

Antti Poikkimäki

LAITETILAN LÄMPÖKUORMAN MÄÄRITYS

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2013

LAITETILAN LÄMPÖKUORMAN MÄÄRITYS

Poikkimäki, Antti
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2013
Ohjaaja: Sandberg, Esa
Sivumäärä: 50
Liitteitä: 5

Asiasanat: jäähdytystekniikka, jäähdytys, teho

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia laittilan lämpökuormien vaikutusta tilan jäähdytystekniseen toteutukseen. Työssä mitattiin tilan lämpötilan kerrostumista ja sitä kuinka paljon jäähdytystehoa jo olemassa oleva vedenjäähdytysjärjestelmä tuottaa ja kuinka paljon laittilan sisäyksiköt sitä tilaan luovuttavat.

Lämpökuormaa tutkittiin, koska haluttiin saada selville miten lämpötilat vaihtelevat tilassa ja kuinka paljon kuormaa ylipäänsä syntyy.

Tulokseksi saatiin kattava ote tilan lämpötilojen kerrostumisesta, joista todettiin kuorman olevan suurin tilan keskiosassa. Tuloksista pystyttiin päättämään, että jäähdytyslaitteiden kapasiteetti riittäisi antamaan enemmän jäähdytystehoa.

HEAT LOAD MEASUREMENTS IN A DATA CENTER

Poikkimäki, Antti
Satakunta University of Applied Sciences
Construction technology
September 2013
Supervisor: Sandberg, Esa
Number of pages: 50
Appendices: 5

Keywords: refrigerating technique, cooling capacity, cooling

The purpose of this bachelor's thesis was to find out cooling load in datacenter. The cooling load was determined by measuring cooling capacity of the cooling system. The vertical room temperature stratification was also measured.

The intake air and supply air temperatures and volume flow rates of the air handling units were measured. Supply liquid and return liquid temperatures and volume flow rate of liquid were also measured. Measuring data were used for calculation of cooling capacity of the cooling system.

Outcome of this thesis was extensive measuring data about stratification of temperature. Highest temperatures were measured from the middle of the room.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT JA LÄMPÖTILAN KERROSTUMINEN TILASSA..... | 6 |
| 2.1 | Kylmäprosessi..... | 6 |
| 2.2 | Suora ja välillinen jäähdytysjärjestelmä | 8 |
| 2.3 | Lämpötilan kerrostuminen | 9 |
| 3 | MITTAUSKOHDDE | 11 |
| 3.1 | Laitetila | 11 |
| 3.2 | Jäähdytyslaitteisto | 12 |
| 3.2.1 | Kesäajan toiminta | 14 |
| 3.2.2 | Talviajan toiminta..... | 14 |
| 3.2.3 | Yhdistetty talvi- ja kesäajan toiminta | 14 |
| 4 | MITTAUSMENETELMÄT JA LAITTEET | 15 |
| 4.1 | Mittausten tavoitteet..... | 15 |
| 4.2 | Lämpötilan kerrostuminen | 15 |
| 4.3 | Lämpötilan mittaus ilmastointikaappikoneilta..... | 16 |
| 4.4 | Ilmavirran mittaus ilmastointikaappikoneilta | 18 |
| 4.5 | Nestevirran mittaus ilmastointikaappikoneilta | 20 |
| 4.6 | Ilmastointikoneen mittaukset | 21 |
| 4.7 | Tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektori | 25 |
| 4.8 | Vedenjäähdytyskone | 27 |
| 5 | MITTAUSTULOKSET..... | 28 |
| 5.1 | Lämpötilan kerrostuminen | 28 |
| 5.2 | Ilmastointikaappikoneiden lämpötilat ja ilman nopeudet | 33 |
| 5.3 | Ilmastointikaappikoneiden ja vedenjäähdyttimen liuosvirran mittaukset..... | 37 |
| 6 | MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI..... | 40 |
| 6.1 | Ilmastointikaappikoneiden jäähdytystehot imuilmasta laskettuna..... | 40 |
| 6.2 | Ilmastointikaappikoneiden jäähdytystehot nestepiiristä laskettuna | 41 |
| 6.3 | Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin teho | 42 |
| 6.4 | Tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektorin jäähdytysteho | 42 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET | 43 |
| | LÄHTEET..... | 45 |
| | LIITTEET | |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on määrittää serveritilan laitteiston aiheuttamaa lämpökuormaa ja tilan jäähdytysjärjestelmän teho. Tarkoituksena on esittää tarvittavat, kohteeseen sopivat mittausten menetelmät, joiden avulla saadaan kerättyä tarpeellinen tietopohja jäähdytysjärjestelmän jäähdytystehon laskentaa varten ja laskea laitteiston tuottama jäähdytysteho konekohtaisesti.

Työn toiminnallisena tavoitteena on tuottaa mittaustuloksia, jotka auttavat ymmärtämään kohteen lämpökuorman kerrostumista sekä jakautumista tilassa ja joita voidaan jatkossa käyttää hyödyksi tilan jäähdytysjärjestelmien kehittämiseksi.

Mittaukset on rajattu kohteen teknisten järjestelmien, kuten jäähdytysjärjestelmän ja ilmastoinnin tutkimiseen. Lisäksi on tutkittu lämpötilan kerrostumista tilassa, eikä ulkopuolisia tekijöitä, kuten lämpöhäviötä rakennuksen vaipan läpi ole otettu huomioon.

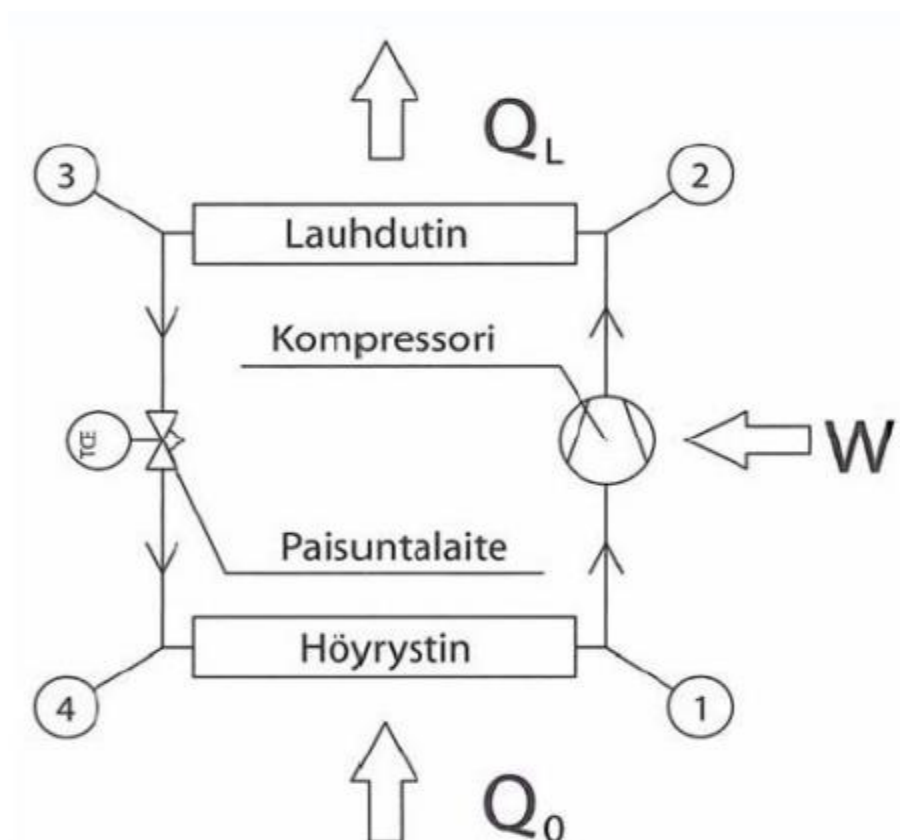
2 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT JA LÄMPÖTILAN KERROSTUMINEN TILASSA

Kylmätekniikka eli jäähdytstekniikka on tekniikan alue, jonka tehtävänä on ympäristöä alemman lämpötilan ylläpitäminen jäähdytettävässä kohteessa. Tilan jäähdytys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, mutta useimmiten käytännössä jäähdytstekniikalla tarkoitetaan perinteistä kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen perustuva koneikkoa. (Aittomäki 2012, IX)

Tässä luvussa kerrotaan jäähdytysprosessista yleisellä tasolla sekä esitetään yleisimpiä koneellisia jäähdytysmuotoja. Koneelliset jäähdytysjärjestelmät voidaan jakaa suoriin ja välillisiin järjestelmiin. Jäähdytysjärjestelmä voidaan jakaa myös lauhtusperiaatteen mukaan kahteen ryhmään. Lauhdutus prosessi voidaan toteuttaa ilman tai väliaineena toimivan liuoksen avulla.

2.1 Kylmäprosessi

Useimmissa kylmäkoneistoissa kylmän tekeminen perustuu kiertoprosessiin, missä koneistossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Kuvan 1. kylmäkoneiston pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisuntalaite.



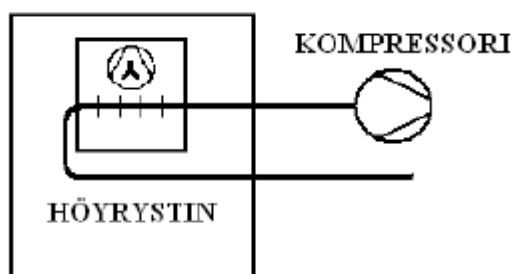
Kuva 1. Kylmän kiertoprosessi

1. Höyrystimessä, kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa sitoen itseensä lämpöä.
2. Kompressori, imee matalapaineisen kylmäaineen puristaen sen korkeampaan paineeseen, ja kasvattaen höyryn lämpötilaa.
3. Lauhdutin, luovuttaa kylmäainehöyryn sitoman lämmön ympäristöön, jonka seurauksena kylmäaine nesteytyy.
4. Paisuntalaite, laskee nestemäisen kylmäaineen painetta, muuttaen sen neste-höyryseokseksi, ja samalla laskee sen lämpötilaa.

Teoriassa, kuvassa 1. lauhduttimen luovuttama lämpö Q_L vastaa kylmäaineen höyrystimessä sitomaa lämpöä Q_0 ja kompressorin tekemää työtä W . Käytännössä vain muutama prosentti siirtyy hukkalämpönä ympäristöön kompressorin ja paineputken kautta. (Hakala & Kaappola 2005, 10-11)

2.2 Suora ja välillinen jäähdytysjärjestelmä

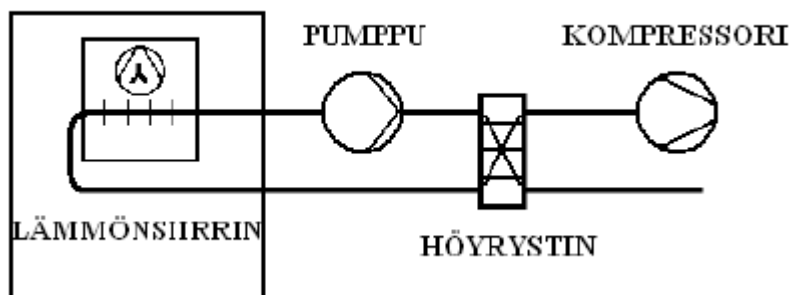
Suoran jäähdytysjärjestelmän kylmäaine kiertää kylmäpiirin höyrystimen läpi, kuten kuvassa 2. Höyrystin on sijoitettu suoraan jäähdytettävään elementtiin esim. ilmas-
tointikoneen jäähdytyspatteriin. Suorat jäähdytysjärjestelmät jaetaan usein kuiva- ja märkähöyrysteisiin järjestelmiin. Kuivahöyrysteisessä järjestelmässä höyrystimeen syötetään vain sen verran kylmäainetta kuin siellä höyrystyy. Märkähöyrysteisessä järjestelmässä höyrystimeen syötetään enemmän kylmäainetta, kuin mitä höyrystin ehtii höyrystämään, jonka seurauksena sieltä lähtee kylläistä höyryä tai höyryn ja nesteen seosta.



