

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2020

Kristian Kivinen

HEADEND- MODULAARIALUSTAN TUULETTIMIEN TESTAUS JA MITTAUS

– tietoliikennetekniikan laitteen lämpösuunnittelu



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tieto- ja viestintäteknikka, insinööri

2020 | 37 sivua

Kristian Kivinen

HEADEND-MODULAARIALUSTAN TUULETTIMIEN TESTAUS JA MITTAUS

- tietoliikennetekniikan laitteen lämpösuunnittelu

Teknologian kehittyessä ja tiedonsiirtonopeuksien kasvaessa laitteilta vaaditaan jatkuvasti lisää suorituskykyä, ja monesti se tarkoittaa myös laitteiden lämpötilan nousua. Lämpötilojen noustessa laitteet tarvitsevat tehokasta tuuletusta. Niiden suunnittelussa on yhä tarkemmin otettava huomioon ilmavirtojen ohjaaminen oikeita väyliä pitkin, jotta laite viilenee tehokkaasti ja kykenee ylläpitämään luvattua suorituskykyä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada käsitys uuden tuotteen lämpökäyttäytymisestä ja optimoida sen tuulettimien toiminta niin että se tukee laitteeseen kytkettävien moduulien tarpeita viilennyksen suhteen. Tuloksilla tavoiteltiin tietoa siitä, riittääkö tuulettimien viilennysteho järkevällä virrankulutuksella viilentämään eri moduulit etu- ja takapaneelissa. Mittauksien perusteella päätetään, tuleeko laitteeseen tehdä rakenteellisia muutoksia ja lisäyksiä.

Työssä tehtiin erilaisia testejä, mittauksia ja vertailuja, joista pääteltiin olevan hyötyä. Lisäksi työn ohessa suunniteltiin mittavälineitä ja käsiteltiin mittaustuloksia tietokoneella helpommin havainnoitaviksi. Saatujen tuloksien perusteella Teleste Oyj teki päätöksen laitteen jatkosuunnittelusta. Työ oli vaihtoehto ulkopuolisen yrityksen tekemälle simuloinnille, ja näin Teleste Oyj säästi kustannuksissa ja sai kattavampia tuloksia omien toiveidensa mukaisesti.

ASIASANAT:

lämpökartta, ilmanpainemittaus, lämpösäteily, tuuletus, elektroniikkasuunnittelu, lämpösuunnittelu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and communication technology, Bachelor of Engineering

2020 | 37 pages

Kristian Kivinen

MEASURING AND TESTING THE FANS OF A HEADEND MODULAR PLATFORM

- thermal design of a telecommunications device

As technology evolves and data rates increase, devices are constantly required to perform better, and in many cases this also means an increase in the temperature of the devices. As temperatures rise, appliances need efficient ventilation, and their design must increasingly take into account the control of airflows along the correct paths to allow the unit to cool efficiently.

The aim of this thesis was to gain an understanding of the thermal behavior of a new device and to optimize the operation of its fans so that it supports the cooling needs of the modules connected to the device. The results are intended to provide information on whether the cooling capacity of the fans with reasonable power consumption is sufficient to cool the various modules in the front and rear panels. Based on the measurements, it is decided whether structural changes and additions should be made to the device.

Various tests, measurements and comparisons were made in the work, which were thought to be useful. In addition to the work, measuring instruments were designed and the measurement results were processed on a computer for easier observation. Based on the results obtained, Teleste Corporation made a decision on the further design of the device. The work was an alternative to a simulation performed by an external company, and thus Teleste Corporation saved costs and obtained more comprehensive results according to its own wishes.

KEYWORDS:

heatmap, barometric pressure, heatradiation, ventilation, electrical design, heatmapping .

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 LÄMPÖSUUNNITTELUN TEORIAA	8
2.1 Lämmön siirtymismenetelmiä	8
3 LUMINATO 4X4	9
4 TUULETTIMET	11
5 LAITTEISTO JA MITTAUSVÄLINEET	12
6 ILMANPAINEMITTAUKSET	14
6.1 Mittausjärjestelyt	15
6.2 Tulokset neljällä tuulettimella	17
6.3 Tulokset kuudella tuulettimella	18
7 SAVUTESTIT TEKNIILLÄ SAVUILLA	22
7.1 Mittausjärjestelyt	22
7.2 Tulokset	23
8 LÄMPÖANTURIMODUULIT MITTAUSVÄLINEINÄ	24
8.1 Lämpöanturimoduulit	24
8.2 Mittausjärjestelyt lämpöanturimoduuleilla	27
8.3 Tulokset	28
8.3.1 Ensimmäiset mittaukset lämpöanturimoduulilla	30
8.3.2 Toiset mittaukset lämpöanturimoduulilla	32
8.4 Tuuletinvalmistajien välinen vertailu	34
9 LOPPUTULOKSET JA PÄÄTELMÄT	36
LÄHTEET	37

KUVAT

Kuva 1. Luminato 4X4:n etupaneeli.	9
Kuva 2. Luminato 4X4 ilman kantta. Vasemmalla kaksi power-moduulia joista toisen kansi avoinna. Oikealla emolevy, jossa musta jäähdytyslevy.	10
Kuva 3. Laitteen runko ilman kantta, moduuleita ja midplanea.	10
Kuva 4. Delta THA0412AD -tuuletin (vas.) [2] ja Sunon PF40201BX -tuuletin [3].	11
Kuva 5. 3D-mallinnus laitteen tärkeistä elementeistä. Musta: tuulettimet; keltainen: verkkoliittimet; sininen: powerit; punainen: emolevy; vihreä: moduulipaikat.	12
Kuva 6. Mittalaitteiden lohkokaavio.	12
Kuva 7. Oskilloskoopin avulla voitiin laskea tuulettimen pyörimisnopeus.	13
Kuva 8. Pahvista muotoillun ilmanohjaimen ensimmäinen prototyyppi pleksisen kannen läpi kuvattuna.	14
Kuva 9. Power-moduulien tuulettimet kiinnitettynä ilman etusäleikköä. Neljän tuulettimen mittaukset suoritettiin tällaisella kokoonpanolla.	16
Kuva 10. Ilmanpainemittauksissa käytetyt mittauspisteet punaisella numeroituna.	15
Kuva 11. Ilmanpainemittauksen tuloksia kun runkoon on kiinnitetty midplane ja 4 tuuletinta.	17
Kuva 12. Ilmanpaine jännitteen suhteen, kun käytössä on 6 tuuletinta ja laitteeseen on asennettu ilmanohjain.	18
Kuva 13. Ilmanohjaimen hyödyt on huomattavissa mittapisteissä 3 ja 4. Emolevyn tuulettimet eivät juuri vaikuta mittapisteeseen 2.	19
Kuva 14. Ilmanohjainta muokattiin sopivamman muotoiseksi kun laitteeseen tuli lisää osia ja moduuleita.	19
Kuva 15. Vasemmalla power-moduulit 2 kpl, joista toisen suojamuovi avattu. Oikealla emolevy.	20
Kuva 16. Suojamuovilla power-moduuleiden komponentit saadaan suojattua ja luotua tunnelimainen reitti tuulettimien ilmavirralle.	20
Kuva 17. Etualalla emolevyn jäähdytysritilikkö, keskellä kaksikerroksinen midplane ja takana slotit, joissa lämpöanturimoduulit ovat kiinnitettynä.	21
Kuva 18. Haivainnekuva ilmavirroista.	22
Kuva 19. Savupatruunapakkaus.	23
Kuva 20. Kaksi punaista komponenttia levyn alareunassa ovat ns. hyppykytkimiä joilla voi kytkeä osan vastuksista pois päältä.	24
Kuva 21. Lämpöanturimoduulien takaosa, kun Raspberry Pi on kytketty IIC-väylään kiinni. Leveä liitin on IIC-väylää varten ja pienempi moduulin sähköjä varten.	25
Kuva 22. Moduulin liittimet yläpuolelta kuvattuna.	25
Kuva 23. Tässä näkyy myös midplanen yläosa, joka kytkee emolevyn ylempiin slotteihin (vrt. kuva 15).	26
Kuva 24. Luminato 4X4 ja Raspberry Pi sen päällä.	26
Kuva 25. Mittauspiste kokonaisuudessaan.	27
Kuva 26. Antureiden numerointi ja sijainnit lämpökartalla sekä moduulissa.	28
Kuva 27. Ensimmäisen mittauksen lämpökäyrät. Ei ilmanohjainta.	29
Kuva 28. Ensimmäisen mittauksen lämpökäyrät, ilmanohjaimella.	29
Kuva 29. Ensimmäisen mittauksen lämpökartta, ei ilmanohjainta.	30
Kuva 30. Ensimmäisen mittauksen lämpökartta, ilmanohjaimella.	31
Kuva 31. Oikealla umpeen teipattu tyhjän slotin takapaneeli.	32
Kuva 32. Toisen mittauksen lämpökartta, ei ilmanohjainta.	33
Kuva 33. Toisen mittauksen lämpökartta, ilmanohjaimella.	34
Kuva 34. Tuuletinvertailun lämpökäyrät.	34
Kuva 35. Tuuletinvertailun lämpökartat.	35

KÄYTETYT LYHENTEET

Head-end	Pääkeskuksessa sijaitsevat laitteet ovat head-end -laitteita.
Hot swappable	Termi jota käytetään vapaasti irroitettavista moduuleista.
IIC	Kaksisuuntainen tiedonsiirtoväylä (I2C tai I ² C).
Moduuli	Itsenäinen laitteen yksikkö, joka voidaan poistaa tai vaihtaa laitteesta.
SFP-moduuli	Lisäosa, joka muuttaa signaalin valokuidusta digitaaliseksi ja päinvastoin (Small form-factor pluggable).

1 JOHDANTO

Teknologia ja tiedonsiirto ovat jo kymmeniä vuosia sitten vakiinnuttaneet paikkansa ihmisten elämässä, ja niiden vaikutus jokapäiväiseen elämään lisääntyy jatkuvasti. Teknologian määrän kasvaessa myös tietoliikenteen määrä kasvaa. Lähes jokainen arkisesti käytettävistä laitteista voidaan kytkeä internetiin. Tämä edellyttää tietoliikennelaitteilta jatkuvasti suurempaa tehokkuutta. Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on tehdä toimeksiantajayritykselle (Teleste Oyj) kehitystä ja tutkimusta uudelle tietoliikenneverkon laitteelle, joka mahdollistaa suuremman dataliikenteen käsittelyä.

Työn tarkoituksena oli suunnitella mittausjärjestelyitä, joilla voidaan tutkia ja mitata, että laitteeseen suunnitellut viilentävät komponentit, kuten tuulettimet ja lämmönohjaimet, toimivat tarpeeksi tehokkaasti ja lämpö kulkeutuu laitteesta ulos halutulla tavalla. Tutkimuksissa käytettiin ilmanpaine- ja lämpötilamittauksia sekä ilmanvaihtokanavissa käytettävää teknistä savua. Mittauksia varten suunniteltiin lämpöanturimoduuli, jonka avulla voi mitata laitteen lämpötilaa eri olosuhteissa. Savutestejä varten laitteeseen valmistettiin pleksistä läpinäkyvä kansi, jotta savun liikettä laitteen sisällä voitiin tarkkailla. Testi myös videoitiin myöhempää katselmointia varten.

Työn jakautuu neljään osaan, ilmanpainemittauksiin, savutesteihin, lämpötilamittauksiin sekä mittauksien lopputuloksiin ja päätelmiin. Työn painopiste on mittauksien raportoinnissa ja tuloksien tulkinnessa.

2 LÄMPÖSUUNNITTELUN TEORIAA

Lämpösuunnittelua voidaan pitää yhtenä nykyajan elektroniikkasuunnittelun tärkeimmistä osa-alueista. Sillä voidaan varmistaa, että tuote on luotettava ja kestävä, ja lisäksi sen avulla tuote voidaan optimoida oikeaan kokoluokkaan. Elektroniikan kehittyessä laitteista tulee vuosi toisensa jälkeen pienempiä ja niiden pakkaustiheys kasvaa jatkuvasti. Enemmän tehoa pyritään saamaan pienempään pakettiin.

