

Sami Lahikainen

NESTEKIERTOISEN
LÄMMÖNTALTEENOTON
ENERGIATEHOKKUUDEN
PARANTAMINEN

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 13.4.2015
Tekijä(t) Sami Lahikainen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma LVI-tekniikka
Nimeke Nestekiertoisen lämmöntalteenoton energiatehokkuuden parantaminen	
Tiivistelmä Opinnäytetyöni tarkoituksena oli tutkia Mikkelin kaupungin Tilakeskukselle, saavutetaanko ilmanvaihtokoneessa olevalle nestekiertoiselle lämmöntalteenottojärjestelmälle tehtävällä putkiston sisäpuolisella pesulla ja vesiglykoliliuoksen laimentamisella aikaan lämmönluovutuksen paranemista. Myös vastaavanlainen uusi ilmanvaihtokone oli tarkoitus mitoittaa Fläkt Woods Oy:n Acon-ohjelmalla Mikkelin kaupungintalolle. Tällä tavoin voitiin vertailla vanhan ja uuden ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden eroja. Vertailu suoritettiin Exceliin tehdyllä laskentaohjelmalla. Tutkimuskohteena oli Mikkelin kaupungintalo ja Mikkelin kaupungin pääkirjasto. Mittauksilla oli tarkoitus selvittää vesiglykoliseoksen lämmönluovutuksen ja tuloilman lämpötilasuhteen muutosta. Mittausten perusteella laskettiin pesun ja vesiglykoliseoksen vaikutus lämmönluovutuksen paranemiseen. Pesun ja vesiglykoliseoksen vaihdolla saavutettiin lämpöenergian säästöä. Toimenpiteen lyhyen takaisin maksuajan johdosta toimenpide oli kannattava suorittaa Mikkelin kaupungintalolle. Kirjastolla ei voitu lämpötilasuhteen mittausta suorittaa aikataulullisista syistä. Kirjaston lämmöntalteenottojärjestelmä oli erittäin likainen, joten järjestelmän pesusta oli luonnollisesti hyötyä. Mittauksissa selvisi nykyisen ilmanvaihtokoneen huono lämmöntalteenottokyky. Tutkimuksen lähtökohtana oli tarkastella, voiko vanhojen nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien lämpöenergian talteenottoa parantaa tämänkaltaisella toiminnalla, koska vastaavanlaisia kohteita on useita. Määrärahat ovat tiukassa jokaisessa kaupungissa rakennusten saneeraustoiminnalle, joten tämänkaltaisella toiminnalla voidaan saada järkevällä takaisinmaksuajalla lämpöenergiaa talteen pienillä kustannuksilla.	
Asiasanat (avainsanat) mittaus, lämmöntalteenotto, tuloilman lämpötilasuhte, energiatehokkuus	
Sivumäärä 40+4	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Jarkko Kolehmainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin kaupungin Tilakeskus

DESCRIPTION

 <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">MAMK</p> <p style="margin: 0;">University of Applied Sciences</p>	<p>Date of the bachelor's thesis</p> <p>13.4.2015</p>
<p>Author(s) Sami Lahikainen</p>	<p>Degree programme and option</p> <p>Building Services Engineering</p>
<p>Name of the bachelor's thesis</p> <p>The optimization of circulated heat recovery</p>	
<p>Abstract</p> <p>The subject of my bachelor thesis was to study what kind of advantage can be reached by cleaning the fluid circulated heat recovery system and changing the fluids. I also planned to change the dimensions of the new air ventilation unit in the city hall of Mikkeli. The study was done for the Tilakeskus of Mikkeli. This way we could compare the differences of the old and the new air ventilation units and the efficiency of energy supply. The compasion was done by calculating program in Excel.</p> <p>Measurements were done in Mikkeli head library and in city hall. The purpose of measurements was to find out the changes in the heat recovery of the water-glycol-mixtures and the comparison of supply air temperature. With the help of the measurement we could calculate the influence of the cleaning and water-glycol-mixture in improving the heat transfer.</p> <p>By cleaning and changing the liquids we found out that heat energy can be spared. The measurements of the ratio of temperatures could not be done in the head library because of the schedule. The system of heat recovery in library was dirty so the cleaning was very useful. With the measurement we found out the poor capability of the heat recovery of the current air ventilation unit.</p> <p>The purpose of the study was to find out if old fluid circulated heating systems could be improved by cleaning and changing the fluids. Because of the tight budjet for renovations in the cities, this kind of actions can produce effective heating improvements with low costs.</p>	
<p>Subject headings, (keywords)</p> <p>measuring, heat exchange, supply air temperature ratio, energy efficiency</p>	
<p>Pages</p> <p>40+4</p>	<p>Language</p> <p>Finnish</p>
<p>Remarks, notes on appendices</p>	
<p>Tutor Jarkko Kolehmainen</p>	<p>Bachelor's thesis assigned by Mikkelin kaupungin Tilakeskus</p>

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMANVAIHTOKONEIDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO.....	1
2.1	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	3
2.2	Muita lämmöntalteenottomuotoja.....	3
2.2.1	Pyörivä lämmönsiirrin	4
2.2.2	Levylämmönsiirrin.....	5
2.2.3	Vastavirtalevylämmönsiirrin.....	5
3	NESTEKIERTOISEN LÄMMÖNTALTEENOTON LIUOKSET	6
3.1	Monoetyleeniglykoli.....	8
3.2	Propyleeniglykoli.....	8
3.3	Kaliumformiaatti.....	9
3.4	Betaiini.....	10
3.5	Lämmöntalteenottonesteiden liuospitoisuudet	10
3.6	Liuosanalyysien raja-arvot.....	10
4	UUDEN ILMANVAIHTOKONEEN MITOITUS KAUPUNGINTALOLLE	12
4.1	Mitoitustietoja kohteesta.....	12
4.2	Vanhan ja uuden IV-koneen vertailu	15
5	MITTAUKSET	16
5.1	Mittauskohteet	17
5.2	Mittauksessa käytettävät laitteet	18
5.3	Mittausjärjestelyt	19
5.3.1	Vaiheen 1 mittausjärjestelyt ja mittaukset	21
5.3.2	Vaiheen 2 mittausjärjestelyt ja mittaukset	22
5.3.3	Vaiheen 3 mittausjärjestelyt ja mittaukset	22
5.4	Liuosanalyysit kohteista	22
6	TULOKSET	23
6.1	Vaihe 1 alkutilanne	23
6.1.1	Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta.....	23
6.1.2	Tuloilman lämpötilasuhteet	24
6.1.3	Virtaamat.....	25
6.2	Vaihe 2 pesu suoritettu	25

6.2.1	Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta.....	25
6.2.2	Tuloilman lämpötilasuhteet	26
6.2.3	Virtaamat.....	26
6.3	Vaihe 3 liuos vaihdettu	26
6.3.1	Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta.....	27
6.3.2	Tuloilman lämpötilasuhteet	27
6.3.3	Virtaamat.....	28
6.4	Liuosanalyysien tulokset kaupungintalo.....	28
6.5	Liuosanalyysien tulokset kirjasto	31
6.6	Takaisinmaksuaika pesun ja vesiglykoliliuoksen vaihdon vaikutuksista	33
6.7	Tuloilmalämpötilasuhteen paraneminen Mikkelin kaupungintalossa pesun ja liuoksen vaihdon johdosta.....	36
6.8	Mikkelin kaupungintalon ja kirjaston vesiglykoliliuoksen virtauksen paraneminen	37
6.9	Vanhan ja uuden ilmanvaihtokoneiden tulosten vertailu ja takaisinmaksuaika	38
7	YHTEENVETO	38
8	LÄHTEET.....	40

LIITTEET

1 Ulkolämpötilojen pysyvyytiedot vyöhykkeelle 1 ja 2

2 Uuden ilmanvaihtokoneen mitat ja tuloilmanhyötysuhde tiedot

1 JOHDANTO

Tarkoituksena oli opinnäytetyössä selvittää, minkälainen vaikutus lämmönluovutukselle saadaan vaihtamalla ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vesiglykoliseoksia laimeampiin liuoksiin ja samalla selvittää, onko putkiston sisäpuolisella pesulla vaikutusta lämmönluovutukselle järjestelmässä. Vesiglykoliseosta ei laimenneta kuitenkaan alle 30 %. Työ tehtiin Mikkelin kaupungin Tilakeskukselle ja mukana oli myös KL-Lämpö Oy, joka toimii vedenkäsittelyalalla. Ennen mittauksien aloittamista teetettiin KL-Lämpö Oy:n toimesta vesiglykoliseoksille järjestelmissä analyysit, joista selvisi seurattavien arvojen olleen koholla.

