

Evgueni Kovalev

Lämpökuormien hallinta kylmäksi suunnittelussa vinttitilassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Rakentamisen koulutusohjelma
Insinöörityö
27.11.2012

Tekijä Otsikko	Evgueni Kovalev Lämpökuormien hallinta kylmäksi suunnittelussa vinttitilassa
Sivumäärä Aika	40 sivua + 3 liitettä 27.11.2012
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentamisen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikan suuntautumisvaihtoehto
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen Helsingin kaupungin energia-asiantuntija Timo Posa
<p>Helsingin keskustassa suurin osa rakennuksista on vanhoja 1900-luvun alkupuolella rakennettuja taloja, joiden ullakko on suunniteltu kylmäksi. Myöhemmin, uusien määräysten ja LVI-saneerausten myötä, kylmälle ullakolle asennettiin ilmanvaihtokoneita ja kanavistoja, joista syntyvät lämpöhäviöt ovat nostaneet huomattavasti kylmän ullakon sisälämpötilaa. Tämä lämpö sulattaa lunta katon pinnalta vedeksi pakkasellakin, mistä aiheutuu monenlaisia ongelmia. Sulanut vesi muodostaa rakennuksen katon reunaosiin isoja jäälohkareita ja jääpuikkoja, jotka ovat myös vaarana ihmisille. Viime vuosina talvet ovat olleet Suomessa kylmiä ja lumisia, joten lumen sulatus- ja poistamiskustannukset ovat olleet näissä kiinteistöissä huomattava menoerä.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuutta hallita talvella ongelmaksi tullutta haitallista liikalämpökuormaa kylmäksi suunnittelussa vinttitilassa Resson lukioon koekäyttöön asennetun ilmanvaihtolaitteiston avulla. Työn tavoitteena oli tarkastaa laitteiston sopivuutta hallita ullakon sisäolosuhteita, tutkia mahdollisuuksia käyttää laitteistoa muissa kohteissa, etsiä laitteiston haittavaikutuksia ja parannusvaihtoehtoja.</p> <p>Laitteiston toimivuuden tarkastamiseksi Resson lukion ullakolle asennettiin erilaisia antureita seuramaan ullakon sisäolosuhteita talven aikana. Asennetut anturit olivat sisä- ja pintalämpötila-antureita ja kosteusantureita. Laitteiston kanavistosta mitattiin ilmannopeudet, jotta saataisiin selville, miten ilma käyttäytyy kanavistossa, onko kanavisto tasapainossa ja jakaantuuko ilma tasaisesti puhallusreikien kesken.</p> <p>Mittausten mukaan asennettu laitteisto toimii hyvin, ullakon sisäolosuhteet pysyvät laitteiston avulla sellaisena, ettei ylimääräisistä lämpökuormista aiheudu haittoja. Myös laitteiston kanavisto on tasapainossa ja ilmaa jakaantuu tasaisesti puhallusreikien kesken. Resson lukion ullakolle asennettua laitteistoa voidaan parannusten kanssa hyvin käyttää muissa samantyyppisissä kohteissa. Suunniteltaessa laitteistoa muihin kohteisiin täytyy kuitenkin muistaa, että jokainen rakennus on yksilöllinen ja laitteiston suunnittelu tulee olemaan tapauskohtaista. Laitteiston toimivuuden parantamiseksi laitteiston ilmanottoa täytyy järjestää toisella tavalla, ja automaattitoiminnon asetustilat tulisi muuttaa toisenlaisiksi. Laitteiston käytön haittapuolia ei löydetty tässä työssä.</p>	
Avainsanat	lämpökuormat, lumiongelmat, kylmä ullakko

Author(s) Title	Evgueni Kovalev Management of uncontrolled heat loads in cold attic spaces
Number of Pages Date	40 pages + 3 appendices 27 November 2012
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructor(s)	Seppo Innanen, Senior Lecturer Timo Posa, Energy Consultant
<p>The past few winters have been extremely cold and snowy in Finland. This has caused problems since most buildings in Helsinki downtown were built before the twentieth century with attic spaces designed to stay cold. Later, with new regulations, air handling units and ductworks were placed in attics. That led to a temperature increase in cold attics. Excessive heat thaws snow on the roof despite of minus temperatures outside. The water forms dangerous icicles and floes on the roof overhang.</p> <p>The purpose of the Master's thesis was to investigate the possibility to control over heat loads in cold attic spaces with the help of ventilation equipment. The research equipment was placed a high school building. The goal was to study the suitability of the equipment to control the conditions in the attic, to examine the possibilities to use the equipment in other locations, and to establish any disadvantages and possible improvements.</p> <p>For the suitability study, various sensors were placed in the attic to record the conditions there in winter time. External and internal temperature sensors as well as moisture sensors were used. In addition, ductwork air speeds were measured to define the air volumes coming through different branches, and to check if the air volumes were distributed evenly.</p> <p>According to the measurements the equipment worked properly, and excessive heat loads did not occur. Also, the ductworks remained balanced and air streams evenly distributed.</p> <p>Once some improvement procedures are done, the device can be used in similar places. One should, however, remember that every building is unique and the equipment design should be case-specific.</p> <p>To improve the equipment, the supply air intake as well as the temperature settings of the automatic control should be changed.</p>	
Keywords	heat loads, snow problems, cold attic

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ullakolle asennettu laitteisto ja kanavisto	3
3	Mittausjärjestelyt	5
4	Laskelmat	8
	4.1 Kanavistolämpö	9
	4.2 Rakennuksen yläpohjasta tuleva lämpö	10
	4.3 Lämmitysputkista ja IV-konehuoneesta tuleva lämpö	11
	4.4 Ullakon katon jäähdyttävä vaikutus	12
	4.5 Tarvittava ilmamäärä	12
5	Mittauksista saadut tulokset	13
	5.1 Sää mittausten aikana	14
	5.2 Ullakon sisälämpötila	15
	5.3 Ullakon kosteus	22
	5.4 Ullakon katon pintalämpötila	22
	5.5 Laitteiston ilmamäärä	33
6	Mittaustulosten yhteenveto	34
	6.1 Ullakon sisälämpötila ja katon pintalämpötila	34
	6.2 Ullakon kosteus	37
	6.3 Laitteiston ilmamäärä	38
7	Parannusehdotukset	38
8	Yhteenveto	40
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Ullakon lämpökuormalaskenta	
	Liite 2. Ullakon sisälämpötila mittausten aikana	
	Liite 3. Ullakon katon pintalämpötila mittausten aikana	

1 Johdanto

Helsingin keskustassa suurin osa rakennuksista on vanhoja ennen 1900-luvun rakennettuja taloja, jotka ovat suunniteltuja tuon ajan normeilla ja määräyksillä. Yleensä näiden rakennusten ullakko on melkein aina suunniteltu kylmäksi. Myöhemmin uudemmat määräykset astuivat voimaan. Ne vaativat koneellista tulo- ja poistoilmajärjestelmää. Yleensä ilmanvaihtokoneet ja ilmastointijärjestelmän kanavistot asennettiin kylmälle ullakolle, vaikka ne eivät kovin hyvin sovi näihin tiloihin.

Tästä on tullut ongelma, ilmanvaihtokoneiden ja laajan kanavistojen verkoston takia ullakoille tulevat ylimääräisiä lämpökuormia, jotka talvella nostavat ullakon sisälämpötilaa plussan puolelle, vaikka ulkona voi olla aika kova pakkanen. Ullakon ylimääräinen lämpö sulattaa lunta katon pinnalta vedeksi. Lumesta sulanut vesi valuu katolta alas ja jäätyy ulkoseinän jälkeen muodostaen jäälohkareita ja moneen metrin pituisia jääpuikkoja, jotka ovat vaarana ihmisille.

Jään poistaminen katolta on hankala ja kallista, siihen tarvitaan nosturia ja höyryllä toimivia pesurilaitteita. Alue eristetään töiden aikana turvallisuussyistä, ja paikalla on aina poliisi seuraamassa tilannetta. Myös perusteellinen katon korjaaminen on liian kallis ratkaisu. Esimerkiksi katon nostaminen paremman tuuletuksen järjestämiseksi tai eristyksen asentaminen katon sisäpuolelle maksaa liian paljon.

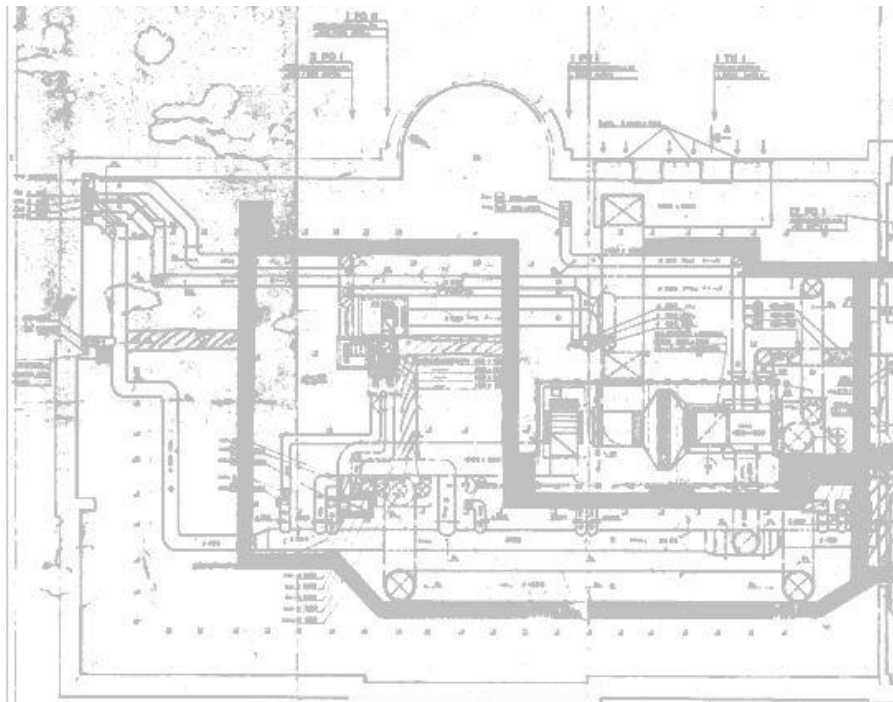
Helsingin keskustassa Resson lukiossa oli samanlainen ongelma, ullakkoon oli asennettu jälkeenpäin isoja konehuoneita. Ullakolla on myös laaja verkosto ilmanvaihtokanavistoa (kuva 1), joka luovuttaa tilaan lämpöä, vaikka kanavisto on lämpöeristetty. Ullakon alkuperäinen ilmanvaihtosuunnitelma on vuodelta 1981, suunnitelman tekijä on tuntematon. Rakennuksen katon rakenne on sellainen, että katon ja ulkoseinän välinen tuuletusväli on liian pieni, ja tämän takia se ei riitä poistamaan ylimääräistä lämpöä ullakolta. Tilaan myös ei järjestetty erillistä tuuletusta. Pitkänä, kylmänä ja lumisena vuoden 2010–2011 talvella katon ylläpitäminen aiheutti huomattavat kustannukset.

Kiinteistö hoitoa tukevan Ekoteko-projektin yhteydessä Resson lukiossa Helsingin kaupungin rakennusviraston energia-asiantuntijat Timo Posa ja Seppo Innanen havaitsivat käynnin yhteydessä esille tulleet rakennuksen katto-ongelmat. Yhtenä vaihtoehtona

ongelman ratkaisemiseksi käynnin aikana mietittiin ideaa poistaa ylimääräinen lämpökuorma ullakolta poistoilmakoneen avulla ja jäähdyttää kattoa puhaltamalla kylmää ulkoilmaa tuloilmakoneen avulla. Tästä idea lähti liikkeelle, ja kesällä 2011 Helsingin kaupungin ja isännöitsijän Tuomo Virolaisen toimesta Resson lukioon ullakolle koekäyttöön asennettiin STARAn toimesta Seppo Innasen (LVI), Aleksander Zaitsevin (SÄH) ja Toivo Sahlstenin (RAU) suunnittelema poisto- ja tuloilmapuhallin. Tuloilmapuhaltimen kanssa ullakolle on asennettu myös koko ulkoseinän pituinen rei'itetty kanavisto. Kouluisäntä Timo Toivonen lupasi vastata laitteiston ylläpidosta ja tarkkailla laitteiston toimintaa.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tämän ratkaisun toimivuutta ja mahdollisuuksia käyttää ratkaisua muissa kohteissa, luoda ratkaisulle mitoitusperusteet, jos se toimii, ja tutkia mahdolliset parannusvaihtoehdot ja ehkä keksiä ongelmaan muita ratkaisuja.

Jos tämä tutkimus osoittaa ratkaisumenetelmän tuovan sekä taloudellisia että toiminnallisia hyötyjä, tullaan jatkossa toteuttamaan samalla tavalla muita ongelmakiinteistöjä opinnäytetyön mallin mukaisesti mahdollisin parannusehdotuksin varustettuna.



Kuva 1. Resson lukion ullakko.

2 Ullakolle asennettu laitteisto ja kanavisto

Ressun lukon ullakolle koekäyttöön asennettu laitteisto on toteutettu seuraavalla tavalla: poistopuhallin on asennettu ullakon sisälle katon yläosaan, puhaltimesta lähtevää poistoilmakanava on johdotettu ulos vesikatolle entiseen savuhormiin kautta, hormin koko on 500 x 500 millimetriä.

Tuloilmapuhallin on asennettu ullakon itäpäätyyn, raitisilma otetaan ulkoseinästä vanhojen ikkunoiden kautta. Puhaltimesta ilma jaetaan kahden pyöreän pääkanavan kautta ullakon molemmille puolille. Raitisilman suodatus tapahtuu kahdella suodattimella, molemmissa ilmanottokanavassa on oma suodatin.

Ilmanotto

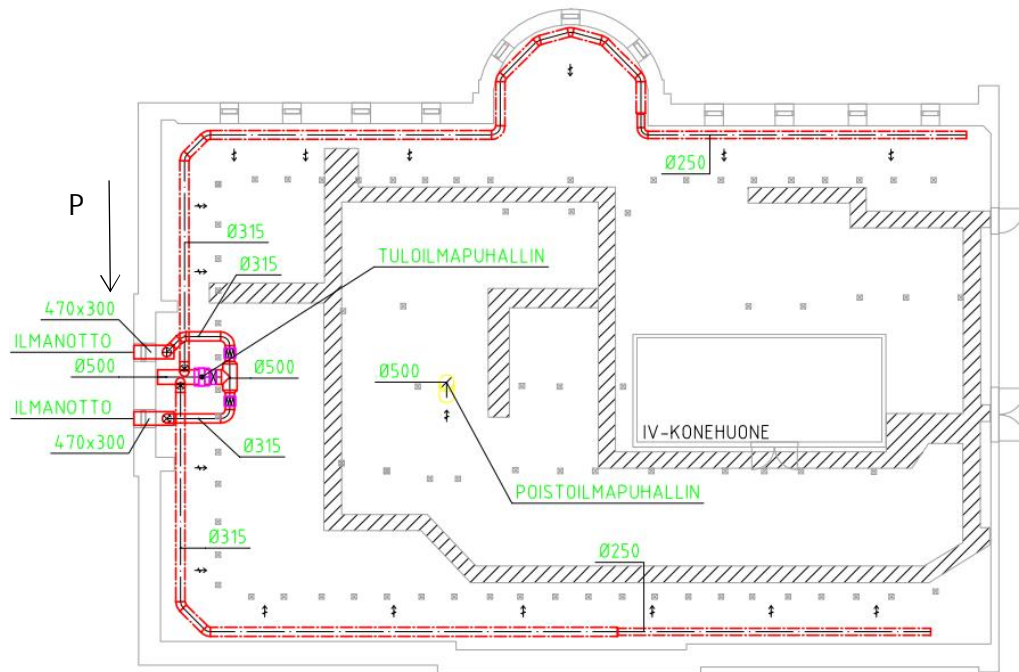
Tuloilman sisäänotto on toteutettu kahden entisen ikkunan kautta, ikkunoiden koko on 600 x 450 millimetriä. Ilmanottokanavina käytetään kaksi suorakaidekanavaa, kanavien koko on 470 x 300 millimetriä, kanavan päähän on asennettu ulkoilmasäleiköt. Suorakaidekanava muuttuu pian ulkoseinän jälkeen pyöreiksi Ø 315 -kanaviksi, molemmissa pyöreässä Ø 315 -ilmanottokanavassa on raitisilmasuodatin. Sen jälkeen pyöreät kanavat yhdistetään yhteen isompaan kanavaan, kokona on 500 millimetriä, isossa kanavassa sijaitsee tuloilmapuhallin (kuva 2).



Kuva 2. Ilmanotto.