2.1 Lämmön siirtymismenetelmiä

Konvektio on lämmön siirtoa virtauksen mukana kaasussa tai nesteessä. Konvektiota kutsutaan pakotetuksi konvektioksi, jos nesteen tai kaasun virtaus aiheutuu muista ulkoisista syistä. Esimerkki pakotetusta konvektiosta on tietokoneen tuulettimet. [1, s. 3–5]

Johtuminen on lämmön siirtämistä aineen sisällä tai aineesta toiseen, mikäli aineet koskettavat toisiaan. Johtumisessa korkeampi lämpötila siirtyy aina matalampaan lämpötilaan. Kahden aineen välillä lämpö pyrkii stabiloitumaan. Esimerkkinä johtumisesta on perinteisen keitinlevyn ja kattilan toiminta. [1, s. 5–6]

Lämpösäteily on elektromagneettista säteilyä, joka syntyy aineessa olevien varautuneiden hiukkasten lämpöliikkeestä. [1, s. 6–9]

3 LUMINATO 4X4

Luminato 4X4 (kuva 1) on kaapeli-tv- ja IPTV-verkon headend laite, joka toimii alustana ja ohjaimena erilaisille moduuleille, joilla ohjataan, uudelleenohjataan ja järjestellään kanavia ja kanavapaketteja oikeisiin osoitteisiinsa. Laite on suunniteltu reaaliaikaiseen kanavasisällön käsittelyyn. Laitteita myydään esimerkiksi teleoperaattoreille ja ne sijoitetaan yleensä datakeskuksiin joissa lämpötila nousee yli 40°C:n. Laite on edeltäjänsä, Luminaton, päivitetty versio ja sen suunnittelu oli vielä kesken mittauksien aikaan. Tutkimusten aikana laitteen rakenne tuli tutuksi, sillä sitä koottiin ja purettiin useita kertoja eri elementtien päivittyessä (kuvat 2 ja 3).

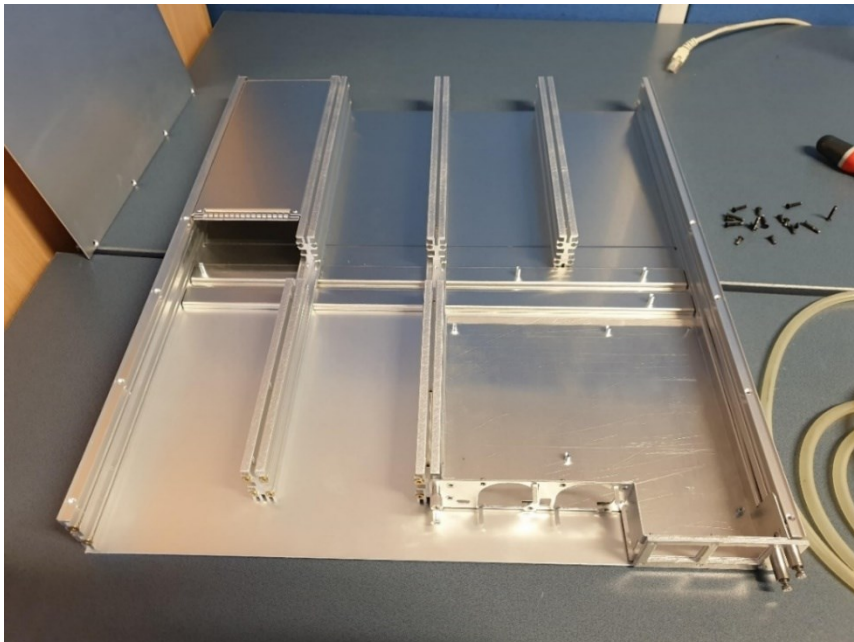


Kuva 1. Luminato 4X4:n etupaneeli.

Edeltäjänsä verrattuna Luminato 4X4 on merkittävästi suorituskykyisempi. Vanhassa laitteessa on neljä kappaletta 0,8 W:n tuulettimia, joiden yhteisteho on 3,2 W, kun taas uudessa laitteessa on kuusi kappaletta 5,16 W:n tuulettimia, joiden yhteisteho 30,96 W.



Kuva 2. Luminato 4X4 ilman kantta. Vasemmalla kaksi power-moduulia joista toisen kansi avoinna. Oikealla emolevy, jossa musta jäähdytyslevy.

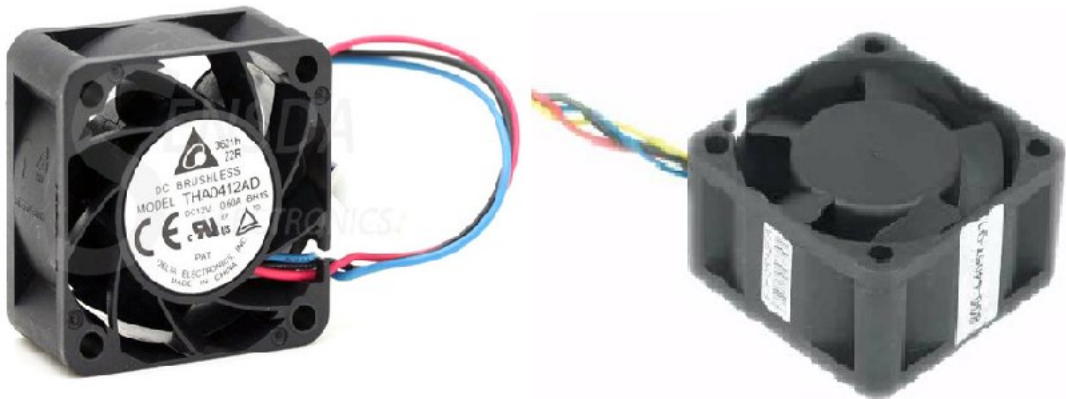


Kuva 3. Laitteen runko ilman kantta, moduuleita ja midplanea.

4 TUULETTIMET

Luminato 4X4 vaatii suuren tehokkuutensa ja suorituskykynsä takia myös tehokasta tuuletusta. Tätä varten laitteeseen on valittu Deltan valmistamat tuulettimet, jotka täyttävät vaaditun spesifikaation ja mahdollistavat pakotetun konvektion laitteen sisällä.

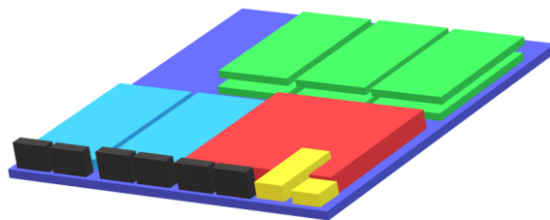
Tuulettimien (kuva 4) spesifikaatiot eivät kuitenkaan kerro sitä, kuinka ne toimivat käytännössä juuri tässä laitteessa, siksi niiden toimintaa tulee testata ja kartoittaa. Vertailun vuoksi testasimme myös toisen valmistajan (Sunon) tuulettimia, jotka sopivat spesifikaation mukaan laitteeseen. Näitä pidetään varavaihtoehtona siltä varalta, jos alkuperäisen tuuletinvalmistajan tai toimittajan kanssa tulee jotain muutoksia. Tuulettimien spesifikaatioissa ilmoitetaan, niiden toimivan jännite alueella 7,0 – 15,0 (Delta) ja 10,8 – 13,8 V (Sunon). Yksittäisen tuulettimen mitat ovat: 40 × 40 × 20 mm.



Kuva 4. Delta THA0412AD -tuuletin (vas.) [2] ja Sunon PF40201BX -tuuletin [3].

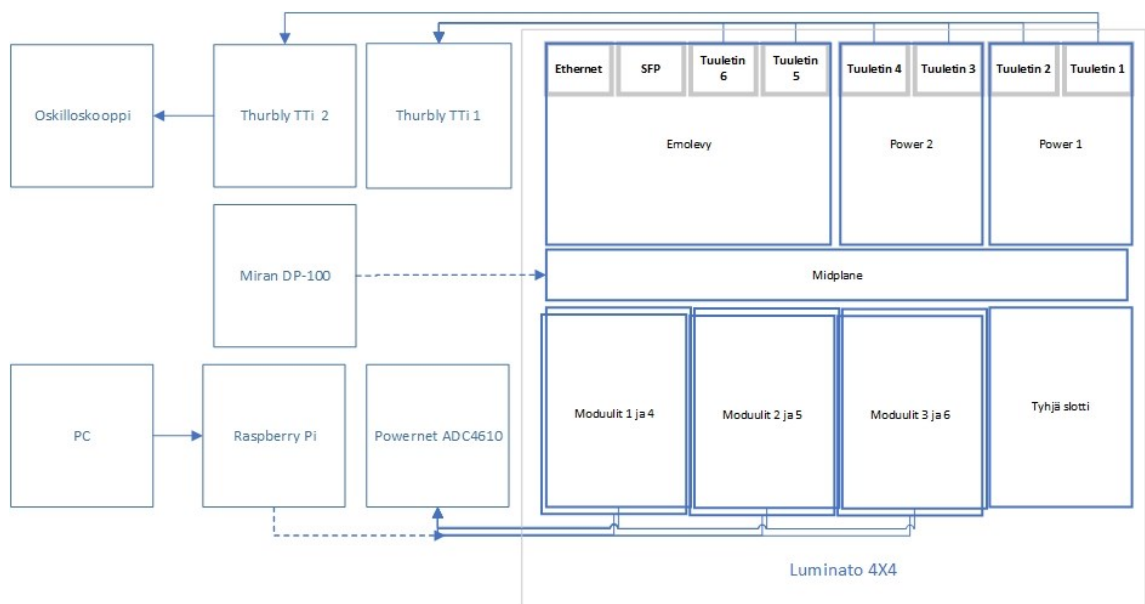
5 LAITTEISTO JA MITTAUSVÄLINEET

Oleellisena osana tätä opinnäytetyötä on selvittää, tuleeko laitteeseen suunnitella yksi tai useampi ilmanohjain. Laitteessa on useita elementtejä, joiden lämpötilaa tulee säädellä ilmavirran avulla (kuva 5). Ilmanohjaimen tarkoituksena olisi ohjata ilmavirta paremmin sellaisiin paikkoihin jotka tarvitsevat tehostettua viilennystä. Lähtökohtaisesti laitteen jokaisen kohdan tulisi viilentyä yhtä tasaisesti. Tulosten saavuttamiseksi käytössä oli useita eri mittausvälineitä (kuva 6).



Kuva 5. 3D-mallinnus laitteen tärkeistä elementeistä. Musta: tuulettimet; keltainen: verkkoliittimet; sininen: powerit; punainen: emolevy; vihreä: moduulipaikat.

Laitetta mitattiin ilman ilmanohjainta, ilmanohjaimella, takapaneelin säleikkö avonaisena ja tukittuna, sekä joka kerta edellä mainituilla kokoonpanoilla, kun laitteeseen tuli uusia kiinteitä osia.



Kuva 6. Mittalaitteiden lohkokaavio.

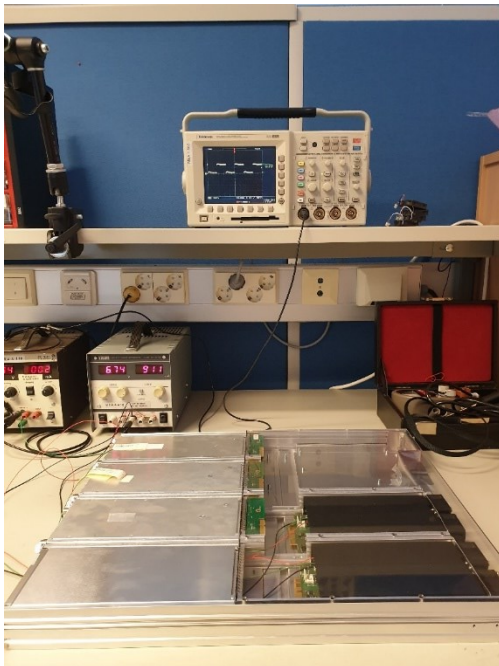
Thurbly TTI PL 330QMT virtalähteellä saatiin tuulettimet sähköistettyä. Virtalähteen digitaalinen näyttö kertoo virtapiirin reaaliaikaisen kokonaisjännitteen voltteina ja läpikulkevan sähkövirran milliampeereina. Näiden virtalähteiden jännitealue on 0 – 32 V ja virta-alue 0 – 3 A.