Tutkimuksen kohteena oli Mikkelin kaupungintalo ja Mikkelin kaupungin pääkirjasto. Energiatohokkuus vaatimusten kiristyessä ja saneerausmäärärahojen pienentyessä, kaikki pienetkin toimenpiteet, jotka saavat aikaan energian säästöä on suotavaa tehdä. Tämä oli lähtökohtana kun mietimme opinnäytetyön aihetta. Kohteet valittiin satunnaisesti, muitakin kohteita olisi ollut, mutta mittauksien kannalta nämä sijaitsivat lähellä toisiaan. Kohteet olivat vanhoja, eikä lämmöntalteenotto järjestelmälle oltu tehty aikaisemmin mitään toimenpiteitä.

Fläkt Woods Oy:n Acon-mitoitusohjelmalla suoritettiin uuden ilmanvaihtokoneen mitoitus kaupungintalon kohteeseen, ja tällä tavoin voidaan vertailla vanhan ja vaihtoehdoisen ilmanvaihtokoneen energiatehokkuutta.

2 ILMANVAIHTOKONEIDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 antaa vaatimukset ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle. ”Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä”/1/. Tammikuun 1. päivä 2016 tulee voimaan EU:n uudet ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimukset. Vaatimuksissa nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen on oltava vuoden 2016 alussa 63 % ja vuoden 2018 alussa 68 %./2./

Lämmöntalteenoton valinnassa on otettava huomioon käyttötarkoitus, eli onko kyseessä sairaala tai teollisuusrakennus, missä ilman sekoittuminen sekä bakteerien ja hajujen leviäminen ei ole sallittu. Kondensoituminen on myös otettava huomioon talteenotossa, varsinkin jos poistoilman epäpuhtaudet ovat suuria. Tämä koskettaa lähinnä teollisuuden ilmastoinnissa. /3./ Tilan tarve asettaa omat vaatimukset, esimerkkinä saneerauskohteet. Energiatohokkuus normien kiristyessä ja tästä johtuen lämmöntalteenotto pattereiden koon ja samalla ilmanvaihtokoneiden fyysisten mittojen kasvaessa tulee saneeraus kohteissa tämä varmasti olemaan ongelmana.

Tuloilman lämpötilasuhteen suuruuteen vaikuttavia asioita on lämmöntalteenottolaitteen lisäksi ilmavirtojen suhde eli, esimerkiksi jos poistoilmavirta on pienempi kuin tuloilmavirta niin tämä pienentää tuloilman lämpötilasuhdetta /4/.

Seuraavassa taulukossa 1 näkyvät tuloilman lämpötilasuhteet eri talteenottojärjestelmille /4/.

TAULUKKO 1. Tuloilman lämpötilasuhteet /4/

Erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilasuhteet	
• virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät	40...60 %
• ristivirtalevylämmönsiirtimet	50...70 %
• vastavirtalevylämmönsiirtimet	60...80 %
• regeneratiiviset lämmönsiirtimet	60...80 %

Kaavalla 1 voidaan laskea tuloilman lämpötilasuhde.

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u} \quad (1)$$

Kaavassa 1. η_t = tuloilman lämpötilasuhde

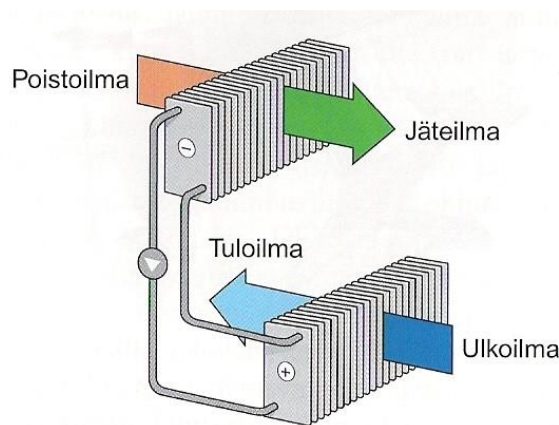
T_{tLTO} = tuloilmanlämpötila LTO:n jälkeen, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

T_s = huonelämpötila, °C

2.1 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Lämmönsiirtyminen tapahtuu nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä kiertävän nesteen, yleensä vesiglykoliseoksen avulla. Kun kyseessä on pienet lämpötilaerot, niin tarvitaan paljon lämmönsiirtopinta-alaa. Lämmöntalteenoton rivisyyttä eli patterin kokoa kasvattamalla saavutetaan korkeampi lämpötilaeräsuhte. Hyviä puolia nestekiertoisella järjestelmällä on, että tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet voivat sijaita eri puolilla rakennusta, jolloin kanavointia ei tarvitse johtaa samaan paikkaan. Saneerauskohteiden tilanahtaus on tyypillisesti ongelmallista. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto soveltuu sairaaloihin, laboratorioihin ja teollisuuteen, koska ilmavirrat eivät pääse sekoittumaan keskenään. Lämpötilan säätölaitteena käytetään 3-tieventtiiliä, jonka avulla voidaan säätää nestevirtaa jolloin teho muuttuu patterissa. 3-tieventtiilin säädöllä estetään myös mahdollinen patterin huurtuminen, tämä tapahtuu säätämällä poistopatterille tulevan liuoksenlämpötilaa. Liuoksenlämpötila ei saa mennä liian alhaiseksi, ettei lamellien lämpötila laske alle 0°C, tämä aiheuttaa patterin huurtumisen yhdessä kostean poistoilman kanssa. Kuvassa 1 nestekiertoinen lämmöntalteenotto. /5./



KUVA 1. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto /5/

2.2 Muita lämmöntalteenottomuotoja

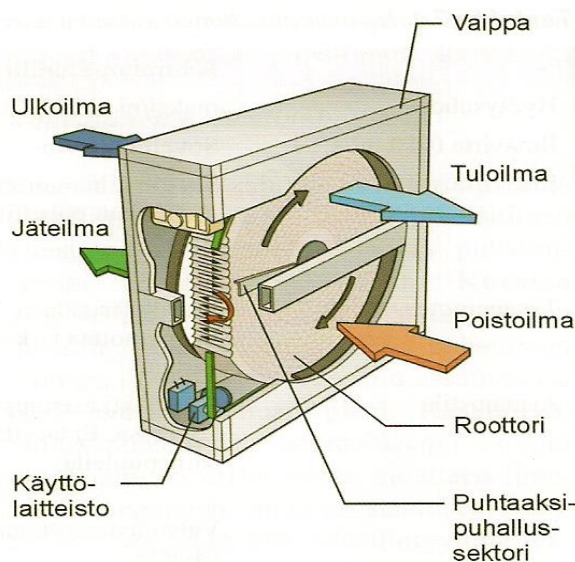
Kolme yleisintä lämmöntalteenottomuotoa on levylämmönsiirtimet, johon vasta- ja ristivirta, pyörivät lämmönsiirtimet, johon kuuluu kosteutta siirtävät ja siirtämättömät. Nestekiertoiset lämmönsiirtimet, johon kuuluvat normaalit patteri siirtimet ja neula-putki siirtimet.

2.2.1 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivän lämmönsiirtimen etuina on, ettei se tarvitse väliainetta lämmönsiirtoon, vaan lämpö siirtyy itse roottoriin, minkä jälkeen roottori pyörähtää puoli kierrosta ja sitoutunut lämpö siirtyy lämmitettävään tuloilmaan. Toiminta perustuu vastavirtaperiaatteeseen, jonka takia epäpuhtaustaso pysyy matalana ilmavirran puhaltaessa epäpuhtaudet pois roottorista. Huurteenpoisto tapahtuu pyörimisnopeutta laskemalla. Tämän toimenpiteen käynnistää painekeytkin, joka on roottorin poistopuolella, tai huurteenpoiston voi tehdä kellokytkimellä, joka aktivoituu suunnitellussa ulkolämpötilassa ja poistaa huurteen 2-3 kertaa vuorokaudessa.