Kanavisto

Puhaltimen jälkeen $\varnothing 500$ -kanava jakaantuu kahteen $\varnothing 315$ -kanavaan, jotka lähtevät ullakon molemmille puolelle ulkoseiniä kierteen. Toisen eteläpuolisen kanaviston pituus on noin 40 metriä ja toisen pohjoispuolisen pituus on noin 37,5 metriä, kanaviston puolivälissä kanavakoko muuttuu $\varnothing 250$ -kanavaksi (kuva 3).



Kuva 3. Kanaviston sijoitus ullakolla.

Tasaisen ilmapuhalluksen järjestämiseksi kanavistoon käsin porattu puhallusreikiä 250 mm:n välein, reikien koko vaihtelee 20–25 mm:n välillä. Eteläpuoliseen kanavistoon tuli noin 160 reikää ja pohjoispuoliseen noin 150 reikää. Kanavisto sijoitettiin ulkoseinän ja katon liittymiskohdan lähelle, noin 1–1,5 metrin korkeuteen. Puhallusreikien suuntaus on 15 astetta, ilma puhalletaan melkein suoraan katolle päin.

Pohjoispuolinen kanavisto ei asennettu koko ulkoseinän pituiseksi, viimeiset kaksi metriä seinää on ilman kanavaa. Myös sen kanavan ensimmäinen puhallusreikä on porattu 1,6 metrin päähän kanaviston lopusta, joten ullakolla on 3,7 metrin kokoinen nurkka, joka on jäänyt ilman puhallusta. Tämän takia on erittäin tärkeää tutkia tämän alueen sisäolosuhteita. Asennettu laitteisto ei vaikuta siihen nurkkaan.

Puhaltimet

Tulo- ja poistopuhaltimen malli on Systemairin KVK-500, laitteen koko on Ø 500 millimetriä. Puhaltimia voidaan ohjata käsin, tai ne toimivat automaattisesti. Puhaltimien maksimituotto 2,5 m³/s, sen maksimipaineen kehitys 140 Pa ja sähköteho 1,452 kW.

Laitteiston automaatio

Molemmat puhaltimet on kytketty sähköryhmäkeskuksen kautta. Puhaltimet on mahdollista laittaa seis-, käsi- tai automaattiasentoon. Puhaltimien nopeus käsiasennossa voidaan asettaa tyristoriohjauksen kautta viiteen nopeuteen.

Puhaltimien automaatiotoiminto toimii ohjausyksikön avulla. Ohjausyksikkö ohjaa tuuloilmapuhallinta ulkolämpötila-anturin mittausarvojen perusteella ja poistoilmapuhallinta sisälämpötila-anturin mittausarvojen mukaan. Automaatioasennossa puhaltimet lähtevät päälle silloin kun molemmat ehdot täyttyvät: ullakon sisälämpötila on korkeampi kuin -2 astetta ja ulkolämpötila matalampi kuin -5 astetta. Puhaltimien asennusvaiheessa asetettiin nämä lämpötilat. Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on tutkia toimiiko laitteisto automaattiasennossa näissä lämpötiloissa.

3 Mittausjärjestelyt

Koekäyttöön asennetun laitteiston toimivuuden varmistamiseksi ja sopivuuden selvittämiseksi ullakolle on asennettu erilaisia antureita seuraamaan, miten uusi laitteisto vaikuttaa ullakon sisäolosuhteisiin.

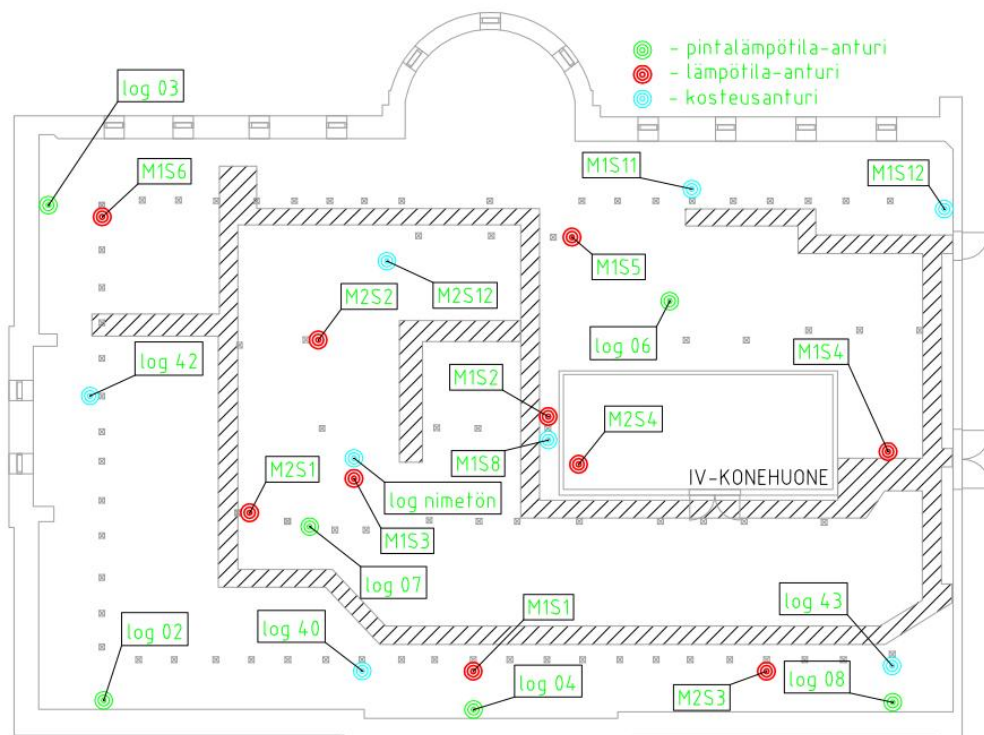
Antureiden avulla seurataan myös laitteiston toimivuutta erilaisilla asetusvaihtoehdoilla, esimerkiksi käsi- ja automaattitoiminnolla. Automaatiotoiminnolla seurataan, missä asetustilassa laitteiston tulee olla käynnissä ja milloin sen täytyy olla sammutettuna ja kannattaako edes käyttää automaatiotoimintoa tässä ratkaisussa.

Asennetut anturit ovat kosteus-, lämpötila- ja pintalämpötila-antureita. Anturit ovat itsetoimivia ja eivät vaati huoltoa ja paikalla käyntiä, niiden mittausarvoja puretaan

mittaamisen jälkeen tietokoneelle Excel-muotoon. Anturit on pyritty asentamaan ullakolle mahdollisimman monipuolisesti eri paikkaan (kuva 4).

Anturit log 02, 03, 04, 06, 07 ja 08 ovat erillisillä mittaussosalla varustettuja pintalämpötila-antureita. Anturit log 40, 42, 43 ja log nimetön, ilman numeroa oleva anturi, ovat sisälämpötila ja kosteusantureita. Anturit m1s1–m1s6, m1s11–m1s12 ja m2s1–m2s4 ovat sisälämpötila-antureita. Anturit m1s8 ja m2s12 ovat kosteusantureita.

Tuloilmapuhaltimen olleessa päällä kanavistosta mitoitetaan ilmanopeudet kanaviston eri osista kuumalankamittarin avulla. Ilman nopeus mitoitetaan kanavan keskiosalta laittamalla mittarin teleskooppimittaussosan puhallusreikään. Mittaamalla nopeudet kanavistosta saadaan selville, kuinka paljon ilmaa kulkee kanavistossa ja jakaantuuko ilma tasaisesti. Mittaukset aloitetaan kanaviston loppuosasta. Sen jälkeen edetään kanaviston alkupäähän. Mittaukset pyritään ottamaan tasaisesti noin kolmen metrin välein. Ilmanopeuden mitoitetaan myös puhallusrei'istä. Tavoite on sama: saada selville, kuinka paljon ilmaa lähtee yhdestä rei'istä ja jakaantuuko ilma tasaisesti puhallusreikien kesken.



Kuva 4. Antureiden sijoitus ullakolle.

Lämpötila-anturit

Ullakolle on asennettu lämpötila-antureita seuraamaan tilan sisälämpötilaa. Helsingin kaupungilta sain 12 Simap-lämpötila-anturia ja omalta työpaikalta RE-suunnittelu Oy:stä sain neljä Tinytag-lämpötila-anturia, jotka toimivat samalla kosteusmittarina.

Anturit ovat itsetoimivia, ja ne keräävät tietoja automaattisesti. Simap-anturit tallentavat muistiin tietoja joka kymmenes minuutti ja Tinytag-anturit joka puoli tunti. Antureita pyrittiin asentamaan mahdollisimman monipuolisesti ullakon eri osiin ja eri korkeuksiin. Yksi Simap-anturi on asennettu ullakon IV-konehuoneeseen seuraamaan sen lämpötilaa.

Kosteusanturit

Ullakolle on asennettu kosteusantureita seuraamaan minkäläinen vaikutus sisäilman kosteuteen on laitteistolla. Tuleeko mittausten aikana sellaisia olosuhteita, että kastepiste menee rajan yli ja siitä aiheutuu kondenssihaittoja. Ennen mittauksia Ressun luki-on isäntä huomasi monesti, että ullakon katon sisäpinnalla on kosteutta. Vesipisaroiden muodostuminen katon sisäpuolelle johtuu ullakon liian korkeasta sisälämpötilasta, lämpötilan nousu johtuu liiallisesta lämpökuormasta ullakolla. Lämmin ilma nousee ylös ullakon katolle, ja siellä se jäähtyy takaisin. Koska lämpimässä ilmassa voi olla enemmän vettä kuin kylmässä, ilman jäähtyessä ylimääräinen vesi ilmasta muodostaa katon sisäpuolelle vesipisaroita.

Helsingin kaupungilta sain kaksi Simap-kosteusanturia ja omalta työpaikalta RE-suunnittelu Oy:stä sain neljä Tinytag-lämpötila-anturia, jotka toimivat samalla kosteusmittarina. Kaksi Tinytag-lämpötila/kosteusanturia log 40 ja log 43 on asennettu ullakon pohjoispuolelle keskikorkeuteen, anturi log 42 ullakon itäpäätyyn keskikorkeudelle ja neljäs RE-suunnittelu Oy:n anturi log nimetön on asennettu poistoilmapuhaltimen lähelle noin kolmen metrin korkeudelle mittamaan poistoilman lämpötilaa ja kosteutta. Log 43-anturi on asennettu lähelle ullakon nurkkaa, mihin asennettu laitteisto ei vaikuta. Kaksi Helsingin kaupungin kosteusanturia on asennettu niin korkealle kuin mahdollista, toinen IV-konehuoneen päälle noin kolmen ja puolen metrin korkeuteen ja toinen ullakon toiselle puolelle noin kolmen metrin korkeuteen.

Pintalämpötila-anturit

Ullakon katon sisäpuolelle on asennettu kuusi pintalämpötila-anturia seuraamaan katon pintalämpötilaa. Katon rakenteessa laudoituksen päällä, joka peittää noin 80 % katon pinta-alasta, on 0,6 mm:n konesaumattu teräspelti. Lämpöeristystä katolla ei ole.

Sain omalta työpaikalta RE-suunnittelu Oy:stä kuusi Tiny Talk-pintalämpötila-anturia, joissa on erillinen mittausosa. Neljä anturia on asennettu katon ja ulkoseinän liittymiskohtaan lähelle räystästä, log 02, log 04 ja log 08 ullakon pohjoispuolelle ja log 03 ullakon itäpuolelle. Kaksi muuta anturia on asennettu mahdollisimman ylös, toinen log 06-anturi noin kolmen ja puolen metrin korkeuteen ja toinen log 07-anturi melkein katon harjalle noin neljän ja puolen metrin korkeuteen.

Kanaviston ilmamäärä, ilman nopeus ja kanaviston tasapainotus

Mittaukset tehdään kuumailmalankamittarin avulla, mittarin malli on VelociCalc Plus 9555. Mittausten on tarkoitus selvittää, kuinka paljon ilmaa kulkee kanavistossa, onko se tasapainossa ja miten ilmaa jakaantuu puhallusreikien kesken. Ilmamäärät mitoitetaan myös sitä varten, että voidaan verrata teoreettisesti laskettu tarvittava ilmamäärä ja rakennetun laitteiston ilmamäärää, ja tarkistaa, riittääkö se ullakon jäähdyttämiseksi.

4 Laskelmat

Laskelmat tehdään, jotta voidaan verrata mittauksista saatuja mittausarvoja ja laskettuja teoreettisia tuloksia. Laskelmat tehdään myös sitä varten, että voidaan muille samantyyppisille kohteille luoda mitoitusperusteet, joita täytyy selvittää ja ottaa huomioon, kun suunnitellaan samanlaista kohdetta.

Laskelmissa lasketaan ullakon yhteinen lämpökuorma, joka tulee ilmanvaihtokanavistosta, ullakon yläpohjasta ja IV-konehuoneesta. Lämpökuormalaskelmissa huomioidaan ullakon katon lämpöhäviö, koska osa lämpökuormasta poistuu ullakolta katon kautta. Kun kokonaislämpökuorma on selvitetty, voidaan laskea tarvittava ilmamäärä ullakon jäähdyttämiseksi.

4.1 Kanavistolämpö

Ullakolla on laaja verkosto ilmastointikanavia. Niiden sisälämpötila on +21 astetta, ja vaikka ne ovat eristettyjä kanavia, lämpöä aina virtaa eristeiden läpi ja siitä tulee ylimääräisiä lämpökuormia kylmään tilaan. Ullakon kaikki kanavat ovat LE 60 -eristettyjä, ja niiden päällä on pellitys.

Aloitin laskelmat selvittämällä, kuinka suuri erikokoisten kanavien lämmönluovutus on ja kuinka paljon kanavia on ullakolla, ja minkä kokoisia ne ovat. Sain Helsingin kaupungilta alkuperäisen Ressun lukion ilmanvaihtosuunnitelman vuodelta 1981, jonka pohjalta ilmastointikanavat on rakennettu (kuva 1). Kävin myös tarkastamassa, pitääkö alkuperäinen suunnitelma paikkansa. Käynnin jälkeen selvisi, että kanavisto on asennettu pieniin muutoksiin suunnitelman mukaan. Pieniä muutoksia ja lisäyksiä tuli myöhemmin, ja otin ne huomioon kanaviston metrimäärän arvioinnissa.

Kanavien metrimäärien selvittämiseksi piirsin olemassa olevat ullakon kanavat MagiCad-mallinnusohjelmalla alkuperäisen suunnitelman mukaan. Ullakon kanavien metrimäärät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. ilmanvaihtokanavien määrä ullakolla.

Kanavan koko, mm	Kanavan pituus, m
200	60
250	30
315	35
400	45
500	30
630	35
800	25
1000	30

Kanavien lämmönluovutus laskettiin kaavalla 1. (1, s. 212.)

$$\emptyset = \frac{\pi (T_s - T_u)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_u}{d_s} + \frac{1}{\alpha u}} \quad (1)$$

\emptyset on lämpövirta, W/m.

λ on lämmönjohtavuus, W/m²K.

αu on ulkopinnan lämmön siirtymiskerroin, W/m²K.

T_s on sisälämpötila, K.

T_u on ulkolämpötila, K.

d_u on ulkohalkaisija, m.

d_s on sisähalkaisija, m.

Laskelmissa ullakon sisälämpötilana on käytetty +3 astetta. Laskelmien mukaan ilmanvaihtokanavista tuleva lämpökuorma on 6,2 kW (liite 1).

Laskelmissa on huomioitu ainoastaan kanavan lämpöeristeiden läpi virtavaa lämpökuormaa, esimerkiksi asennusvirheistä aiheuttavat lämpövuodot eivät huomioidu laskelmissa. Kävin lämpökameran kanssa kuvamassa ullakon kanavistoa ja huomasin, että monesti lämpöeristysten saumakohdista ullakolle vuotaa lämpöä. Kuvausajana ullakon sisälämpötila oli +2 astetta ja kanavien pintalämpötila vuotokohdista +10 astetta.

4.2 Rakennuksen yläpohjasta tuleva lämpö

Ullakon lattia koostuu 100 mm:n betonilaatasta ja 300 mm:n mineraalivillaeristeestä. Yläpohjan lämpövirta laskettiin kaavalla 2. (1, s. 60.)

$$\emptyset = A \frac{(T_s - T_u)}{\frac{s_a}{\lambda_a} + \frac{s_b}{\lambda_b}} \quad (2)$$

A on pinta-ala, m².

λ_a on lämmönjohtavuus, W/m²K.

λ_b on lämmönjohtavuus, W/m²K.

s_a on paksuus, m.

s_b on paksuus, m.

Ts on sisälämpötila, K.

Tu on ulkolämpötila, K.