Kuva 2. Suora jäähdytys

Suora jäähdytysjärjestelmä on hankinta kustannuksiltaan edullinen vaihtoehto. Sen höyrystimislämpötila on välillistä järjestelmää korkeampi, minkä vuoksi hyötysuhde on myös usein parempi. Suoran järjestelmän kylmäainetäyttö on kuitenkin välillistä järjestelmää suurempi, jolloin vuotoriski kasvaa. Suoraa jäähdytystä on vaikea säätää. Siksi jäähdytyspatterin otsapinnan mitoittamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta patteri ei pääse missään olosuhteessa huurtumaan ja ettei sen pinnalle tiivistyvä vesi pääse lähtemään pisaramuodossa ilmavirtauksen mukaan. (Aittomäki 2012, 322-327; Seppänen 2004, 211-212)

Välillisen jäähdytysjärjestelmän kylmäaine jäähdyttää höyrystimen läpi virtaavaa väliainetta, joka suorittaa varsinaisen jäähdytyksen, kuten kuvassa 3. Väliaine on usein vesi tai tapauksessa, jossa vesi saattaa päästä jäätymään vesi-glykoliseos. Jäähdytyspatterille menevän jäähdytysnesteen lämpötila on tyypillisesti +7/+12 °C. (Aittomäki 2012, 329-330; Seppänen 2004, 211-2012)



Kuva 3. Välillinen jäähdytys

Välillinen jäähdytysjärjestelmä mahdollistaa useampien jäähdytysyksiköiden sijoittamisen samaan tilaan tai huoneistokohtaisesti. Välillinen jäähdytysjärjestelmä valitaankin usein silloin, kun halutaan säilyttää mahdollisuus järjestelmän laajennuksille. Se on suoraa järjestelmää helpompi säätää ja kylmäainetäyttö on pienempi. Sen avulla voidaan siirtää suurempia jäähdytyskuormia eikä jäähdytettävien kohteiden etäisyydellä ole teknisiä rajoituksia. Välilliseen jäähdytysjärjestelmään on helppo liittää tarpeen tullen vapaajäähdytystä, jolloin luoskierto ohjataan vapaajäähdytyspatterin läpi ja ulkoilma hoitaa jäähdytyksen. (Aittomäki 2012, 329-330; Seppänen 2004, 211-212)

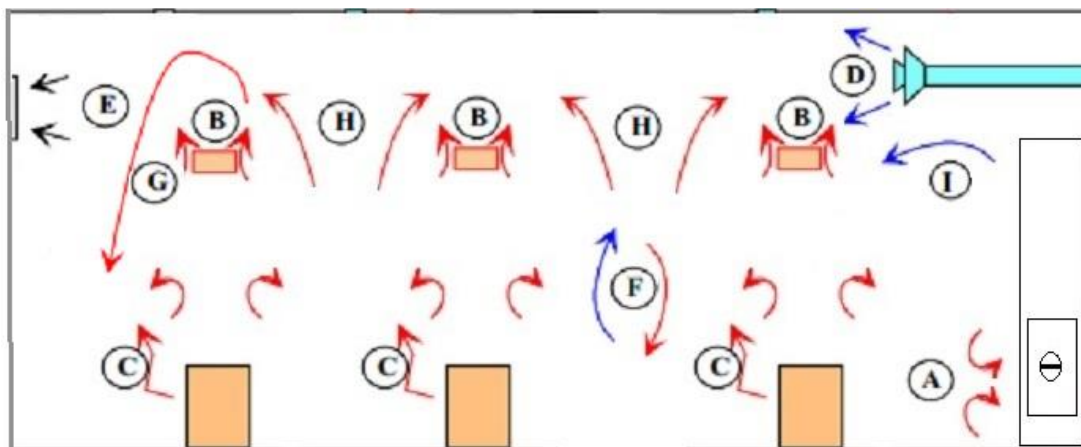
Tämän opinnäytetyön kohteessa jäähdytystä tarvitaan ulkolämpötilasta riippumatta tasaisesti ympäri vuoden. Siksi jäähdytysjärjestelmäksi on valittu välillinen jäähdytysjärjestelmä, johon on liitetty vapaajäähdytystä. Serveritilan muuttuvan lämpökuorman vuoksi välillinen jäähdytysjärjestelmä on käytännöllinen, koska sitä voidaan laajentaa.

2.3 Lämpötilan kerrostuminen

On tärkeää, että tilan ilmanvaihto, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan kohteen tarpeet ja ominaisuudet huomioonottaen optimaaliseksi. Optimaalisella lämpötilalla tarkoitetaan yleensä sellaista lämpötilaa, johon suuren joukon enemmistö on tyytyväinen. Tämän opinnäytetyön tarkastelukohteessa se kuitenkin tarkoittaa lämpötilaa, jossa serveritilan laitteisto pysyy toimintakunnossa. Optimaalinen lämpötila tässä tapauksessa on 18 - 24 °C astetta. Laitetilan lämpöoloihin vaikuttaa

monia eri elementtejä, jotka yhdessä muodostavat vallitsevat olosuhteet. Tässä luvussa perehdytään huonevirtauselementteihin ja lämpötilan kerrostumiseen.

Laitetilan sisäilman kerrostumiseen vaikuttavat lämmitys- ja jäähdytyslaitteistojen sekä tulo- ja poistoilmasuihkujen lisäksi monia muitakin lämpövirtauksia. Laitetilan serveri- ja muu telelaitteisto sekä valaistus luovuttavat tilaan lämpöä säteilyn ja konvektiivisen lämmönsiirron muodossa. Säteilylämpö seinäpintoihin tulee konvektiona huoneeseen ja osa menee johtumalla seinän läpi. Kuva 4. pyrkii havainnollistamaan tätä ilmanliikettä. Tutkistelusta jätetään kuitenkin pois rakennuksen vaipan läpi kulkevat lämpövirrat, koska tila sijaitsee kaksi kerrosta maan pinnan alapuolella. Näin ollen vaipan läpi kulkeva lämpövirta lienee pieni, koska ympärillä oleva maaperä on ajan kuluessa lämmentynyt jatkuvan lämpökuorman johdosta. Periaatteessa on kuitenkin mahdollista, että pohjavesi jäähtyy maaperää.



Kuva 4. Huonetilan ilma- ja lämpövirtauselementit (muokattu)

Laitetilassa olevat ilmastointikaappikoneet imevät huonetilan ilmaa alhaalta (A) ja puhaltavat sen jäähtyneenä takaisin huonetilaan ylhäältä (I), sekoittaen ilmaa tehokkaasti estäen ilman kerrostumista. Sisäisten lämmönlähteiden (B) valaistuksen ja (H) servereiden synnyttämät pluumit vievät lämmenneen ilman tilan yläosaan. Mitä korkeammalla ne sijaitsevat, sitä pienemmäksi jää paluuvirtaus (G) ja sitä suuremmaksi muodostuu lämpötilakerrostuma. Lisäksi serverikaappien omat puhaltimet aiheuttavat ilma- ja lämpövirtauksia. Myös servereiden pinnat säteilevät lämpöä ympäristöön.

Tuloilman liiallinen alilämpöisyys ja ilmasuihkun liian pieni liikemäärä aiheuttaa kerrostumista (D). Poistoilmalaitteiden sijainti (H) vaikuttaa kerrostumiseen, jos tilassa on esim. kohdepoistoja alhaalla ja yleispoisto ylhäällä. Tällöin alhaalta poistuu viileämpää ilmaa kuin ylhäältä, mikä aiheuttaa kerrostumista. (Teollisuusilmastoinnin opas 2000, 38-39)

3 MITTAUSKOHDDE

3.1 Laitetila

Mittauskohde on 40 m pitkä, 13,5 m leveä ja 3,5 m korkea laitesuojaksi luokiteltu konesali, joka sijaitsee kaksi kerrosta maanpinnan alapuolella. Tilan laitesuojaluokitus on tuonut mukanaan useita haasteita LVIAS- tekniseen toteutukseen. Konesalilla tarkoitetaan laitetilaa, johon on sijoitettu IT-laitteita ja niiden vara- sekä suojausjärjestelmiä.

Palvelimien luotettavan toiminnan kannalta on tärkeää, että olosuhteet pysyvät vakaina ympäri vuorokauden. Laitetilojen sisäilmasto olosuhteet on suunniteltu laitteille, ei ihmisille. Siksi esim. yleisilmanvaihto on usein jätetty minimaaliseksi.

Laitetilassa on useita eri tietoliikenneyhteyksiä ylläpitäviä laitteita, jotka on sijoitettu palvelintelineisiin kuten kuvassa 5, muodostaen kaappeja ns. räkkeitä. Räkit tuovat laitetilaan lämpökuormaa, joka tässä opinnäytetyössä pyritään kartoittamaan. Lämpökuorman vuoksi laitetilaan on asennettu vesipattereilla varustettu ilmastointikaappikonejärjestelmä, jonka jäähdytyslähteenä toimii rakennuksen vesikatolla sijaitseva vedenjäähdytin. Vedenjäähdytin on ilmalauhdutteinen.

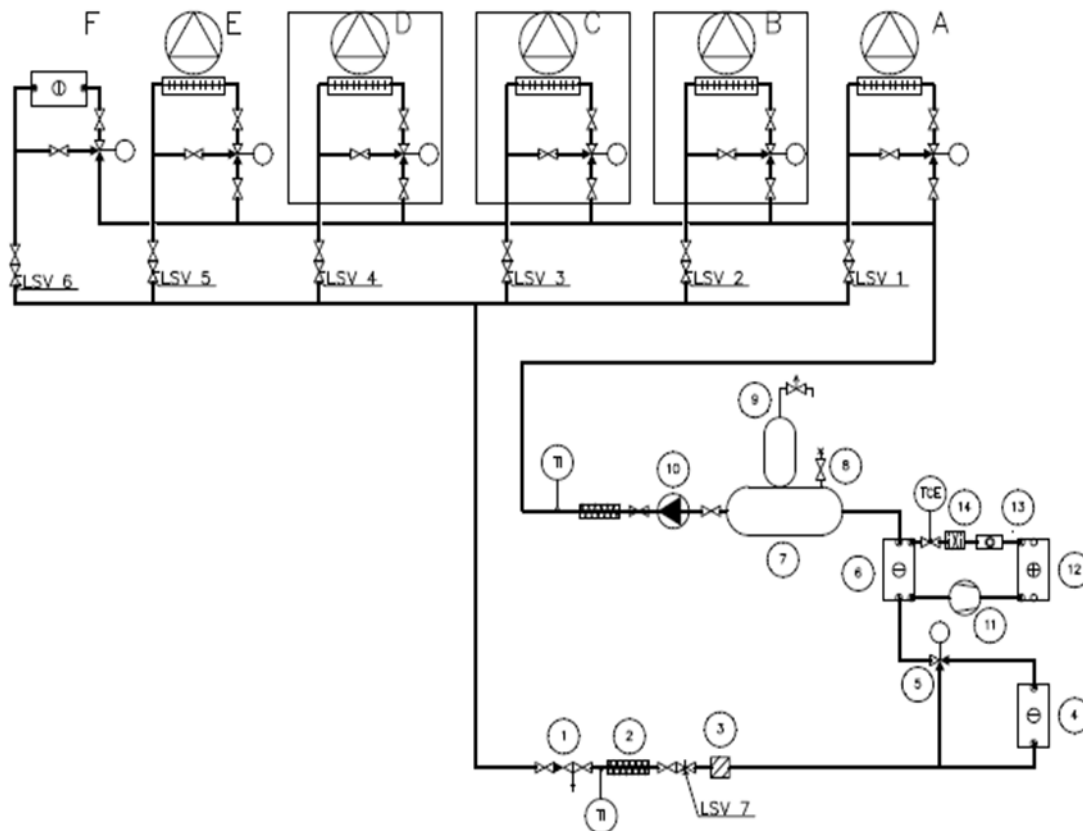


Kuva 5. palvelintelineet eli räkit

3.2 Jäähdytyslaitteisto

Laitetilan jäähdytyslaitteisto on vapaajäähdytyksellä varustettu ilmalauhdutteen vedenjäähdytysjärjestelmä, joka on esitetty kytkentäkaavion muodossa kuvassa 6. Vedenjäähdytyskone on sijoitettu rakennuksen vesikatolle. Sieltä vesiglykoliputkisto on viety porraskuilussa rakennuksen kellarikerrokseen, josta on menty paineläpiviennillä seinän läpi laitetilaan. Jäähdytysvesiputkisto on johdettu kolmelle vesipatterilla varustetulle ilmastointikaappikoneelle, jotka hoitavat laitetilan jäähdytyksen.

Lisäksi sama jäähdytysvesi on viety ilmastointikoneen vesipatterille, joka palvelee laitetilan yleisilmanvaihtoa. Vedenjäähdytyskone palvelee myös ns. tasasuuntaushuoneen kattoon asennettua jäähdytysyksikköä sekä varavoimakonehuoneen jäähdytystä. Varavoimakonehuoneen jäähdytys on kytketty pois päältä mittausten ajaksi. Vapaajäähdytyksen jäähdytyspatteri on asennettu sarjaan vedenjäähdyttimen höyrystimen kanssa, mikä mahdollistaa laitteiston toiminnan kolmessa eri käyntitilassa.



Kuva 6. Vapaajähdytyksellä varustettu ilmalauhdutteinen vedenjäähdytysjärjestelmä

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Täyttöryhmä | 14. Suodatinkuivain |
| 2. Joustava liitos | TCE = Elektroninen paisuntaventtiili |
| 3. Mutatasku | TI = Lämpötilamittaus |
| 4. Vapaajähdytyspatteri | A = Tasasuuntaus huoneen jäähdytyskoje |
| 5. 3-tie moottoriventtiili | B = Ilmastointikaappikone 1. |
| 6. Höyrystin | C = Ilmastointikaappikone 2. |
| 7. Kylmävesivaraaja | D = Ilmastointikaappikone 3 |
| 8. Ilmausventtiili | E = Varavoimakonehuoneen jäähdytyskoje |
| 9. Paisuntalaite ja varoventtiili | F = Ilmastointikoneen jäähdytyspatteri |
| 10. Nestepiirin pumppu | |
| 11. Kompressori | |
| 12. Lauhdutin | |
| 13. Nestelasi | |

3.2.1 Kesäajan toiminta

Kesäajan toimintatilassa ympäristön lämpötila on korkeampi, kuin palaavan vesiglykoliliuoksen lämpötila. Tällöin olosuhteet eivät mahdollista vapaajäähdytystä ja järjestelmä toimii, kuten tavanomainen nestejäähdytin. Nesteen virtausta säätelevä kolmitie-venttiili (kuva 6. kohta 5) sulkeutuu ja antaa veden virrata ainoastaan kylmäpiirin höyrystimen (kuva 6. kohta 6) läpi, jossa liuos jäähtyy haluttuun lämpötilaan.

3.2.2 Talviajan toiminta

Talviaikana ympäristön lämpötilan ollessa huomattavasti matalampi kuin palaavan veden lämpötila, järjestelmän vapaajäähdytys kytkeytyy päälle. Kolmitie-venttiili aukeaa ja mahdollistaa veden virtauksen vapaajäähdytyspatterin läpi (kuva 6. kohta 4). Jos palaavan veden ja ympäristön lämpötilaero on tarpeeksi suuri, kylmäpiirin kompressorit pysähtyy ja vapaajäähdytyksellä saadaan tuotettua koko haluttu jäähdytysteho.

3.2.3 Yhdistetty talvi- ja kesäajan toiminta

Kun ympäristön lämpötila ei ole riittävän matala tuottamaan koko jäähdytystehoa pelkällä vapaajäähdytyksellä, toimivat järjestelmät sarjassa. Kolmitie-venttiili aukeaa ja antaa veden virrata ensin vapaajäähdytyspatterille. Tämän jälkeen vesi jäähtyy vaadittuun lämpötilaan höyrystimessä.