Powernet ADC4610 on virtalähde, jota käytettiin lämpöanturimoduuleiden sähköistämiseen. Tästä virtalähteestä saa 0 – 36 VDC ja 0 – 30 A. Moduulien yhteensä kuluttama virta oli niin suuri että TTI:n virtalähteissä ei riittänyt kapasiteetti, ja päädyimme käyttämään tätä.

Tektronix TDS3014 on oskilloskooppi, jota käytettiin tuulettimien taajuuden mittaamiseen. Tällä saatiin selvitettyä yksittäisen tuulettimen pyörimisnopeus eri jännitteen arvoilla (kuva 7).

Miran DP-100 on paine-eromittari, jolla voi mitata laitteen sisällä olevan ja ulkopuolisen paineen välisen eron kahden desimaalin tarkkuudella Pascaleissa.

Raspberry Pi 3 on pankkikortin kokoiselle piirilevyille koottu tietokone, joka toimii Linux-käyttöjärjestelmällä. Laitetta voi käyttää monenlaisiin eri käyttötarkoituksiin, mutta tässä opinnäytetyössä sitä käytettiin lämpöanturien datan siirtämiseen IIC-väylää pitkin antureista Raspberry Pi:hin ja siitä langattoman verkon kautta PC:lle.



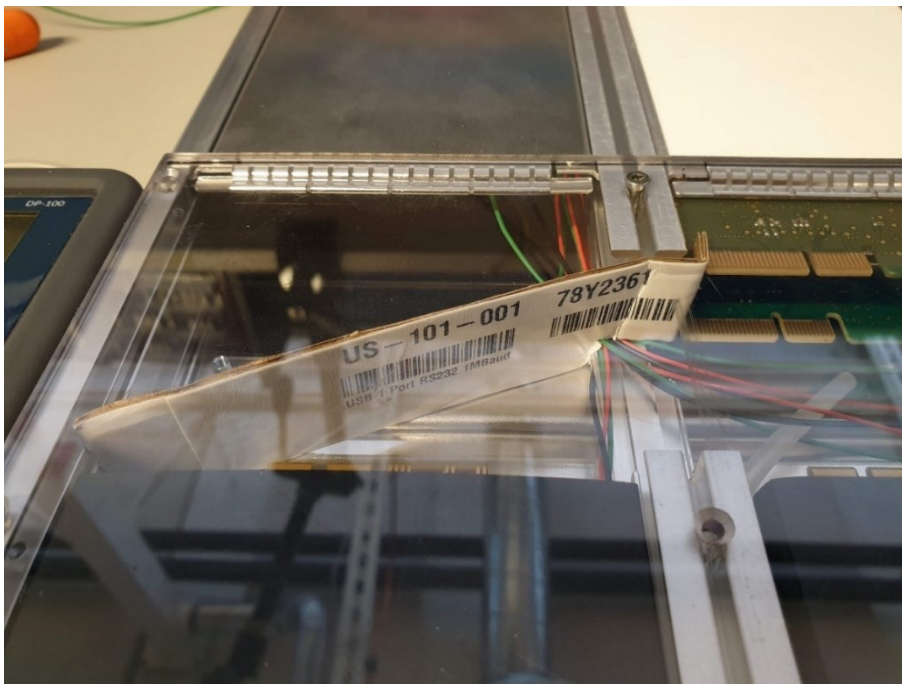
Kuva 7. Oskilloskoopin avulla voitiin laskea tuulettimen pyörimisnopeus.

6 ILMANPAINEMITTAUKSET

Ilmanpainemittauksilla pyritään saamaan jonkinlainen käsitys siitä, miten tuulettimien aiheuttamat virtaukset liikkuvat laitteen sisällä ja mitä kohtia saadaan viilennettyä tehokkaammin. Ilmanpaine ei ole suoraan verrannollinen virtauksien voimakkuuksiin, mutta sen perusteella tiedämme, miten virtaukset liikkuvat laitteessa ja vaikuttaako ilmanohjain (kuva 8) niihin merkittävästi. Tavoitteena oli saada jotakin tuloksia, joiden pohjalta voidaan edetä seuraaviin mittauksiin, lisäksi tulokset antavat viitteitä siitä millaisia tuloksia voidaan jatkossa odottaa.

Mittalaitteena käytettiin Miran DP-100 -ilmanpainemittaria. Vertauksen vuoksi ensimmäisissä testimittauksissa käytettiin myös toista ilmanpainemittaria, Wöhler DM10, mutta tämän käyttöä ei jatkettu, koska Miran DP-100 antaa tarkempia tuloksia.

Mittaukset suoritettiin niin, että mittalaitteesta tuleva letku pujotettiin Luminato 4X4:n sisään sellaisiin pisteisiin, jotka ovat virtausten kannalta keskeisiä (kuva 9).



Kuva 8. Pahvista muotoillun ilmanohjaimen ensimmäinen prototyyppi pleksisen kannen läpi kuvattuna.

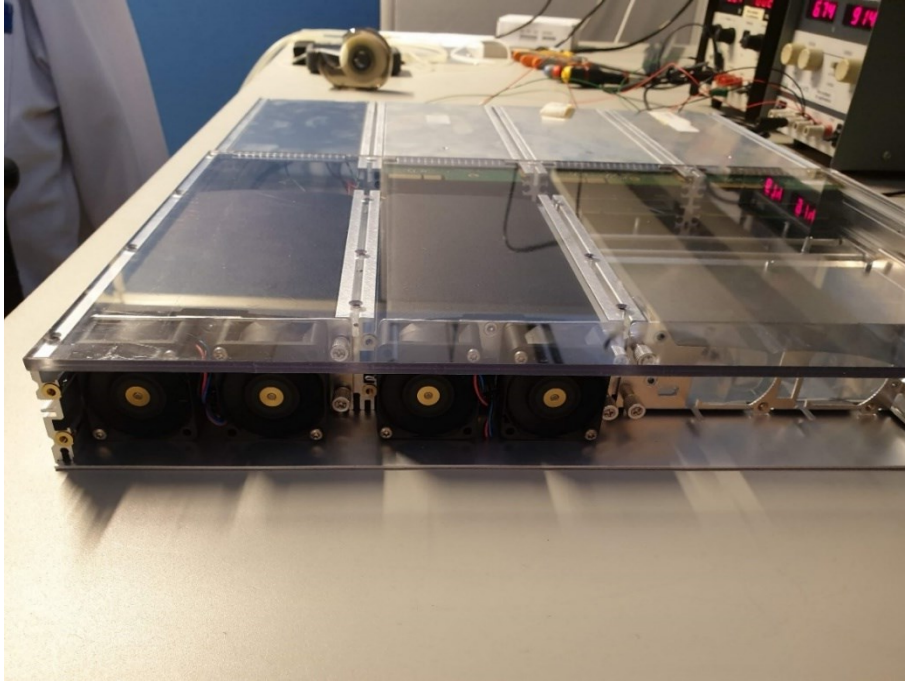
6.1 Mittausjärjestelyt

Mittaaminen suoritettiin niin, että tuulettimien jännitettä nostettiin 0,5 V, välillä 3,5 V – 12 V ja ilmanpaine kirjattiin muistiin joka välissä. Tämä toistettiin jokaisessa mittapisteessä, joka kerta kun laitteeseen tuli uusia elementtejä.



Kuva 9. Ilmanpainemittauksissa käytetyt mittauspisteet punaisella numeroituna.

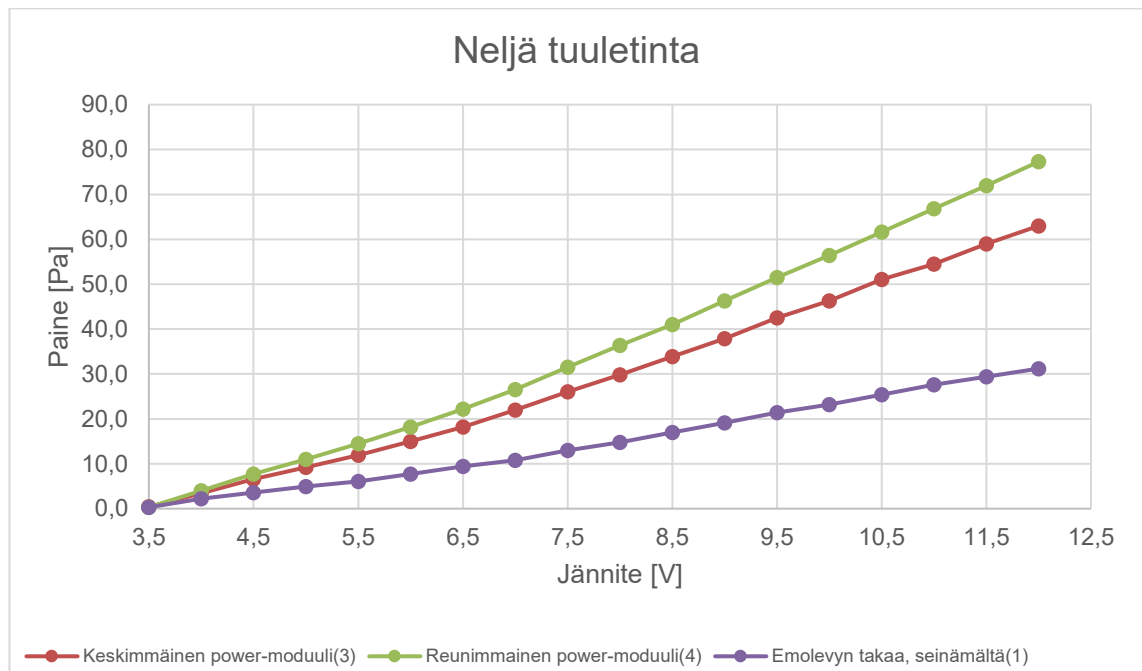
Koska laite on vielä kehitysvaiheessa, eivätkä kaikki moduulit olleet vielä valmiita, aloitettiin mittaukset neljällä tuulettimella (kuva 9). Määrä nostettiin kuuteen tuulettimeen, kun emolevyn ensimmäinen versio, johon kaksi muuta tuuletinta kiinnitetään, saatiin valmiiksi. Tämä mahdollisti laajemman tutkimisen sen suhteen, miten suuri merkitys näillä kahdella emolevyn tuulettimella on laitteen viilennyksen kannalta.



Kuva 10. Power-moduulien tuulettimet kiinnitettynä ilman etusäleikköä. Neljän tuulettimen mittaukset suoritettiin tällaisella kokoonpanolla.