Laskelmien mukaan yläpohjasta tuleva lämpökuormaa on 1,45 kW (liite 1). Laskelmissa on huomioitu ainoastaan eristeen läpi virtavaa lämpökuormaa, esimerkiksi asennus- ja rakennevirheistä aiheuttavat lämpövuotoja ei huomioida laskelmissa.

4.3 Lämmitysputkista ja IV-konehuoneesta tuleva lämpö

Ulkoa tuleva ilma lämmitetään ilmastointikoneessa vesikierteisen lämmityspatterin avulla, lämmitystä varten IV-konehuoneeseen tuodaan lämmitysputket. Putkien sisällä virtaa keskimäärin +40 astetta lämmintä vettä, ja osa lämmitysputkien lämmöstä vuotaa lämpöeristeiden läpi ullakolle. Paikalla käynnin jälkeen selvisi, että ullakon lämmitysputkien yhteispituus on vain seitsemän metriä.

Koska lämmitysputkien määrä on niin pieni ja niiden aiheuttava lämpökuorma on alle 100 W, niiden vaikutusta ei oteta huomioon laskelmissa. Lämmitysputkista aiheuttava lämpökuorma on laskettu ainoastaan mitoitusperusteita ajatellen. Jos jatkossa tulee samanlainen kohde, jossa on paljon lämmitysputkia ja niiden vaikutusta täytyy ottaa huomioon. Lämpöputkista tuleva lämpö on laskettu samalla kaavalla kun ilmanvaihtokanavia.

Lämpötila IV-konehuoneessa on huomattavasti korkeampi kuin ullakolla, koska siellä lämmitetään koko ajan iso määrä ilmaa ja osaa siitä lämmöstä siirtyy IV-konehuoneen seinien kautta ullakolle. Mittasin käynnin aikana IV-konehuoneen sisälämpötilaksi +17 astetta, kun ullakon sisälämpötila oli ainoastaan +2 astetta. Sen takia käytin laskelmissa viidentoista asteen lämpötilaeroa konehuoneen rakenteiden välillä.

IV-konehuoneen seinä on 100 mm paksu, ja se koostuu 100 mm:n mineraalivillasta ja 0,5 mm:n paksusta teräspellistä. IV-konehuoneesta tulevan lämpökuorman laskelmissa on käytetty samaa kaavaa kuin yläpohjasta tulevassa lämpökuormassa. IV-konehuoneen lämpökuormaksi on saatu 0,67 kW (liite 1).

4.4 Ullakon katon jäähdyttävä vaikutus

Ressun lukion katon rakenne koostuu 22 mm x 100 mm laudoituksesta, joka peittää noin 80 prosenttia katon pinta-alasta ja 0,6 mm:n konesaumasta teräspelistä laudoituksen päällä. Lämpöeristys katolta puuttuu. Ullakon vesikaton lämpöeristys on lähes olematon, ja katon läpi tulevaa kylmää riittäisi jäähdyttää ullakkoa ja poistaa liikalämpöä, mutta talvella paksu lumi katon päällä toimii lämpöeristeenä ja ylimääräinen lämpö pysyy ullakon sisällä. Kuitenkin katon läpi tulee kylmä ullakon sisälle ja osa ullakon lämpökuormasta voidaan vähentää laskelmista.

Laskelmissa on käytetty samaa kaavaa kuin IV-konehuoneen rakenteiden ja yläpohjan lämpökuormalaskelmissa. Lumen paksuutena on käytetty 0,65 metriä ja lumen lämmönjohtavuutena arvoa 0,05 W/m²K. Ulkolämpötilana käytetään -4 astetta ja sisälämpötilaksi valittu +3 astetta. Laskelmissa ei huomioitu tuuletusrakojen vaikutusta ulkoseinän ja katon välissä ja muita vuotokohtia. Ullakon katon läpi tuleva kylmäteho on 0,3 kW (liite 1).

4.5 Tarvittava ilmamäärä

Kun tiedetään kaikki ullakon lämpökuormat, voidaan laskea tarvittava ilmamäärä ullakon jäähdyttämiseksi.

IV-kanavistosta tuleva lämpökuorma – 6,2 kW

Rakennuksen yläpohjasta tuleva lämpökuorma – 1,45 kW

IV-konehuoneesta tuleva lämpö – 0,67 kW

Ullakon lämpökuorma:

$$6,2 + 1,45 + 0,7 = 8,4 \text{ kW}$$

Ullakon katon läpi tuleva kylmävirta – 0,3 kW

$$8,4 - 0,3 = 8,1 \text{ kW}$$

Laskelmista on saatu ullakon kokonaislämpökuormaksi – 8,1 kW.

Tarvittava ilmanmäärä laskettiin kaavalla 3. (2, s. 193.)

$$qv = \frac{\emptyset}{cp \rho (T_s - T_u)} \quad (3)$$

\emptyset on lämpöteho, kW

cp on ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ρ on ilman tiheys, kg/m³

T_s on sisälämpötila, K.

T_u on ulkolämpötila, K.

Käytetty lämpötilaero on ullakon sisälämpötilan +3 C° ja ulkolämpötilan -4 C° erotus. Ne ovat arvioidut mitoituslämpötilat, jolloin ullakolla on maksimi kuormitus tilanne.

Tarvittava ilmamäärä ullakon jäähdyttämiseksi:

$$qv = 8,1 / 1,005 \times 1,293 \times 7 = 890 \text{ l/s}$$

Laskelmista saatu teoreettinen ilmamäärä, joka perustuu ullakolla oleviin lämmönlähtöisiin. Laskelmien mukaan kyseistä ilmanmäärää riittäisi jäähdyttämään ullakkoa, jos katolla on 65 senttimetriä lunta ja lämpötilaero on 7 astetta.

5 Mittauksista saadut tulokset

Mittausanturit asennettiin ullakolle aamulla 13. tammikuuta 2012, ja siitä lähtien ne alkoivat kerätä tietoja. Aluksi laitteiston puhaltimet olivat automaatioasennossa, siinä asennossa ne olivat noin kaksi viikkoa ja illalla 24. tammikuuta molemmat puhaltimet laitettu pois päältä tavoitteena seuraamaan ullakon sisäolosuhteita kun laitteisto ei ole toiminnassa.

Mittaustiedot laitteiston ollessa sammutettuna ovat erittäin tärkeitä parannusvaihtoehtoja ajatellen. Mittauksia ilman toimivaa laitteistoa tehdään sen takia, että saadaan tietää, mihin lämpötilaan automaattitoimintoa ohjaavaa säädin tulee asettaa, jotta laitteisto automaattiasennossa toimisi oikein. Kun ulkona on riittävästi pakkasta, myös ullakon sisälämpötila menee miinuksien puolelle eikä ullakkoa tarvitse jäähdyttää. Ulkolämpötilan arvo siinä tilanteessa, kun ullakon sisälämpötila on mennyt pakkasen puolelle, on laitteiston toiminnan alaraja ja kun ulkona on kova pakkanen, laitteistoa voidaan pitää sammutettuna energiaa säästäen.

Mittaustietoja laitteiston ollessa sammutettuna on suunniteltu ottaa ainakin viikon ajalta, mutta puhaltimet eivät ehtineet kauan olla pysähtyneinä, kun 26. tammikuuta klo 8.00 minulle soitti Ressun lukion isäntä ja sanoi, että katolta alkoi sataa vettä ja räystäälle on muodostumassa jääpuikkoja, vaikka ulkona on pakkasta. Tämän jälkeen koulun isäntä laittoi molemmat puhaltimet käsiasentoon täysille, ja se auttoi heti, veden tulo katolta ja jääpuikkojen muodostuminen loppui.

Laitteisto oli maksimiteholla 30. tammikuuta saakka ja tilannetta seurattiin aika tarkasti. Sen jälkeen puhaltimet laitettiin automaattiasentoon 7. helmikuuta saakka. Helmikuun 7.–17. päivä laitteistoa kokeiltiin erilaisilla toimintoasunnoilla, esimerkiksi ainoastaan poistopuhallin päällä, molemmat puhaltimet puolitehossa, poistopuhallin automaattiasennossa jne.

5.1 Sää mittausten aikana

Sää mittausten aikana oli ollut pääosin talvinen ja kylmä, lunta oli satanut mittausten aikana paljon. Keskimääräinen ulkolämpötila mittausten aikana oli -7,7 astetta, ja lunta oli satanut 65 senttimetriä.

Ensimmäisenä mittausjaksona 13.1.–24.1. ulkolämpötila vaihteli plus yhdestä asteesta miinus kymmenen asteeseen, pääosin lämpötila pysyi pakkasen puolella muutamaan tunnin mittausaikaa lukuun ottamatta. Ulkolämpötilan keskiarvo oli mittausten aikana -3,4 astetta. Tammikuun alussa ei satanut paljon lunta, mutta 17.1.–21.1. satoi kerralla 30 senttimetriä lunta ja 23.1.–26.1. lisää 10 senttimetriä.

Keskiulkolämpötila 24.1.–26.1. oli -6,3 astetta ja silloin lunta satoi 6 senttimetriä. 26.1.–30.1. keskimääräinen ulkolämpötila oli -7,4 astetta eikä lumisateita ollut. Tammi-kuun loppupuolella alkoivat kovat pakkaset, ulkolämpötila 30.1.–07.2. vaihteli miinus kymmenestä ja miinus kahdenkymmenen asteen välillä, keskilämpötila mittausten aikana oli -13,2 astetta. Helmikuussa 3.2.–6.2 lunta satoi 10 senttimetriä.

Sää jatkui 7.2.–17.2. hyvin talvisena ja kylmänä, ensimmäisenä viitenä päivänä ulkolämpötila vaihteli miinus kymmenestä miinus kahteenkymmeneen asteeseen ja keskiulkolämpötila oli -13 astetta. Tämän jälkeen sää lämpeni, ja keskilämpötila 17. helmikuun saakka oli -4 astetta.

5.2 Ullakon sisälämpötila

Ullakon sisälämpötilan mittaaminen Helsingin kaupungin Simap -antureilla epäonnistui antureiden tallentamisvirheen takia, ja sen vuoksi jouduin käyttämään ainoastaan oman työpaikan neljän lämpötila-antureiden tuloksia. Mittaukset aloitettiin 13. tammi-kuuta, ja 17. helmikuuta laitteisto pysäytettiin sen jälkeen, kun Ressun lukion katto puhdistettiin täysin puhtaaksi lumesta. Kevät oli tulossa, ja aurinko lämmitti kattoa päivän aikana niin paljon, ettei lunta kertynyt enää ja kaikki uusi lumi ehti sulaa pois päivän aikana.

Ullakon sisälämpötila mittausten aikana pysyi melkein aina plussan puolella. Koko mittausajan keskimääräinen ullakon sisälämpötila oli +1,5 astetta, kun keskiulkolämpötila oli -7,6 astetta. Koko mittausajan keskimääräinen sisä- ja ulkolämpötilan erotus oli 9,1 astetta.

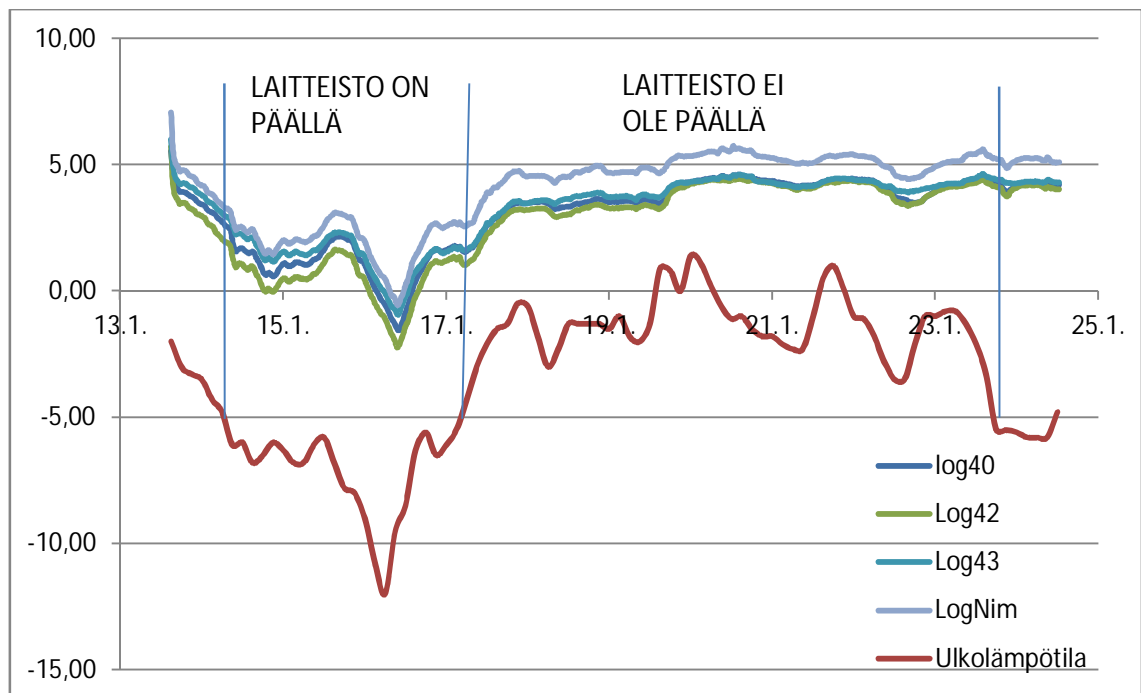
Mittaukset 13.1.–24.1., laitteisto automaattiasennossa

Ullakon sisälämpötila mittausten aikana seurasi aika tarkasti ulkolämpötilaa 17. tammi-kuuta saakka. Kun ulkona lämpötila laski, ullakon sisälämpötila laski myös saman verran, ja vaikutus oli päinvastainen, jos ulkolämpötila nousi (kuva 5). Ullakon kaikkien antureiden keskimääräinen sisälämpötila oli +1,8 astetta, kun keskiulkolämpötila oli -5,8 astetta. Lähelle poistopuhallinta asennetun anturin log nimetön mittausarvoja oli odotetusti kaikkien antureiden korkeimmat, keskimäärin yhden asteen korkeampi. Toi-

seksi korkeimmat mittausarvot olivat nurkkaan ilman puhallusta asennetun anturin log 43 arvot.

Tammikuun 17. päivän saakka laitteiston automaattitoiminnon molemmat asetusehdot täytyivät ja puhaltimet olivat toiminnassa. Tammikuussa 13.1.–17.1. ullakon sisälämpötila oli keskimäärin +1,7 astetta ja keskiulkolämpötila oli -6,8 astetta. Sisä- ja ulkolämpötilan erotus on 8,5 astetta.

Tammikuussa 17.1.–21.1. oli satanut 30 senttimetriä lunta, ulkolämpötila nousi lähelle nolla astetta ja se vaihteli mittausaikana plus yhden ja miinus kolmeen asteen välillä. Ullakon sisälämpötila nousi ja 17. tammikuun jälkeen alkoi koko ajan pysyä melkein samoissa lukemissa noin +4,2 asteessa riippumatta ulkolämpötilan muutoksista. Puhaltimet eivät olleet päällä 17.1.–24.1. koska ulkolämpötila oli korkeampi kuin -5 astetta, keskimääräinen sisälämpötila oli silloin +4,2 astetta ja ulkolämpötila oli -2,7 astetta. Lämpötilojen erotus on 6,9 astetta.



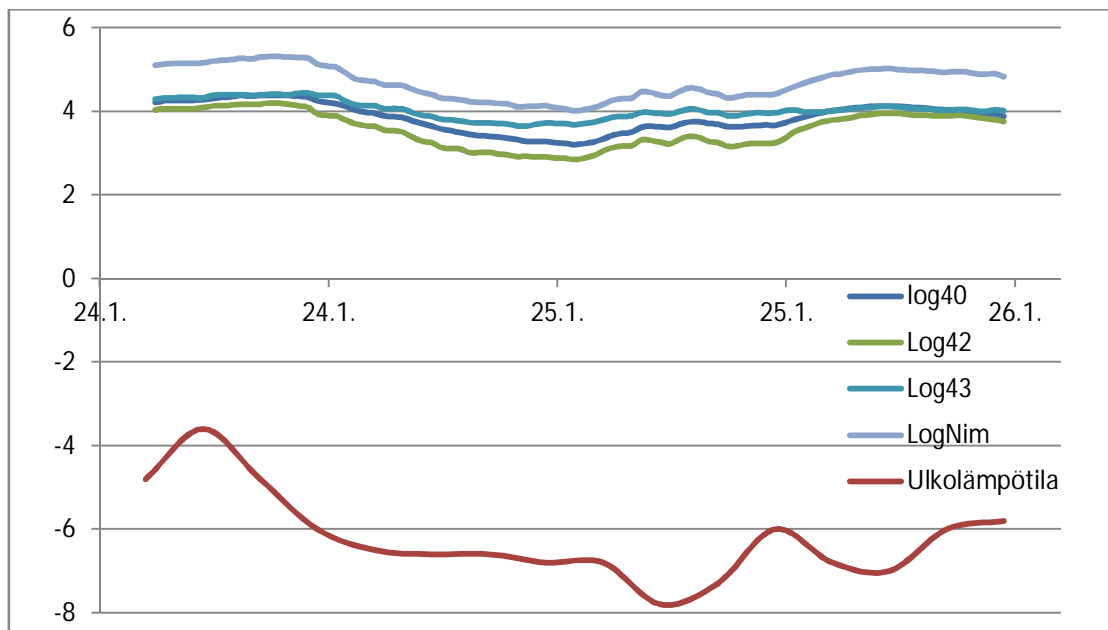
Kuva 5. Ullakon sisälämpötila 13.1.–24.1.