4 MITTAUSMENETELMÄT JA LAITTEET

4.1 Mittausten tavoitteet

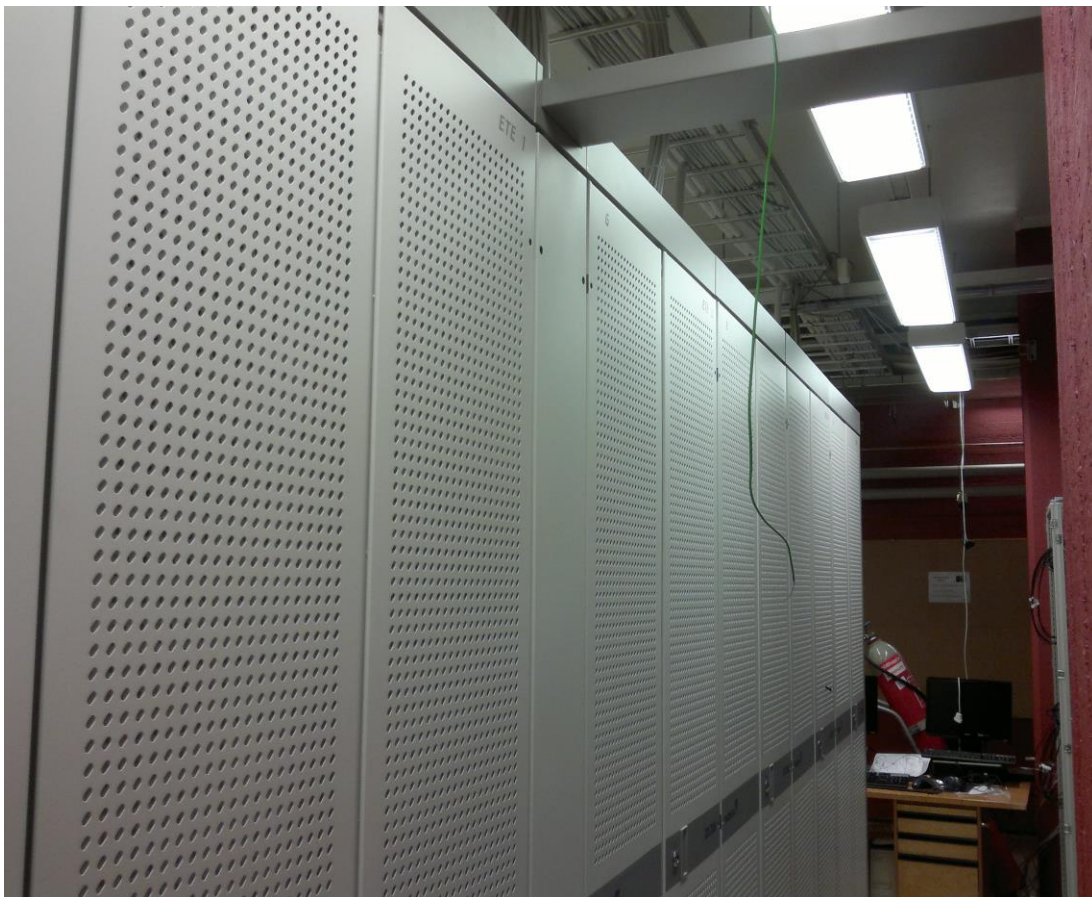
Mittausten tavoitteena on määrittää järjestelmän jäähdytysteho sekä ilmapuolelta että nestepuolelta. Tavoitteena on saada luotettavat lähtötiedot ilmastointikaappikoneiden ilmavirroista, ilman lämpötiloista, tulevan ja palaavan nesteen lämpötiloista sekä nesteen virtaamasta, konekohtaisen jäähdytystehon laskentaa varten. Vedenjäähdyttimeltä mitattiin teho nestepuolelta. Lisäksi tavoitteena on tutkia kohteen lämpökuorman vaikutusta lämpötilan kerrostumiseen serveritilassa.

Liitteessä 1 on mittaussuunnitelma ja liitteessä 2 luettelo, jotka havainnollistavat millä tavalla tiedonkeruu laitesuojasta on toteutettu tätä opinnäytetyötä varten. Tiedonkeruu on kuvan mukaisesti toteutettu hajautetusti tilan suuren koon vuoksi. Dataloggerit sijoitettiin kolme kappaletta varsinaiseen laitesuojaan ja yksi vesikatolla sijaitsevaan vedenjäähdytimeen (LOG 1,2,3 ja 4). Lämpötilatietoa keräävää termoparijohtoa laitesuojaan vedettiin yhteensä noin 300 metriä.

4.2 Lämpötilan kerrostuminen

Lämpötilan kerrostumista mitattiin asentamalla K-tyyppin termopareja huonetilaan, kuvan 7 osoittamalla tavalla. Termoparin toiminta perustuu lämpösähköilmiöön, missä kahdesta eri materiaalia olevasta metallijohtimesta muodostettuun virtapiiriin syntyy sähkömotorinen voima, joka on lähes suoraan verrannollinen metallien liitoskohtien lämpötilaeroon. Rakenteeltaan termoelementti muodostuu lankaparista, jonka toisessa päässä langat on liitetty yhteen muodostaen tuntoelimen. (Siren 1995, 82.)

Lankaparin toinen pää liitettiin dataloggeriin, joka suoritti mittauksen 15 minuutin välein. Lämpötilatietoa kerättiin tasaisin välimatkoin koko serveritilasta 1,6 m ja 3,2 m korkeudelta.



Kuva 7. K-tyyppin termopari mittaamassa huonelämpötilaa

4.3 Lämpötilan mittaus ilmastointikaappikoneilta

Serveritilassa olevilta kolmelta ilmastointikaappikoneelta mitattiin kultakin imu- sekä puhallusilman lämpötilaa K-tyyppin termopareilla, jotka olivat kytkettyinä dataloggeriin. Kuvassa 8 K-tyyppin termopari mittaamassa ilmastointikaappikoneen imuilman lämpötilaa.



Kuva 8. K-typin termopari mittaamassa kaappikoneen imuilman lämpötilaa

Kaappikoneiden jäähdytyspattereille tulevan ja vedenjäähdyttimelle takaisin palaavan 30% vesi-etyleeniglykoliseoksen lämpötilaa seurattiin niin ikään termopareja käyttäen. Termoparit sijoitettiin putken pintaan eristeen alle mittaustuloksen epätarkkuuden minimoimiseksi kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9. K-tyypin termoparit mittaamassa jäähdytyspatterin vesi-etyleeniglykolipiirin lämpötilaa meno- ja paluuputkesta

4.4 Ilmavirran mittaus ilmastointikaappikoneilta

Kaappikoneiden imu –sekä puhallusilmanopeutta mitattiin siipipyöräänemometrillä, kuva 10. Siipipyöräänemometri on tuulimyllyn kaltainen herkäksi laakeroitu siipipyörä, joka liikkuu ilmavirran vaikutuksesta. Siipipyörällä mitattaessa nopeus ei ole paikallinen ilmavirran nopeus, kuten pienemmällä antureilla esim. pitotstaattisellaputkella mitattaessa, vaan keskimääräinen nopeus kyseisen siipipyörän alalta. (Siren 1995, 181.)

Tästä on selvästi hyötyä mitattaessa nopeutta suuremmalta alueelta, kuten opinnäytetyössä tutkittavan kaappikoneen imu- ja puhallussäleikön otsapinnalta. Siipipyöräänemometri ei ole herkkä virtauksen suuntaukselle. Päävirtaussuunta saa poiketa siipipyörän akselin suunnasta 10-12 astetta, ennen kuin mittaustuloksen virhe ylittää 1%. (Siren 1995, 183.)

Mittaus suoritettiin jakamalla kaappikoneen puhallusaukko 6 lohkokoon, joista mitattiin ilmavirta kustakin lohkokosta. Saaduista tuloksista laskettiin virtausnopeuden keskiarvo. Imuaukon ilmavirta mitattiin samalla tavalla jakaen aukon otsapinta 16 lohkokoon. Puhallusaukon muodon ja koon sekä ilman nopeuden epätasaisuuden vuoksi jäljempänä esiintyvissä jäähdytysteholaskuissa käytettiin imuaukon ilmavirtoja.



Kuva 10. Kaappikoneen imuaukon ilmavirranmittaus siipipyöränemometrillä

4.5 Nestevirran mittaus ilmastointikaappikoneilta

Nestevirran mittaus suoritettiin kaappikoneiden linjasäätöventtiilien avulla. Mittauksissa käytettiin Huba Control- sähköistä paine-erolähetintä, johon liitettiin ulkoinen virtalähde sekä dataloggeri kuvan 11 mukaisesti. Paine-erolähtetin asennettiin mitaamaan jokaisen ilmastointikaappikoneen paluupuolelle asennetun linjasäätöventtiilin vesi-glykoliliuoksen paine-eroa. Lähettimet kytkettiin kaappikoneiden linjasäätöventtiiliin kuvan 12 osoittamalla tavalla. Tämän lisäksi yksi lähtetin asennettiin vesikatolla sijaitsevan vedenjäähdyttimen paluu putkessa olevaan linjasäätöventtiiliin.



Kuva 11. Paine-erolähtettimen ulkoinen virtalähde kytkettynä dataloggeriin.

Paine-erolähtettimellä mitataan kahden eri paineen välistä eroa. Paineet syötetään kuvassa 12 näkyvien putkien kautta eripuolille lähtettimen sisällä olevaa mittauskalvoa, jolloin kalvo pullistuu sille puolelle missä paine on alhaisempi. Paine-erolähtettimen sisällä olevan kalvon pinnalle kiinnitetyt venymäliuskat venyvät kalvon pullistuessa. Liuskojen venyminen aiheuttaa resistanssin muutoksen, joka muutetaan sähköiseksi

signaaliksi 4-20 mA alueelle lähettimen elektroniikkapiirissä. Paine-erolähettimeen kytketty dataloggeri kerää tietoa 15 min välein paineen vaihteluista.

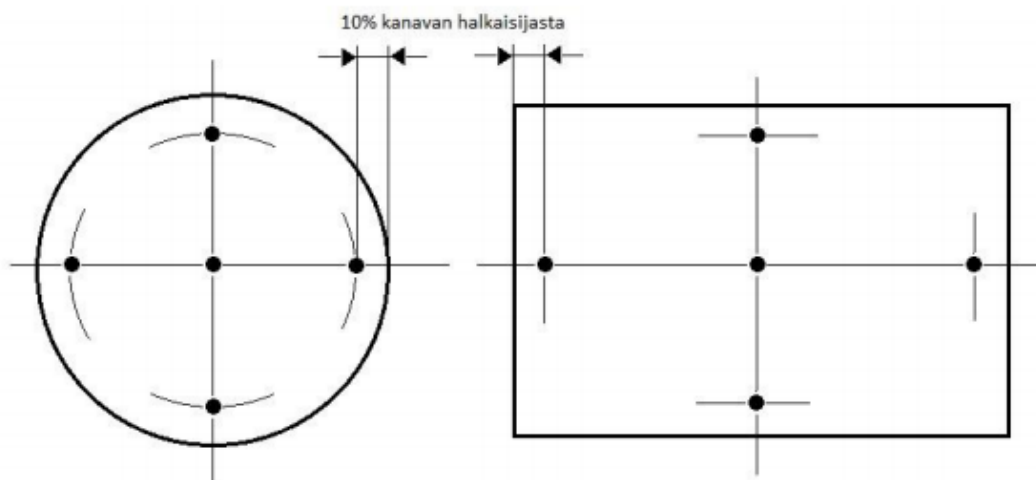


Kuva 12. Sähköinen paine-erolähetin kytkettynä ilmastointikaappikoneen linjasäätö-venttiiliin.

4.6 Ilmastointikoneen mittaukset

Mittauksen tavoitteena oli saada selville kanaviston ilmavirta ja tulo- sekä poistoilman lämpötilat ilmastointikoneen jäähdytyspatterin tehon laskemiseksi. Ilmavirtaa voidaan mitata joko suoraan kanavistossa sijaitsevasta mittauselimestä tai monipistemenetelmällä. Kohteen ilmastointikoneessa ei ollut tarvittavia mittauselimä, jonka vuoksi mittausmenetelmänä käytettiin 5- pistemenetelmää pitot-staattistaputkea ja