6.2 Tulokset neljällä tuulettimella

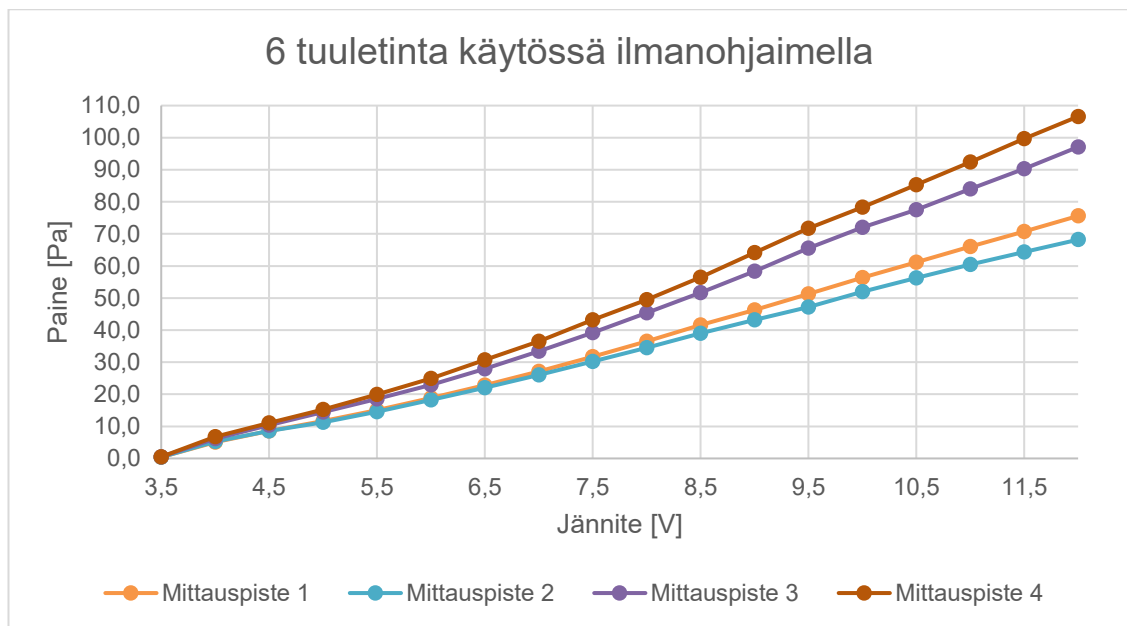
Ilmanpainemittausten mittauspisteiksi valittiin kohtia, jotka voivat kertoa ilmavirtojen jakautumisesta moduulien välillä. Kuvassa 10 nähdään, että laitteen sisällä ei ole vielä tässä vaiheessa kovin montaa osaa. Laitteeseen on liitetty kaksi power-moduulia, joissa kummassakin on kaksi tuuletinta. Myöhemmin laitteeseen kiinnitettiin keskiväliin midplane, joka yhdistää power-moduulit ja emolevyn muihin takaosassa oleviin moduuleihin. Mittauspiste 2:n tulokset olivat niin lähellä mittauspiste 3:a, että oli tarpeetonta piirtää niitä kaavioon kuvassa 11. Tämä mittaus tehtiin lähinnä vain siksi, että saatiin hieman kartoitettua millaisia tuloksia saamme, ja että on jotakin vertailupohjaa jatkossa. Tuulettimia ei oltu aiemmin testattu lainkaan laitteen rungossa, niinpä tämä toimi eräänlaisena koeajona tuulettimille.



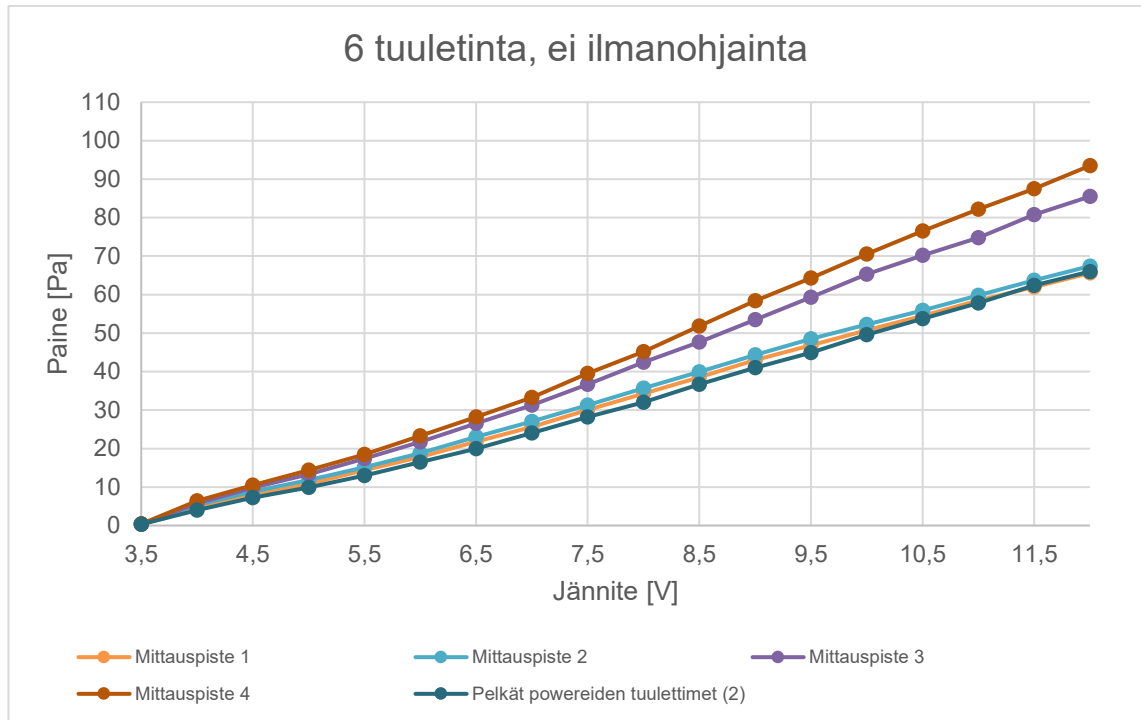
Kuva 9. Ilmanpainemittauksen tuloksia kun runkoon on kiinnitetty midplane ja 4 tuuletinta.

6.3 Tulokset kuudella tuulettimella

Ensimmäiset testitulokset osoittivat, että laitteen tyhjä moduulipaikka on ilmavirran hyödyntämisen hukkaamista ja se laskee ilmanpainetta merkittävästi mittapisteissä (kuvat 12 ja 13). Tästä voidaan päätellä, että ainakin takapaneeli tulee suunnitella umpinaiseksi tästä kohdasta, jotta ilmavirta ei ohjaudu sinne vaan kohti moduuleita joissa viilennystä tarvitaan (kuvat 14).



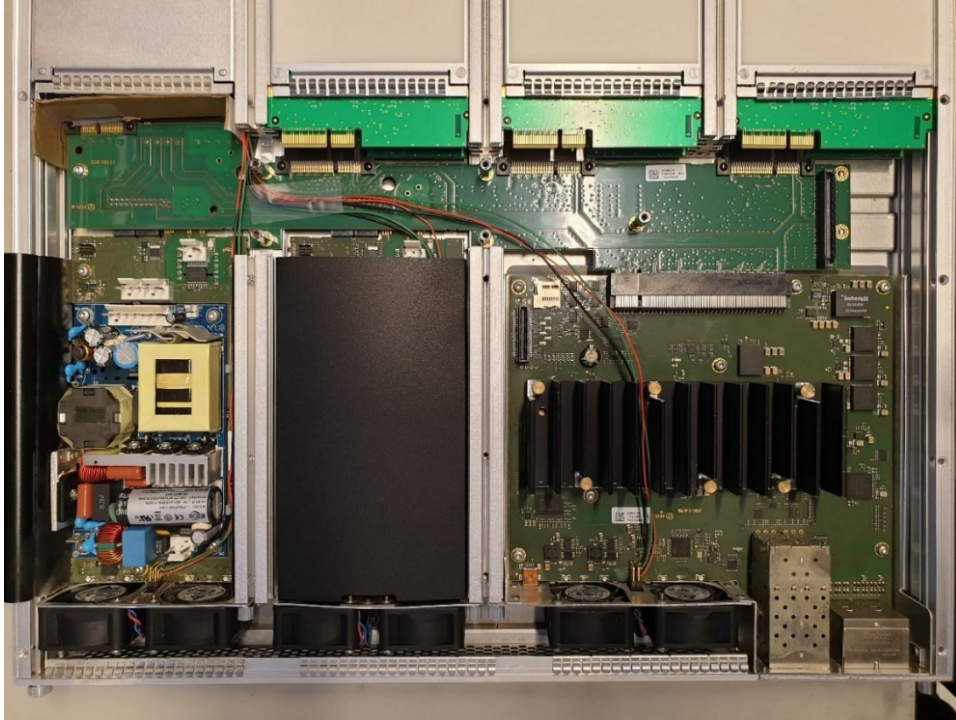
Kuva 10. Ilmanpaine jännitteen suhteen, kun käytössä on 6 tuuletinta ja laitteeseen on asennettu ilmanohjain.



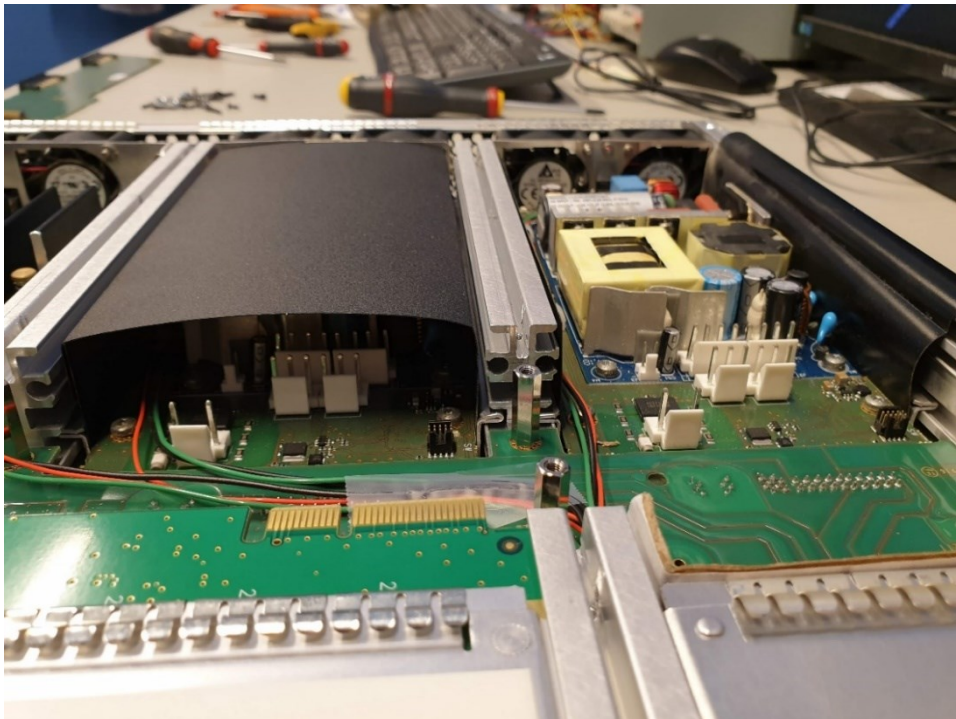
Kuva 11. Ilmanohjaimen hyödyt on huomattavissa mittapisteissä 3 ja 4. Emolevyn tuulettimet eivät juuri vaikuta mittapisteeseen 2.



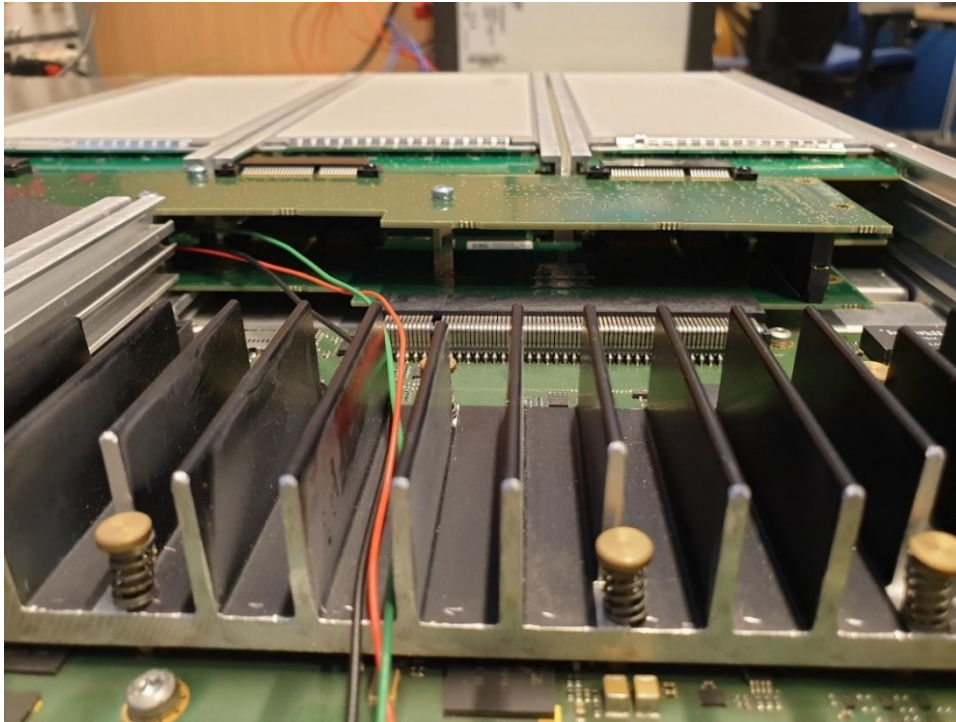
Kuva 12. Ilmanohjainta muokattiin sopivamman muotoiseksi kun laitteeseen tuli lisää osia ja moduuleita.