Mittaukset 24.1–26.1., laitteisto on pois päältä

24. tammikuuta klo 13.00 puhaltimet laitettu pois automaattiasennosta ja kytketty nolla-asentoon (kuva 6). Tiistaiamulla 26. tammikuuta minulle soitti Resson lukion isäntä ja sanoi, että puhaltimet on pakko laittaa täysille, koska katolta sataa vettä ja räystäällä muodostamassa jääpuikkoja.

Mittausten tarkoitus oli tutkia ullakon olosuhteita kun laitteisto on sammutettuna ainakin viikon ajalta. Alussa ajattelin mittauksen epäonnistuvan, puhaltimet olivat niin vähän aikaa nolla-asennossa, mutta kun aloitin tutkia antureiden mittausarvoja, olen huomannut, että puhaltimet olivat pois päältä 17.1.–26.1. Tästä kuitenkin tuli riittävästi tietoa tutkia ullakon olosuhteita laitteiston ollessa sammutettuna.

Kahden vajanaisen vuorokauden aikana keskimääräinen ulkolämpötila oli -6,2 astetta ja ullakon keskisälämpötila +4 astetta. Mittauspäivinä satoi lisää kuusi senttimetriä lunta.



Kuva 6. Ullakon sisälämpötila 24.–26.1.

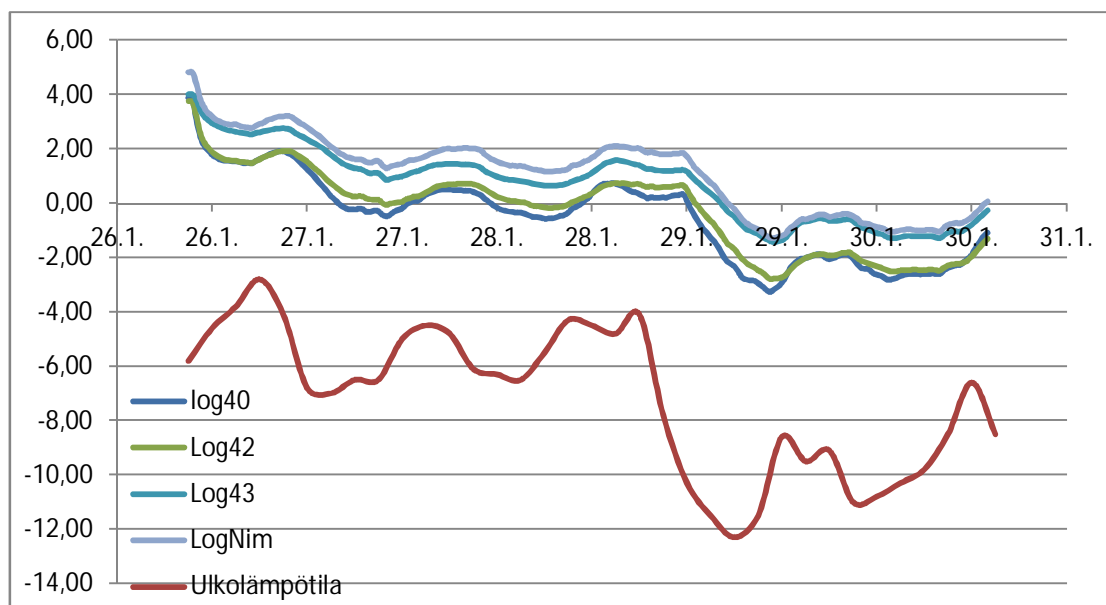
Mittaukset 26.1.–30.1., laitteisto täysillä päällä

Laitteiston käynnistyessä ongelmat hävisivät, veden tulo katolta loppui. Laitteiston vaikutuksen huomasi heti, ullakon keskimääräinen sisälämpötila kylmeni kolmella asteella, vaikka ulkolämpötila pysyi melkein samana verrattuna edelliseen mittausjaksoon.

Mittausten aikana ullakon keskilämpötila ajanjaksolla 26.1.–29.1. oli +1,3 astetta (kuva 7), kun ulkolämpötila oli keskimäärin -5,3 astetta. Ajanjaksolla 29.1.–30.1. sää kylmeni. Ullakon sisälämpötilaksi tuli keskimäärin -1,4 asteeseen, kun ulkolämpötila oli keskimäärin -9,3 astetta. Koko mittausajanjakson ullakon sisälämpötila oli keskimäärin +0,3 astetta ja keskiulkolämpötila oli -7,1 astetta. Lämpötilojen erotus on 7,4 astetta.

Lähelle poistopuhallinta asennetun anturin log nimetön mittausarvot olivat korkeimmat, keskimäärin puolitoista astetta korkeampaa kuin muiden anturien. Toiseksi korkeimmat mittausarvot olivat nurkkaan ilman puhallusta asennetun anturin log 43 arvot.

Tammikuun 27. päivänä huoltomiehet kävivät pudottamassa lunta pois katolta. Koko kattoa ei puhdistettu, lunta otettiin pääosin räystäältä ja sen läheltä noin metrin verran, muualla jäi paikalle samaa määrää lunta. Koska lumi otettu pois ainoastaan katon räystäältä, vaikutus lumen pudottamisesta ullakon sisälämpötilaan oli hyvin vähäinen, mitaustuloksissa ei huomaa sen vaikutusta.



Kuva 7. Ullakon sisälämpötila 26.1.–30.1.

Mittaukset 30.1.–7.2., laitteisto automaattiasennossa

Tammikuun 30. päivänä klo 14.00 alkaen laitteisto laitettiin takaisin automaattiasentoon. Mittausaikana oli hyvin kylmä, ulkolämpötila ensimmäisten kuuden päivän aikana nousi vain kerran yli -10 astetta (kuva 8). Ullakon koko mittausten aikana sisälämpötila oli keskimäärin nollassa asteessa, ja ulkona oli -13 astetta.

30.1.–2.2. ulkolämpötila vaihteli miinus kymmenestä asteesta miinus viiteentoista asteeseen. Ullakon sisälämpötila pysyi nollan ja miinus kahden asteen välillä. 2.2.–3.2. ulkolämpötila putosi -20 asteeseen ja näiden kahden päivän aikana ulkolämpötila vaihteli -15 ja -20 asteen välillä. Sisälämpötila ullakolla oli silloin keskimäärin 3,3 astetta pakkasta.

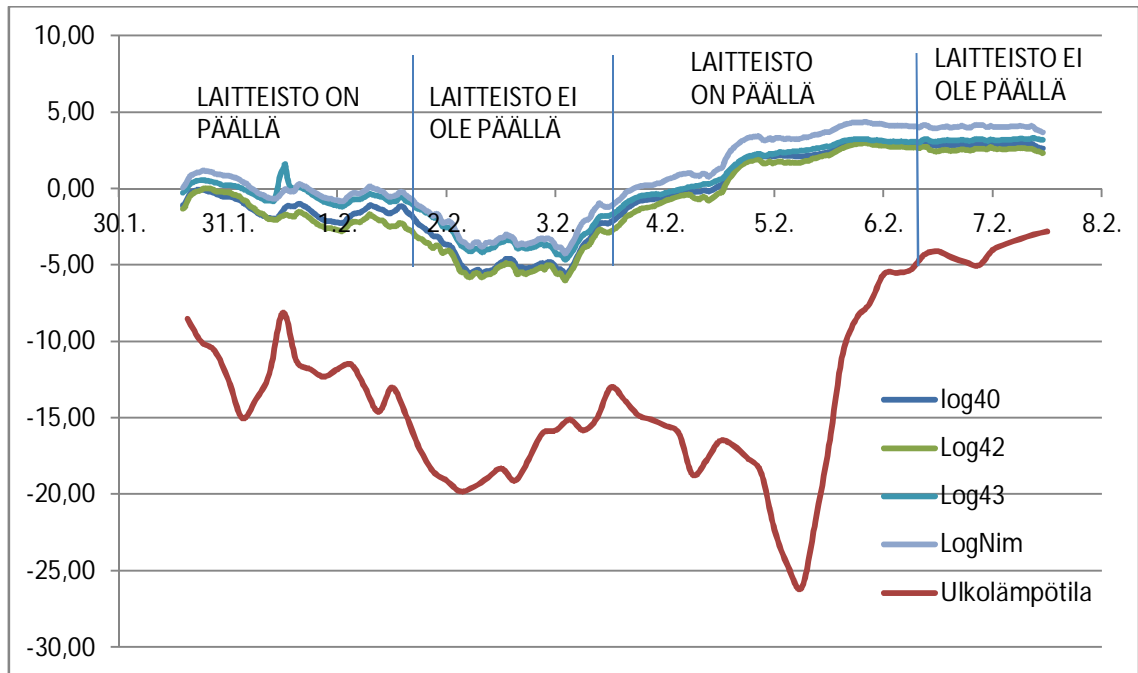
Mittausten alussa automaattitoiminnon asetusehdot täytyivät, ullakon sisälämpötila oli korkeampi kuin -2 astetta, ja laitteisto oli päällä helmikuun ensimmäiseen päivään saakka. Sisälämpötila ullakolla oli silloin keskimäärin -0,83 astetta ja ulkona -14,5. Lämpötilojen erotus on 13,6 astetta.

Helmikuun ensimmäisenä päivänä ullakon sisälämpötila meni alle miinus kahden asteen eivätkä puhaltimet olleet päällä 1.2.–3.2. Ullakon sisälämpötila oli silloin keskimäärin -3,8 astetta ja ulkolämpötila oli -17,2 astetta. Lämpötilojen erotus on 13,4 astetta.

Tammikuun 3. päivänä alkoi sataa lunta, ja kahden vuorokauden aikana tuli kymmenen senttimetriä lunta. Samana päivänä, heti lumisateen jälkeen, ullakon lämpötila alkoi nousta, vaikka ulkolämpötila oli laskussa. Ennen lumentuloa sisälämpötila pysyi aina pakkasen puolella, ja lumentulon jälkeen lämpötila ullakolla meni plussan puolelle jopa +4 asteeseen, vaikka ulkona lämpötila kävi kerran jopa -25 asteessa ja laitteisto oli koko ajan päällä 3.2.–6.2. On vaikeata sanoa mitkä tekijät vaikuttivat siihen tilanteeseen, vaikka ulkona oli niin kova pakkaneen, ullakon sisälämpötila pysyi melkein samana. Sisälämpötila ullakolla 3.2.–6.2. oli keskimäärin +1,5 astetta, kun ulkona oli -15,6. Lämpötilojen erotus on 14,1 astetta.

Helmikuun kuudentena päivänä ulkolämpötila nousi yli -5 astetta, ja laitteisto meni pois päältä. Samana päivänä Resson lukion isäntä huomasi, että katolle alkoi muodostua

pieniä jääpuikkoja. Sisälämpötila ullakolla 6.2.–7.2. oli keskimäärin +3,15 astetta, kun ulkona oli -4,06. Lämpötilojen erotus on 7,2 astetta.



Kuva 8. Ullakon sisälämpötila 30.1.–7.2.

Mittaukset 7.2.–17.2.

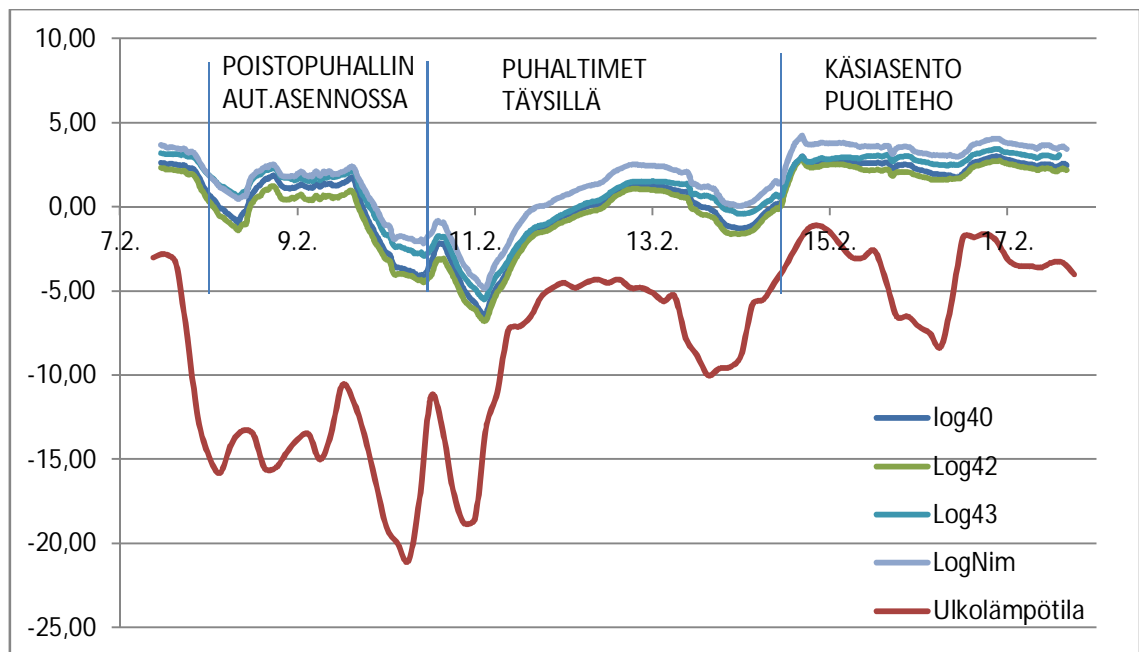
7.2.–17.2. laitteistoa kokeiltiin laittaa erilaisiin asentoihin. Ulkolämpötila pysyi mittausten aikana alussa noin puolet ajasta hyvin kylmänä, keskimäärin -15 asteessa, ja mittausten toisella puolella ulkolämpötila vaihteli nollan ja -10 asteen välillä, keskiulkolämpötila oli noin -5 asteessa (kuva 9).

Mittausten alussa puhaltimet olivat yhden päivän ajan käsiasennossa täysillä jääpuikkojen muodostumisen takia. Edellisten mittausten aikana laitteiston ollessa automaattiasennossa, ulkolämpötila nousi 6. helmikuun jälkeen yli asetetun rajan, ja tämän takia laitteisto ei ollut päällä. Kun puhaltimet oli kytketty täysille päälle, ullakon sisälämpötila viileni kolmella asteella, mutta samalla ulkolämpötila oli laskenut rajusti. Sisälämpötila 7.2.–8.2. oli keskimäärin +1,8 asteessa, kun ulkolämpötila oli -9,7 asteessa. Lämpötilojen erotus on 11,5 astetta.

8.2.–10.2. ainoastaan poistopuhallin oli päällä automaattiasennossa. Ullakon sisälämpötila pysyi mittausjaksona aika tasaisena noin +1 asteessa kun ulkona oli noin -14 astetta, ja kun ulkolämpötila laski -20 asteen asti, sisälämpötilaksi tuli -3 astetta. Näyttää siltä, että pelkästään poistoilmapuhaltimen käyttö ei riittänyt ullakon olosuhteiden hallintaan, kun katolla on niin paljon lunta. Vaikka ulkolämpötila vaihteli viiden asteen välillä, sisälämpötila pysyi melkein samana.

10.2.–14.2. laitteisto oli täysillä käsiasennossa. Ullakon sisälämpötila oli silloin keskimäärin -0,7 astetta, ulkolämpötila -7,7 astetta. Helmikuun 10. päivänä koko katto puhdistettiin lumesta. Sen vaikutuksen huomasi heti mittauksissa, ulko- ja sisälämpötilan välinen erotus pieneni aika paljon.

14.2.–17.2. molemmat puhaltimet laitettiin käsiasentoon puolitehoon. Sisälämpötila nousi muutamaa astetta, ja sen jälkeen se pysyi melkein samoissa lukemissa mittauksen ajan noin +3 asteessa, vaikka ulkolämpötila muuttui -1 ja -8 asteen välillä.