Ilmavirtojen suunta on oltava vastakkainen roottoriin, koska samansuuntainen ilmavirta laskee lämpötilasuhteen 40 - 50 % ja epäpuhtauksien poisto roottorista ilmavirtojen samansuuntaisuuden takia ei toteutuisi. Kuvassa 2 pyörivä lämmönsiirrin./5./

Tilantarve syvyys suunnassa roottorilla on pieni, mutta isoilla ilmavirroilla sijoittaminen matalaan ilmanvaihtokonehuoneeseen voi osoittautua hankalaksi johtuen roottorin korkeudesta.



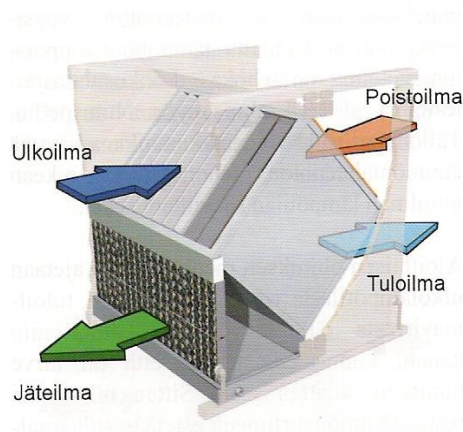
KUVA 2. Pyörivä lämmönsiirrin /5/

2.2.2 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirtimiä on risti- ja vastavirtatoimintaperiaatteella. Levylämmönsiirrin on hyvin yleinen pientalojen lämmöntalteenottomuoto, sopii myös käytettäväksi asuinkerrostaloissa. Se on toimintavarma ja rakenteeltaan tehokas.

Ristivirtalämmönsiirtimessä ei ilman suunnalla lämmönsiirtimen hyötysuhteeseen ole vaikutusta. Huurtuminen on otettava huomioon levylämmönsiirtimessä. Poistoilman sisältämän vesihöyryn jäähtyessä alle kastepisteen, tapahtuu kondensoitumista levy-lämmönsiirtimen pinnalle, ja ulkoilman ollessa alhaisempi kuin 0°C astetta alkaa huurtuminen. Tämä ongelma ei ole toimistoissa ja liikerakennuksissa niin suuri kuin asuinrakennuksissa johtuen poistoilman kosteudesta ja ympäri vuorokauden toimivasta ilmanvaihdosta.

Huurteen poistossa on käytössä erilaisia menetelmiä, mm. lohkosulatus, ajoittainen ohitus, kylmäkulma-menetelmä. Lohkosulatus rupeaa toimimaan, kun kennoon alkaa muodostumaan huurretta, otsapintapelti sulkeutuu ja lämmönsiirtimen ohituspelti avautuu, jolloin ulkoilma ei pääse lämmönsiirtimeen. Tämä toimenpide on tehokas huurteen poistoon, mutta toimenpiteen aikana lämmöntalteenotto ei ole käytössä. Kuvassa 3 ristivirtalämmönsiirrin. /5./

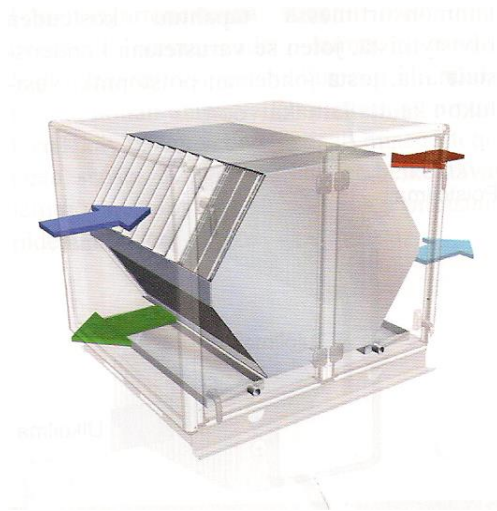


KUVA 3. Ristivirtalevylämmönsiirrin /5/

2.2.3 Vastavirtalevylämmönsiirrin

Vastavirtalevylämmönsiirrin on melkein samanlainen kuin ristivirtalevylämmönsiirrin. Vastavirtalevylämmönsiirtimessä ilmapirrat kulkevat enemmän vastakkaisiin

suuntiin kuin ristivirtalevylämmönsiirtimessä, mutta ei kuitenkaan täysin vastakkaisiin suuntiin. Korkean lämpötilasuhteen johdosta vastavirtasiirrin on herkempi huurtumaan kuin ristivirtasiirrin. Huurteenpoistossa on käytössä samanlaiset menetelmät kuin ristivirtasiirtimessä. /5./



KUVA 4. Vastavirtalevylämmönsiirrin /5/

3 NESTEKIERTOISEN LÄMMÖNTALTEENOTON LIUOKSET

Glykoliliuosten tarkoitus on suojata pattereita jäätymiseltä alhaisilla lämpötiloilla sekä varmistaa lämmönsiirron toimivuus. ”Rikkoutumisen estämiseen riittää varsin matala pitoisuus (esim, etyleeniglykolilla 15 %)” /5/. Taulukossa 2 näkyy KL-Lämpö Oy:n tuotteiden pakkasenkesto eri pitoisuuksilla.

TAULUKKO 2. Glykoleiden pitoisuus ja pakkasenkesto /7/

Glykoleiden pitoisuus ja pakkasenkesto. KL-Lämpö Oy				
Tilavuus %	Pakkasenkesto		Pakkasenkesto	
10	M E G	-4	M P G	-4
15		-7		-6
20		-10		-8
25		-13		-11
30		-17		-14
35		-21		-18
40		-26		-22
45		-32		-27
MEG = Monoetyleeniglykoli				
MPG = Monopropyleeniglykoli				

Yleisimpiä aineita lämmönsiirrossa on monoetyleni- ja propyleeniglykoli, muita käytössä olevia aineita on esimerkiksi kaliumformiaatti ja betaiini. Taulukossa 1 on esitetty tietoja kyseisistä aineista.

TAULUKKO 1. Veden kanssa sekoituksissa käytettävien aineiden ominaisuuksia /5/

Ominaisuus	Etyleeniglykoli	Propyleeniglykoli	Kaliumformiaatti	Betaiini
Lämmönsiirto-ominaisuudet normaali LTO-lämpötilassa	Hyvä, kun pitoisuus ei ylitä 30 %:a	Huono. Seoksen viskositeetti korkea ja lämmönsiirto heikko	Hyvä	Hyvä
Toiminta matalassa lämpötilassa	Kohtuullinen, viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee	Huono. Seoksen viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee	Hyvä	Kohtuullinen, viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee
Toiminta korkeassa lämpötilassa	Hyvä	Hyvä	Lämpötekniisesti hyvä. Korroosio kasvaa. Huomioitava materiaalivalinnoissa	Hyvä
Myrkyllisyys	Myrkyllinen	Ei-myrkyllinen	Ei-myrkyllinen	Ei-myrkyllinen
Korroosio	Ei aiheuta korroosiota	Ei aiheuta korroosiota	Aiheuttaa korroosiota. Huomioitava materiaalivalinnoissa	Ei aiheuta korroosiota

Optimaalisen toiminnan varmistamiseksi tulisi järjestelmässä käytettävä lämmönsiirtoneste täyttää seuraavat ominaisuudet /6/:

- alhainen jäätymispiste
- alhainen viskositeetti
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti
- korkea pintajännitys ja alhainen vaahtoamistaipumus
- alhainen diffuusiotaipumus
- ei korrodoiva
- yhteensopiva useiden materiaalien kanssa
- alhainen erottumiskyky, esim. jäätymistilanteissa
- kemiallisesti stabiili
- palamaton
- myrkytön
- biologisesti hajoava
- halpa.