Kuva 13. Vasemmalla power-moduulit 2 kpl, joista toisen suojamuovi avattu. Oikealla emolevy.



Kuva 14. Suojamuovilla power-moduuleiden komponentit saadaan suojattua ja luotua tunnelimainen reitti tuulettimien ilmavirrälle.

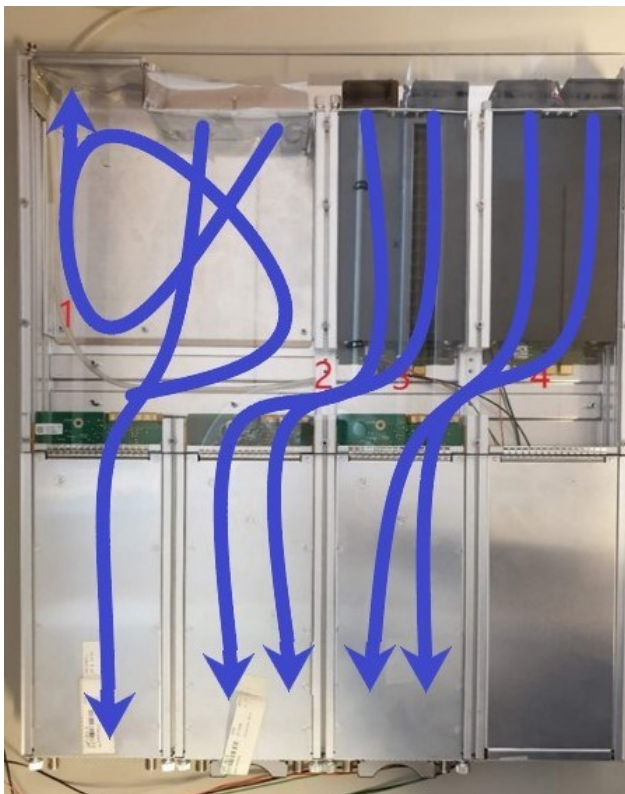


Kuva 15. Etualalla emolevyn jäähdytysritilikkö, keskellä kaksikerroksinen midplane ja takana slotit, joissa lämpöanturimoduulit ovat kiinnitettyinä.

7 SAVUTESTIT TEKNISILLÄ SAVUILLA

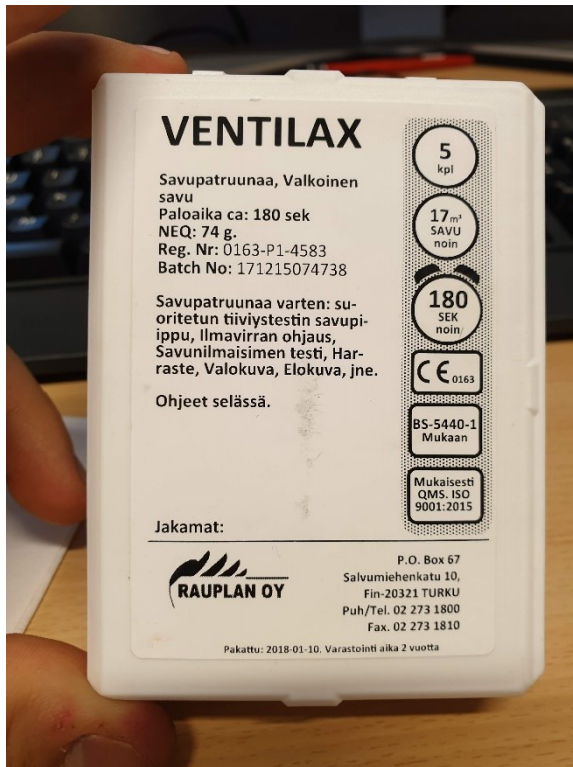
7.1 Mittausjärjestelyt

Laitteeseen asennettiin savutestien ajaksi läpinäkyvä pleksinen kansi alkuperäisen alumiinisen tilalle. Tämä mahdollisti savuisten ilmavirtojen tarkkailun. Testit videoitiin, jotta niitä voi näyttää myös suuremmalle yleisölle sekä tulkita myöhemminkin. Savutestit suoritettiin vetokaapissa niin, ettei savu jää pyörimään huoneeseen läpäistyään laitteen. Savupatruunaa pidettiin laitteen etupaneelilla, jossa tuulettimet sijaitsevat. Patruunan savu on sankkaa ja tiivistä, joten se oli helppo ohjata yksittäisen tuulettimen kohdalle. Näin oli helppo seurata, millaisen ilmavirran kukin tuuletin aiheuttaa ja miten se kulkee laitteen sisällä viilentäen eri kohtia (kuva 18).



Kuva 16. Haivainnekuva ilmavirroista.

Mittaamiseen käytettiin savupatruunoita, jotka sytytetään palamaan ja näin ne tuottavat 3 min ajan sankkaa valkoista savua. Valitsimme käytettäväksemme Ventilax savupatruunat, jotka savuttavat n. 17 m³ / patruuna (kuva 19).



Kuva 17. Savupatruunapakkaus.

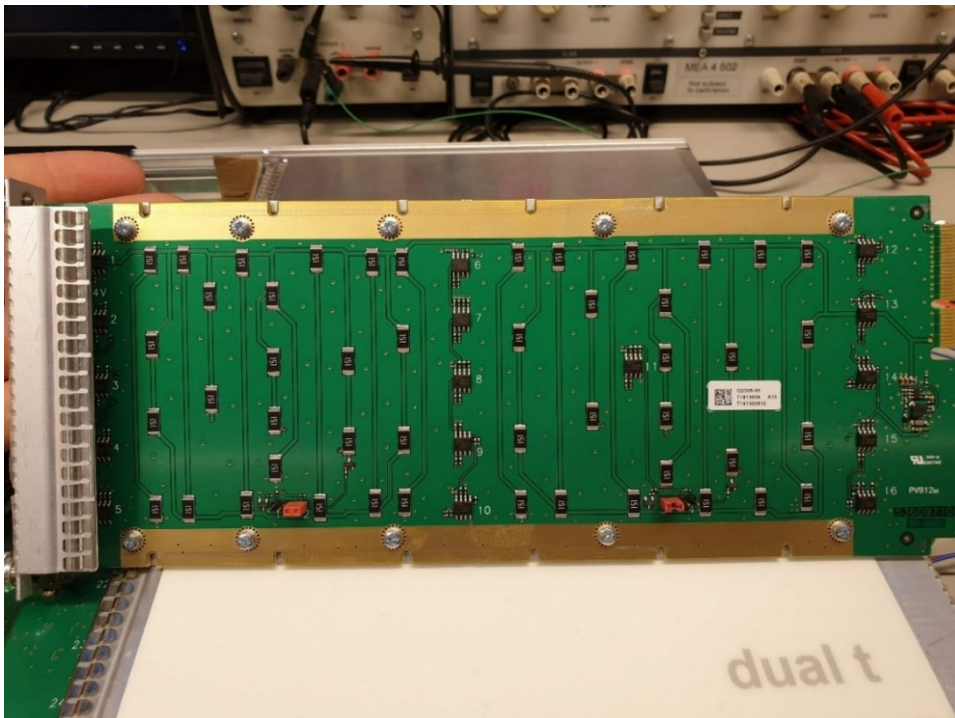
7.2 Tulokset

Testit osoittivat, että laitteen suunnittelu on onnistunut ja ilmavirtoja tarkkaillessa vaikuttaa siltä, että kaikki viilennystä tarvitsevat komponentit viilenevät riittävästi. Lisäksi savutestit paljastivat laitteen sisälle muodostuvia pyörteitä, jotka tehostavat viilennystä paikoin. Ne ovat myös osittain keskittyneet kuumana käyvien komponenttien lähelle. Esimerkkinä paljon lämpöä tuottava 10 Gbit SFP-moduuli, joka sijaitsee laitteen etupaneelissa. Ennen mittauksia oli epäselvää, viileneekö moduulin runko riittävästi. Sen ympärille kuitenkin muodostuu pyörre ja ilmaa pääsee virtaamaan liittimen saumoista niin, että moduuli viilenee erinomaisesti. Tätä tietoa emme olisi saaneet ilman savutestejä.

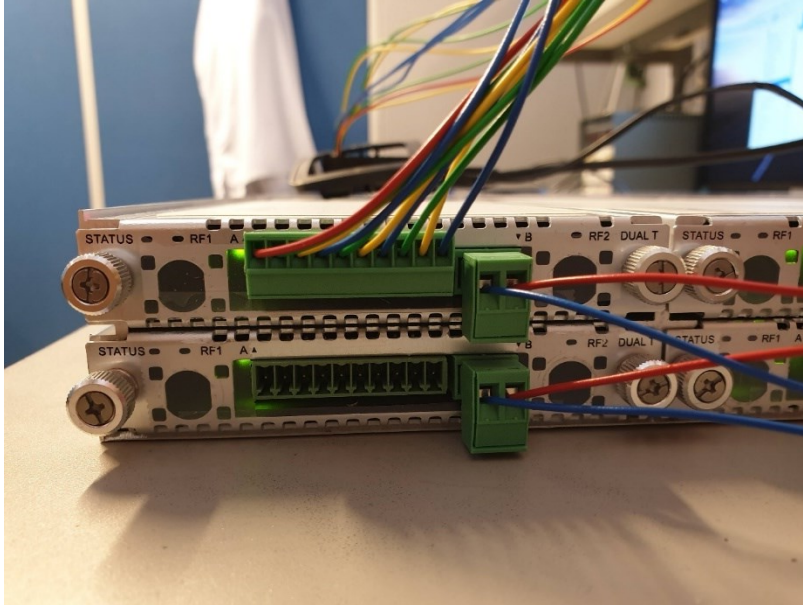
8 LÄMPÖANTURIMODUULIT MITTAUSVÄLINEINÄ

8.1 Lämpöanturimoduulit

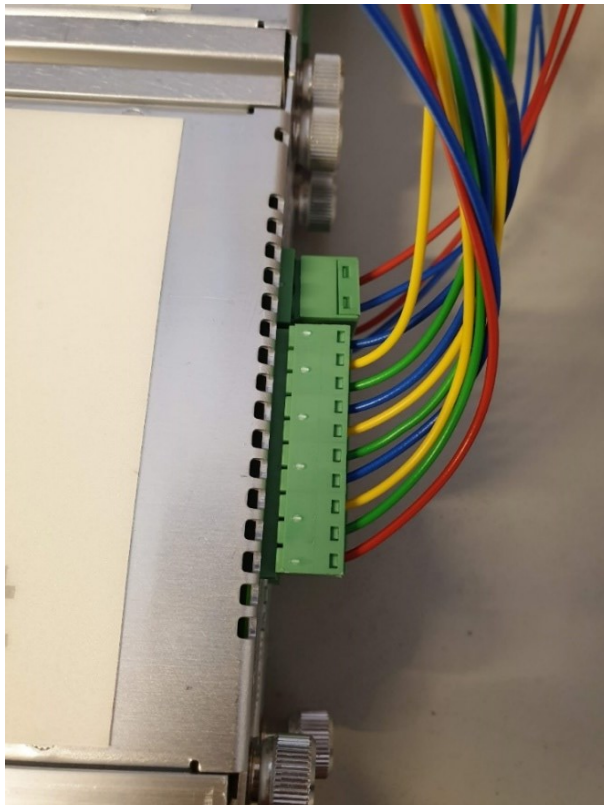
Tuulettimien suorituskyvyn mittaamiseksi, suunnittelimme projektiryhmän kanssa moduulin (Q2058-00), jolla saadaan mitattua kunkin moduulipaikan (ts. slotin) lämpenemistä. Moduulin piirilevyille ladottiin lämpöantureita ja tehovastuksia (kuva 20). Tehovastuksista voi kytkeä osan päälle ja osan pois. Lämpöanturit ovat piirilevyllä viiden riveissä, kolmessa eri kohdassa, kummassakin reunassa sekä keskiosassa. Lisäksi anturi 11 on sijoitettu yksin keskelle (kuva 26). Tehovastusten ollessa kytkettynä moduuli saadaan lämpenemään samansuuruisella teholla kuin Luminatoon suunniteltu kaupallinen moduuli. Lämpöanturit on kytketty IIC-väylään ja moduulin takaosaan on lisätty liitin, jota pitkin data saadaan siirrettyä Raspberry Pi:lle (kuvat 21 ja 22). Raspberry Pi:llä data saadaan sellaiseen muotoon että sitä voi käsitellä PC:llä esimerkiksi Microsoft Excelissä. Tämän datan pohjalta voi piirtää lämpökartan jokaisesta moduulista lämpötilan muutoksen tasaannuttua.