Kuva 9. Ullakon sisälämpötila 07.2.–17.2.

5.3 Ullakon kosteus

Ullakon sisäilman kosteuden mitoittaminen Helsingin kaupungin Simap-antureilla epäonnistui antureiden tallentamisvirheen takia, ja sen vuoksi jouduin käyttämään ainoastaan oman työpaikan neljän lämpötila-antureiden tuloksia. Anturit toimivat myös kosteusantureina, ja ne mittaavat suhteellista kosteutta.

Mittausten aikana suhteellinen kosteus ei kertaakaan mennyt kastepisteen yli eikä Res-sun lukion isäntä huomannut, että mitausten aikana katon pinnalle tiivistyisi vesipisaroi- ta samalla tavalla kun viime vuoden talvena. Tulosten analysoinnin pohjalta voidaan sanoa, että ullakon sisäilman kosteus on enemmän riippuvainen ulkoilman lämpötilasta kuin ullakon sisälämpötilasta. Kosteuden mittausarvoja seurasivat ulkolämpötilaa eikä ullakon sisälämpötilalla ollut vaikutusta sisäilman kosteuteen.

5.4 Ullakon katon pintalämpötila

Ullakon katon pintalämpötilan seuraamiseksi katon pellityksen sisäpuolelle on asennettu kuusi anturia, jokainen anturi on varustettu erillisellä mittausosalla. Anturin irto-osa teipattiin suoraan pellin päälle ja sen väliin on laitettu solukumieristystä, ettei ullakon sisäilma vaikuttaisi mittauksiin.

Neljä anturia, log 02, log 03, log 04 ja log 08, oli asennettu räystäään lähelle noin 1,5 metriin korkeuteen ja yksi niistä eli log 08 oli laitettu siihen nurkkaan, mihin asennettu laitteisto ei vaikuta. Kaksi muuta anturia (log 06 ja log 07) pyrittiin asentamaan mahdollisimman ylös katon yläosaan 3,5 ja 4,5 metrin korkeuteen.

Koko mittausajan keskimääräinen ullakon katon pintalämpötila oli -2,9 astetta, kun keskiulkolämpötila oli -7,6 astetta. Koko mittausajan keskimääräinen pinta- ja ulkolämpötilan erotus oli 4,7 astetta.

Mittaukset 13.1.–24.1., laitteisto automaattiasennossa

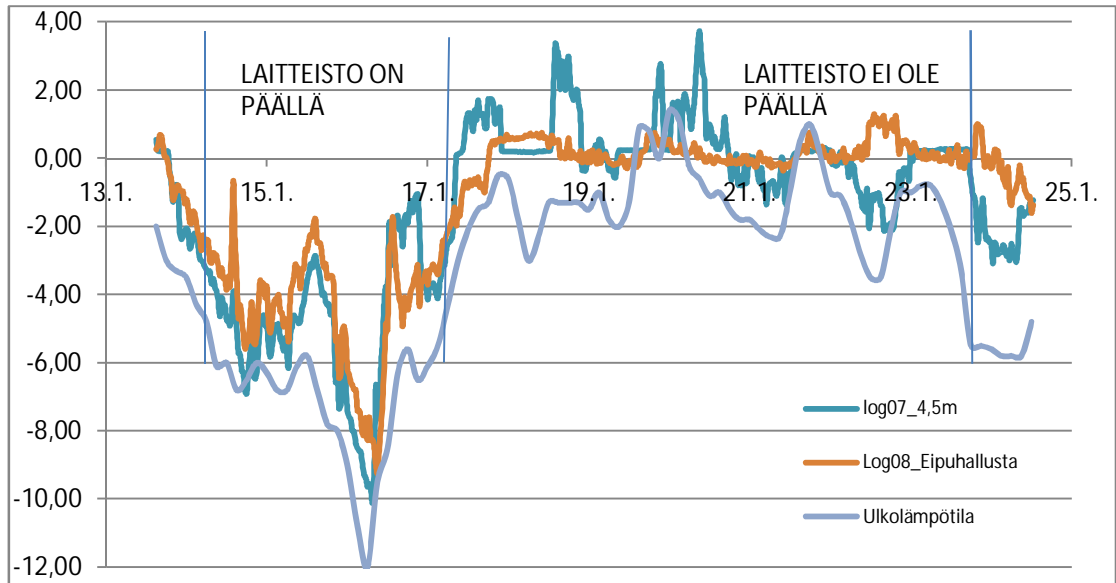
Ullakon katon pintalämpötila-antureiden mitoituservot seurasivat aika tarkasti ulkolämpötilaa muutamaan asteen erolla 17. tammikuuta saakka, ja kaikkien antureiden mittauservot olivat miinuksen puolella.

Tammikuun 17. päivän jälkeen Helsingissä satoi 30 senttimetriä lunta ja ulkolämpötila nousi. Tämän jälkeen pintalämpötilojen mittauservot nousivat heti. Ennen mittauksia katolla oli olematon ohut lumikerros, ja heti sateiden jälkeen lumen lämpöeristävä vaikutus alkoi vaikuttaa mittaustuloksiin.

Automaattitoiminnon molemmat ehdot täytyivät tammikuun 17. päivän saakka ja laitteisto oli käynnissä, mutta sen päivän jälkeen ulkolämpötila nousi automaattitoiminnon asetusarvojen yläpuolelle ja laitteisto meni pois päältä. Ullakon katon keskipintalämpötila 13.1.–17.1. oli -4,3 astetta, pinta- ja ulkolämpötilan erotus on 2,5 astetta.

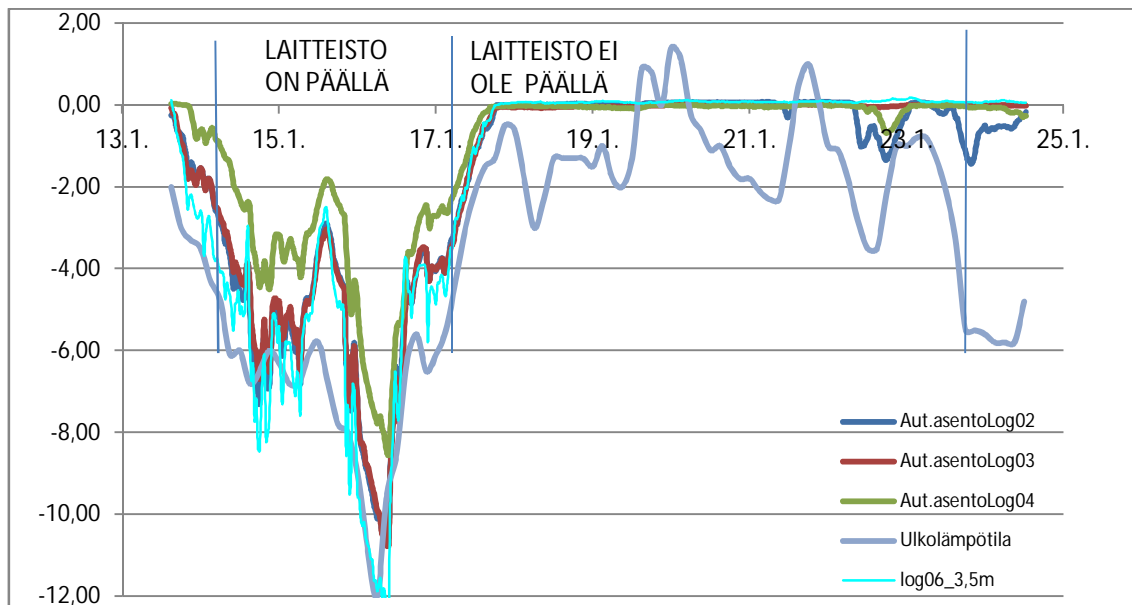
Kun ulkolämpötila nousi yli -5 astetta ja laitteisto pysähtyi, mittaustuloksissa alkoi näkyä myös laitteiston vaikutuksen ullakon katon pintalämpötiloihin lumikerroksen lisäksi. Ullakon katon keskipintalämpötila 17.1.–24.1. oli -0,1 astetta. Pinta- ja ulkolämpötilan erotus on 2,6 astetta.

Neljän ja puolen metriin korkeuteen asennetun anturin log 07 lämpötila-arvot nousivat eniten, lämpötila kävi jopa +4 asteessa, kun ulkona oli miinus yhden asteen pakkanen (kuva 10). Toiseksi eniten nousivat nurkkaan ilman puhallusta asennetun anturin log 08 arvot, sen pintalämpötila-arvot lumisateiden jälkeen olivat koko ajan plussan puolella.



Kuva 10. Antureiden log 07 ja log 08 pintalämpötilat 13.1.–24.2.

Kolmeen ja puolen metriin korkeuteen asennetun anturi log 06 ja kolme muuta räystäsantureita log 02, log 03 ja log 04 käyttäytyivät samalla tavalla koko mittausjakson ajan (kuva 11). Alussa ne seurasivat aika tarkasti ulkolämpötilaa, mutta lumisateiden ja laitteiston pysäyttämisen jälkeen niiden mittausarvoja menivät nolla-asteeseen, ja siinä arvossa ne pysyivät pienin vaihteluin, vaikka ulkolämpötila muuttui mittauksen aikana.



Kuva 11. Antureiden log 02, – 04 ja log 06 pintalämpötilat 13.1.–24.1.

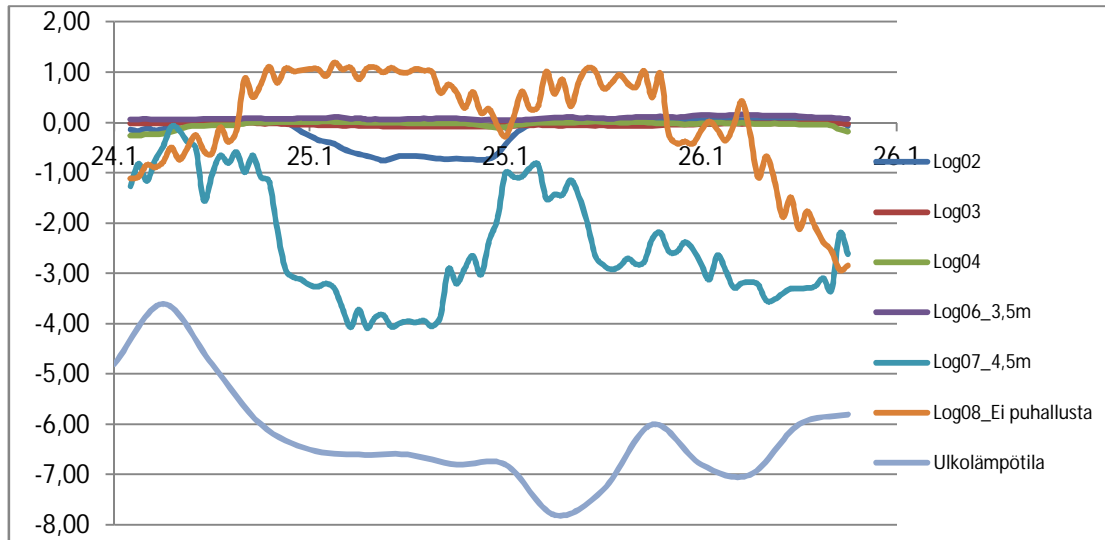
Mittaukset 24.1.–26.1., laitteisto pois päältä

24. tammikuuta klo 13.00 puhaltimet laitettiin pois automaattiasennosta nolla-asentoon. Siinä asennossa ne eivät ehtineet kauan olla, lumi katolla alkoi sulaa ja räystäälle alkoi muodostua jääpuikkoja. Tämä johtui siitä, että laitteisto ei ollut myös päällä automaattiasennossa 17.1.–24.1., koska ulkolämpötila oli silloin korkeampi kuin -5 astetta (kuva 12).

Räystäään kolmen anturin log 02, log 03 ja log 04 mittausarvot ja 3,5 metriin asennetun anturin log 06 arvot olivat mittauksen aikana hieman plussan puolella. Antureiden mittaustulokset eivät olleet riippuvaisia ulkolämpötilasta. Anturit käyttäytyvät aika samalla tavalla mittauksen aikana, ja niiden mittaustulokset olivat melko samanlaisia. Vaikka ulkona mittauspäivänä oli -6 astetta pakkasta, katon pintalämpötila räystäään kohdalla oli nollan yläpuolella, lumen lämpöeristävä vaikutus ja laitteiston toimimattomuus riitti sulattamaan lunta katolta.

Tällä mittausajanjaksolla korkeammalle 4,5 metriin asennetun anturin log 07 arvot olivat mittauksen aikana pakkasen puolella, noin miinus kolmessa asteessa. Edellisellä mittausajanjaksolla kävi toisella tavalla, tämän anturin mittausarvot olivat lämpimimmät. Ullakon nurkkaan ilman puhallusta asennetun anturin log 08 arvot olivat kaikista lämpimimmät noin plus yhdessä asteessa ja anturin mittauskäyrä ei seurannut ulkolämpötilaa.

Näyttää siltä, että lumisateiden jälkeen katolle ja erityisesti räystäälle muodostui lumi- ja jääpeite, joka alkoi toimia lämpöeristeenä. Vaikka ulkona lämpötila vaihteli, räystäään pintalämpötila pysyi melkein samana ja tietysti laitteiston toimimattomuus vaikutti myös siihen.



Kuva 12. Ullakon katon pintalämpötilat 24.1–26.1.

Mittaukset 26.1.–30.1., laitteisto täysillä päällä

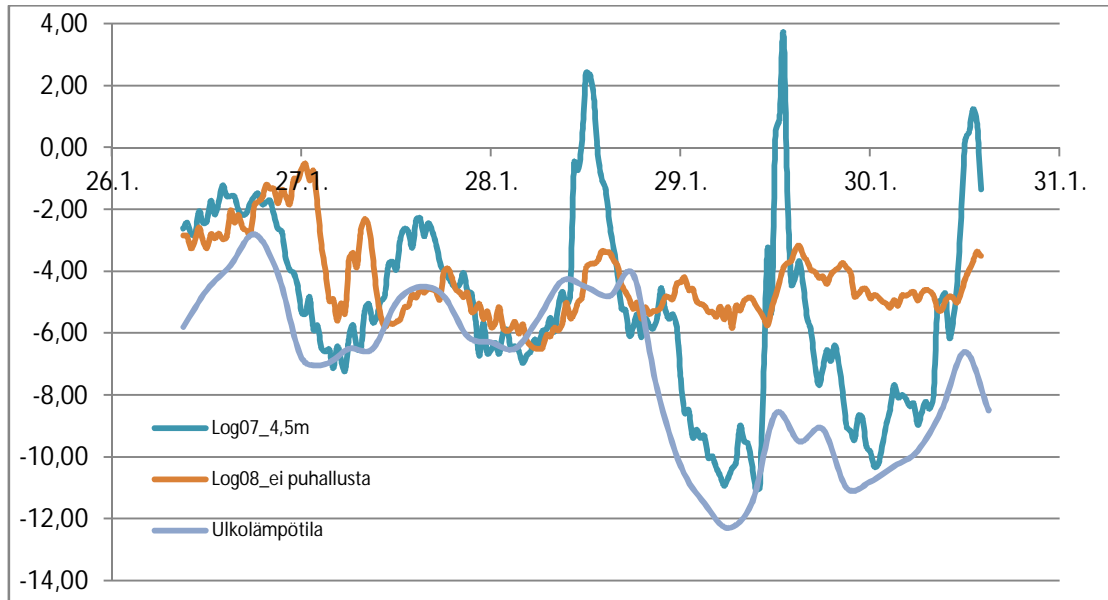
Laitteiston sammumisen jälkeen puhaltimet laitettiin maksimitehoon. Puhalluksen vaikutus alkoi heti näkyä, kaikkien antureiden mittausravot laskivat reilusti alas melkein samaan arvoon kuin ulkolämpötilaa.

Tammikuun 27. päivänä huoltomiehet kävivät pudottamassa lunta pois katolta. Koko kattoa ei puhdistettu, lunta otettu pääosin pohjoispuolen räystäältä ja sen läheltä noin metrin verran, muualle jäi paikalle sama määrä lunta. Tämä toimenpide näkyi mittaus-tuloksissa, nimenomaan tammikuun 27. jälkeen räystään antureiden pintalämpötilat alkoivat laskea nopeammin.

Lumen pudottamisen takia pohjoispuolella olevien antureiden log 02, log 04 ja log 08 mittausravot laskivat reilusti (kuva 14). Kahdella anturilla log 03 ja log 06 kesti kaksi vuorokautta ennen kuin niiden mittausravot lähtivät laskuun. Näiden antureiden kohdalta lunta ei puhdistettu.