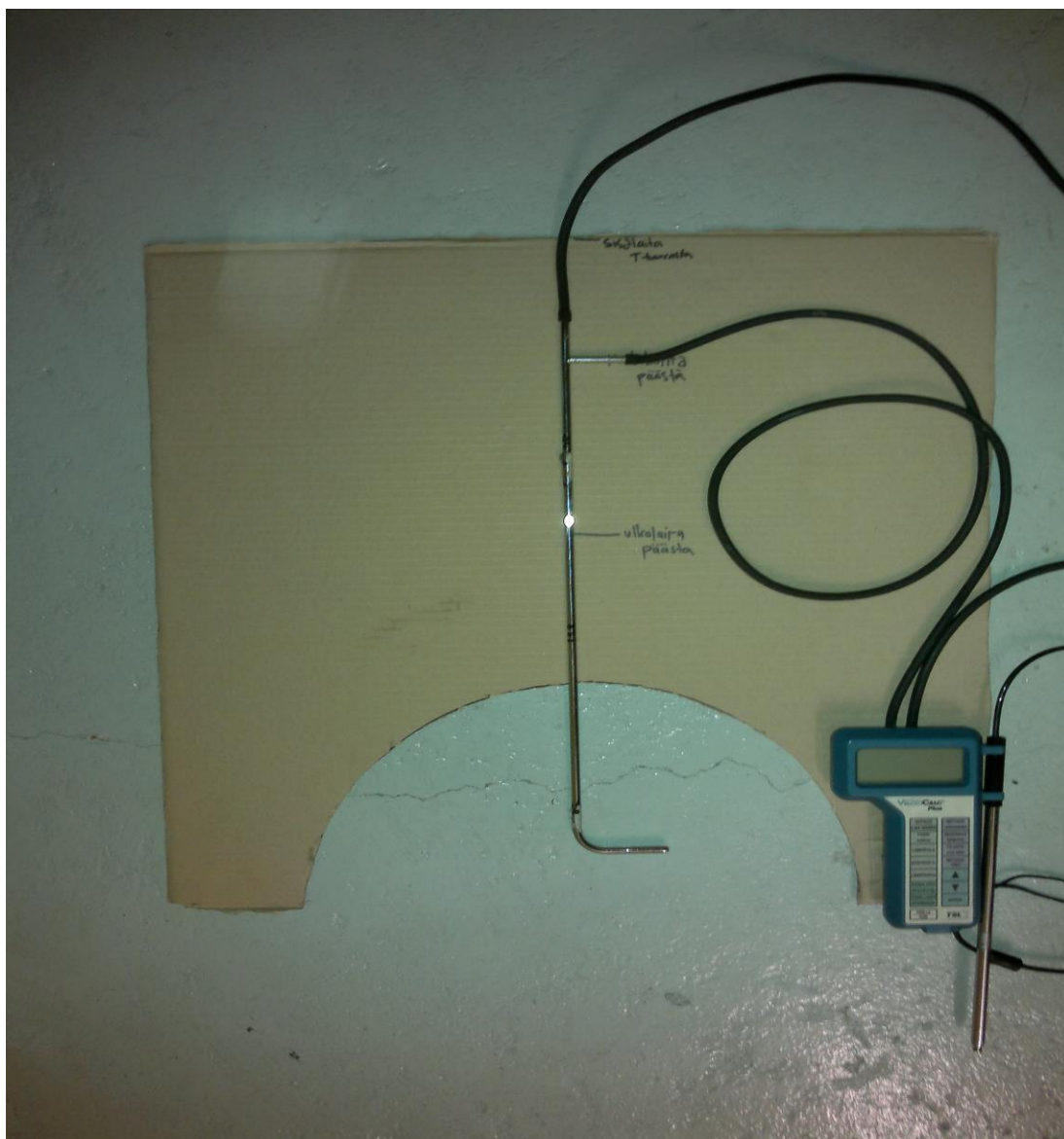
kuumalanka-anemometriä apuna käyttäen. Mittaukset aloitettiin valitsemalla kanavasta 5 mittauspistettä kuvan 13 osoittamalla tavalla.



Kuva 13. Mittauspisteiden valinta pyöreässä ja suorakaiteen muotoisessa kanavassa

Kohteen kanava on halkaisijaltaan 400 mm, pyöreä kierresaumakanava. Pyöreän kanavan mittauspisteet valittiin kuvan 13 mukaisesti siten, että yksi piste sijaitsee kanavan keskellä ja loput neljä 10% etäisyydellä kanavan reunasta. Mittauspaikaksi valittiin mahdollisimman pitkä suora kanavan osuus koneelta lähtevästä pääkanavasta, virtauksen häiriötekijöiden minimoimiseksi. Häiriöitä virtaukseen aiheuttavat esimerkiksi kanavan mutkat, haarat ja päätelaitteet.

Dynaamisen paineen mittaamiseen käytettiin pitot-staattistaputkea, joka kytkettiin TSI-VelociCalc plus painemittariin kuten kuvassa 14. Mittaustulosten epätarkkuuden minimoimiseksi mittauksissa käytettiin pahvista tehtyä apulevyä, jotta pitot-putki saatiin pidettyä 90° kulmassa kanavaan nähden.



Kuva 14. Pitot-putki ja kuimalanka-anemometri kytkettynä TSI- mittariin

Mittaukset suoritettiin kahteen kertaan ja tuloksista laskettiin dynaamisenpaineen keskiarvo kullekin mittauspisteelle. Dynaamisen paineen avulla saadaan ratkaistua virtausnopeus v kaavan 1 mukaisesti.

$$v = \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

v = ilman virtausnopeus, m/s

ΔP = dynaamisenpaineen keskiarvo, Pa

ρ = ilman tiheys, kg/m^3 (käytetty arvo $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Dynaamisen paineen lisäksi kohteesta mitattiin virtausnopeus kytkemällä TSI- mittariin kuumalanka-anemometri. Tulokset kirjattiin ylös mittauspöytäkirjaan ja mitatuista virtausnopeuksista laskettiin niiden keskiarvo, jota verrattiin dynaamisenpaineen avulla laskettuun virtausnopeuteen. Kaavan 1 avulla kanavan virtausnopeudeksi saatiin 5,9 m/s ja kuumalanka-anemometrillä mitatuista tuloksista kanavan virtausnopeuden keskiarvoksi saatiin 5,8 m/s. Luvussa 6 esiintyvissä jäähdytystehon laskuissa käytetään näiden kahden keskiarvoa.

Ilman tilavuusvirran laskemiseksi tarvitaan virtausnopeuden lisäksi kanavan poikkipinta-ala. Pyöreän kanavan poikkileikkauspinta-ala lasketaan kaavan 2 mukaisesti.

$$A = \pi \times r^2 \quad (2)$$

A = kanavan poikkileikkauspinta-ala, m²

r = kanavan säde, m

Tilavuusvirta voidaan nyt ratkaista kaavalla 3.

$$q_v = A \times v \quad (3)$$

q_v = tilavuusvirta, m³/s

A = kanavan poikkileikkauspinta-ala, m²

v = ilman virtausnopeus, m/s

Ilman lämpötila mitattiin tulo- sekä poistoilmakanavasta TFN520/S30 Ebro lämpötilamittarilla kuvan 15 mukaisesti. Mittaukset toistettiin useita kertoja ja tulokset kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Tuloksista laskettiin keskiarvot niin tulo- kuin poistoilman lämpötilalle. Keskiarvoja käytetään myöhemmin esiintyvissä laskuissa.



Kuva 15. Lämpötilan mittaus tuloilmakanavasta

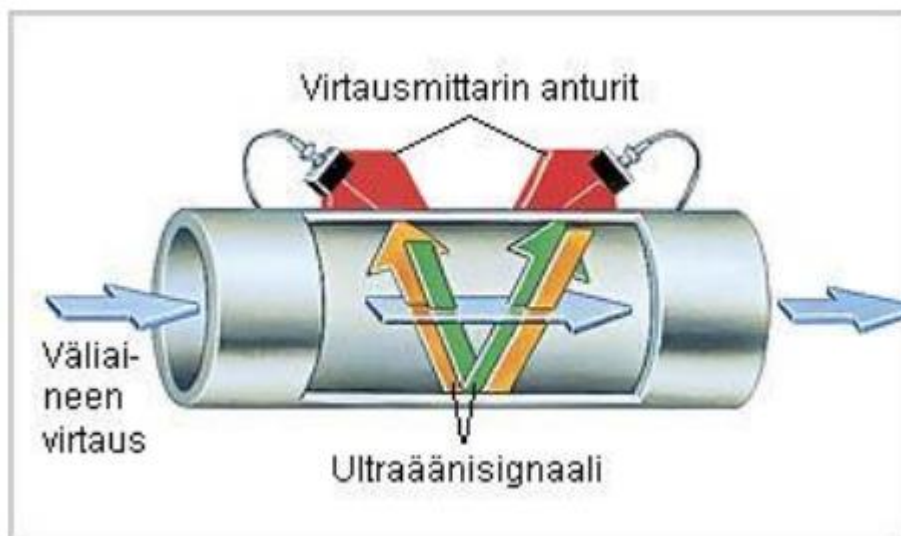
4.7 Tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektori

Vedenjäähdytyskone palvelee ilmastointikaappikoneiden ja IV- jäähdytyspatterin lisäksi tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektoria, joka näkyy kuvassa 16. Koneelle menevän vesi-glykolin virtausnopeus mitattiin käyttämällä ultraäänivirtausmittaria.



Kuva 16. Puhallinkonvektori

Ultraäänivirtausmittarin toiminta perustuu nimensä mukaisesti ultraäänen käyttöön virtauksen mittaamisessa. Mittarissa on kaksi ultraäänianturia, joissa molemmissa on vastaanotto- ja lähetysominaisuudet. Anturit peilaavat toisiaan siten, että toinen lähettää signaalia virtauksen suuntaisesti kun taas toinen lähettää virtauksen vastaisesti. Anturit vastaanottavat toistensa lähettämän signaalin ja mittari laskee vastaanottoaikojen erosta virtaaman nopeuden. Kuvassa 17 on esitetty ultraäänimittarin toimintaperiaate.



Kuva 17. Ultraäänen kulku putkessa

Ultraäänivirtausmittari asennetaan putken pintaan. Kuvassa 18 suoritetaan ultraääni-virtausmittausta tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektorille menevässä putkessa.



Kuva 18. Ultraäänimittaus käynnissä

4.8 Vedenjäähdytyskone

Rakennuksen vesikatolla sijaitsevasta vedenjäähdytyskoneesta mitattiin meno- sekä paluunesteen lämpötilat K-tyyppin termopareja käyttämällä. Nestevirta mitattiin

kaappikoneiden tapaan paluuputken linjasäätöventtiiliin kytketyllä paine-erolähtettimeillä. Tämän lisäksi nestevirta mitattiin ultraäänivirtausmittarilla vedenjähdyttimeltä lähtevästä putkesta.

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Lämpötilan kerrostuminen

Serverit ovat herkkiä ympäristön lämpötilalle ja kosteudelle. Siksi jäähdytysjärjestelmän on toimittava luotettavasti joka tilanteessa. Tämän varmistaa dieselillä toimivat varavoimakoneet, jotka käynnistyvät ulkoisen sähkönsyötön katkettua. Eripuolille laitesuojaa on asennettu kolme lämpötilan mittausturina 1,6 metrin korkeuteen, jotka antavat ennakkohälytyksen lämpötilan noustua yli 25 °C. Jos lämpötila jatkaa nousemistaan yli 30 °C antavat anturit varsinaisen hälytyksen. Osa uudemmista servereistä sulkeutuu itsestään niiden sisälämpötilan noustua liian korkeaksi. Suurin osa kuitenkin jatkaa käymistään niin kauan, kuin niiden sisälämpötila on 60 °C, jonka jälkeen ne rikkoutuvat. On siis elintärkeää, että jäähdytyskoneet toimivat moitteettomasti ja että huonelämpötila pysyy kauttaaltaan tasaisena ja alle hälytysrajojen.

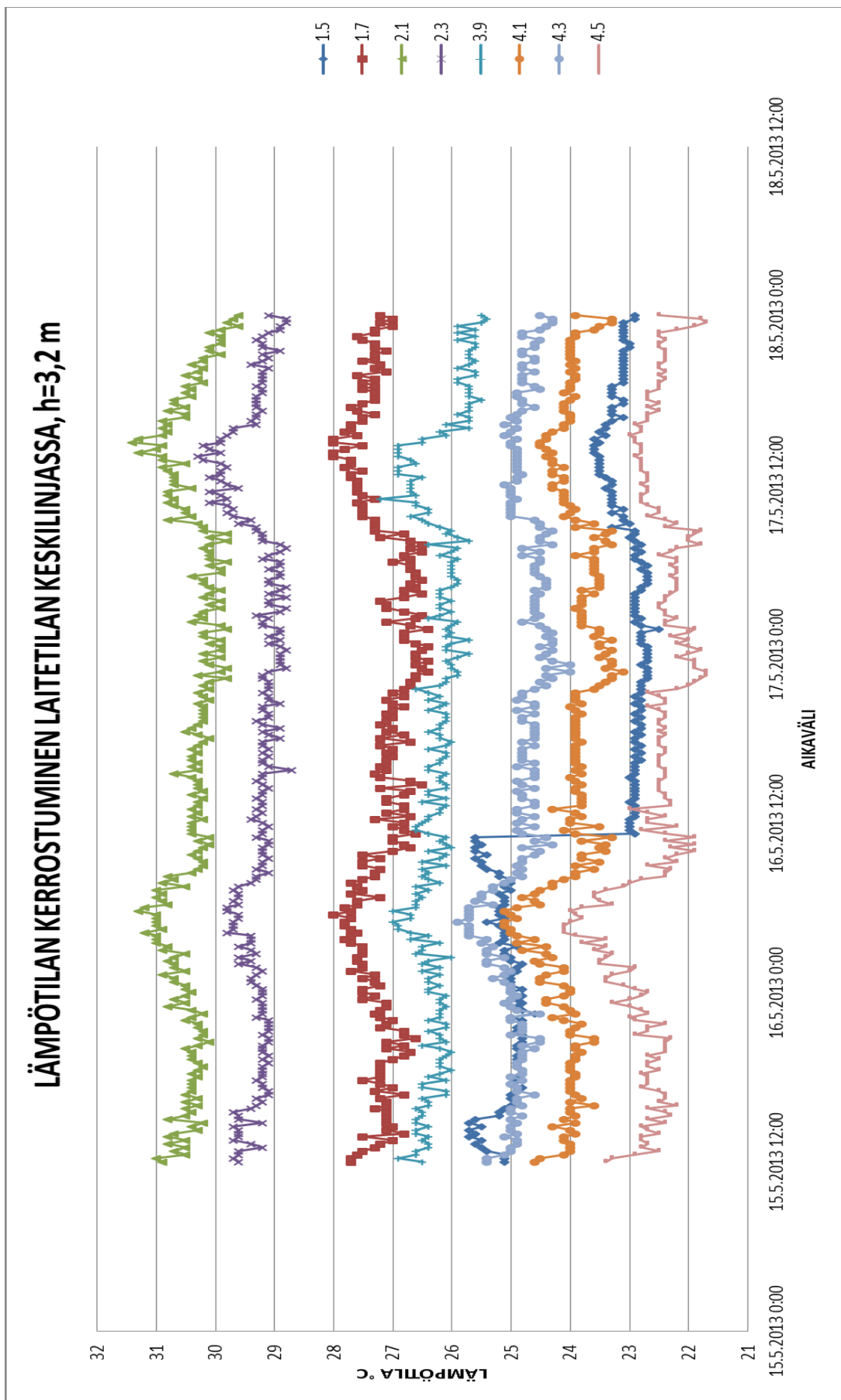
Lämpötilaseurannan perusteella voidaan havaita laitesuojan lämpöoloissa lämpötilan kerrostumista. Kuvasta 19. voidaan havaita, että 3,2 metrin korkeudelta suoritetuista mittauspisteistä lämpötilat nousevat korkeimmillaan hieman yli 30 °C. Yleisesti ottaen lämpötilat pysyvät tilan yläosassakin alle varsinaisen hälytysrajan. Mittaustuloksista huomataan, että tilan keskivaiheilla, mittauspisteissä 2.1/2.3/1.7/3.9, on selvästi lämpimämpää, kuin tilan reunoilla. Tämä selittyy ilmastointikaappikoneiden sijainnilla, joka on havainnollistettu liitteessä 1. Lämpötilan vaihteluun vaikuttaa lisäksi tilan alati muuttuva laitekuorma.