3.1 Monoetyleeniglykoli

Monoetyleeniglykoli on ihmiselle ja ympäristölle haitallinen aine. Monoetyleeniglykolia käytetään esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmissä ja autojen jäähdytysjärjestelmissä. Juotuna etyleeniglykoli voi aiheuttaa kuoleman, noin 0,3 dl on todettu aiheuttaneen kuoleman. /10./

Etyleeniglykolia käytetään myös lentokoneiden jäänestossa ruiskuttamalla sitä lentokoneen päälle, mutta esimerkiksi Helsinki – Vantaan lentokentällä on siirrytty käyttämään propyleeniglykolia /8/. Se on ihmiselle ja ympäristölle turvallisempaa kuin monoetyleeniglykoli, taulukossa 3 on mainittu etyleeniglykolin olevan haitallista ihmiselle ja ympäristölle. Taulukossa 4 on mainittu, ettei propyleeniglykoli ole haitallista ihmiselle ja ympäristölle.

Taulukossa 3 yleisimpiä etyleeniglykoli + vesiseoksia ja niiden fysikaalisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 3. Etyleeniglykoli + vesi fysikaaliset ominaisuudet /6/

Etyleeniglykoli + vesi $C_2H_2(OH)_2 + H_2O$			
Jäätympiste [°C]	-5...-45	Pitoisuus [p-%]	14...56,1
Kiehumispiste [°C]	-195	Leimahduspiste [°C]	120
pH	7,5...8,5	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD ₅₀ [mg/kg]	800	Haitallisuus (ihminen/ympäristö)	haitallinen
Tiheys [kg/m ³]	1017...1073 (+20°C)	Ominaislämpö- kapasiteetti[kJ/kgK]	4,02...3,17 (+20°C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,54...0,37 (+20°C)	Kinemaattinen viskositeetti[mm ² /s]	1,40...4,17 (+20°C)

3.2 Propyleeniglykoli

Propyleeniglykolia käytetään esimerkiksi lämmönsiirtonesteena elintarviketeollisuudessa, jossa on mahdollisuus, että aine on epäsuorassa kosketuksessa veden tai ruuan kanssa. Propyleeniglykolia käytetään myös ruuan säilöntäaineena, kosmetiikkatuotteissa, lääketeollisuudessa ja lentokoneiden jäänestossa. /12; 11./

Esimerkiksi Helsinki- Vantaan lentokentällä käytettävää propyleeniglykolia ei ole luokiteltu haitalliseksi, mutta joutuessaan luontoon propyleeniglykoli aiheuttaa hajotessaan vesistöissä hapenkulutusta ja tällä tavoin kuormittaa vesistöjä /13/.

Propyleeniglykoli on etyleeniglykolia turvallisempi vaihtoehto, mutta ei kumminkaan täysin vaaraton aine. Taulukossa 4 yleisimpiä propyleeniglykoli + vesiseoksia ja niiden fysikaalisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 4. Propyleeniglykoli + vesi fysikaaliset ominaisuudet /6/

Propyleeniglykoli + vesi $C_3H_6(OH)_2 + H_2O$			
Jäätymispiste [°C]	-5...-45	Pitoisuus [p-%]	15,2...57
Kiehumispiste [°C]	~185	Leimahduspiste [°C]	106
pH	7...9	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD ₅₀ [mg/kg]	> 2000	Haitallisuus (ihminen/ympäristö)	ei haitallinen
Tiheys [kg/m ³]	1010...1041 (+20°C)	Ominaislämpö- kapasiteetti[kJ/kgK]	4,07...3,44 (+20°C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,52...0,33 (+20°C)	Kinemaattinen viskositeetti[mm ² /s]	1,69...8,1 (+20°C)

3.3 Kaliumformiaatti

Kaliumformiaalin kaupallinen nimi on Freezium. Freezium on suolaliuos, joka on ympäristöystävällinen, palamaton ja myrkytön. Jotkut materiaalit, kuten kuumasinkitty teräs, sinkki ja alumiini, korrodoituvat Freeziumin kanssa, joten kyseisiä materiaaleja ei saa käyttää suorassa kosketuksessa tuotteen kanssa. /14./

Taulukossa 4 esitellään yleisimpiä kaliumformiaatti + vesiseoksia ja niiden fysikaalisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 5. Kaliumformiaatti + vesi fysikaaliset ominaisuudet /6/

Kaliumformiaatti + vesi $HCOOK + H_2O$			
Jäätymispiste [°C]	-10...-60	Pitoisuus [p-%]	19...50
Kiehumispiste [°C]	100...140	Leimahduspiste [°C]	ei palava
pH	8,5...12	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD ₅₀ [mg/kg]	> 2000	Haitallisuus (ihminen/ympäristö)	ei haitallinen
Tiheys [kg/m ³]	1109...1340 (+20°C)	Ominaislämpö- kapasiteetti[kJ/kgK]	3,52...2,71 (+20°C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,55...0,50 (+20°C)	Kinemaattinen viskositeetti[mm ² /s]	1,13...2,10 (+20°C)

3.4 Betaini

Betainin kaupallinen nimi on Thermera. Thermeran pääraaka-aineita on Betaini ja vesi, betaini saadaan sokerijuurikkaasta. Betaini on myrkytön, palamaton ja biohajotusavuu deltaan erittäin helposti hajotava luonnontuote, ja sitä käytetään lääkkeiden, elintarvikkeiden ja kosmetiikan lisäaineena. Betainia esiintyy elävissä organismeissa. /15./ Taulukossa 5 yleisimpiä betaini + vesiseoksia ja niiden fysikaalisia ominaisuuksia.

TAULUKKO 6. Betaini + vesi fysikaaliset ominaisuudet /6/

Betaini + vesi (CH_3), $NCH_2COO + H_2O$			
Jäätymispiste [°C]	-10...-45	Pitoisuus [p-%]	30...50
Kiehumispiste [°C]	105	Leimahduspiste [°C]	ei palava
pH	~8	Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva
LD ₅₀ [mg/kg]	> 2000	Haitallisuus (ihminen/ympäristö)	ei haitallinen
Tiheys [kg/m ³]	1059...1090 (+20°C)	Ominaislämpö- kapasiteetti[kJ/kgK]	3,13...2,76 (+20°C)
Lämmönjohtavuus [W/mK]	0,32...0,28 (+20°C)	Kinemaattinen viskositeetti[mm ² /s]	2,46...6,26 (+20°C)

3.5 Lämmöntalteenotonesteiden liuospitoisuudet

Pitoisuudet lämmöntalteenottojärjestelmissä ovat ennen olleet pääsääntöisesti luokkaa 50/50 eli veden ja glykolin määrä on sama. Tästä asiasta on ollut keskusteluita niin suunnittelijoiden kuin glykolin toimittajien kanssa. Ilmeisesti on ollut kyse varmuuden maksimoimisesta, ettei tulisi laiterikkoja. Laitevalmistajat ja glykolin toimittajat suosittelevat 30 – 45 % liuosta.

”Jäätymisenestoaineenkäyttö heikentää aina hyötysuhdetta. Jokainen 10 % lisäys esim. etyleeniglykolia laskee hyötysuhdetta noin yhden prosenttiyksikön. 15 % glykolipitoisuus on teoriassa riittävä, mutta tyypillisesti suositellaan 30 % glykoliseosta”. /9./

3.6 Liuosanalyyseiden raja-arvot

Glykoleiden analyysit tehtiin KL-Lämpö Oy:n laboratoriossa, ja KL-Lämpö Oy toimitti myös uudet glykoliliuokset molempiin järjestelmiin. Seuraavassa taulukossa 6

näkyvät LTO- ja lauhdutusverkostojen viitteellisiä ohje/suositusarvoja: rauta (Fe), kupari (Cu), pH, sähkönjohtavuus. Näillä suureilla on LTO-ja lauhdutusverkostoissa raja-arvoja, joita seurataan analyysillä. Analyysien tarkoituksena on seurata ja selvittää järjestelmissä mahdollisia muutoksia, joita esimerkiksi ovat pH-nousu tai -lasku, mikä voi olla merkki mahdollisesta korroosiosta, josta voi seurata vuotoja järjestelmään. Korrosio voi myös aiheuttaa järjestelmään tukkeumia ja toimintahäiriöitä. /7/

TAULUKKO 7. LTO- ja lauhdutusverkostoiden viitteelliset ohje-/suositukset järjestelmässä /7/

LTO- ja lauhdutusverkostoiden ohje/suositusarvot järjestelmässä. Glykolipitoisuus 30-40 %. korroosionestokemikaali KK-620.	
pH	8,0 - 9,7
Sähkönjohtavuus (mS/m)	30-100
Rauta (mg/l)	alle 5,0
Kupari (mg/l)	alle 0,50
Glykolipitoisuus (%)	30-40

Lämmöntalteenottojärjestelmien pH:n optimaalinen taso on 8,0 -9,7. Muutokset pH:n arvoissa voivat kertoa mahdollisesta korroosiosta putkistossa tai glykolin hajoamisen johdosta syntyvistä orgaanisista hapoista, jolloin pH alenee. Tämän johdosta korrosio alkaa putkistossa.