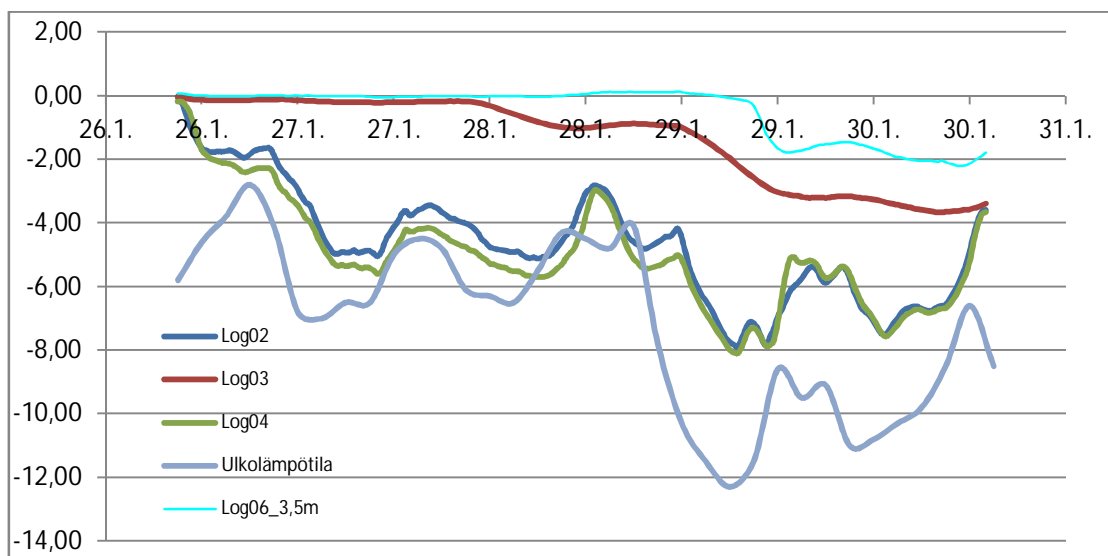
Näiden mittausten jälkeen korkeammalle asennetun anturin log 07 mittausravot alkoivat käyttäytyä epänormaalisti (kuva 13). Anturin pintalämpötila alkoi nousta korkealle plussan puolelle joka vuorokausi aina samaan aikaan noin klo 12.00. On vaikeata sa-

noa, mistä se johtui, ehkä aurinko alkoi vaikuttaa siihen katon kohtaan, johon anturi oli asennettu.



Kuva 13. Antureiden log07 ja log08 pintalämpötilat 26.1.–30.1.

Ullakon katon keskipintalämpötila 26.1.–30.1. oli -3,5 astetta. Pinta- ja ulkolämpötilan erotus on 3,6 astetta.



Kuva 14. Antureiden log 02 – 04 ja log 06 pintalämpötilat 26.1.–30.1.

Mittaukset 30.1.–7.2., laitteisto automaattiasennossa

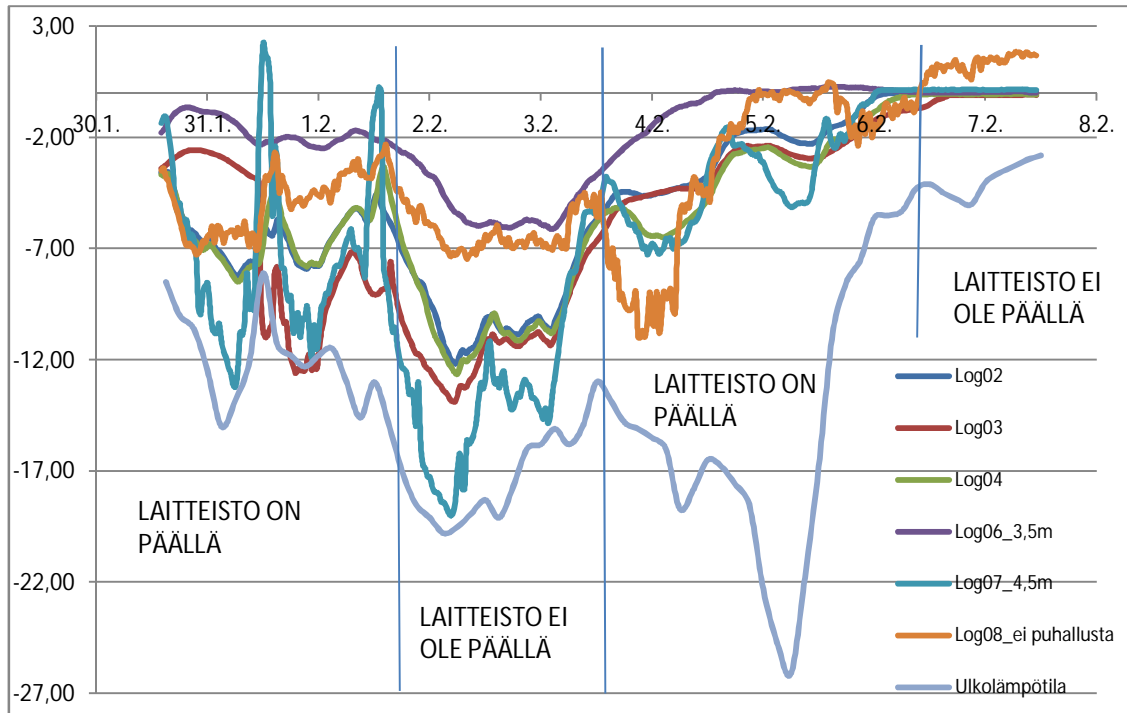
Tammikuun 30. päivän jälkeen puhaltimet olivat automaattiasennossa. Mittausten aikana tulivat talvin kovimmat pakkaset, mittausten alussa ulkolämpötila vaihteli -10:n ja -20 asteen välillä (kuva 15). Kaikkien pintalämpötila-antureiden arvot olivat reilusti miinuksien puolella, ja ne seurasivat ulkolämpötilan vaihteluja. Koko mittausten aikana ullakon katon pintalämpötila oli keksimäärin -4,5 asteessa ja ulkona oli -13 astetta.

3.2.–6.2. satoi 10 senttimetriä lunta, tämän jälkeen kaikkien pintalämpötila-antureiden mittausravot lähtivät nousuun, vaikka ulkolämpötila kylmeni jopa -25 pakkasasteen saakka ja laitteisto oli toiminnassa. Lumisateen jälkeen mittausten lopussa ulkolämpötila nousi -5 asteeseen ja sen yli, kaikki pintalämpötila-anturit asettuivat nolla-asteeseen. Ainoastaan ullakon nurkassa ilman puhallusta olevan anturin log 08 arvot olivat plussan yläpuolella. Ullakon sisälämpötila asettui +4 asteeseen.

Mittausten alussa automaattitoiminnon asetusehdot täytyivät, ullakon sisälämpötila oli korkeampi kuin -2 astetta ja laitteisto oli päällä helmikuun ensimmäisen päivän saakka. Pintalämpötila oli silloin keskimäärin -5,6 astetta, ulko- ja pintalämpötilojen erotus oli 8,9 astetta. Helmikuun ensimmäisenä päivänä ullakon sisälämpötila meni alle miinus kaksi astetta eivätkä puhaltimet olleet päällä 1.2.–3.2. Katon pintalämpötila oli silloin keskimäärin -9,3 astetta, pinta- ja ulkolämpötilan erotus on 7,9 astetta.

Helmikuun 3. päivän jälkeen ullakon sisälämpötila nousi yli -2 astetta ja laitteisto oli taas päällä helmikuun 6. päivän saakka. 3.2.–6.2. ullakon katon pintalämpötila oli noussut, vaikka laitteisto oli toiminnassa ja ulkona oli tosi kylmä. Katon pintalämpötila ullakolla oli silloin keskimäärin -2,8 astetta, kun ulkona oli -15,6. Lämpötilojen erotus on 12,8 astetta.

Kuudentena päivänä ulkolämpötila nousi yli -5 astetta ja laitteisto meni pois päältä. Samana päivänä Resson lukion isäntä huomasi, että katolle alkoi muodostua pieniä jääpuikkoja. Antureiden pintalämpötila oli ollut silloin hieman nollan yläpuolella. Ullakon katon pintalämpötila 6.2.–7.2. oli keskimäärin +0,17 astetta, kun ulkona oli -4,06 astetta. Lämpötilojen erotus on 4,23 astetta.

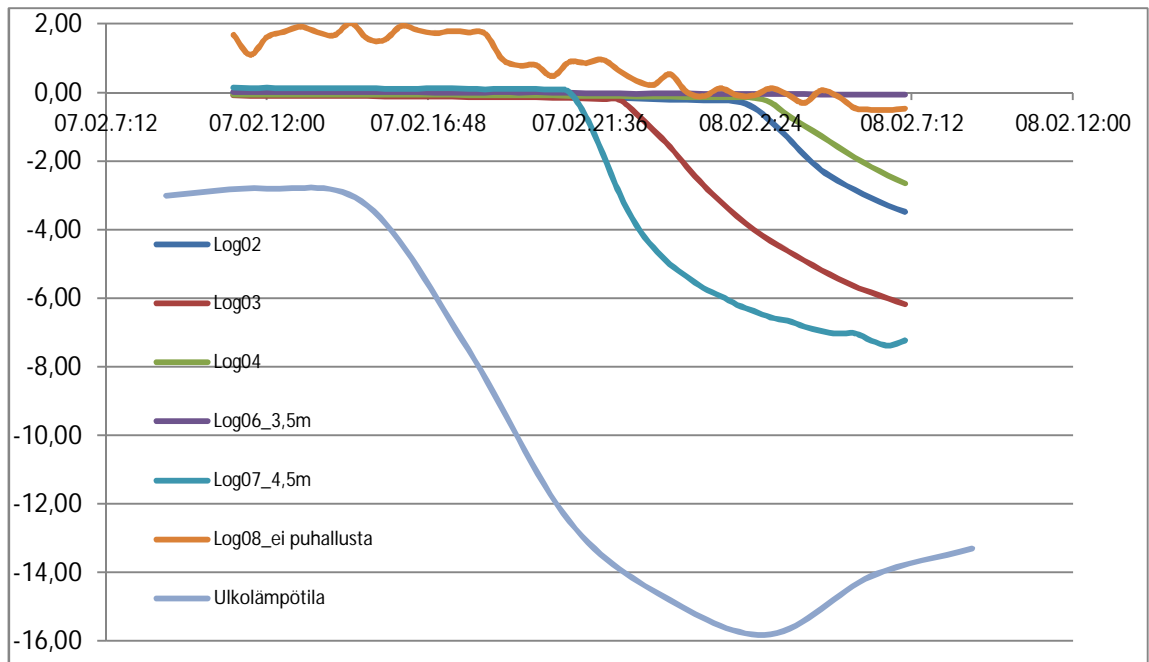


Kuva 15. Ullakon katon pintalämpötilat 30.1.–7.2.

Mittaukset 7.2.–17.2.

Helmikuun 7. päivänä laitteisto kytkettiin täydelle teholle jääpuikkojen muodostumisen takia, ja melkein samaan aikaan ulkolämpötila alkoi kylmetä (kuva 16). Sisälämpötila 7.2–8.2. oli keskimäärin $-0,7$ asteessa, kun ulkolämpötila oli $-9,7$ asteessa. Lämpötilojen erotus on $9,0$ astetta.

Antureiden mittausarvot menivät alaspäin, eniten lämpötila laski korkeammalle asennetussa anturissa log 07. Räystäään antureiden log 02, log 03 ja log 04 lämpötila-arvot laskivat hitaammin ja vähiten. Anturi log 08 ilman puhallusta pysyi koko ajan plussan puolella, ja vasta kun ulkolämpötila laski -16 asteeseen, sen mittausarvot menivät miinuksien puolelle. Kolme ja puolen metriin asennetun anturin log 06 arvot olivat koko ajan nollassa, mikä johtuu luultavasti paksusta lumimäärästä anturin asennuskohdalla.

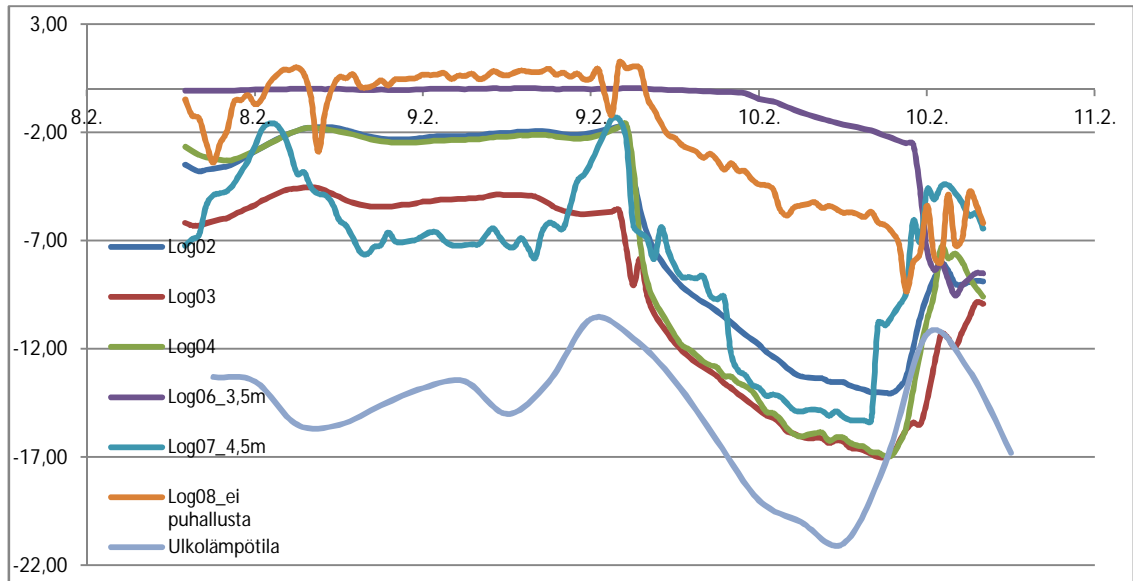


Kuva 16. Ullakon katon pintalämpötilat 7.2.–8.2.

Kun laitteisto oli ollut täysillä yhden päivän, seuraavana päivänä klo 7.00 laitettiin toimintaan ainoastaan poistoilmapuhallin automaattiasentoon. Siinä asennossa puhallin oli 8.2.–10.2. Ulkolämpötila mittauksen aikana oli keskimäärin -14,9 pakkasta.

Räystään antureiden log 02, log 03 ja log 04 mittausarvot olivat pakkasen puolella noin -4 asteessa, neljän ja puolen metrin korkeuteen asennetun anturin log 07 mittausarvot olivat matalimmat ja 3,5 metriin asennetun anturin log 06 arvot olivat nolla-asteessa (kuva 17). Ullakon nurkassa ilman puhallusta olevan anturin log 08 arvot olivat plussan puolella mittausaikana.

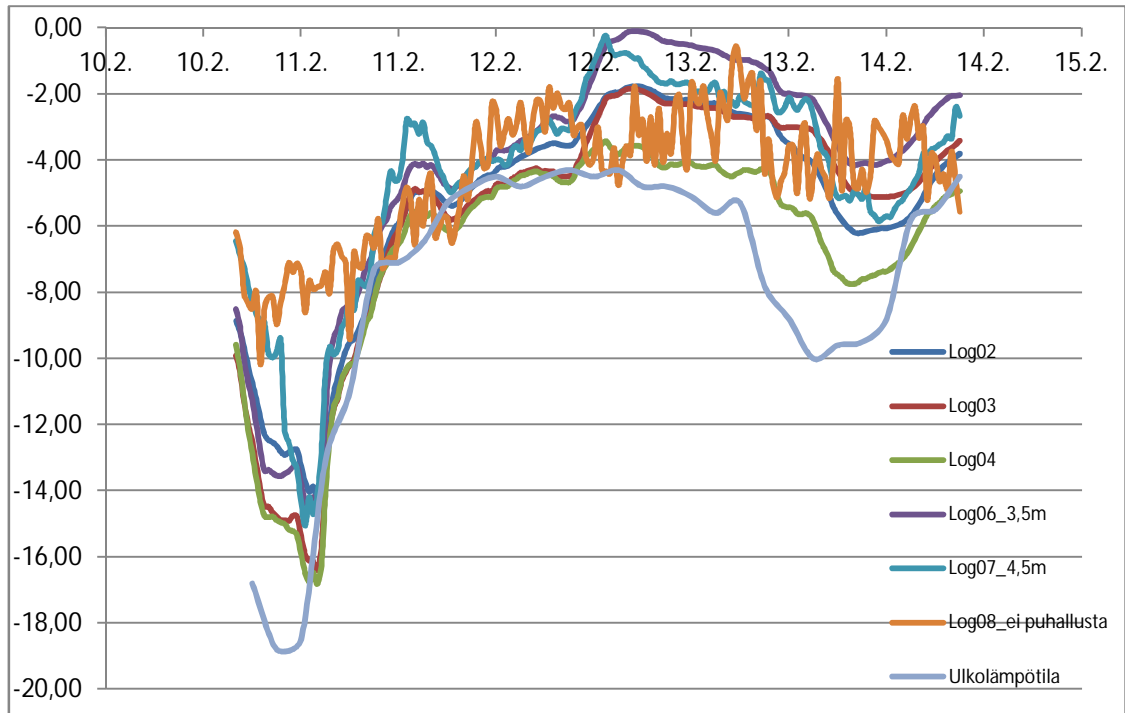
Seuraavana päivänä yöllä ulkolämpötila meni -20 pakkasasteeseen, ja kaikkien antureiden arvot menivät reilusti alas, räystään ja 4,5 metrin antureiden log 02, log 03, log 04 ja log 07 mittausarvot olivat ainoastaan muutamaa astetta korkeammat kuin ulkolämpötila.