1,6 metrin korkeudelta suoritetuista mittauksista (kuva 20) huomataan sama ongelma, kuin tilan yläosassa. Laitetilan keskivaiheilla, kohdissa 4.2/4.0/2.4, lämpötilat ovat selvästi korkeammat, kuin mitä laitetilan reuna-alueella. Lämpötila kohoaa kor-

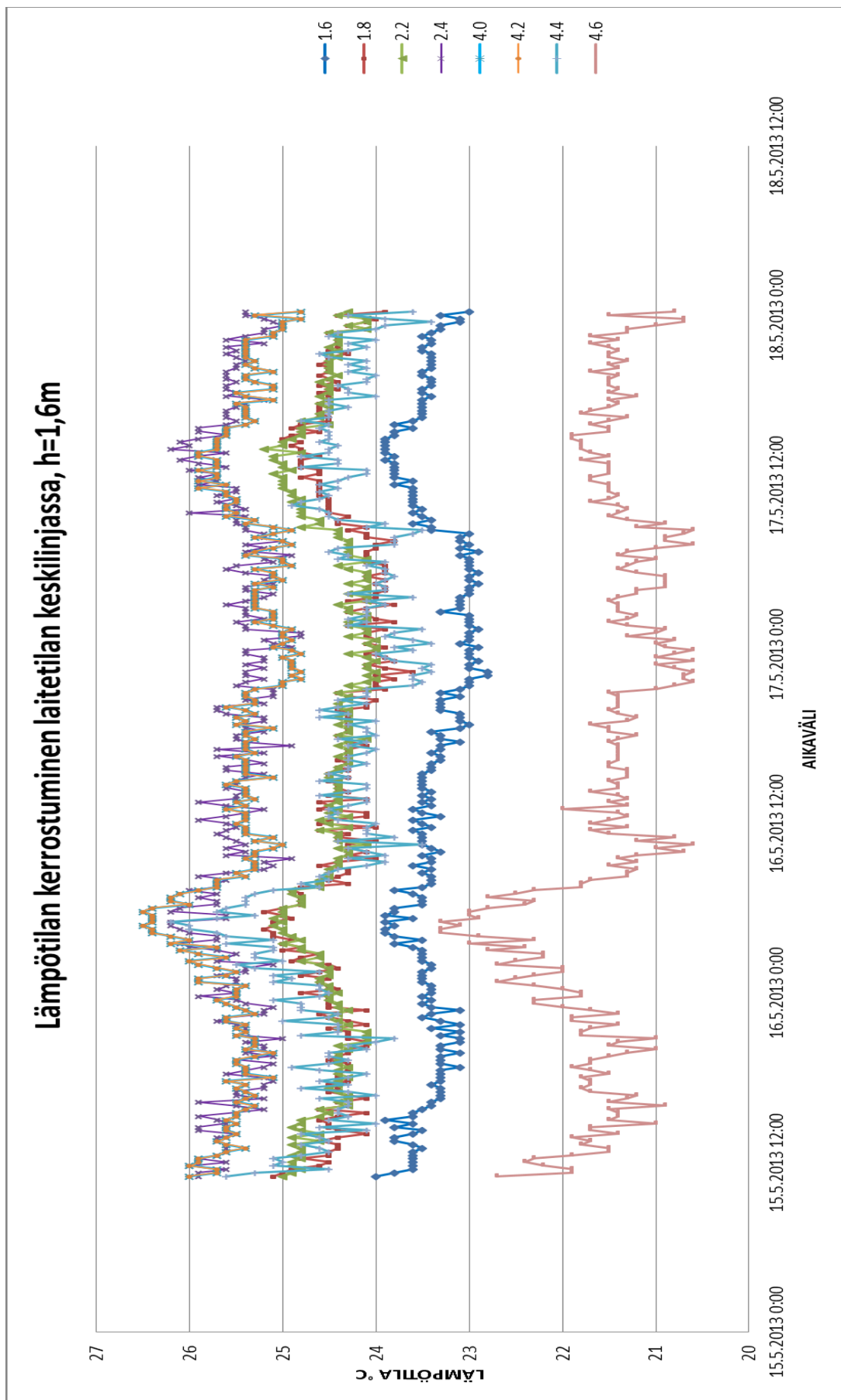
keimmillaan vain 26 °C asteeseen, mikä on kuitenkin tarpeeksi korkea aiheuttamaan ennakkohälytyksen.

Kaappikoneiden vastaisella käytävällä suoritettavat mittaukset 1,6 metrin korkeudelta ovat hälytysrajojen sisäpuolella, kuten kuvasta 21 huomataan.

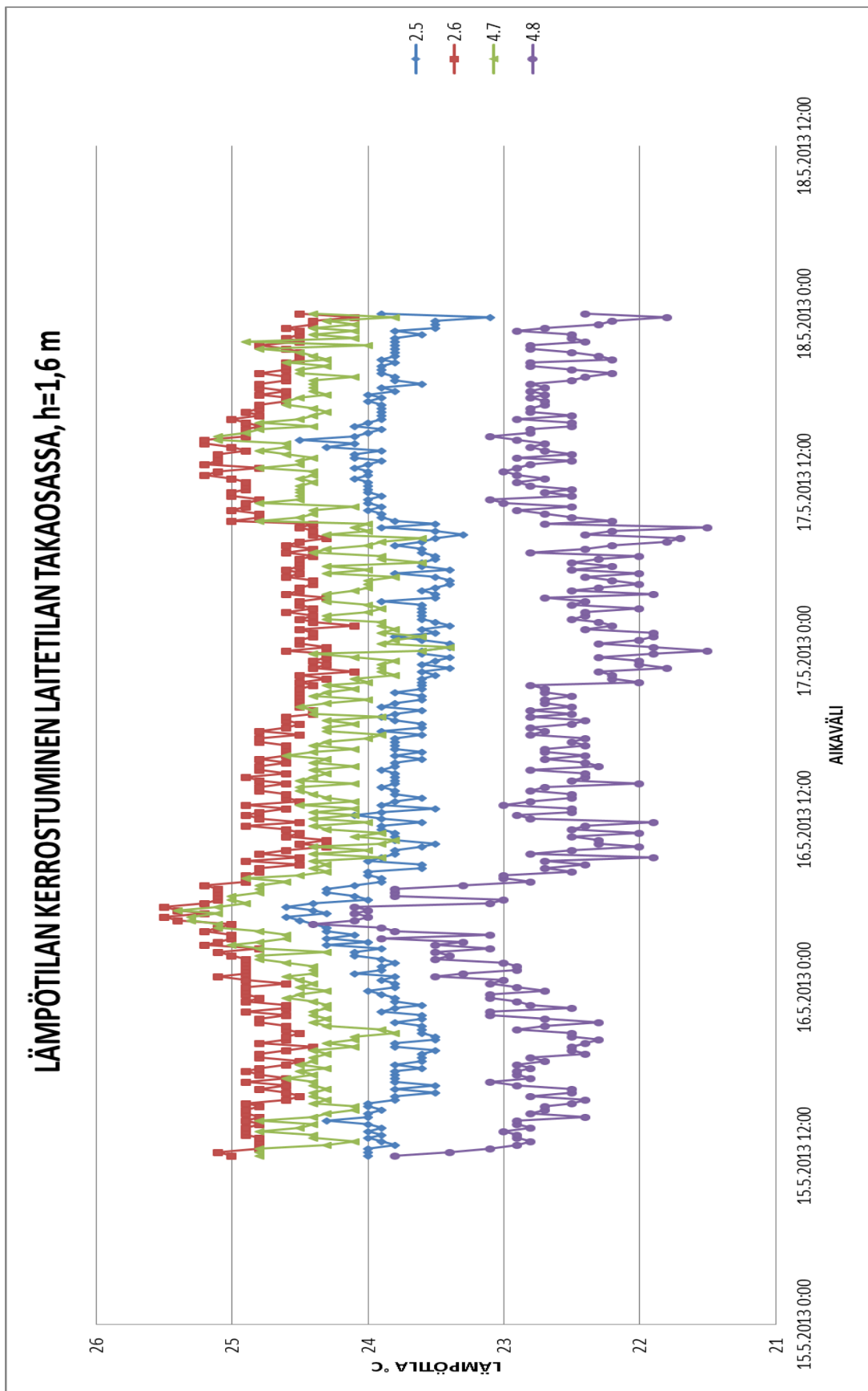
Lämpötilakäyrissä on näkyvillä voimakasta lämpötilan vaihtelua, myös samasta pisteestä mitattuna. Tämä saattaa osaltaan selittyä sillä, että kaappikoneet puhaltavat jäädytettyä ilmaa noin 4-6 m/s nopeudella sekoittaen huoneilmaa. Samoin dataräkien omat puhaltimet liikuttavat ilmaa epäjohdonmukaisesti.



Kuva 19. Lämpötilavaihtelut laitetilan yläosassa 8 eri mittauspisteessä.



Kuva 20. Lämpötilavaihtelut laitetalassa oleskeluvyöhykkeellä 8 eri mittauspisteessä.



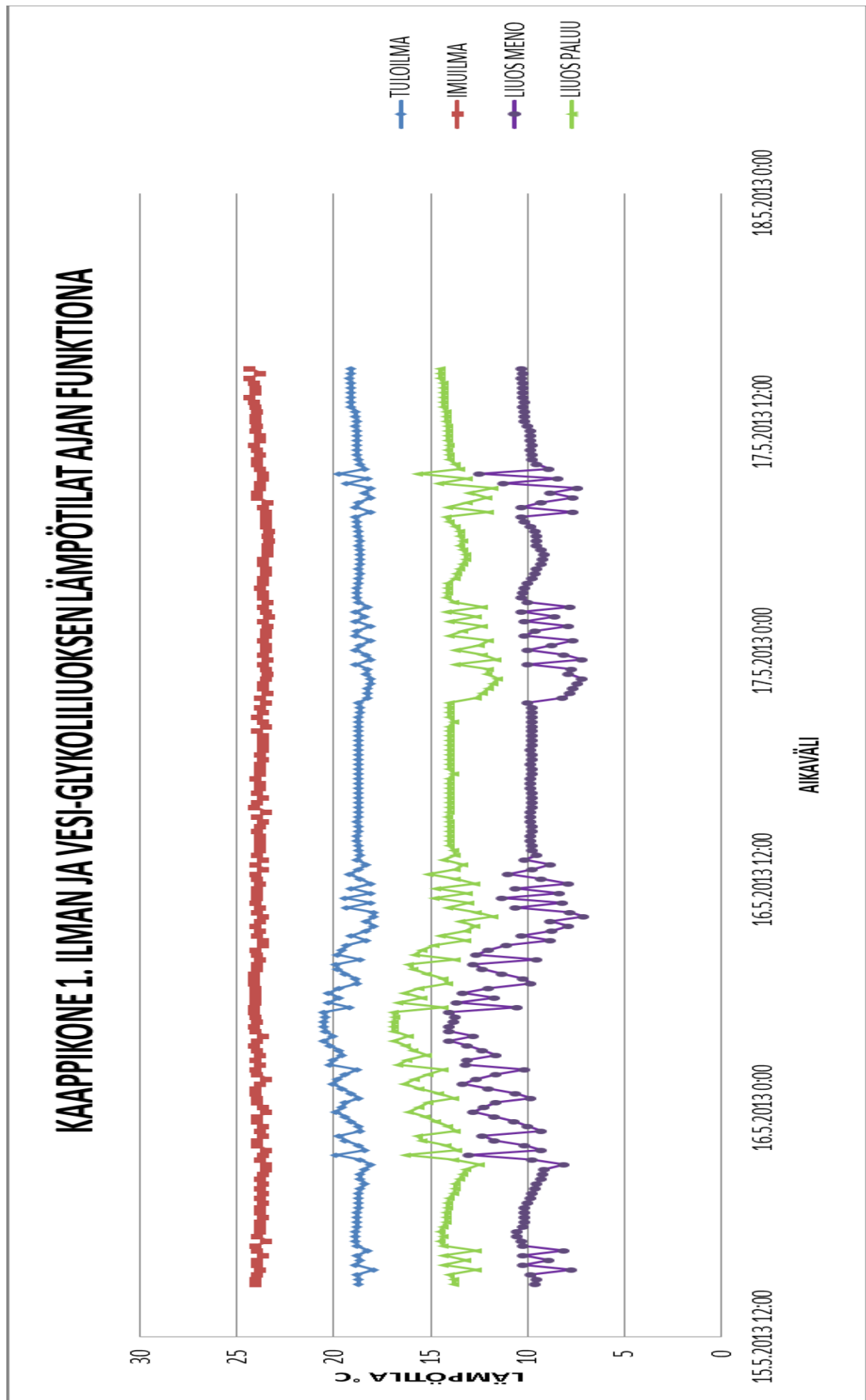
Kuva 21. Lämpötilavaihtelut laitetyötilan käytävän puolella 4 eri pisteessä.