Järjestelmissä käytettävällä suoja-aineella eli inhibiitillä on vaikutusta suositusarvoihin, esimerkiksi nitriittipohjaiset suoja-aineet nostavat sähkönjohtavuuden arvoa. Sähkönjohtavuus kertoo veden puhtaudesta. Liuoksessa käytettävät inhibiitit yleensä nostavat sähkönjohtavuutta. Inhibiitti on aine, jota käytetään esimerkiksi vesiglykolilioksessa. Joidenkin inhibiittien tehtävä on muodostaa suojakalvo metallin pintaan ja pitää nesteen pH:n taso korroosioneston kannalta optimaalisella tasolla. Kun inhibiitin määrä liuoksessa on tiedossa, voidaan sähkönjohtavuutta apuna käyttäen seurata inhibiittitasoa liuoksessa. Eri materiaaleille on erilaiset inhibiitit. Tärkeää on myös huolehtia, että verkostossa nesteen virtaama on suunnitellulla tasolla, koska liian suuri virtaama putkistossa voi alkaa poistamaan suojakalvoa putken sisäpinnalta. /7./

Happi lämmöntalteenottojärjestelmissä saattaa aiheuttaa lämmönsiirtonesteen hyvin nopean vanhenemisen, jolloin lämmönsiirtokyky heikkenee ja tästä johtuen lämmöntalteenoton teho pienenee. Myös lämmönsiirtoverkoston mahdolliset tukkeumat ja toimintahäiriöt lisääntyvät mahdollisten korroosiotuotteiden seurauksena. Raudan ja kuparin arvojen muutoksilla on yhteys pH:n muutoksiin. /7./

4 UUDEN ILMANVAIHTOKONEEN MITOITUS KAUPUNGINTALOLLE

Tarkoituksena on myös vertailla vanhan ilmanvaihtokoneen mittaustietojen perusteella, minkälainen ero ilmanvaihtokoneella on vastaavaan uuteen saman kokoiseen ulkomitoiltaan ja ilmavirroiltaan olevaan ilmanvaihtokoneeseen. Vertailu tehtiin Fläkt Woods Oy:n valmistamalla eQ-tulo/poistoilmakoneella. Käytössä oli Fläkt Woods Oy:n Acon- mitoitushjelma, jolla saatiin simuloitua vastaavanlainen vertailussa käytettävä uusi ilmanvaihtokone, joka ulkoisilta mitoiltaan mahtuisi vanhaan ilmanvaihtokonehuoneeseen.

4.1 Mitoitustietoja kohteesta

Kaupungintalon ilmavirtojen mitoitustietoina oli puhaltimien vaihdon yhteydessä asetetut ilmavirrat, jotka näkyivät paine-eromittauslaitteiden näytöissä. Tuloilmavirta oli $4,26 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirta oli $4,16 \text{ m}^3/\text{s}$. Paine-eromittauslaitteet kuvissa 5 ja 6. Koneesta ei ollut olemassa minkäänlaisia piirustuksia ja mitoitustietoja, joten mitat jouduttiin ottamaan paikan päällä. Tärkeää oli myös mitata vanhan lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen sisämitat, jolloin voitiin laskea lämmönsiirtimen otsapintanopeus, minkä avulla saatiin valittua uuden ilmanvaihtokoneen mahdollisimman lähelle vanhaa ilmanvaihtokonetta. Otsapintanopeus saadaan kaavalla 2.



KUVA 5. Ilmavirta mittaus paine-eron avulla (poistoilma)



KUVA 6. Ilmavirtamittaus paine-eron avulla (tuloilma)

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (2)$$

Kaavassa 2. q_v on tilavuusvirta [m^3/s]

A on lämmöntalteenotto patterin pinta-ala [m^2]

v on virtauksen nopeus [m/s]

Otsapinta nopeudeksi saatiin tuloilmalle 1,97 m/s ja vastaavasti poistoilmalle 1,93 m/s.

Konehuoneen fyysiset mitat asettivat myös oman haasteen koneen valinnalle. Vanhan ilmanvaihtokoneen mitat ovat taulukossa 8.

Ilmanvaihtokone PK 1 ja TK 1.

TAULUKKO 8. Vanhan ilmanvaihtokoneen mitat

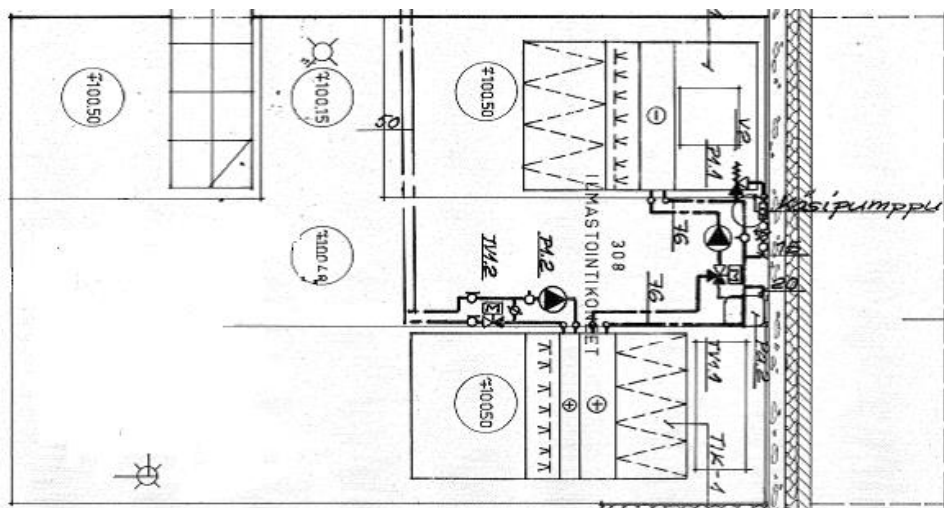
PK 1 (Poisto)		TK 1 (Tulo)	
PITUUS	2500 mm	PITUUS	3030 mm
LEVEYS	1930 mm	LEVEYS	1930 mm
KORKEUS	1350 mm	KORKEUS	1300 mm

Uuden ilmanvaihtokoneen fyysiset mitat ovat taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Uuden ilmanvaihtokoneen mitat

PK 1 (Poisto)		TK 1 (Tulo)	
PITUUS	2800 mm	PITUUS	3900 mm
LEVEYS	2000 mm	LEVEYS	2000 mm
KORKEUS	1376 mm	KORKEUS	1376 mm

Uuden ilmanvaihtokoneen fyysiset mitat ovat lähellä vanhan ilmanvaihtokoneen mittoja. Kanavamuutoksia joutuu ilmanvaihtokonehuoneessa tekemään pienissä määrin kokooja kanavien osalta. Seuraavassa kuvassa 7 näkyy vanha ilmanvaihtokone, kuvassa näkyy myös lämmöntalteenotto-putkisto ja lämmitysputkisto.



KUVA 7. Kaupungintalon IV-konehuone /18/

4.2 Vanhan ja uuden IV-koneen vertailu

Vanhan ilmanvaihtokoneen tuloilmahyötysuhteena käytettiin ulkoilman lämpötilaa 0°C asteessa mitattua tulosta. Seuraavassa taulukossa 7 on esillä eri ulkolämpötilojen perusteella saatuja tuloilman lämpötilasuhteita. Uuden ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilasuhte määriteltiin Myös Fläkt Woods Oy:n Acon-mitoitusohjelmalla vastaaville ulkolämpötiloille. Tarkoituksena oli simuloida myös vanha ilmanvaihtokone mitaustietojen mukaan Acon-ohjelmaan, mutta ohjelma ei antanut tehdä niin huonolla tuloilman lämpötilasuhteella varustettua ilmanvaihtokonetta. Vertailu ilmanvaihtokoneille jouduttiin suorittamaan Excel-ohjelmaa apuna käyttäen. Yhtä tarkkoihin tuloksiin tällä ei päästy kuin Acon-ohjelmalla, mutta tällä saadaan riittävä tulos, jolla voitiin arvioida uudesta ilmanvaihtokoneesta saatava säästö. Laskennassa käytettiin molemmissa ilmanvaihtokoneissa ulkoilmanlämpötilalla 0°C astetta saatua tuloilman lämpötilasuhdetta. Taulukot 9-10.