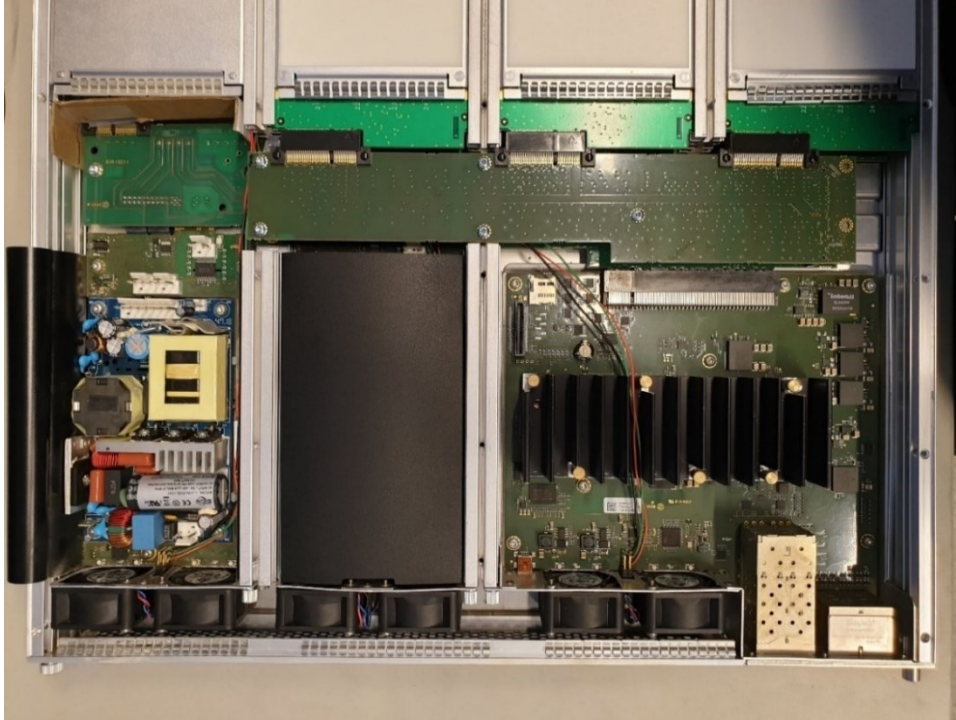
Kuva 18. Kaksi punaista komponenttia levyn alareunassa ovat ns. hyppykytkimiä joilla voi kytkeä osan vastuksista pois päältä.



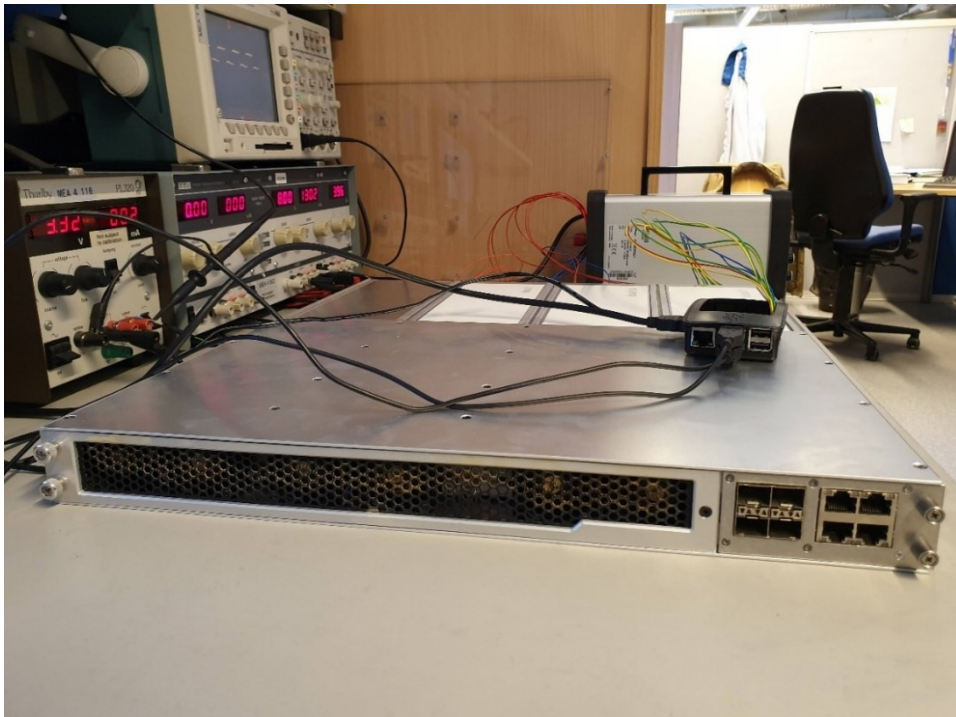
Kuva 20. Lämpöanturimoduulien takaosa, kun Raspberry Pi on kytketty I2C-väylään kiinni. Leveä liitin on I2C-väylää varten ja pienempi moduulin sähköjä varten.



Kuva 19. Moduulin liittimet yläpuolelta kuvattuna.



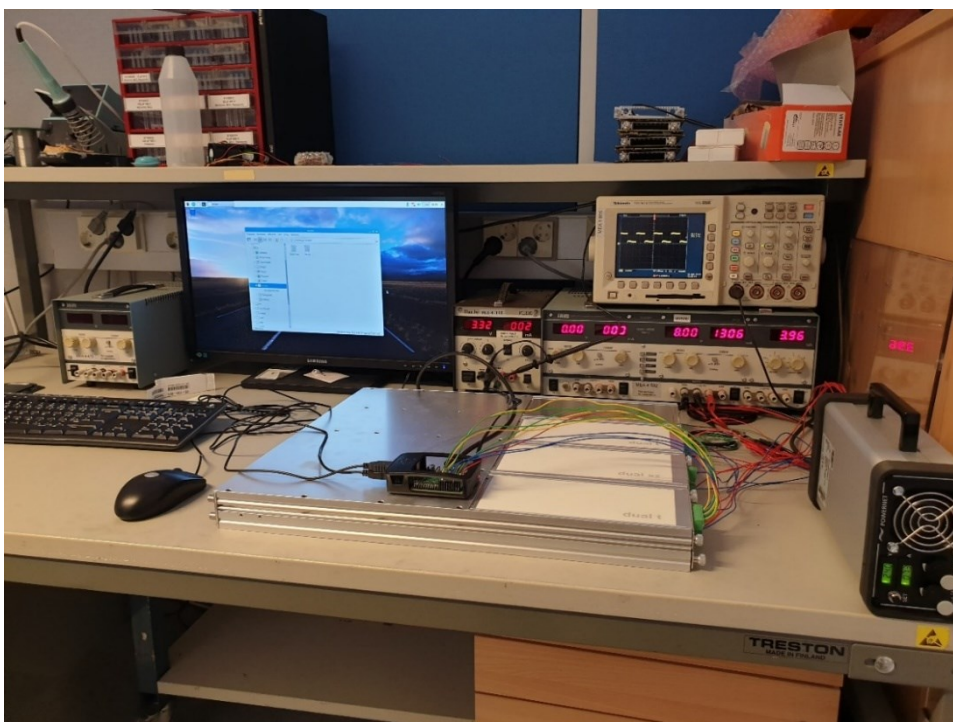
Kuva 21. Tässä näkyy myös midplanen yläosa, joka kytkee emolevyn ylempiin slotteihin (vrt. kuva 15).



Kuva 22. Luminato 4X4 ja Raspberry Pi sen päällä.

8.2 Mittausjärjestelyt lämpöanturimoduuleilla

Mittaus tehdään niin, että Luminaton jokaiseen slottiin kiinnitetään yksi Q2058-00-moduuli. Jokaisessa on sama lämpökuorma eli sama tehovastuskytkentä. Luminaton tuulettimiin kytketään sähkö ja jännitelähteestä säädetään haluttu jännite. Olen mitannut ja tehnyt taulukon tuulettimien pyörimisnopeuksista eri jännitteillä. Jännitteen perusteella voidaan laskea tuulettimien pyörimisnopeus. Kun tuulettimet ovat olleet päällä muutama minuutti, kytketään lämpöanturi-moduuleihin sähköt ja annetaan niiden lämmitä. Noin 15 min kuluttua lämpötilat moduuleissa ovat stabiloituneet ja mittauksia voidaan ottaa talteen. Kunkin slotin lämpötilat taulukoidaan halutuilla jännitteillä aina kun laitteen runkoon tulee uusia osia tai muutoksia. Näin voidaan seurata, mitä ominaisuuksia uudet osat tuovat mukanaan. Kaikenkaikkiaan mittauksia tehtiin useita kymmeniä ja joka kerralla mitattiin kaikkien slottien lämpötilat.

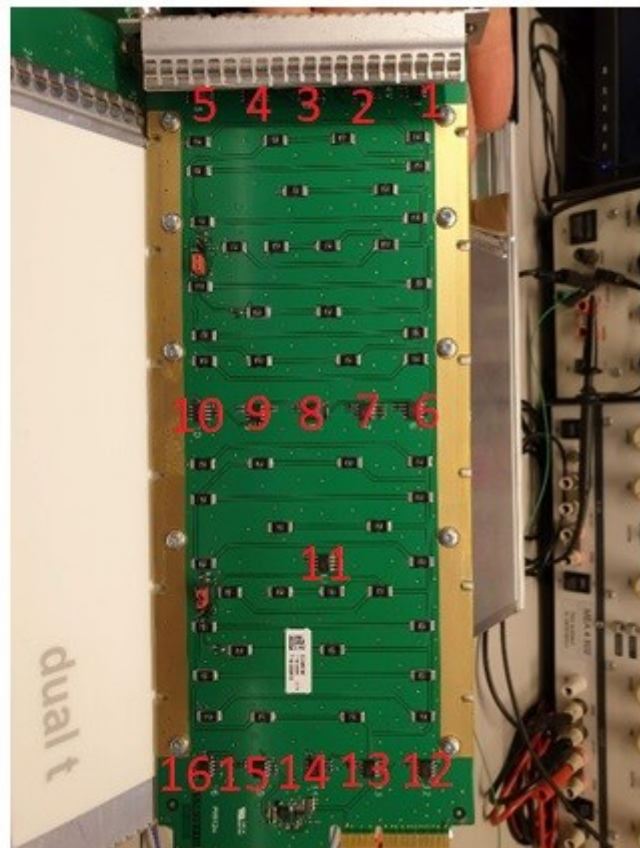


Kuva 23. Mittauspiste kokonaisuudessaan.