5.2 Ilmastointikaappikoneiden lämpötilat ja ilman nopeudet

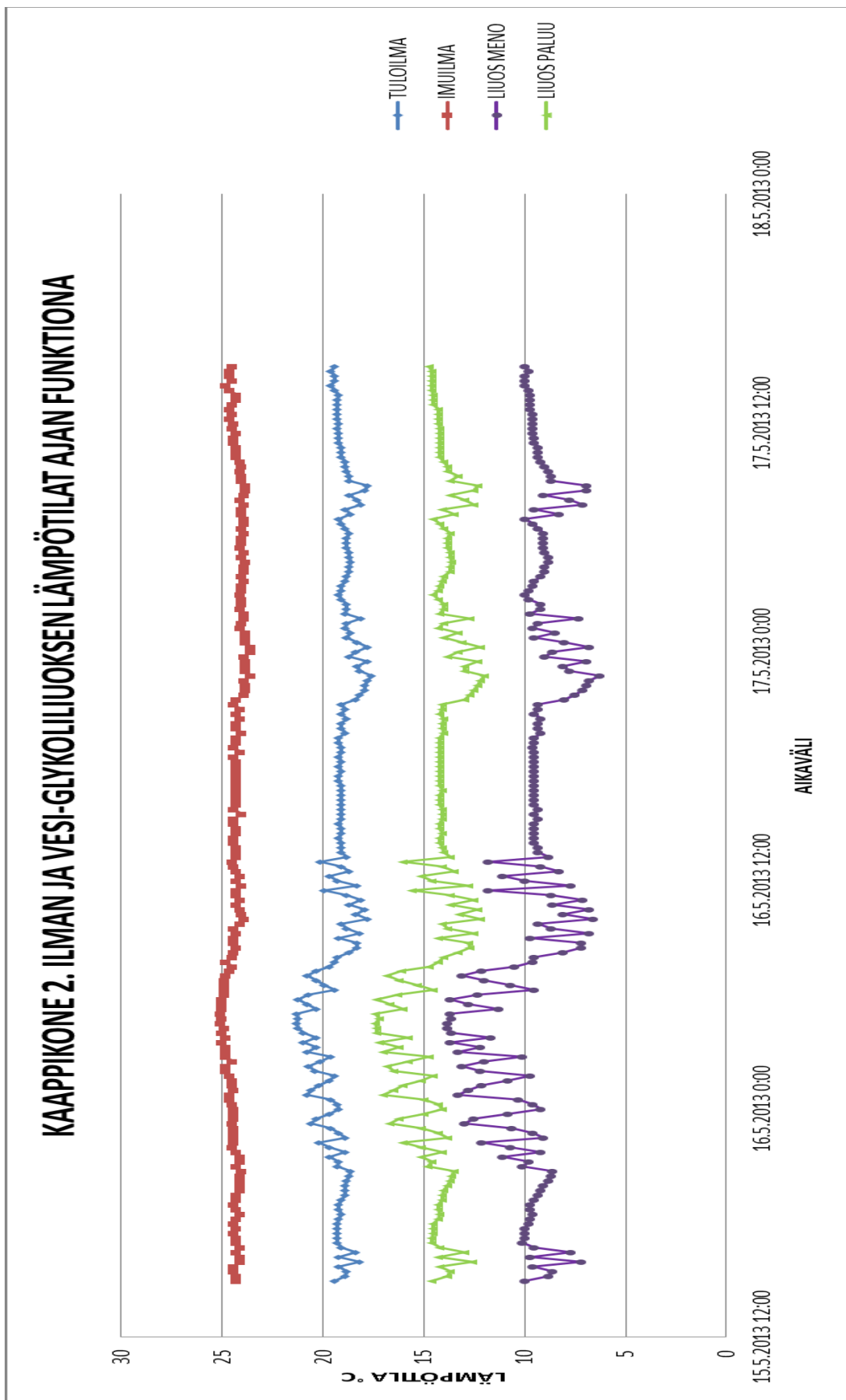
Ilmastointikaappikoneen oma 3-tieventtiili säättää vesi-glykolipiirin kiertoa patterille imuilman lämpötilan perusteella. Kun kaappikoneen imuilman lämpötila-anturi havaitsee lämpötilan nousua yli koneen oman asetusarvon, se avaa 3-tieventtiiliä päästäten lisää virtausta jäähdytyspatterille. Kun lämpötilan asetusarvo on saavutettu, 3-tieventtiili alkaa sulkea veden virtausta. Tämä on näkyvissä kaikkien kolmen kaappikoneen mittauksien perusteella tehdyistä käyrästäistä (kuvat 22, 23 ja 24).

Päivä aikana kuorman ollessa suurin, käyrä on tasainen. Tällöin säätöventtiili on täysin auki päästäten kaiken vedenjäähdyttimeltä tulleen tehon patterille. Kun taas yöaikaan, jolloin tehontarve pienenee hetkellisesti, alkaa kaappikoneen säätöventtiili sulkea nesteen virtausta ollen kuitenkin liian hidaskäyttöinen. Tästä johtuu kuvien 22, 23 ja 24 nestepiirin meno- ja paluuveden lämpötilan vaihtelut.

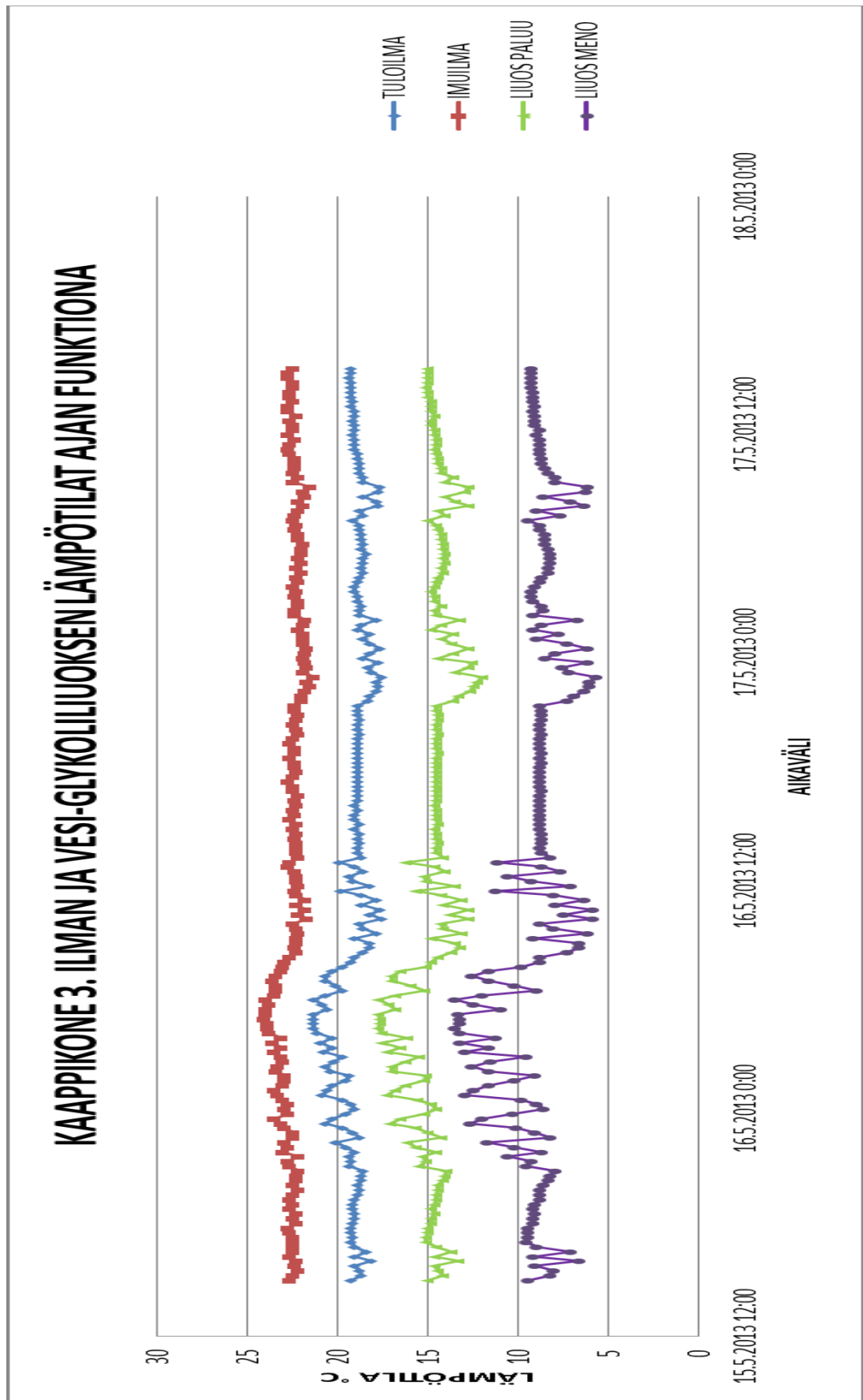
Taulukoissa 1-3 on esitetty taulukko-muodossa lämpötilat, ilman nopeudet sekä laskettu kullekin keskiarvo. Kunkin lämpötilan keskiarvoa on käytetty, kun on laskettu kunkin koneen jäähdytystehoa luvussa 6.



Kuva 22. Ilmastointikaappikone 1 lämpötilakäyrät



Kuva 23. Ilmastointikaappikone 2 lämpötiläkäyrät



Kuva 24. Ilmastointikaappikone 3 lämpötiläkäyrät

Taulukko 1. Kaappikone 1. Ote puhallus- ja imuilman sekä liuoksen meno- ja paluu lämpötiloista

| MITTAPISTE | 1.1 | 1.2 | | | 1.3 | 1.4 | | |
|-----------------|-----------|----------|-----------------|---------------|------------|-------------|------------------|---------------|
| ASEMA h (m) | 2,2 m PUH | 0,65 IMU | ΔT ILMA | Ka ΔT | LIUOS MENO | LIUOS PALUU | ΔT LIUOS | Ka ΔT |
| LÄMPÖTILA °C | °C | °C | | | °C | °C | | |
| 15.5.2013 11:02 | 19,9 | 23,9 | 4 | 4,9 | 12,3 | 15,9 | 3,6 | 4,1 |
| 15.5.2013 11:17 | 20 | 23,9 | 3,9 | | 13 | 16,3 | 3,3 | |
| 15.5.2013 11:32 | 19,7 | 23,9 | 4,2 | | 12,1 | 15,6 | 3,5 | |
| 15.5.2013 11:47 | 18,7 | 24,1 | 5,4 | | 9,6 | 13,8 | 4,2 | |
| 15.5.2013 12:02 | 18,7 | 24 | 5,3 | | 9,3 | 13,8 | 4,5 | |
| 15.5.2013 12:17 | 18,9 | 24 | 5,1 | | 10,2 | 14,3 | 4,1 | |
| 15.5.2013 12:32 | 18,6 | 23,9 | 5,3 | | 9,3 | 13,7 | 4,4 | |
| 15.5.2013 12:47 | 18,6 | 24 | 5,4 | | 9,2 | 13,6 | 4,4 | |
| 15.5.2013 13:02 | 18,7 | 23,8 | 5,1 | | 9,7 | 14 | 4,3 | |
| 15.5.2013 13:17 | 18,8 | 24 | 5,2 | | 10 | 14,1 | 4,1 | |

Taulukko 2. Kaappikone 1. Ilmavirran nopeus puhallus- ja imupuolelta

| puh m/s | | | KA m/s | imu m/s | | | | KA m/s |
|---------|------|------|--------|---------|-----|-----|-----|--------|
| 5,8 | 7,7 | 13,1 | 10 | 4,8 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,1 |
| 8,6 | 11,5 | 13,4 | | 4 | 4,3 | 4,6 | 4,5 | |
| | | | | 4,2 | 3,9 | 3,6 | 4,1 | |
| | | | | 3,6 | 3,3 | 3,4 | 3,2 | |

