikammioinen kalorimetrinen mittauslaitteisto, jolla pystytään mittaamaan ACS880-11, R6-laitteen tehohäviöjakauma. Työssä saatiin aikaiseksi toimiva mittauslaitteisto, jolla tehohäviöjakauman mittaus onnistui. Kaikki työn tilaajan työlle asettamat tavoitteet saavutettiin työn aikana.

Kalorimetrinen mittauslaitteiston muutostyön ansiosta päästiin mittaamaan testattavan laitteen tehohäviöjakauma. Mittauksissa tehohäviöjakaumaksi saatiin ohjaus puolen osalta 133 W ja tehopuolen osalta 1791 W. Koko laitteen häviötehoksi mitattiin kalorimetrisesti 1834 W. Laskettaessa testattavan laitteen ohjaus- ja tehopuolen häviötehot yhteen saadaan vastaukseksi 1924 W.

Tämä mittaustulos poikkeaa koko laitteen kalorimetrisestä mittauksesta 90 W. Prosentuaalisesti ero on 4,7 %. Kalorimetrinen mittauslaitteisto on melko herkkä ympäristön muutoksille, joten yhden tekijän muuttuessa testausympäristössä koko mittaustulos muuttuu.

Ohjaus- ja tehopuolen tehohäviöitä yhteenlaskettuna verrattaessa tehoanalysointorilla mitattuun häviötehon mittaukseen huomataan niiden vastaavan toisiaan todella hyvin. Ohjaus- ja tehopuolen yhteenlaskettu tehohäviö kalorimetrisesti mitattuna on 1924 W. Sähköisesti mitattuna koko testattavan laitteen tehohäviö on 1940 W. Prosentuaalisesti ero on 0,8 %. Tämän perusteella voidaan todeta kaksikammioisen kalorimetrisen mittauslaitteiston toimivan melko tarkasti.

Jatkossa kyseisellä kaksikammioisella kalorimetrisellä mittauslaitteistolla suoritetaan lisää mittauksia hyvän mittaustarkkuuden varmistamiseksi. Testattavaan laitteeseen voidaan lisätä komponenttien pinnalle lämpötila-antureita tehohäviöiden syntymisen kartoittamiseksi. Lämpötilamittausten perusteella voidaan selvittää, siirtyykö kammioiden välillä lämmitystehoa laitteen rakenteen läpi. Testattavan laitteen sähköisen mittauksen sekä komponenttien pinnalle lisättävien lämpötila-antureiden mittaukset voidaan jatkossa nauhoittaa koko mittauksen ajalta. Tämän avulla päästään tutkimaan, mistä erot mittauksen välillä johtuvat.

Kyseiseen kalorimetriin kuuluu myös ilman esilämmityskammio, jolla kalorimetriin tulevan ilman lämpötila pystytään vakioimaan haluttuun lämpötilaan. Esilämmityskammioita ei kuitenkaan voitu käyttää insinööriä varten tehtyihin mittauksiin, sillä sen ohjaus puuttui LabVIEW-koodista, jolla kalorimetristä mittauslaitteistoa ohjataan. Työn jälkeen tehtäviä mittauksia varten esilämmityskammion ohjaus lisätään LabVIEW-koodiin.

Ennen työn aloittamista yksi työn tekemisen motiiveista oli löytää vastaus kysymykseen: voidaanko testattavan laitteen tehohäviöjakauma mitata kalorimetrisesti? Työn loppuvaiheessa voidaan todeta, että tehohäviöjakauma on mahdollista mitata kalorimetrisesti. Työn tilaaja suunnittelee hyödyntävänsä työn aikana rakennettua kaksikammioisen kalorimetrin prototyyppiä uuden kaksikammioisen kalorimetrin suunnittelussa ja toteutuksessa. Tulevaisuudessa kaksikammioisen kalorimetri voisi tulla laajempaan käyttöön kiinteänä osana työn tilaajan verifointitestausta. Uudesta versiosta tulisi isompi, jolloin isommat testilaitteet on mahdollista mitata vastaavalla tavalla kalorimetrisessä, eikä niiden ilmankierto häiriinny. Kammioiden väliin sijoitettavaan levyyn voidaan tehdä kauluksia, joiden avulla erikokoisia testilaitteita voidaan mitata samalla mittalaitteistolla.

Lähteet

1. Taajuusmuuttajilla kohti parempaa maailmaa. 2018. Verkkoaineisto. ABB Oy, Drives. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/drives>>. Luettu 24.10.2018.
2. Tuominen, Olli-Erkki Kristian. 2010. Taajuusmuuttajamoottoriyhdistelmien tutkiminen ABB ACS800- Taajuusmuuttajia käyttäen. Opinnäytetyö, Vaasan Ammatikorkeakoulu.
3. Kuvakokoelma. 2018. ABB. Sisäinen kuvapankki.
4. Kuvakokoelma. 2018. ABB. Sisäinen kuvapankki.
5. ABB:n teollisuustaajuusmuuttajat ACS880-taajuusmuuttajat 0,55–3 200 kW Tuoteluettelo. 2018. Verkkoaineisto. ABB Oy. <https://library.e.abb.com/public/cb0da58246ba4a62aaae948d808fcc7d/FI_ACS880_single_drives_3AUA0000124140_RevJ.pdf>. Luettu 31.10.2018.
6. Niemelä, Markku. 2018. Professori, Sähkötekniikka, LUT School of Energy Systems, Helsinki ABB Drives Oy Perehdytys kalorimetriin 16.8.2018.