TAULUKKO 10. Vanhalle ilmanvaihtokoneelle ulkolämpötilan mukaan laskettu tuloilman lämpötilasuhte

Mittaukset	Ulkoilma ennen LTO:ta (°C)	Tuloilma LTO:n jälkeen (°C)	Poistoilma ennen LTO:ta (°C)	Jäteilma LTO:n jälkeen (°C)	Tuloilman lämpötilasuhte (%)
Mittaus ennen pesua	0	4,6	21,9	15,8	20,8
Mittaus pesun jälkeen	-0,5	4,4	21,7	15,5	22
Mittaus pesun jälkeen	-10,1	-3,1	21,7	12,6	22
Mittaus pesun jälkeen	-16,3	-8,0	21,8	11,2	22

Acon-mitoitusohjelmalla mitoitettiin vastaavanlainen uusi ilmanvaihtokone ja ohjelmalla saatiin ulkoilmanlämpötilalla 0°C astetta tuloilman lämpötilasuhte 40,7. Taulukossa 10 on esitetty tuloilman lämpötilasuhteita eri lämpötiloilla ja kuvassa 8 esitetty tuloilman lämpötilasuhteet ja asetetut syöttötiedot Acon-ohjelmaan. Muuttamalla ulkoilmanlämpötilaa ohjelmassa saatiin kyseisille ulkoilmanlämpötiloille tuloilman lämpötilasuhteet.

TAULUKKO 11. Uuden ilmanvaihtokoneen tuloilmanlämpötilasuhteet

Kone: eQ, tulo/poistoilma	
Tiedot ilman huurtumisen estoa	
Raitisilma (°C)	Tuloilmalämpötilasuhte (%)
0	40,7
-0,5	40,8
-10	39,7
-16,3	38,9

Nestekiertoinen lämmönsiirrin ECOTERM				
Vesitilavuus				36,0 l
Etyleeniglykoli				30 %
Putkiläitä DN				32
Mitoitettava painehäviö				80 Pa
Patteritiedot		Kesä	Talvi	
Ilman lämpötila		24 / 24	-16,3 / -1,4	°C
Suhteellinen kosteus		53,1 / 53,1	90 / 24,3	%
Painehäviö		80	69	Pa
Otsapintanopeus		2,1	1,9	m/s
Nesteen lämpötila			9,9 / -4	°C
Vesipuolen painehäviö				65,8 kPa
Vesivirta				1,5 l/s
Hyötysuhde				38,9 %
Tehotiedot ilman huurtumisen estoa				
Ilman lämpötila sisään	-16,3	-5	0	5 °C
Lämpötila ulos	-1,4	5,9	9	12 °C
Hyötysuhde	38,9	40,3	40,7	41,2 %
Teho	76,7	55,9	46,1	36 kW
EN308				
Hyötysuhde laskettu standardin EN308 mukaan				41,9 %

KUVA 8. Acon-ohjelman antamat tiedot /17/

5 MITTAUKSET

Mikkelin kaupungintalossa suoritettiin vesiglykoliliuoksen virtausmittaus ja tuloilman lämpötilasuhteen mittaus. Ilmanvaihtokoneeseen asennettiin lämpötila antureita lämmöntalteenotto pattereiden molemmille puolille ja ultraäänivirtausmittari vesiglykoliliuosputkistoon. Mittaukset jaettiin kolmeen vaiheeseen. Vaiheessa 1 mitattiin lämmöntalteenottojärjestelmän ollessa alkuperäisessä kunnossa. Vaiheessa 2 suoritettiin mittaukset kun pesu vesiglykoliputkiston sisäpuolelle ja uudet vesiglykoliliuokset oli vaihdettu, uusi vesiglykoliliuos vastasi pitoisuudeltaan vanhaa vesiglykoliliuosta. Vaiheessa 3 vesiglykoliliuos laimennettiin noin 30 % vesiglykoliliuokseksi ja suoritettiin viimeiset mittaukset.

Mikkelin kaupungin pääkirjastossa tutkittiin virtauksen muutosta pesun ja vesiglykoliliuoksen vaihdon johdosta. Tuloilman lämpötilansuhteen mittausta ei voitu suorittaa tässä kohteessa, koska se olisi sitonut koulun mittareita, eikä muilla olisi ollut mahdollista niitä käyttää. Myös kirjaston kiertoilma olisi sotkenut mittaus tuloksia.

5.1 Mittauskohteet

Mikkelin kaupungintalon valmistumisvuosi oli 1912, ja tämänhetkinen ilmanvaihtojärjestelmä on otettu käyttöön saneerauksen yhteydessä vuonna 1976-77 (KUVA 9) /16/. Mikkelin kaupungintalossa mitattiin ilman lämpötiloja ja glykolin nestevirtausta lämmöntalteenottojärjestelmässä. Kaupungintalon lämmöntalteenoton vesiglykoliliuosta on lisätty ajan saatossa paikalta löytyneiden tyhjien pakkasnesteastioiden perusteella. Ilmanvaihtojärjestelmä on kaupungintalossa vuodelta 1976-77 lukuun ottamatta uusia kammio puhaltimia ja tuloilman lämmityspatteria, jotka on vaihdettu rakennukseen kahden vuoden sisällä.



KUVA 9. Mikkelin kaupungintalo

Mikkelin kaupungin kirjasto valmistui vuonna 1976 /16/ (KUVA 10). Lämmöntalteenoton vesiglykoliseokset ovat alkuperäisiä; mahdollisista nesteen lisäyksistä järjestelmään ei minulla ole tiedossa.



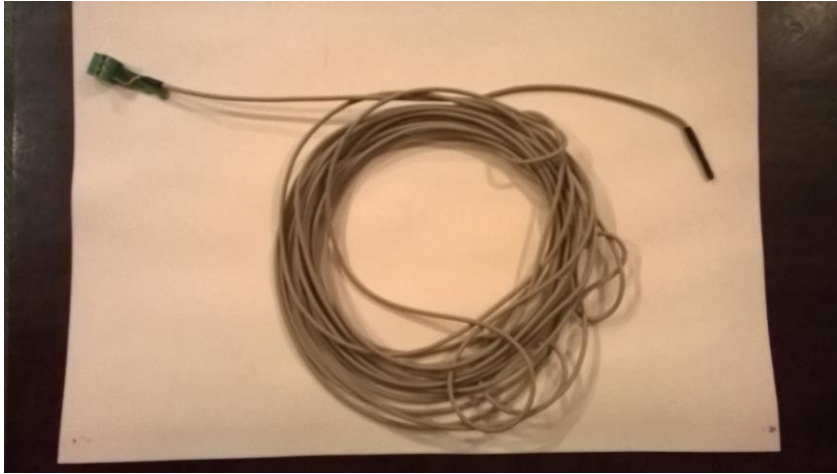
KUVA 10. Mikkelin kaupungin pääkirjasto

5.2 Mittauksessa käytettävät laitteet

Mittauksissa käytetyt laitteet olivat Eltek 1000 –sarjan dataloggeri kuvassa 11 ja siihen kuuluvat termoelementit 15 kpl kuvassa 12. Flexim Fluxus F601-ultraäänivirtausmittari kuvassa 13 ja mittausanturit kuvassa 14. Nestevirtauksen mittauksessa käytettiin ultraäänivirtausmittaria, koska kummassakaan järjestelmässä ei ollut mittausyhteitä paine-eromittauslaitteelle. Dataloggerissa on käytössä 15 mittausanturia. Kyseisen laitteen tietojen purkaminen tapahtui Darca-ohjelmistolla, jonka avulla saatiin siirrettyä mittauksia Excel-muotoon. Ultraäänivirtausmittarin tiedot saatiin purettua Flux 32- ohjelmalla, jotka siirrettiin Excel-muotoon.