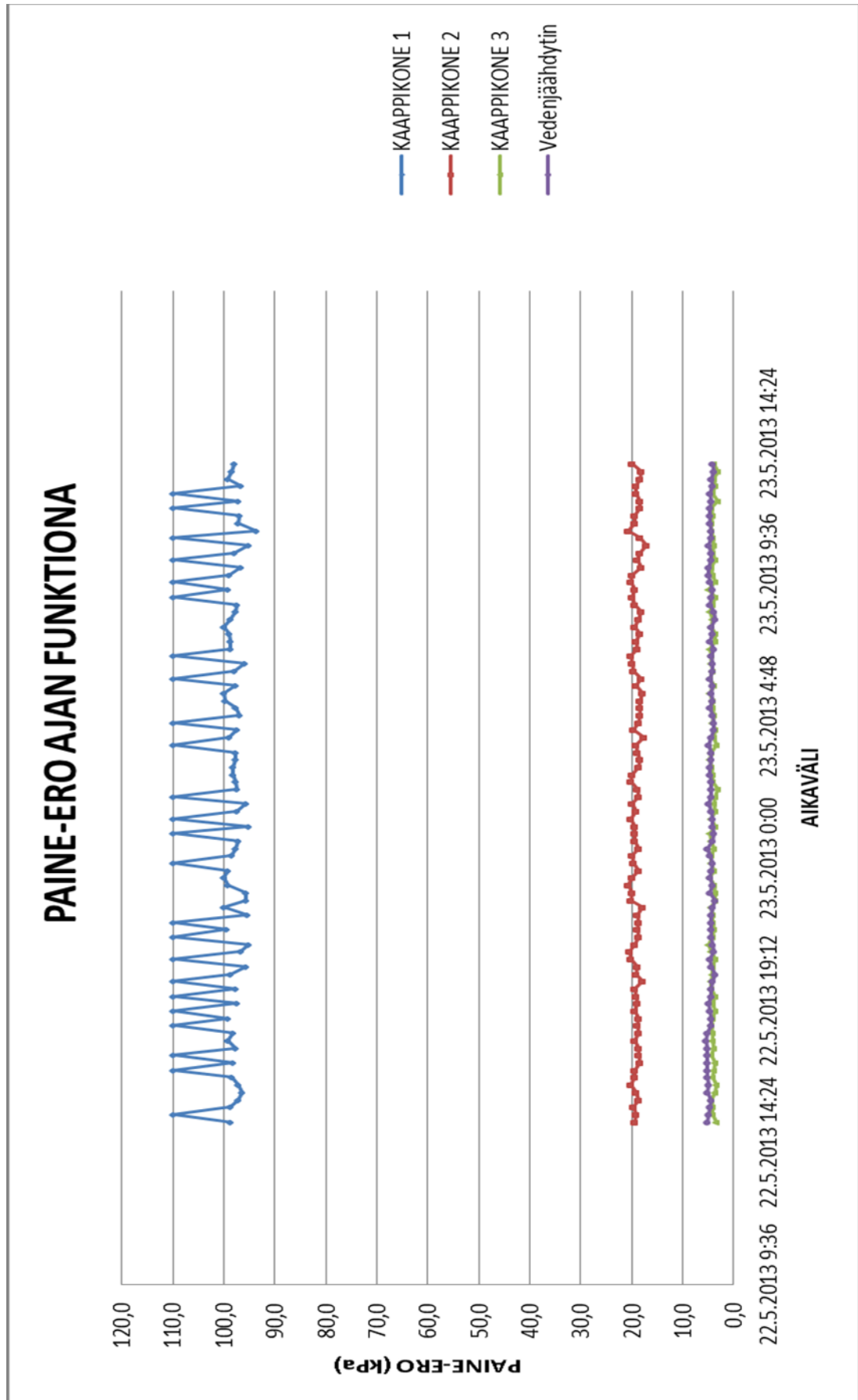
Taulukon 1 ja 2 mukaisesti myös kaappikoneilta 2 ja 3 on taulukoitu ja laskettu lämpötilojen- ja ilmavirran nopeuksien keskiarvot. Ne on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kaappikoneiden 2 ja 3 puhallus- ja imuilman sekä liuoksen meno- ja paluu lämpötilat

| KAAPPIKONE 2 | | KAAPPIKONE 3 | |
|------------------|---------|------------------|----------|
| ΔT ILMA | 5,1 °C | ΔT ILMA | 3,4 °C |
| ΔT LIUOS | 4,7 °C | ΔT LIUOS | 5,7 °C |
| PUH | 9,0 m/s | PUH | 10,1 m/s |
| IMU | 4,0 m/s | IMU | 4,1 m/s |

5.3 Ilmastointikaappikoneiden ja vedenjäähdyttimen liuosvirran mittaukset

Paine-eroa mitattiin, jotta saataisiin laskettua pitkälle aikavälille tarkat arvot vesiglykolipiirin virtaukselle konekohtaisesti. Kuvassa 25 on esitetty graafisesti paineero ajan funktiona vedenjäähdyttimelle ja kullekin kaappikoneelle.



Kuva 25. Linjasäätöventtiilien paine-erot

Paine-erolähettimen max paine-ero on 1 bar eli 100 kPa. Kaappikoneen 1 paine-erot nousevat paikoitellen yli lähettimen asettelualueen (100 kPa) kuten taulukosta 4 näkyy. Tuloksia tarkasteltaessa paine-erolähettimen loggerille lähettämä sähköinen viesti 4-20 mA % voidaan muuttaa suoraan paine-eroksi ΔP (kPa). Taulukossa 4 on esitetty taulukko muodossa vedenjäähdyttimen ja kaappikoneiden liuospiirin paine-erot.

Taulukko 4. Vesi-glykolipiirin paine-erot ja keskiarvot

| vedenjäähdytin | | ΔP KONE 1 | | ΔP KONE 2 | | ΔP KONE 3 | |
|----------------|-----|-------------------|-------|-------------------|------|-------------------|-----|
| kPa | KA | kPa | KA | kPa | KA | kPa | KA |
| 5,3 | 4,5 | 98,6 | 101,0 | 19,5 | 19,1 | 3,5 | 4,1 |
| 5,0 | | 110,0 | | 19,2 | | 4,1 | |
| 4,7 | | 98,7 | | 19,7 | | 4,2 | |
| 4,5 | | 97,1 | | 18,7 | | 4,4 | |
| 5,3 | | 96,5 | | 19,1 | | 3,7 | |
| 5,0 | | 97,2 | | 20,1 | | 3,4 | |
| 5,2 | | 98,5 | | 19,5 | | 4,3 | |
| 5,3 | | 110,0 | | 19,4 | | 3,9 | |
| 5,3 | | 98,3 | | 18,4 | | 3,8 | |
| 5,2 | | 110,0 | | 18,6 | | 4,4 | |
| 5,1 | | 97,8 | | 18,8 | | 4,0 | |
| 5,4 | | 99,1 | | 19,5 | | 4,1 | |
| 5,2 | | 98,3 | | 18,7 | | 4,1 | |

Tilavuusvirran laskemisessa käytetään mitattuja paine-eroja. Koneitten linjasäätöventtiileistä tarkastettiin linjasäädön esisäätöarvo, jota vastaava Kv-arvo (liite 4) korjattiin vesi-glykolipitoisuuden Kv-arvon kertoimella liitteen 3 mukaisesti ekstrapoloimalla paluuliuksen noin 14 °C vastaava Kv-arvon kerroin. Tilavuusvirta q_v laskettiin kaavalla 4. Taulukossa 5 on esitetty laskentaan tarvittavat arvot sekä koneiden tilavuusvirrat nestepiirin paine-eroista laskettuna. Vedenjäähdytyskoneen linjasäätöventtiilin Kv-arvo tarkastettiin liitteestä 5.

$$q_v = K_{v,tod} \times \frac{(\sqrt{\Delta P})}{36000} \quad (4)$$

q_v = tilavuusvirta, m³/s

$K_{v,tod} = \text{korjattu } K_v\text{- arvo}$

$\Delta P = \text{linjasäätöventtiilin yli mitattu paine-ero, kPa}$

Taulukko 5. Tilavuusvirrat

| PAINE-EROSTA LASKETUT TILAVUUSVIRRAT KONEITTAIN | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|------------|--------|------------|
| | MALLI | ES | ΔP kPa | $^{\circ}C$ PALUU | Kv | Kv KERROIN | Kv TOD | ΔT |
| KONE 1 | ORAS DN25 | 5,5 | 101,0 | 14,1 | 2,78 | 1,138 | 3,164 | 4,1 |
| KONE2 | ORAS DN25 | 8,5 | 19,1 | 14,1 | 6,25 | 1,138 | 7,113 | 4,7 |
| KONE3 | ORAS DN25 | 10 | 4,1 | 14,6 | 10,97 | 1,138 | 12,484 | 5,7 |
| VJK | VEXVE DN 65 | 9 | 4,5 | 14,6 | 61,2 | 1,138 | 69,646 | 6 |
| q_{v1} | 0,00088 | m ³ /s | ρ | 1043 | kg/m ³ | | | |
| q_{v2} | 0,00086 | m ³ /s | C_p | 3,7 | kJ/kgK | | | |
| q_{v3} | 0,00070 | m ³ /s | | | | | | |
| q_v VJK | 0,00409 | m ³ /s | | | | | | |

Nestevirta mitattiin myös ultraäänivirtausmittarilla, jolloin tilavuusvirraksi saatiin kaavaa 2 ja 3 käyttämällä 0,002 m³/s. Tulosta voidaan pitää paine-erosta saatua nestevirtaa luotettavampana, joten sitä käytetään jäljempänä esiintyvissä teholaskuissa.

6 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Jäähdytystehot laskettiin kullekin ilmastointikaappikoneelle käyttäen sekä nestepuolen, että ilmapuolen mittauksia. Tämän lisäksi laskettiin vedenjäähdyttimen, ilmastointikoneen jäähdytyspatterin ja tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektorin jäähdytysteho.

6.1 Ilmastointikaappikoneiden jäähdytystehot imuilmasta laskettuna

Ilmapuolen laskuissa käytetään imuilman virtausnopeuksia, koska tuloilman mittauspiste sijaitsi suoraan puhaltimen jälkeen olevassa muoto-osassa, joka aiheutti liiallista turbulentsuutta ilmavirrassa. Jäähdytystehon laskentaa varten täytyy ratkaista imuilman tilavuusvirta kaavasta 5.

$$q_v = v \times A \quad (5)$$

q_v = imuilman tilavuusvirta, m^3/s

v = imuilman mitattu virtausnopeus, m/s

A = imuilma aukon pinta-ala, m^2

Jäähdytysteho voidaan nyt laskea käyttämällä kaavaa 6.

$$\phi = q_v \times \rho \times c_{pi} \times \Delta T \quad (6)$$

ϕ = jäähdytysteho, kW

q_v = imuilman tilavuusvirta, m^3/s

ρ = ilman tiheys, kg/m^3 (laskennassa käytetty arvoa $1,169 kg/m^3$)

c_{pi} = ominaislämpökapasiteetti, $kJ/(kgK)$ (laskennassa käytetty arvoa $1,006 kJ/(kgK)$)

ΔT = puhallus- ja imuilman lämpötilaero, $^{\circ}C$

Käyttämällä taulukoiden 1,2 ja 3 ilman nopeuksia sekä lämpötilaeroja, saadaan kaavalla 6 laskettua jäähdytystehot ilmastointikaappikoneille (taulukko 6).

Taulukko 6. Imuilmasta laskettu jäähdytysteho konekohtaisesti

| | ϕ (kW) |
|--------|-------------|
| KONE 1 | 15,1 |
| KONE2 | 15,4 |
| KONE3 | 10,0 |

6.2 Ilmastointikaappikoneiden jäähdytystehot nestepiiristä laskettuna

Nestepuolen jäähdytystehot voidaan laskea kaavalla 7 taulukossa 5 olevia arvoja käyttäen

$$\phi = q_v \times \rho \times c_{pn} \times \Delta T \quad (7)$$

ϕ = jäähdytysteho, kW

q_v = vesi-glykolipiirin tilavuusvirta, m³/s

ρ = vesi-glykolin 30% tiheys, kg/m³ (laskennassa käytetty arvoa 1043 kg/m³)

c_{pn} = ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kgK) (laskennassa käytetty arvoa 3,7 kJ/(kgK))

ΔT = vesi-glykolin meno- ja paluupuolen lämpötilaero, °C

Taulukko 7. Nestepiiristä laskettu jäähdytysteho konekohtaisesti

| | ϕ (kW) |
|--------|-------------|
| KONE 1 | 14,0 |
| KONE 2 | 15,7 |
| KONE 3 | 15,4 |
| VJK | 94,8 |

6.3 Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin teho

Jäähdytyspatterin tehon laskemiseksi ratkaistiin kanavan poikkipinta-ala kaavan 2 mukaisesti saaden poikkipinta-alaksi 0,126 m². Edelleen voimme ratkaista kanaviston tilavuusvirran kaavalla 3 saaden tulokseksi 0,74 m³/s.

Jäähdytysteho voidaan nyt laskea kaavaa 6. käyttämällä. Edellä mainituilla arvoilla ilmastointikoneen jäähdytystehoksi saadaan 3,8 kW.

6.4 Tasasuuntaushuoneen puhallinkonvektorin jäähdytysteho

Vesi-glykolipiirin menoveden lämpötilaksi saatiin 7,2 °C ja paluueden 13,1 °C. Näin ollen lämpötilaero ΔT on 5,9 °C. Kaavalla 2 voidaan laskea putken poikkipinta-alan 22 mm kupariputkelle. Ultraäänimittausten tuloksena saadun virtausnopeuden ja putken poikkipinta-alan avulla selvitetään tilavuusvirta q_v kaavalla 3. Konvektorin jäähdytyspatterin teho lasketaan tehonkaavalla 7.

Jäähdytyspatterin tehoksi saadaan 9,1 kW, joka vastaa valmistajan arviota koneen teholuokasta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmapuolen mittauksia voidaan pitää nestepuolen mittauksia luotettavampina. Ilma-
virran mittaamiseen käytetty siipipyöranemometri antaa luotettavan mittaustuloksen
usean mittauspisteen johdosta. Ilmapuolen lämpötilat ovat pitkän ajanjakson keskiar-
voista laskettu, jolloin tuloksen virhe jää hyvin pieneksi.

Nestepuolen mittausten tulosta tarkasteltaessa täytyy huomioida, että putkisto ja sen
venttiilit ovat vanhat. Ajan kuluessa korroosion aiheuttamat hiukkaset ovat saattaneet
tukkia linjasäätöventtiileitä aiheuttaen turhaa painehäviötä. Paine-erolähtetimen mit-
taustarkkuus on huonompi pienillä paine-eroilla mikä aiheuttaa mittaukseen epävar-
muutta. Näistä syistä johtuen myös vedenjäähdytyskoneen lopullinen teho laskettiin
ultraäänivirtausmittarin antaman virtausnopeuden avulla eikä linjasäätöventtiilin pai-
ne-eroa käyttämällä.

Koneiden 1 ja 2 ilma- ja nestepuolen tehoerot ovat korkeintaan 1 kW kuten taulukos-
sa 8 huomataan. Koneen 3 tehot eriävät toisistaan 5,4 kW verran. Tämä saattaa joh-
tua siitä, että laittilan tässä osassa ilma on viileämpää ja näin ollen lämpötilamitta-
uksista saatu lämpötilaero ΔT on pienempi. Taulukosta 8 huomataan että ilmapuolen
yhteenlasketut tehot ovat hyvin lähellä vedenjäähdytyskoneen tuottamaa tehoa.