Kuva 17. Ullakon katon pintalämpötilat 08.2.–10.2.

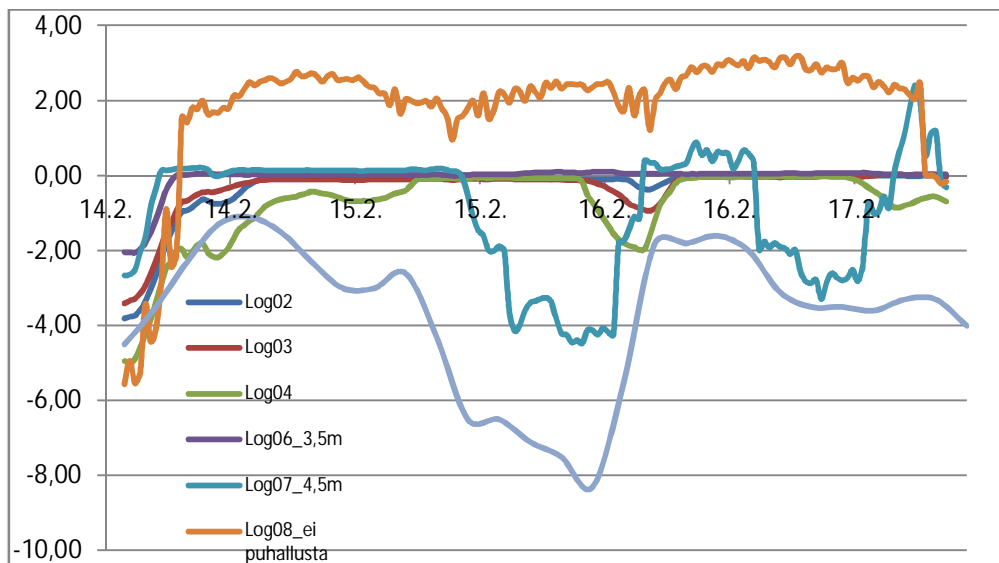
Helmikuun 10. päivänä klo 16.00 laitteiston molemmat puhaltimet laitettiin täydelle teholle. Mittaukset kestivät 14. helmikuun saakka. Mittausten aikana kaikki pintalämpötila-anturit olivat miinuksella (kuva 18).

Ulkolämpötila oli alussa hyvin kylmää, mutta seuraavana päivän keskilämpötila nousi -5 asteeseen. Anturit seurasivat aika tarkasti ulkolämpötilan vaihtelua muutaman asteen erolla ja joidenkin antureiden arvot olivat jopa kylmempiä kuin ulkolämpötila. Tämä johtuu siitä, että helmikuun 10. päivän jälkeen katolla ei ollut enää lunta, huoltomiehet kävivät puhdistamassa kattoa lumesta.



Kuva 18. Ullakon katon pintalämpötilat 10.2.–14.2.

Seuraavaksi laitteisto laitettiin käsiasentoon puolitehoon. Ulkolämpötila mittausten aikana vaihteli miinus kahdesta asteesta miinus kahdeksaan asteeseen (kuva 19). Räystään anturit olivat melkein koko ajan nolla-asteessa, ja korkeammalle asennetun log 07 anturin arvot olivat kylmimmät. Ullakon nurkassa ilman puhallusta olevan anturin log 08 mittausarvot nousivat plussan puolelle.



Kuva 19. Ullakon katon pintalämpötilat 14.2.–17.2.

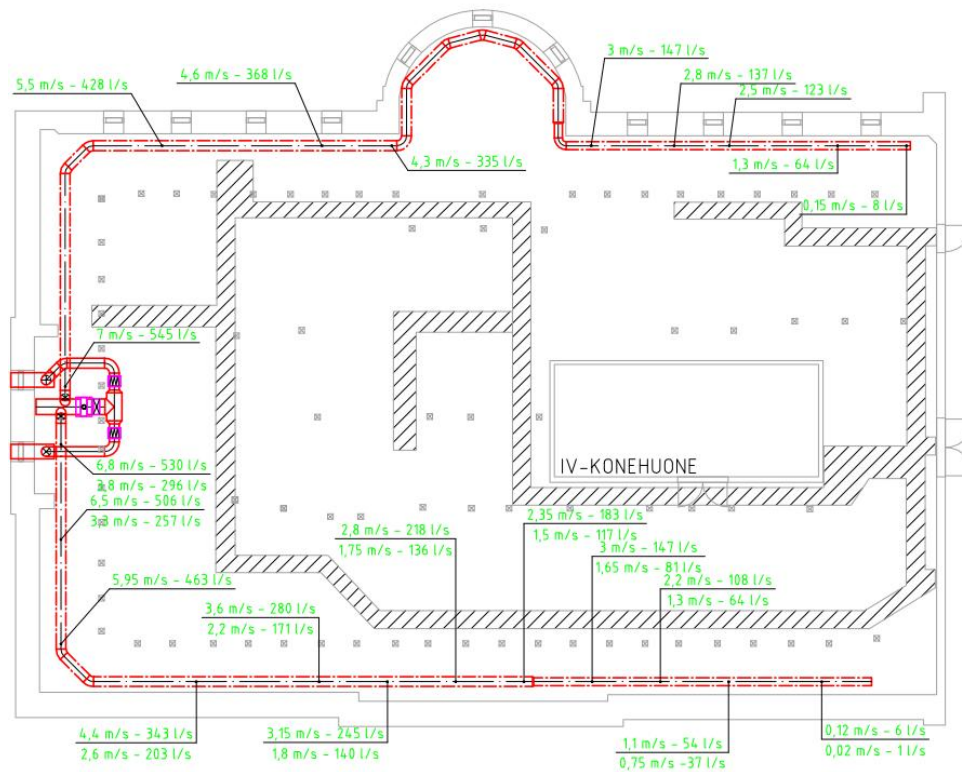
5.5 Laitteiston ilmamäärä

Laitteiston ollessa täydellä teholla mittasin kanaviston pohjoispuolisesta haarasta ilmanopeudeksi 6,8 m/s, mikä tarkoittaa ilmamääräksi 530 l/s ja toisesta eteläpuolisesta haarasta mittasin nopeudeksi 7 m/s, mikä vastaa 545 l/s (kuva 20). Mittausten mukaan ilmankulutus on noin 15–20 litraa sekunnissa per kanavametri, ja yhdestä reiästä tulee ilmaa noin 4–5 l/s. Ilma jakaantuu kanavistossa aika tasaisesti.

Laitteiston ollessa puoliteholla mittasin ilmannopeudet ainoastaan kanaviston pohjoispuolisesta haarasta. Nopeudeksi tuli 3,8 m/s, mikä tarkoittaa ilmamääräksi 300 l/s. Mittausten mukaan ilmankulutus on noin 10–12 litraa sekunnissa per kanavametri ja yhdestä reiästä tulee ilmaa noin 3 l/s. Ilma jakaantuu kanavistossa aika tasaisesti.

Ilmannopeusmittaus puhallusreiästä ei onnistunut käytössä olevalla kuumalankamittarilla, mittaustulos vaihteli liian paljon enkä voinut luottaa saatuihin tuloksiin. Yhden puhallusreiän ilmamäärän arvioin jakamalla mittaamalla saadun ilmankulutuksen puhallusreikien määrällä.

Mittauksista saatujen ilmamäärien perusteella arvioin raitisilmaottokanavien nopeudet. Molempien raitisilmakanaviston koko on 470x300 millimetriä, ja niiden läpi kulkee ilmamäärää 545 l/s ja 530 l/s. Tämä tarkoittaa sitä, että raitisilmanoton kautta ilmaa liikkuu nopeudella 3,87 ja 3,76 m/s. Tämä on paljon, yleensä ulkoilmasäleiköt mitoiteetaan maksiminopeudelle 2 m/s ja suositusnopeus on 1 m/s. Jotkut raitisilmasäleikköjen valmistajat suosittelivat nopeudeksi 0,7 m/s, jos halutaan varmistaa, ettei lumi pääsisi kanaviston sisään.



Kuva 20. Asennetun kanaviston ilmanopeudet.

6 Mittaustulosten yhteenveto

6.1 Ullakon sisälämpötila ja katon pintalämpötila

Mittaukset 13.1.–26.1.

Mittausten alussa katolla oli vähän lunta, ullakon sisä- ja pintalämpötila seurasivat aika tarkasti ulkolämpötilaa ja laitteisto oli päällä. Sen jälkeen kun ulkolämpötila nousi, Helsingissä oli satanut 30 cm lunta ja laitteisto oli pois päältä, alkoivat ongelmat. Mittaustuloksissa näkyi aika hyvin tämä vaikutus, ullakon sisäolosuhteet tulivat sellaiseksi, että katolle alkoi muodostua jääpuikkoja.

Tästä seurasi se, että laitteistolla automaattiasennossa ei voinut hallita ullakon sisäolosuhteita puhaltimille asetetuilla käyntilämpötiloilla. Puhaltimien tulee olla päällä aikaisemmissa lämpötiloissa. Laitteiston käytön kannalta kriittisimmät ulkolämpötilat ovat miinus viidestä nollaan asteeseen, kun ulkona on yli -5 astetta, ullakon sisälämpötila

nousee yli +4 astetta ja katon pintalämpötila nousee plussan puolelle. Nämä olosuhteet johtuvat lumen sulamiseen katolta. Laitteistoa ehdottomasti tulee käyttää jo silloin, kun ulkona on pakkasta ja jos halutaan varmuutta toimintaan, puhaltimet voidaan kytkeä päälle jo ulkolämpötilan ollessa plus kaksi astetta.

Mittaukset 26.1.–30.1.

Laitteiston kytkemisen jälkeen ongelmat hävisivät, veden tulo katolta loppui. Mittaustuloksista näkyi, että ullakon olosuhteita menivät sellaiseksi, ettei niistä aiheudu haittoja, ullakon sisälämpötila kylmeni ja katon pintalämpötila meni miinuksen puolelle. Näiden mittausten mukaan laitteistolla voidaan hallita ullakon sisäolosuhteita ja vaikuttaa siltä, että nimenomaan laitteiston toiminta oli se puuttuva tekijä edellisellä mittausajanjaksoilla, jolla voitiin vaikuttaa ullakon sisäolosuhteisiin.

26.1.–28.1. ulkolämpötila oli aika samanlainen kuin 24.1.–26.1., kun laitteisto oli pois päältä, joten nämä ajanjaksoja kannattaa verrata. 26.1.–28.1. ulkolämpötila oli keskimäärin -5,2 astetta, pintalämpötila oli -2,7 astetta ja ullakon sisälämpötila oli +1,3 astetta. 24.1.–26.1. ulkolämpötila oli keskimäärin -6,2 astetta, pintalämpötila -0,4 astetta ja ullakon sisälämpötila oli +4 astetta. Ero ajanjaksojen välillä sisälämpötiloissa oli keskimäärin 2,7 astetta ja katon pintalämpötiloissa 2,3 astetta. Jos otetaan huomioon, että ullakon keskilämpötila oli yksi aste korkeampi, laitteiston vaikutus on vielä suurempi.

Mittaukset 30.1.–7.2.

30.1.–7.2. ulkona oli hyvin kylmää, puhaltimet olivat automaattiasennossa. Mittaustulosten analysoinnin pohjalta voidaan sanoa, että ulkolämpötilan ollessa -13 astetta ja sen ali ullakon sisälämpötila pysyy pakkasen puolella. Katon pintalämpötila menee miinuksen puolelle ulkolämpötilan ollessa -7 astetta. Näissä ulkolämpötiloissa ullakon olosuhteet menevät miinuksen puolelle nimenomaan silloin, kun katolla on paljon lunta. Tietysti tilanteessa, jossa katolla on vähemmän lunta, ulkolämpötilan arvo on pienempi.

Nämä ulkolämpötilat voidaan pitää laitteiston käytön ylärajana, jos mietitään puhaltimien automaattitoimintaa. Laitteisto voidaan käynnistää silloin, kun ulkolämpötila on alle +2 astetta, ja sammuttaa, kun ulkolämpötilan on -15 asteessa, jos halutaan lisävar-

muutta laitteiston toimintaan. Mutta tämä vaatii lisätutkimuksia, jos halutaan varmistaa laitteiston lämpötila-asettelun ylärajan.

Helmikuun 3. päivän jälkeen Helsingissä oli satanut lisää lunta ja vaikka ulkolämpötila kylmeni 3.2.–5.2. -15 asteesta -25 asteeseen ja laitteisto oli päällä, sisälämpötila ullakolla oli noussut noin 7 asteella ja katon pintalämpötila oli noussut jopa 10 asteella joidenkin pinta-antureiden kohdalla. Lämpötilan nousu oli tapahtunut nimenomaan lumisateiden jälkeen, silloin oli tullut 8 cm lunta kahden päivän aikana, ja jos se lumimäärä otetaan huomioon, Helsingissä tähän aikaan oli satanut 53 cm lunta.

Ullakon lämpötilan nousu voi johtua monesta syystä. 3.2.–5.2. olivat talven kovimmat pakkaset, ehkä rakennuksen lämmitysjärjestelmä oli silloin täysillä ja ullakkoon tuli siitä iso lämpökuorma. Voi olla, että yhdessä lumisade ja lämmitysjärjestelmä ovat syynä lämpötilan nousuun ja myös epäilen, että laitteisto on voinut olla silloin pois päältä. Mutta kuitenkin nämä ovat ainoastaan ainoat kaksi päivää, milloin ullakon olosuhteisiin ei voitu vaikuttaa laitteistolla.

Helmikuun 6. päivänä ulkolämpötila nousi yli -5 astetta ja laitteisto oli mennyt pois päältä. Tästä oli heti seurannut ongelmia, ullakon olosuhteet olivat mennyt sellaiseksi, että katolle alkoi muodostua jääpuikkoja. Ullakon sisä- ja pintalämpötila oli mennyt plussan puolelle.

Mittaukset 7.2.–17.2

Jääpuikkojen muodostumisen takia puhaltimet olivat yhden päivän ajan käsiasennossa täysillä. Laitteiston kytkemisen jälkeen jääpuikkojen muodostuminen oli loppunut, ullakon sisä- ja pintalämpötila oli mennyt alas pakkasen puolelle mutta kymmenen tunnin viiveellä. Vasta kun ulkolämpötila oli mennyt -10 asteeseen, sisälämpötila oli alkanut laskea nopeammin. Näyttää siltä, ulkolämpötila vaikutti enemmän ullakon sisäolosuhteisiin kuin laitteiston toiminta. Katolla oli paljon lunta ja minusta tuntuu, että sen takia laitteiston tehoa ei enää riittänyt jäähdyttämään ullakkoa tehokkaasti.

8.2.–10.2. ainoastaan poistopuhallin oli päällä automaattiasennossa. Mittausten aikana oli hyvin kylmää, ja sen takia ullakon sisälämpötila pysyi aika kylmänä, mutta keski-

määrin noin kahdella asteella korkeampana verrattuna mittausjaksoihin, jolloin oli samanlainen ulkolämpötila ja laitteisto oli täysillä päällä. Pintalämpötilan kaksi anturia olivat plussan puolella, mutta siitä ei ilmennyt haittoja. Myös muiden katon pintalämpötila-antureiden mittausarvot olivat tavallista korkeampia verrattuna muihin mittausjaksoihin. Ulkolämpötila vaihteli mittausjaksolla, mutta mittausantureiden mittausarvot pysyivät aika samanlaisena. Tästä voidaan päätellä, että ainoastaan poistopuhaltimen käyttöä ei riitä ullakon olosuhteiden hallitsemiseksi.