KUVA 11. Eltek 1000 -sarjan dataloggeri



KUVA 12. Termoelementti



KUVA 13. Flexim Fluxus F601 -ultraäänivirtausmittari

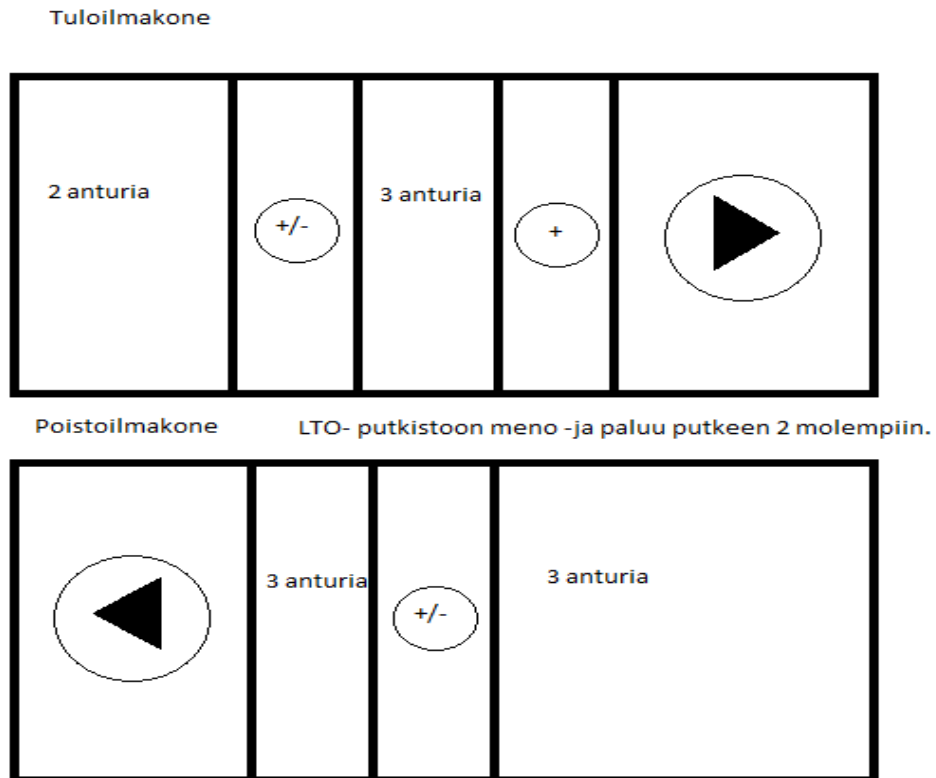


KUVA 14. Mittausanturit

5.3 Mittausjärjestelyt

Mittauspisteet sijoitettiin seuraavasti: Raitisilmakammioon laitettiin kaksi termoelementtiä ja lämmöntalteenoton jälkeen tuloilmapuolelle kolme termoelementtiä. Poistoilmakammioon laitettiin kolme termoelementtiä ja lämmöntalteenottopatterin jäl-

keen jäteilmapuolelle kolme termoelementtiä. Liuospuolelle meno- ja paluuputkeen kaksi molempiin, jotka sijoitettiin mittareiden taskuihin. Flexim Fluxus F601 -ultraäänivirtausmittari kiinnitetään liuosputkistoon, joka mittaa siirrettävän tehon ja virtauksen. Antureiden paikat selviävät kuvassa 15. Kuvassa 16 näkyy lämpötila-antureiden sijoittelua tarkemmin.



KUVA 15. Lämpötila-antureiden sijoitus paikat



KUVA 16. Lämpötila-antureiden sijoituspaikat

Kirjastossa mitattiin ainoastaan liuoksen virtausta, Eltek 1000- ja Flexim Fluxus F601 -ultraäänivirtausmittarilla. Mittaukset suoritettiin ensin jo putkistossa olevalla vanhalla 43,5 %:lla vesiglykoliliuoksella, josta saadaan selville lämpötilat ja virtaus, minkä jälkeen vesiglykoli vaihdetaan 30 % liuokseksi. Tämän jälkeen suoritetaan mittaukset uudestaan käyttäen mittauksessa samoja antureita ja mittauskohtia, jotta mittauksissa olisi mahdollisimman vähän muuttujia. Kaikissa mittauksissa haettiin muutosta vanhojen ja uusien mittauksien välille, josta saatiin selville mahdollinen säästö energian kulutukselle. Mittauksille on olemassa standardit SFS 5511 ja SFS 5512, mutta tässä kohteessa etäisyydet ja mittauskohteen hankaluus sekä käytettävissä olevien mittareiden määrä estivät standardin käytön, joten mittauskohteissa sovellettiin näitä standardeja.

5.3.1 Vaiheen 1 mittausjärjestelyt ja mittaukset

Ennen kuin päästiin suorittamaan tarvittavat mittaukset, oli ilmanvaihtokone pysäytettävä, jotta päästiin yhdessä YIT-Kuntatekniikka Oy:n asentajan kanssa tekemään mittaus antureille telineet ilmanvaihtokoneen sisälle. Tämän jälkeen suoritettiin ensimmäiset mittaukset ulkoilmanlämpötilan ollessa on noin 0°C ja -3°C asteen välillä.

Mittausjakson pituudet olivat 1/2-2 vuorokauden mittaisia ajanjaksoja. Flexim Fluxus F601 –ultraäänivirtausmittari asennettiin kupariputkeen, virtausmittari oli samassa paikassa koko mittauksen ajan.

5.3.2 Vaiheen 2 mittausjärjestelyt ja mittaukset

Vaiheessa 2 vesiglykoli järjestelmät pestiin Kl-Lämpö Oy:n toimesta. Vanha vesiglykoliliuos poistettiin ja tilalle laitettiin pesuainevesiseos. Pesun kesto molemmissa kohteissa oli yhden vuorokauden mittainen ajanjakso, jonka jälkeen pesuainevesi poistettiin ja tilalle laitettiin vesiglykoliliuos. Pesun tarkoitus oli poistaa järjestelmästä epäpuhtaudet ja mahdolliset kerrostumat putkien sisäpinnoilta, joka estää lämmönsiirtymistä vesiglykoliliuoksesta ilmaan. Pesun jälkeen laitettiin putkistoon uusi vesiglykoliliuos, joka vastasi mahdollisimman lähelle vanhan vesiglykoliliuospitoisuutta, vesiglykoliliuoksen pitoisuudeksi saatiin 38,3 %. Toimenpiteellä selvitettiin pesusta saatavaa lämmönluovutuskyvyn paranemista sekä nesteen virtauksessa tapahtuvaa muutosta. Pesun kannalta oli hyvä, että ulkoilma pesun aikana ei ollut liian alhainen, jotta välttyttiin pakkasen aiheuttamilta putkistovaurioilta. Tämäkin olisi voitu estää suojaustoimenpiteillä eli silloin olisi laitettu suojat lämmöntalteenottopattereiden eteen kylmälle puolelle, moottoripeltien lisäksi.

5.3.3 Vaiheen 3 mittausjärjestelyt ja mittaukset

Vaiheessa 3 suoritettiin vesiglykoliliuoksen laimentaminen jo putkistossa olevalle 38,3 % liuokselle. Vesiglykoliliuos laimennettiin 30 %:seksi liuokseksi. Tämän jälkeen suoritettiin vielä mittauksia, jotta saatiin luotettavia tuloksia ja mahdolliset mittausvirheet saatiin minimoitua. Myös termoelementit pidettiin samoilla paikoilla koko toimenpiteen ajan.

5.4 Liuosanalyytit kohteista

Mikkelin kaupungintalossa ja Mikkelin kaupungin pääkirjastossa suoritettiin neste-kiertoisille lämmöntalteenottojärjestelmien glykoleille analyytit, joista selvisi liuosten glykolipitoisuus, rauta (Fe), kupari (Cu), sähkönjohtavuus, Ph- arvot. Kaupungintalon glykolipitoisuus oli 39,6 % ja vastaavasti kirjaston glykolipitoisuus oli 43,5 %. Kohdassa 6.1 kerrotaan tarkemmin analyyseistä ilmenneistä tuloksista.