Taulukko 8. Jäähdytystehot ja tilavuusvirrat

| | | NESTESPUOLI | ILMAPUOLI |
|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | q_v (m ³ /s) | ϕ (kW) | ϕ (kW) |
| KAAPPIKONE 1 | 0,00088 | 14,0 | 15,1 |
| KAAPPIKONE 2 | 0,00086 | 15,7 | 15,4 |
| KAAPPIKONE 3 | 0,00070 | 15,4 | 10,0 |
| KONVEKTORI | 0,00040 | 9,1 | 9,1 |
| IV-PATTERI | 0,00017 | 3,8 | 3,8 |
| YHT. | 0,00290 | 58,0 | 54,4 |
| VJK | 0,00200 | 46,0 | 46,0 |

Laitevalmistajan ilmoittama jäähdytysteho kohteeseen kullekin kaappikoneelle on n. 30 kW. Jäähdytysteho perustuu 30% vesi-glykoliliuokselle ja 1,4 l/s nestevirralle ja nestelämpötilalle 7/12 °C. Tässä opinnäytetyössä mitausten perusteella saadut tulokset ovat kutakuinkin puolet valmistajan jäähdytystehosta.

LÄHTEET

1. Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa. Suomen LVI-liitto.
2. Aittomäki, A. 2012. Kylmätekniikka. Helsinki. Suomen Kylmäyhdistys.
3. Siren, K. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Espoo. Tietonova.
4. Hakala, P. & Kaappola, E. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Hämeenkyrö & Kirkkonummi. Opetushallitus.
5. Teollisuusilmastoinnin opas. 2000. TAKE.

LIITE 1

Liite 1 ei ole nähtävillä opinnäytetyön julkisessa versiossa.

LIITE 2

| LOGGERI 1 | | |
|------------|-------|---------------------|
| MITTAPISTE | h (m) | KOHDE |
| 1.1. | 2,2 | KAAPPIKONE PUHALLUS |
| 1.2. | 0,65 | KAAPPIKONE IMU |
| 1.3. | 1 | LIUOS MENO |
| 1.4. | 1 | LIUOS PALUU |
| 1.5. | 3,2 | HUONETILA |
| 1.6. | 1,6 | HUONETILA |
| 1.7. | 3,2 | HUONETILA |
| 1.8. | 1,6 | HUONETILA |

| LOGGERI 2 | | |
|------------|-------|-----------|
| MITTAPISTE | h (m) | KOHDE |
| 2.1. | 3,2 | HUONETILA |
| 2.2. | 1,6 | HUONETILA |
| 2.3. | 3,2 | HUONETILA |
| 2.4. | 1,6 | HUONETILA |
| 2.5. | 1,6 | HUONETILA |
| 2.6. | 1,6 | HUONETILA |
| 2.7. | 1,6 | SEINÄ |
| 2.8. | 1,6 | SEINÄ |

| LOGGERI 3 | | |
|------------|-------|---------------------|
| MITTAPISTE | h (m) | KOHDE |
| 3.1. | 2,2 | KAAPPIKONE PUHALLUS |
| 3.2. | 0,65 | KAAPPIKONE IMU |
| 3.3. | 1 | LIUOS MENO |
| 3.4. | 1 | LIUOS PALUU |
| 3.5. | 2,2 | KAAPPIKONE PUHALLUS |
| 3.6. | 0,65 | KAAPPIKONE IMU |
| 3.7. | 1 | LIUOS MENO |
| 3.8. | 1 | LIUOS PALUU |
| 3.9. | 3,2 | HUONETILA |
| 4.0. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.1. | 3,2 | HUONETILA |
| 4.2. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.3. | 3,2 | HUONETILA |
| 4.4. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.5. | 3,2 | HUONETILA |
| 4.6. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.7. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.8. | 1,6 | HUONETILA |
| 4.9. | 1,6 | Seinä |

| LOGGERI 4 | | |
|------------|-------|-------------|
| MITTAPISTE | h (m) | KOHDE |
| 5.0 | 1 | LIUOS MENO |
| 5.1 | 1 | LIUOS PALUU |

TODELLINEN ESISÄÄTÖARVO

KV-ARVOKERROIN

GLYKOLIPITOISUUS

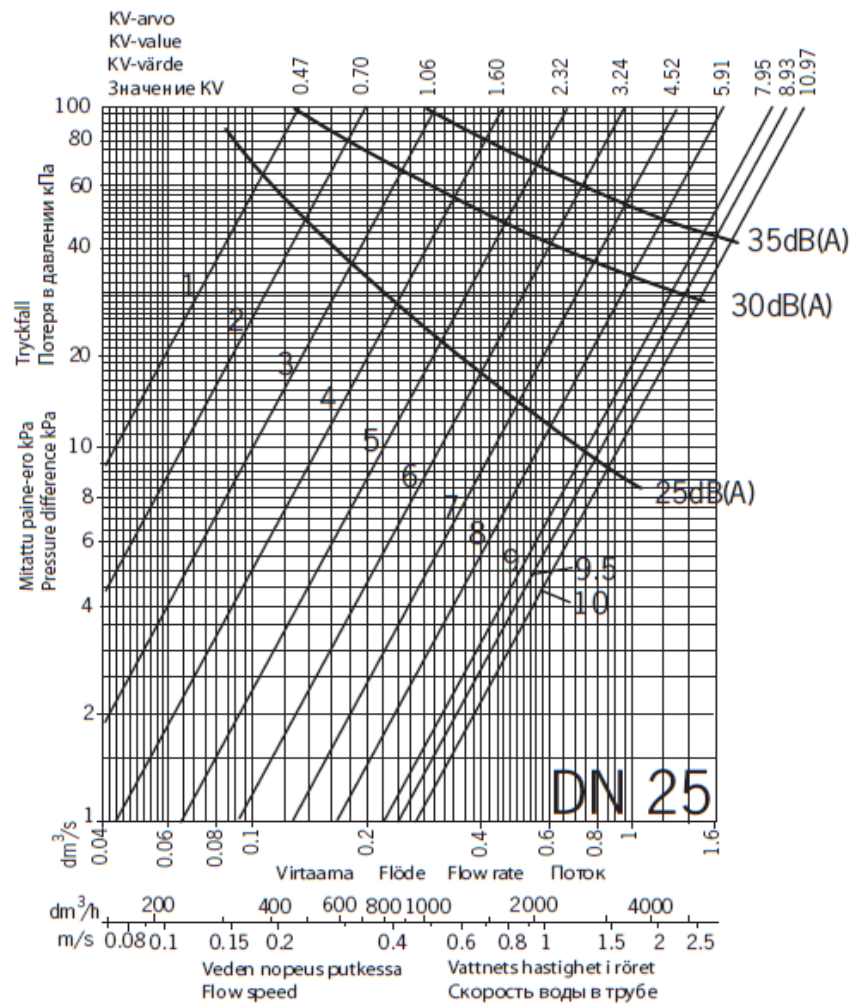
| | | 30% | 35% | 40% | 45% | 50% |
|-------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| NESTEEN LÄMPÖTILA [C°] | 10 | 1.158 | 1.183 | 1.208 | 1.223 | 1.237 |
| | 9 | 1.163 | 1.188 | 1.213 | 1.228 | 1.243 |
| | 8 | 1.168 | 1.193 | 1.218 | 1.234 | 1.250 |
| | 7 | 1.173 | 1.198 | 1.223 | 1.240 | 1.256 |
| | 6 | 1.178 | 1.203 | 1.228 | 1.245 | 1.263 |
| | 5 | 1.183 | 1.208 | 1.233 | 1.251 | 1.269 |
| | 4 | 1.189 | 1.214 | 1.239 | 1.258 | 1.277 |
| | 3 | 1.195 | 1.220 | 1.244 | 1.265 | 1.285 |
| | 2 | 1.201 | 1.226 | 1.250 | 1.271 | 1.292 |
| | 1 | 1.207 | 1.231 | 1.255 | 1.278 | 1.300 |
| | 0 | 1.212 | 1.237 | 1.261 | 1.285 | 1.308 |
| | -1 | 1.219 | 1.243 | 1.267 | 1.292 | 1.316 |
| | -2 | 1.226 | 1.250 | 1.274 | 1.299 | 1.324 |
| | -3 | 1.232 | 1.256 | 1.280 | 1.307 | 1.333 |
| | -4 | 1.239 | 1.263 | 1.286 | 1.314 | 1.341 |
| | -5 | 1.245 | 1.269 | 1.292 | 1.321 | 1.349 |
| | -6 | 1.251 | 1.276 | 1.300 | 1.330 | 1.359 |
| | -7 | 1.258 | 1.283 | 1.308 | 1.339 | 1.370 |
| | -8 | 1.264 | 1.290 | 1.315 | 1.348 | 1.380 |
| | -9 | 1.270 | 1.297 | 1.323 | 1.357 | 1.390 |
| | -10 | 1.277 | 1.304 | 1.330 | 1.366 | 1.400 |
| -11 | | 1.311 | 1.339 | 1.379 | 1.411 | |
| -12 | | 1.319 | 1.348 | 1.393 | 1.423 | |
| -13 | | 1.327 | 1.357 | 1.406 | 1.434 | |
| -14 | | 1.334 | 1.366 | 1.420 | 1.445 | |
| -15 | | 1.342 | 1.375 | 1.433 | 1.456 | |
| -16 | | | 1.383 | 1.446 | 1.467 | |
| -17 | | | 1.392 | 1.459 | 1.478 | |
| -18 | | | 1.401 | 1.471 | 1.489 | |
| -19 | | | 1.409 | 1.484 | 1.499 | |
| -20 | | | 1.418 | 1.465 | 1.510 | |

esisäätoarvoa vastaava kv - arvo x taulukon kerroin =
todellisen esisäätoarvon kv - arvo

Venttiilit/Säätökäyrät



Linjasäätöventtiili / 410025
 Pumpusäätöventtiili / 411028



Virtamääräkäyrät on laadittu vedelle. Muiden nesteiden, esim. glykolin, erilainen viskositeetti muuttaa käyrää. Ohjeita ja kertoimia saa valmistajalta.

Kv-values for Vexve type 140 / 143

| Set value | DN 15/20 | DN25 | DN 32 | DN 40 | DN 50 | DN 65 | DN 80 | DN 100 | DN 125 | DN 150 | DN 200 | DN 250 | DN 300 | Set value |
|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 1,0 | - | - | 0,39 | 0,60 | 1,26 | 2,52 | 3,42 | 6,48 | 6,84 | 13,68 | 19,7 | 35,0 | 54,5 | 1,0 |
| 1,5 | - | 0,35 | 0,57 | 1,01 | 1,80 | 3,64 | 5,37 | 9,47 | 13,32 | 20,16 | 20,2 | 51,2 | 80,0 | 1,5 |
| 2,0 | 0,14 | 0,49 | 0,83 | 1,48 | 2,70 | 4,75 | 7,31 | 12,46 | 18,00 | 26,64 | 38,4 | 66,5 | 105,0 | 2,0 |
| 2,5 | 0,28 | 0,99 | 1,08 | 2,02 | 3,55 | 6,34 | 10,23 | 16,28 | 24,30 | 35,46 | 51,1 | 90,0 | 142,0 | 2,5 |
| 3,0 | 0,42 | 1,36 | 1,44 | 2,70 | 4,39 | 7,92 | 13,14 | 20,09 | 30,60 | 44,28 | 63,8 | 110,0 | 176,0 | 3,0 |
| 3,5 | 0,61 | 1,66 | 1,80 | 3,24 | 5,61 | 9,78 | 16,11 | 24,45 | 37,80 | 55,08 | 79,3 | 140,0 | 220,0 | 3,5 |
| 4,0 | 0,80 | 2,00 | 2,30 | 3,96 | 6,84 | 11,63 | 19,08 | 28,84 | 45,00 | 65,88 | 95,0 | 165,0 | 260,0 | 4,0 |
| 4,5 | 1,02 | 2,40 | 2,74 | 4,86 | 8,34 | 14,15 | 23,31 | 35,82 | 55,26 | 84,06 | 121,0 | 215,0 | 336,0 | 4,5 |
| 5,0 | 1,24 | 3,00 | 3,42 | 5,98 | 9,83 | 16,67 | 27,54 | 42,84 | 65,52 | 102,24 | 147,0 | 260,0 | 408,0 | 5,0 |
| 5,5 | 1,64 | 3,50 | 4,21 | 7,18 | 11,94 | 20,94 | 33,21 | 51,84 | 81,72 | 127,08 | 183,0 | 325,0 | 510,0 | 5,5 |
| 6,0 | 2,04 | 4,50 | 5,11 | 8,57 | 14,04 | 25,20 | 38,88 | 60,84 | 97,92 | 151,92 | 219,0 | 380,0 | 600,0 | 6,0 |
| 6,5 | 2,64 | 5,10 | 5,97 | 10,15 | 16,92 | 29,52 | 46,26 | 75,42 | 121,86 | 196,56 | 282,0 | 500,0 | 785,0 | 6,5 |
| 7,0 | 3,24 | 6,70 | 7,27 | 12,31 | 19,80 | 33,84 | 53,64 | 90,00 | 145,80 | 241,20 | 325,0 | 576,0 | 950,0 | 7,0 |
| 7,5 | 3,84 | 7,30 | 8,64 | 14,40 | 23,40 | 39,78 | 64,62 | 113,40 | 177,30 | 289,80 | 417,0 | 740,0 | 1156,0 | 7,5 |
| 8,0 | 4,45 | 9,30 | 10,08 | 17,64 | 27,00 | 45,72 | 75,60 | 136,80 | 208,80 | 338,40 | 486,0 | 866,0 | 1353,0 | 8,0 |
| 8,5 | 5,04 | 10,00 | 11,52 | 20,88 | 30,60 | 53,46 | 91,80 | 169,20 | 251,30 | 399,80 | 576,0 | 1020,0 | 1594,0 | 8,5 |
| 9,0 | 5,83 | 12,65 | 13,14 | 22,57 | 34,20 | 61,20 | 108,00 | 216,00 | 293,80 | 460,80 | 660,0 | 1170,0 | 1840,0 | 9,0 |