8.3 Tulokset

Lämpökartta on hyvä tapa havainnollistaa slottien lämpötilaa. Lämpökartassa kukin slotti on kuvattu yksiulotteisesti vaakatasossa, todellisuudessa ne ovat kuitenkin kolme rinnakkain, kahdessa kerroksessa. Lämpökartassa on käytetty värejä indikoimaan lämpötilaa. Slotin etuosassa on yleisesti viileämpää ja se näkyy lämpökartoissa vihreänä (kuva 26). Tämä johtuu siitä, että ensimmäinen rivi lämpöantureita on sijoitettu moduuliin ennen ensimmäistäkään lämpökuormaa. Anturista 11 kohti takaosaa, eli antureita 1-10, lämpökuorman vaikutus on selkeästi havaittavissa. Keskikohdassa lämpökuorma on suurimmillaan ja takaosassa se on jo tasoittunut matalammaksi viilenemän ja ilmanpoistaukkojen johdosta. Anturin 11 antamaa arvoa ei käytetty viivadiagrammeissa.

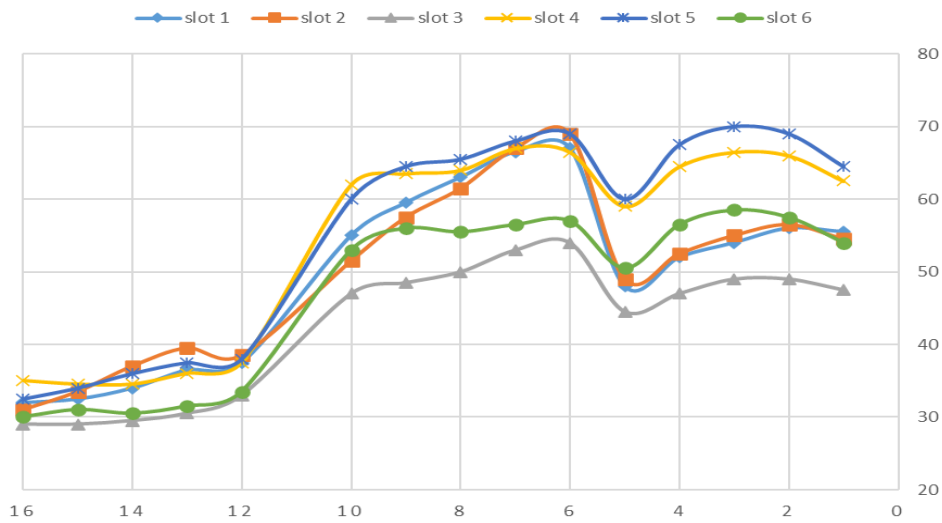
1	2	3	4	5
slot 1				
55	56	55	52	52
6	7	8	9	10
62	61	57	54	52
		11		
		60		
35	32	32	33	34
12	13	14	15	16



Kuva 24. Antureiden numerointi ja sijainnit lämpökartalla sekä moduulissa.

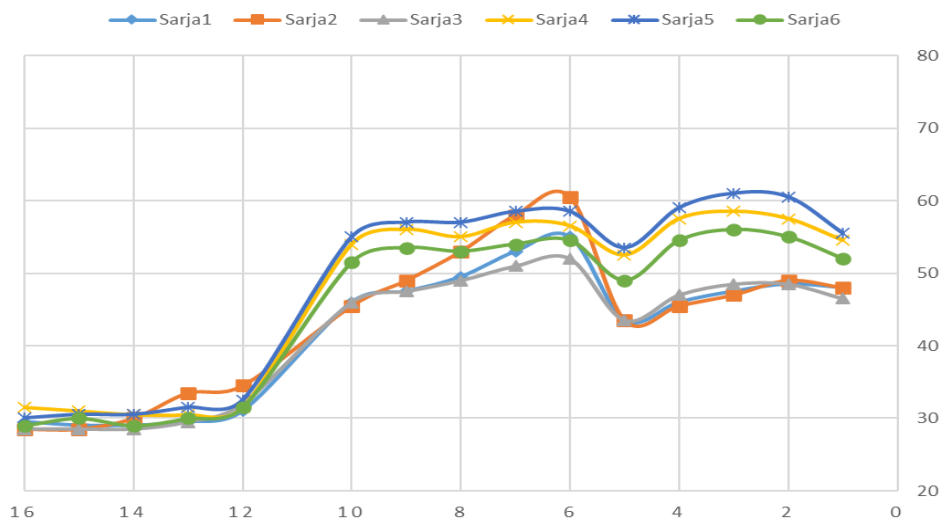
Lämpökartan lisäksi jokaisesta mittauksesta on piirretty kaavio, josta voi nähdä slottien lämpötilan muutoksen antureittain. Kuvissa 27 ja 28 kunkin slotin lämpökäyrä on piirretty omalla värillään omaan sarjaansa. Kukaan mittauspiste vastaa yhden anturin antamaa lämpötilan arvoa. Käyrän nousuista ja laskuista on erotettavissa moduulin kolme antuririviä. Kaaviosta on poistettu anturin 11 antama arvo vääristymän välttämiseksi.

30W PER MODUULI, 8V OHJAUSJÄNNITE, MIDPLANE V1



Kuva 25. Ensimmäisen mittauksen lämpökäyrät. Ei ilmanohjainta.

30W PER MODUULI, 8V OHJAUSJÄNNITE, MIDPLANE V1, ILMANOHJAIN



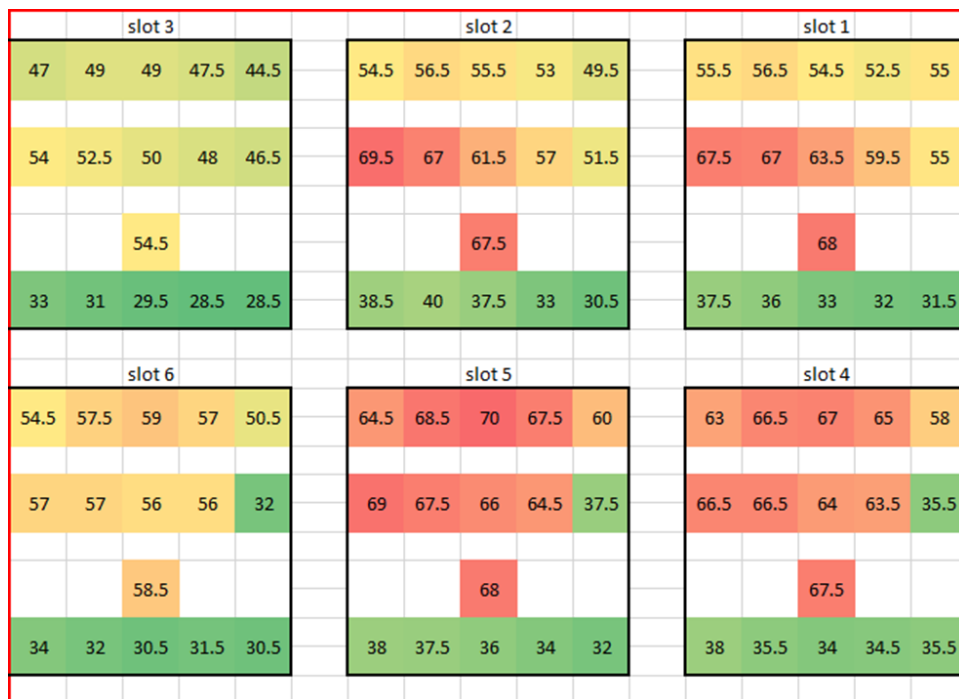
Kuva 26. Ensimmäisen mittauksen lämpökäyrät, ilmanohjaimella.

8.3.1 Ensimmäiset mittaukset lämpöanturimoduulilla

Ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää saavutetaanko ilmaohjaimella jotakin hyötyä. Ensimmäinen mittaus antaa referenssiarvon, jota verrataan seuraavien testien tuloksiin. Lisäksi mittaus antaa näkemyksen siitä miten lämpökuorma todellisuudessa jakautuu.

Mittausasetelmat

- Ei ilmanohjainta vs. ilmanohjain asennettuna
- 8 V ohjausjännite tuulettimille
- 30 W lämpökuorma / slot.



Kuva 27. Ensimmäisen mittauksen lämpökartta, ei ilmanohjainta.

Kunkin slotin ns. etuosa näkyy kuvassa 29 vihreänä. Mittaustuloksista voi todeta, että slotit 5 ja 6 käyvät kaikkein kuumimpina, tähän on useita mahdollisia syitä. Slotit 3 ja 6 saavat kaikkein tehokkaimman tuuletuksen sillä tuulettimet 3 ja 4 puhaltavat suoraan näihin slotteihin. Slot 5 lämpenee luonnollisesti eniten, sillä se ei pääse niin vapaasti viilenemään konvektion avulla kuin muut slotit, sen ollessa keskimmäisenä ja alimmaisena. Ennen ilmanohjaimen kokeilemistä, saattoi jo päätellä, että siitä on jotakin hyötyä slotteille, sillä se peittää yhden ”tyhjän slotin” jonka kautta ilmapirta kulkee takapaneelin

kautta ulos viilentäen ainoastaan hieman slottien 3 ja 6 toista kylkeä. Seuraavissa mittauksissa kokeiltiin, onko ilmanohjaimesta hyötyä jos tyhjän slotin takapaneelin ritilikön teippaa umpeen.

Kuvan 30 lämpökartasta voi nähdä ilmanohjaimen tuomat hyödyt. Etenkin sloteissa 4 ja 5 tiettyjen lämpöantureiden arvot ovat jopa yli 10 celsiusastetta pienempiä. Jokaisen anturin arvo on pienempi ilmanohjaimen ansiosta. Lämpökarttakuvista voi nyt arvioida millaisen lämpötilan laite saavuttaa kun siihen asennetaan tietyn tehoisia moduuleita. Lisäksi lämpökartasta voidaan arvioida millaisia ilmavirtoja laitteen komponentit aiheuttavat laitteen sisälle.



Kuva 28. Ensimmäisen mittauksen lämpökartta, ilmanohjaimella.

Esimerkiksi sloteissa 4, 5 ja 6 näkyy anturi 10, joka on yli 20 celsiusastetta viileämpi kuin muut saman rivin anturit. Laitetta ja ilmavirtojen mahdollisia kulkureittejä tutkittaessa käy ilmi että tämä johtuu todennäköisesti moduulin ja midplanen välisestä liittimestä. Liitin supistaa moduulille johtavaa aukkoa niin, että tämä kyseinen anturi numero 10 saa tehokkaamman viilennyksen kuin muut saman rivin anturit. Slottiin kuitenkin todennäköisesti muodostuu jonkinlainen pyörre, sillä viimeisessä rivissä lämpötilaerot ovat jo tasoituneet alle 10 celsiusasteeseen.

8.3.2 Toiset mittaukset lämpöanturimoduulilla

Ensimmäisten mittausten jälkeen laitteeseen suunniteltiin uusi midplane. Uudessa midplanessa avarrettiin midplanen ja moduulien välisiä aukkoja. Näin mahdollistettiin ilmavirtojen kulku alempiin slotteihin paremmin. Selvitimme myös, onko tyhjän slotin takapaneelin teippauksesta jotakin hyötyä, ja voisiko sillä mahdollisesti korvata ilmanohjaimen (kuva 31). Lisäksi Luminato 4X4 eristettiin niin että yläslottien lämpö ei pääse säteilemään vapaasti ylöspäin. Tämä tehtiin siksi että mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia tositilanteen kanssa, jossa Luminatoja saattaa olla teknisen tilan kaapissa useampia ja kaapin lämpötila pysyy jatkuvasti 40 celsiusasteen yläpuolella.