10.2.–14.2. laitteisto oli täysillä käsiasennossa. Helmikuun 10. päivän jälkeen katolla ei enää ollut lunta, mikä näkyi heti mittauksissa, ullakon katto kylmeni tehokkaasti, pintalämpötila oli ainoastaan 2,7 astetta lämpimämpi kuin ulkolämpötila ja ullakon sisälämpötila meni pakkasen puolelle jo -7 asteen ulkolämpötilassa. Mittauksista näkee hyvin, miten lumi vaikuttaa ullakon olosuhteisiin.

14.2.–17.2. molemmat puhaltimet laitettiin käsiasentoon puolitehoon. Näillä mittauksilla ei ole enää merkitystä, koska ullakon katto oli vapaa lumesta. Mittauksista voidaan sanoa, että laitteiston ollessa puoliteholla ei pystytä hallitsemaan ullakon sisäolosuhteita. Ulkolämpötila vaihteli mittausaikana -1 asteesta -8 asteeseen, mutta ullakon sisälämpötila pysyi muuttumattomana. Sama voidaan sanoa pintalämpötilasta, melkein kaikki anturit asettuivat nolla-asteeseen.

6.2 Ullakon kosteus

Ullakon kosteus pysyi koko ajan kastepisteen yläpuolella eikä mittausten aikana huomattu, että ullakolla olisi muodostumassa katon sisäpuolelle vesipisaroita. Myöskään mittausten tuloksista ei huomattu, että laitteistolla olisi erityistä vaikutusta ullakon kosteuteen. Teoreettisen tarkastelun jälkeen voidaan sanoa, että laitteistolla on kuivaava vaikutus, koska ullakolta poistetaan lämpimämpää ilmaa, jonka kosteussisältö on ulkoilma suurempi. Tilalle tuodaan kylmempää ulkoilmaa, jonka kosteussisältö sisäilma pienempi. Edellisen vuoden talvella 2010–2011 ullakon katon sisäpuolella oli reilusti kosteutta, mutta tämän vuoden talvella kosteutta ei havaittu, joten voidaan sanoa, että silloin kun laitteisto on toiminnassa, ullakolla ei ole kosteusongelmia.

6.3 Laitteiston ilmamäärä

Ilmamäärämittauksista selvisi, että kanavisto on tasapainossa, puhallusrei'istä ilma jakaantuu tasaisesti ja jokaisesta reiästä lähtee melkein sama ilmamäärä. Kanavistosta mitoitettut arvot nousivat aika tasaisesti mentäessä kanaviston alkupäähän. Laitteiston kokonaisilmanmääräksi on mitoitettu 1075 l/s, joka näyttää riittävän ylläpitämään ullakolla sellaisia olosuhteita, ettei ole ongelmia talvella ylimääräisen lämmön kanssa.

Mittausten aikana 13.1.–17.2. tulo- ja poistopuhallin oli 525 tuntia päällä. Puhaltimien sähköteho on 1,452 kW, joten laitteiston sähkökulutus mittausten aikana oli:

$$525 \text{ h} \times 1,452 \text{ kW} \times 2 = 1525 \text{ kWh}$$

Laitteiston käyttö mittausten aikana maksoi:

$$1525 \text{ kWh} \times 0,16 \text{ €/kWh} = 244 \text{ €}$$

Laitteiston ilmanottosäleiköt ovat liian pienet rakennetulle laitteistolle, ja sen takia nopeus niissä on liian suuri. Esimerkiksi liian suurien nopeuksien takia lumi imeytyy ilman kanssa kanavistoon, ja tästä voi seurata laitteiston toimintahäiriöitä.

Täytyy muistaa myös se, että ulkoilmanoton mitoittamiseen vaikuttaa monta tekijää. Koska kysymyksessä on arvokiinteistö, sen ulkonäköä ei saa muuttaa ja tämän takia ullakolle ei voida rakentaa uusia ilmanottosäleikköjä. Entiset ikkunat, joihin ilmanotto on rakennettu, rajoittavat laitteiston kokoa.

7 Parannusehdotukset

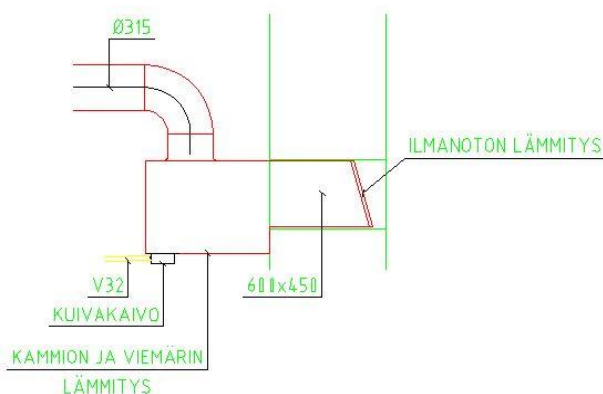
Laitteiston automaattitoiminnon asetustilat tulee muuttaa. Nykyiset asetustilat ovat -2 astetta sisälämpötilalle ja -5 astetta ulkolämpötilalle. Mittausten mukaan ongelmallinen ulkolämpötila ullakolle on miinus viidestä nollaan asteeseen. Silloin kun on ulkona yli -5 astetta, katon pintalämpötila nousee plussan puolelle ja ullakon sisälämpötila menee +4 asteeseen. Nämä ovat nimenomaan sellaiset olosuhteet, jotka tuovat ongelmia kylmäksi suunniteltuun vinttitilaan.

Laitteiston tulee olla päällä silloin, kun ulkona on pakkasta ja jos halutaan varmuutta, puhaltimet laitetaan päälle ulkolämpötilan ollessa alle +2 astetta. Laitteiston voi pitää pois päältä silloin, kun ulkona on kylmempi kuin -15 astetta. Ullakon sisälämpötilan asetus -2 astetta laitteiston kytkemiseksi pois toiminasta voidaan pitää muuttumattomana.

Kanaviston puhallusreikien suuntaus nykyään on 15 astetta, ilma puhalletaan lähes suoraan katoa päin. Ilmasuihku törmää suoraan kattoon, ja ilmavirta menettää törmäyksessä osan sen voimasta ja sen takia ilmasuihkun heittopituus pienenee. Kanaviston puhallusreikien kulman suuntausta katon suuntaisesti tulisi tutkia, näin voidaan hyödyntää coanda-ilmiötä. Coanda-ilmiö tarkoittaa sitä, että ilmasuihku imeytyy pintaan paine-erosta johtuen, minkä takia ilmasuihkun heittopituus kasvaa ja ullakon katto jäähtyy tehokkaammin. Kanaviston puhallussuihkun tulee peittää mahdollisimman suuren osan ullakon katosta.

Ilmanotto olisi hyvä järjestää toisella tavalla (kuva 21). Ilmanottokanavaa täytyy suurentaa ainakin ikkunan koon mukaiseksi, näin saadaan ilmanottosäleikön otsapintanopeudeksi 2 m/s, joka on maksimimitoitussuositus. Jos halutaan ilmanoton nopeudeksi 1 m/s, säleikön pinta-ala täytyy suurentaa kaksinkertaisesti.

Ulkoilmasäleikössä olisi hyvä olla sähkölämmitys varmistuksena, ettei sei jäätyisi. Ilmanottokanavien jälkeen täytyy rakentaa isompi ilmakammio, sen takia, että ilmavirranopeus tasaantuisi ja olisi pienempi. Kammiota täytyy viemäroidä, sen pohjaan pitää asentaa kuivakaivo, josta lähtee V32 viemäriputki. Kammion pohjassa, kaivossa ja viemäriputkissa täytyy olla sähkölämmitys, jäätymisen ja sulanapidon takia.



Kuva 21. Ilmanoton parannusehdotus.

8 Yhteenveto

Mittauksien mukaan laitteisto toimii oikealla tavalla. Silloin kun puhaltimet ovat päällä, ullakon sisäolosuhteita pysyvät sellaisena, ettei niistä aiheudu haittoja. Mittausten aikana silloin kun laitteisto oli toiminnassa, ullakon katon pintalämpötila pysyi melkein aina miinuksen puolella. Vaikka sisälämpötila vintillä oli plussan puolella, laitteiston toiminnan ansiosta siitä ei aiheutunut haittoja. Paras esimerkki laitteiston toimivuudesta on se, että kuluvana talvena huoltomiehet kävivät ainoastaan yhden kerran hallitusti talviloman aikana pudottamassa lunta ja jäätä katolta.

Laitteistoa kuitenkin täytyy parantaa, ilmanottoa pitää suurentaa ja mahdollisesti järjestää se toisella tavalla. Puhallusreikien suuntausta katon suuntaiseksi tulee tutkia.

Käytetyllä laitteistolla on hyviä käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa, jos tulevat talvet jatkuvat samanlaisina kylminä ja lumisina. Tietysti jokainen rakennus on yksilöllinen ja sen takia niiden ullakoissa voi olla eri määriä kanavia ja ilmastointikoneita, niiden lämpökuorma voi olla suurempi tai sitten pienempi. Kun suunnitellaan samantyyppinen kohde ja laitteisto, suunnittelun tulee olla tapauskohtainen.

Laitteiston suunnittelu lähtee ullakon lämpökuormien ja lämmönlähteiden tutkimisesta. Kun ne tiedetään, voidaan laskea tarvittavaa ilmamäärää katon jäähdyttämiseksi. Sen jälkeen suunnitellaan vinttitilan kanavistoa ilmamäärän mukaan. Kanaviston täytyy peittää mahdollisimman paljon katon pinta-alasta, ettei jäisi tyhjiä kohtia ilman puhallusta. Laitteiston ilmanoton suunnittelu tuo omat vaikeutensa, mikäli kohde on suojeltu. Rakennusten ulkonäköä ei saa muuttaa, täytyy käyttää ainoastaan olemassa olevia rakenteita, esimerkiksi ikkunoita, aukkoja, vanhoja savuhormeja jne. Laitteiston suunnittelussa voi tulla sellaisia tilanteita, että ilmanoton suuruus rajoittaa laitteiston kokoa.

Lähteet

- 1 Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Seppänen Olli. 1996. Ilmastointi-tekniikka ja sisäilmasto. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry.

**KANAVISTOJEN
LÄMPÖKUORMA**

$$\emptyset = \frac{\pi (T_s - T_u)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_u}{d_s} + \frac{1}{d_u \alpha_u}}$$

Tu - sisälämpötila, K	21
Ts - ulkolämpötila, K	3
λ - mineraalivillan lämmönjohtavuus, W/mK	0,046
du - ulkohalkaisia, m	
ds - sisähalkaisia, m	
αu - konvektion ja säteilyn lämmönsiirtymiskerroin, W/m ² K	10

Kanavan halkaisija, mm	Kanavan du eristeen kanssa, m	Kanavan ds, m	Kanavan lämpöhäviö, W/m	Kanavan pituus, m	Lämpövirta, W
200	0,32	0,2	10,43	60	626
250	0,37	0,25	12,48	30	374
315	0,435	0,315	15,13	35	529
400	0,52	0,4	18,58	45	836
500	0,62	0,5	22,62	30	679
630	0,75	0,63	27,88	35	976
800	0,92	0,8	34,74	25	868
1000	1,12	1	42,80	30	1284
Yhteensä					6173

**YLÄPOHJAN
LÄMPÖKUORMA**

$$\emptyset = A \frac{(T_s - T_u)}{\frac{S_a}{\lambda_a} + \frac{S_b}{\lambda_b}}$$

A - pinta-ala, m ²
Tu - sisälämpötila, K
Ts - ulkolämpötila, K
Sa - betonin paksuus, m
Sb - mineraalivillan paksuus, m
λa - betonin lämmönjohtavuus, W/mK
λb - mineraalivillan lämmönjohtavuus, W/mK

Lattian materiaali	Materiaalin paksuus, m	Lämmönjohtavuus, W/mK	Lämpövirta lattiasta, W/m ²	Ullakon pinta- ala, m ²	Lämpövirta, W
Betoni	0,1	0,9	2,71	530	1438
Mineraalivilla	0,3	0,046			

IV-KONEHUONEEN**LÄMPÖKUORMA**

$$\emptyset = A \frac{(T_s - T_u)}{\frac{S_a}{\lambda_a} + \frac{S_b}{\lambda_b}}$$

A - pinta-ala, m ²	Konehuoneen pituus, m	8,5
Tu - sisälämpötila, K	Konehuoneen leveys, m	3,5
Ts - ulkolämpötila, K	Konehuoneen korkeus, m	3,1
Sa - teräspellin paksuus, m	Konehuoneen sisälämpötila, K	17
Sb - mineraalivillan paksuus, m	Ullakon lämpötila, K	3
λa - teräspellin lämmönjohtavuus, W/mK		
λb - mineraalivillan lämmönjohtavuus, W/mK		

Seinän materiaali	Materiaalin paksuus, m	Lämmönjohtavuus, W/mK	Lämpövirta seinistä, W/m ²	Seinien pinta-ala, m ²	Lämpövirta, W
Teräspelti	0,002	54	6,44	104	671
Mineraalivilla	0,1	0,046			

KATON LÄMPÖHÄVIÖT

$$\dot{Q} = A \frac{(T_s - T_u)}{\frac{S_a}{\lambda_a} + \frac{S_b}{\lambda_b}}$$

A - pinta-ala, m ²	
Tu - sisälämpötila, K	3
Ts - ulkolämpötila, K	-4
Sa - teräspellin paksuus, m	
Sb - puun paksuus, m	
Sc - lumen paksuus, m	
λa - teräspellin lämmönjohtavuus, W/mK	
λb - puun lämmönjohtavuus, W/mK	
λc - lumen lämmönjohtavuus, W/mK	

Katon materiaali	Materiaalin paksuus, m	Lämmönjohtavuus, W/mK	Lämpövirta katosta, W/m ²	Katon pinta-ala, m ²	Lämpövirta, W
Teräspelti	0,001	54	0,53	570	303
Puu	0,02	0,12			
Lumi	0,65	0,05			

ULLAKON LÄMPÖKUORMA

Lämpökuorma, W

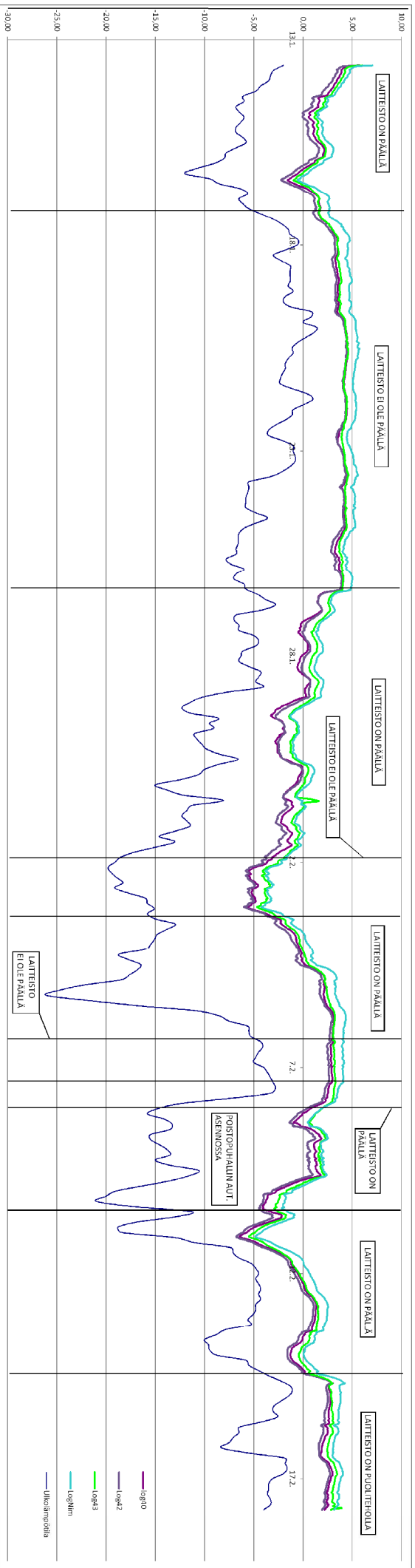
Kanavat	6173
Yläpohja	1438
Lämpöputket	100
IV-konehuone	671
Katto, jäähdytys	303
Yhteensä	8079

TARVITTAVA ILMANMÄÄRÄ

$$qv = \frac{\dot{Q}}{cp \rho (T_s - T_u)}$$

Lämpökuorma	8079 W
Lämpötila, sisä	3 C
Lämpötila, ulko	-4 C
Ilman tiheys	1,293 kg/m ³
Ilman ominaislämpö	1,005 kJ/kgK
Ilmamäärä	888 l/s

LIITE 2: ULKAKON SISÄLÄMPÖTILA MITTAUSTEN AJANKA.



LIITE 3. ULLAKON KATON PINTALÄMPÖTILA MITTAUSTEN AIKANA.