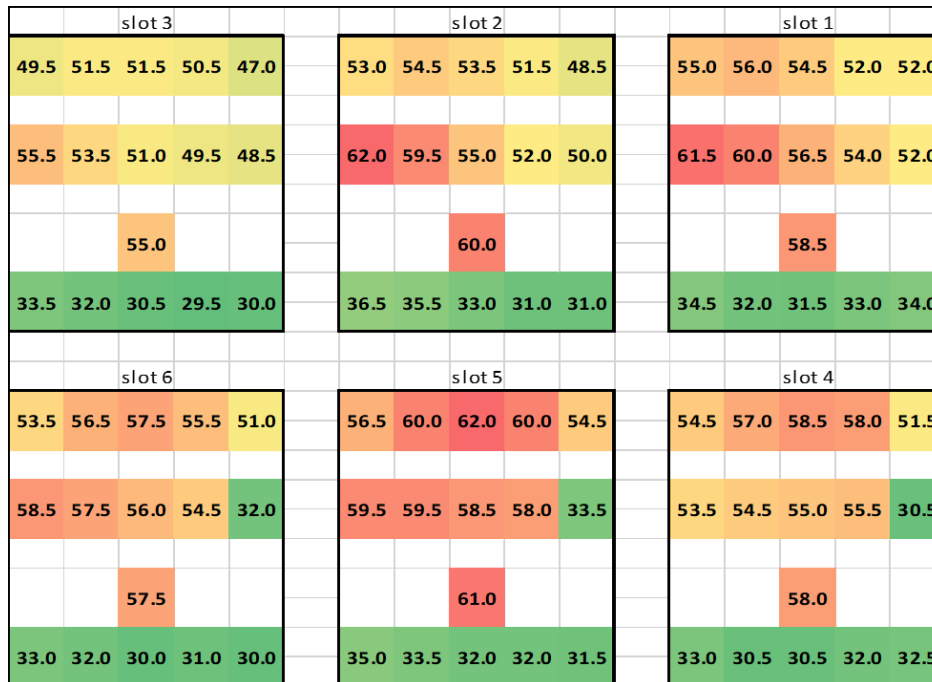
Mittausasetelmat

- Ei ilmanohjainta vs. ilmanohjain asennettuna
- 8 V ohjausjännite tuulettimille
- 30 W lämpökuorma / slot
- Uusi midplane, jossa avarretut aukot ilmavirtoja varten
- Umpinainen tyhjän slotin takapaneeli



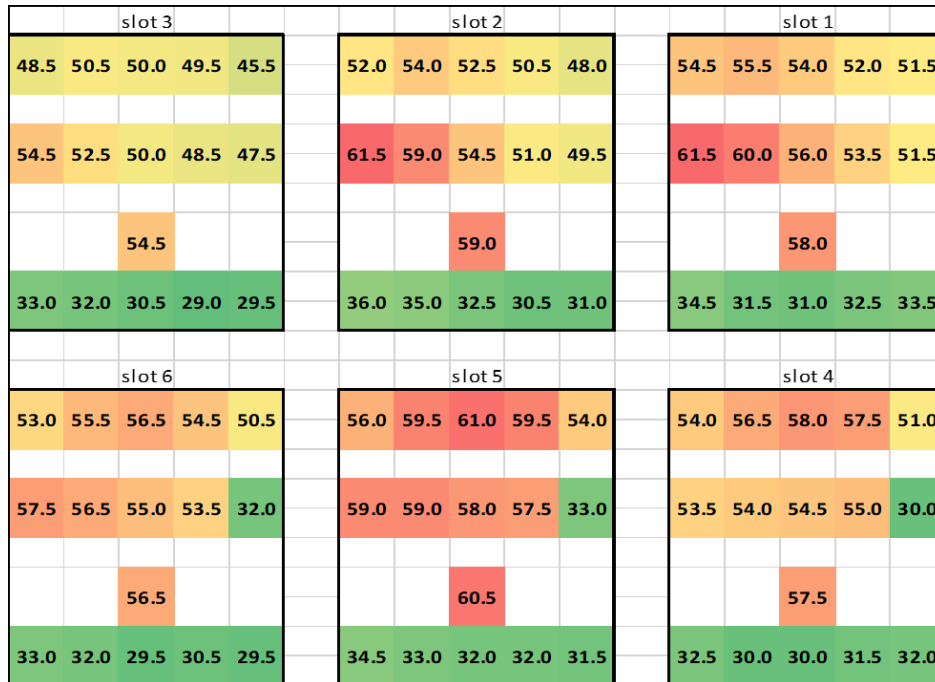
Kuva 29. Oikealla umpeen teipattu tyhjän slotin takapaneeli.

Eristämisen johdosta laitteen lämpötilat ovat hieman nousseet, etenkin yläsloteissa (kuva 32). Tämä ei kuitenkaan ole välttämättä huono asia, vaan kertoo siitä että nyt laite lämpenee ja viilenee tasaisemmin. Lämpötilat ovat edelleen kohtuullisella tasolla. Muutamien antureiden arvot ovat vielä hieman korkealla. Tällaisten ”kuumien pisteiden” paikallistaminen on eduksi, sillä se helpottaa jatkossa laitesuunnittelijoiden työtä. Tämän perusteella voidaan sijoittaa eniten lämpenevät komponentit piirilevyllä sellaisiin kohtiin jotka viilenevät paremmin.



Kuva 30. Toisen mittauksen lämpökartta, ei ilmanohjainta.

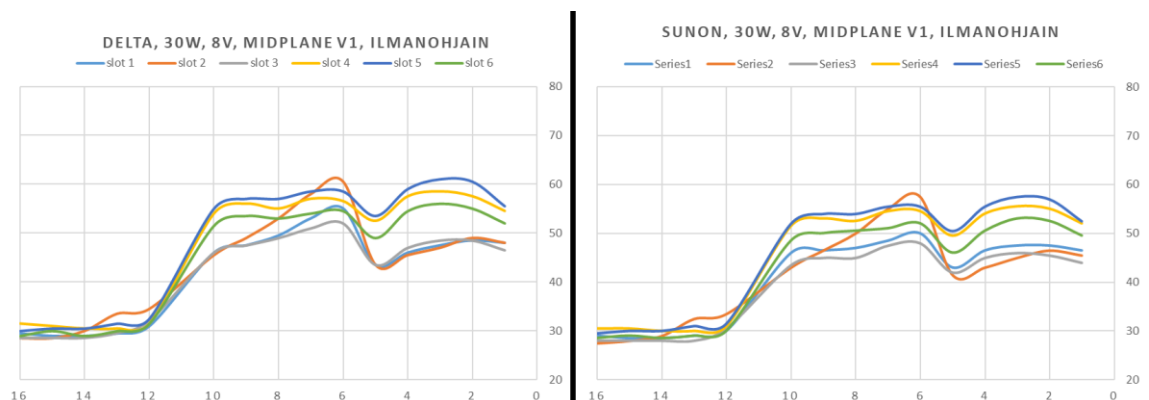
Toisen mittauksen perusteella ilmanohjaimen merkitys on melko pieni (kuva 33). Tämä johtuu todennäköisesti tyhjän slotin takapaneelin sulkemisesta. Lämpökartan perusteella ilmanohjaimella saavutettava hyöty on noin 1 celsiusaste.



Kuva 31. Toisen mittauksen lämpökartta, ilmanohjaimella.

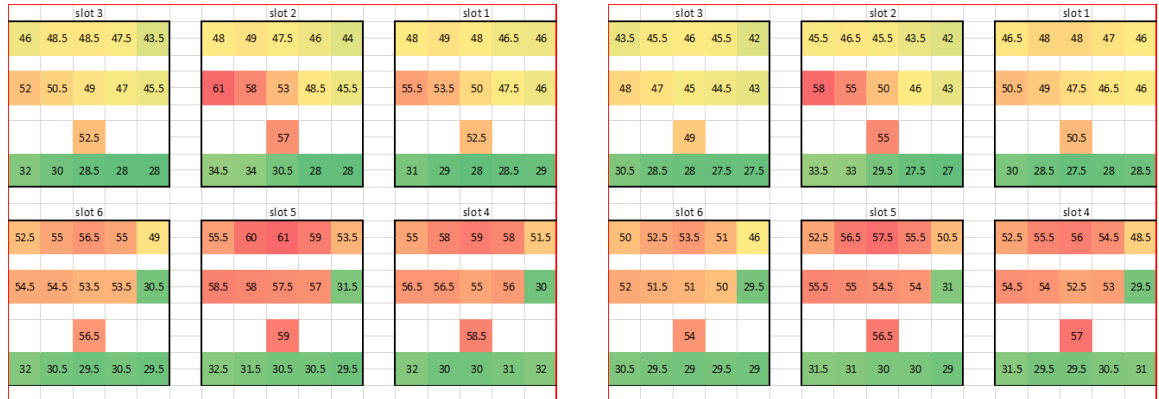
8.4 Tuuletinvalmistajien välinen vertailu

Työssä testattiin myös kuinka suuri ero on kahden eri tuuletinvalmistajan välillä, kun kyseessä on mittasuhteiden mukaan saman kokoluokan tuulettimet (kuva 34). Tämä tehtiin siitä syystä, että mikäli tuotanto joskus kohtaisi toimitusvaikeuksia, esimerkiksi alkupe- räisen tuuletinvalmistajan kanssa, voitaisiin tilata toiselta valmistajalta tuulettimia tietäen niiden toiminta ja luotettavuus.



Kuva 32. Tuuletinvertailun lämpökäyrät.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että lämpökäyrät ovat lähes toisiaan vastaavat. Paikoin Sunonin valmistama vaihtoehtoinen tuuletin viilentää laitetta jopa 5 celsiusastetta paremmin kuin alkuperäinen Deltan valmistama tuuletin (kuva 35).



Kuva 33. Tuuletinvertailun lämpökartat.

9 LOPPUTULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Mittauksien perusteella voidaan todeta, että midplanessa olevat liittimet, joihin yhdistetään alemmissa sloteissa sijaitsevat moduulit, heikentävät merkittävästi moduulille kulkevaa ilmavirtaa. Tämä aiheuttaa alempiin slotteihin, erityisesti slottiin 2, pyörteen, joka jättää mittausmoduulin anturille 6 kuuman pisteen. Sama pyörre aiheuttaa myös viileämmän pisteen anturin 10 kohdalle, sillä sen kohdalla ilmavirta on verrattain tehokkaampaa kuin muualla. Nämä tulokset on saavutettu ainoastaan mittausmoduuleilla, eikä vastaavanlaisia kuumia tai viileitä pisteitä välttämättä ilmene tuotannon moduuleille.

Ylä- ja alapuolen slottien lämpötilaero vaihtelee 0,5 – 9 celsiusasteen välillä. Tämä johtuu pääasiassa midplanen liittimien suuresta koosta.

Kun mittausmoduulien lämpökuorma on noin 34 W moduulia kohti ja tuulettimet pyörivät täydellä teholla, yhdenkään anturin tai moduulin lämpötila ei nouse yli 70 °C:seen huoneenlämmössä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että ilmanpainemittauksilla saatiin selville ilmavirtojen käyttäytyminen laitteen kehityksen alkuvaiheessa, savumittauksilla saatiin syvempää ja laajempaa ymmärrystä ilmavirroista, ja lämpöanturimoduuleilla saatiin konkretisoitua laitteen toiminta käytännössä ja pystyttiin tekemään lopulliset päätökset suunnittelun suhteen.

Tärkeimpänä päätelmänä voidaan pitää sitä, että suuria rakenteellisia muutoksia laitteeseen ei tarvinnut tehdä. Esimerkiksi vahvasti harkinnassa ollut ilmanohjain osoittautui tarpeettomaksi, kun laitteen takapaneeli tehtiin umpinaiseksi ja ilma ohjattiin ulos laitteesta ainoastaan sloteissa olevien moduulien kautta.

LÄHTEET

[1] M. Kähkönen 2016, *Laitesuunnittelu 2007: Elektronisen laitteen lämpösuunnittelu* [viitattu 17.11.2020] (sähköinen). Saatavilla: <https://docplayer.fi/15961555-Elektronisen-laitteen-lamposuunnittelu.html>,

[2] <https://www.dhgate.com/product/original-for-delta-tha0412ad-40mm-4cm-dc12v/395269303.html> (23.10.2019 klo 11:30),

[3] Sunon-tuulettimen kuva: <https://www.pchub.com/sunon-pf40201bx-g03u-sb9-server-square-fan-sq40x40x20-w80x4x4p-dc-12v-498w-p177990> (27.10.2019 klo 13:04)