6 TULOKSET

Vaiheessa 1 tehtiin mittaukset alkuperäisessä kunnossa olevalla järjestelmällä. Vaiheessa 2 selvitettiin, onko glykoliliuos järjestelmälle suoritettulla sisäpuolisella pesulla vaikutusta lämmönluovutuksen paranemiseen. Vaiheessa 3 suoritettiin viimeiset mittaukset, joilla selvitettiin minkälainen vaikutus on laimeammalla vesiglykoliliuoksella tuloilman lämpötilasuhteeseen. Mittausotoksia ei saatu suoritettua laajalle alalle aikataulullisista syistä. Mittaukset suoritettiin kuitenkin 0 °C ja -3 °C asteella. Mittauksista tehtiin taulukot eri lämpötiloilla ja eri vaiheista. Mittauksista otettiin kymmenen mittauksen sarjoja, joista saatiin laskettua tuloilman lämpötilasuhde lämpötila otosten keskiarvoilla. Tuloilman lämpötilasuhde laskettiin kaavalla 1.

6.1 Vaihe 1 alkutilanne

Vaiheessa 1 aloitettiin mittaukset vesiglykoliliuoksen ollessa 39,6-prosenttista ja putkiston niin sanotusti alkuperäisessä kunnossa. Mittausten kesto oli pääsääntöisesti yhden ja kahden vuorokauden mittaisia ajanjaksoja. Ennen mittauksia lämmöntalteenotto verkostosta varmistettiin, ettei siinä ole ilmaa. Virtausmittaukset ja lämpötilamittaukset käynnistettiin yhtä aikaa, jolloin saatiin myös virtaustiedot vertailuun lämpötilatietojen kanssa.

6.1.1 Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta

Kaupungintalon mittaustulokset ovat taulukoitu seuraavaan järjestykseen. Ensimmäisenä on taulukoitu ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C ja seuraavaksi, kun ulkolämpötila on -3 °C astetta. Tulokset esitetty taulukoissa 12 ja 13.

TAULUKKO 12. Ennen pesua ja vanha glykoli 39,6 % ja ulkolämpötila 0°C

Mittaus 1. Tässä on kyseessä alkutilanne, glykoliliuos 39,6 %								
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI								
Lämpötila anturi		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7
Vanha liuos 39,6 %		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
24.10.2014	10:15:34	0,1	-0,1	4,7	4,5	4,4	21,7	21,95
24.10.2014	10:18:34	0,0	-0,1	4,7	4,5	4,4	21,7	21,9
24.10.2014	10:21:34	0,1	-0,1	4,7	4,6	4,4	21,7	21,9
24.10.2014	10:24:34	0,1	-0,1	4,7	4,5	4,4	21,7	22,0
24.10.2014	10:27:34	0,1	-0,1	4,8	4,6	4,5	21,8	22,0
24.10.2014	10:30:34	0,0	-0,1	4,7	4,5	4,4	21,8	22,0
24.10.2014	10:33:34	0,1	-0,1	4,8	4,6	4,5	21,8	22,1
24.10.2014	10:36:34	0,1	-0,1	4,7	4,5	4,4	21,8	22,1
24.10.2014	10:39:34	0,1	0,0	4,7	4,6	4,5	21,8	22,0
24.10.2014	10:42:34	0,1	0,0	4,7	4,5	4,4	21,8	22,0
	keskiarvo	0,0	0,0	4,7	4,5	4,4	21,7	22,0
	keskiarvo	0,0			4,5		21,9	

TAULUKKO 13. Ennen pesua ja vanha glykoliliuos 39,6 % ja ulkolämpötila -3 °C

Mittaus 2. Tässä on kyseessä alkutilanne, glykoliliuos 39,6 %								
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI								
Lämpötila anturit		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7
Vanha liuos 39,6 %		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
23.10.2014	13:09:34	-3,0	-3,1	2,3	2,0	2,0	21,8	22,0
23.10.2014	13:12:34	-3,0	-2,9	2,3	2,0	2,0	21,8	22,1
23.10.2014	13:15:34	-3,2	-3,3	2,2	1,9	1,8	21,8	22,0
23.10.2014	13:18:34	-3,0	-3,1	2,3	2,0	2,0	21,8	22,1
23.10.2014	13:21:34	-3,4	-3,4	2,0	1,7	1,7	21,8	22,1
23.10.2014	13:24:34	-3,2	-3,4	2,1	1,9	1,8	21,8	22,0
23.10.2014	13:27:34	-3,0	-3,2	2,3	2,0	2,0	21,8	22,0
23.10.2014	13:30:34	-3,0	-3,0	2,3	2,0	2,0	21,8	22,0
23.10.2014	13:33:34	-3,2	-3,3	2,3	2,0	1,9	21,8	22,0
23.10.2014	13:36:34	-2,2	-2,4	2,7	2,4	2,3	21,8	22,1
	keskiarvo	-3,0	-3,1	2,3	2,0	1,9	21,8	22,0
	keskiarvo	-3,0			2,0		21,9	

6.1.2 Tuloilman lämpötilasuhteet

- *Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava 1) ulkolämpötilan ollessa noin 0°C astetta 20,8 %.*
- *Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava 1) ulkolämpötilan ollessa noin -3°C astetta 20,38 %.*

6.1.3 Virtaamat

- Vesiglykoliliuoksen virtaamaksi ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C astetta 3,77 m³/h.
- Virtaamaa ei saatu mitattu -3 °C asteelle samanaikaisesti aikataulullisista syistä, kun oli kaksi kohdetta kerralla eikä virtausmittari saapunut ajoissa.

6.2 Vaihe 2 pesu suoritettu

Vaiheessa 2 on suoritettu vesiglykolipiirille yhden vuorokauden mittainen verkoston pesu ja samalla vaihdettiin uusi vesiglykoliliuos, joka pyrittiin laimentamaan lähelle vanhaa vesiglykoliliuosta. Vesiglykolipiiri annettiin tämän toimenpiteen jälkeen kiertää noin 1-2 kuukautta ja samalla on verkostoon asennettiin uudet ilman poistimet, jotta mahdollinen ilma verkostosta poistuisi. Tällä tavalla päästiin vertailemaan vaihe 1:n ja vaihe 2:n tuloksia. Vesiglykoliliuoksen pitoisuudeksi saatiin 38,3 prosenttia. Mittausjaksojen pituus oli ½ - 2 vuorokautta.

6.2.1 Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta

Kaupungintalon mittaustulokset ovat taulukoitu seuraavaan järjestykseen. Ensimmäisenä on taulukoitu ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C ja seuraavaksi, kun ulkolämpötila on noin -3 °C astetta. Tulokset on esitetty taulukoissa 14 ja 15.

TAULUKKO 14. Pesun jälkeen ja uusi glykoliliuos 38,3 % ja ulkolämpötila 0 °C

Mittaus 1. Pesun jälkeen . Glykoliliuos 38,3 %.								
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI								
Lämpötila anturit		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7
Pesun jälkeen 38,3%		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
14.1.2015	16:38:16	-0,3	-0,4	4,7	4,5	21,6	21,5	21,9
14.1.2015	16:41:16	-0,3	-0,4	4,8	4,6	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	16:44:16	-0,2	-0,3	4,9	4,7	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	16:47:16	-0,2	-0,3	4,9	4,6	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	16:50:16	-0,1	-0,2	5,0	4,7	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	16:53:16	-0,1	-0,2	4,9	4,7	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	16:56:16	0,0	-0,1	5,0	4,8	21,6	21,5	21,9
14.1.2015	16:59:16	0,0	-0,1	5,0	4,8	21,6	21,5	21,9
14.1.2015	17:02:16	0,0	-0,1	5,1	4,8	21,7	21,5	21,9
14.1.2015	17:05:16	0,0	-0,1	5,1	4,8	21,7	21,5	22,0
	keskiarvo	-0,1	-0,2	4,9	4,7	21,7	21,5	21,9
	keskiarvo	-0,2		4,8		21,7		

TAULUKKO 15. Pesun jälkeen ja uusi glykoliliuos 38,3 % ja ulkolämpötila -3°C

Mittaus 2. Pesun jälkeen. Glykoliliuos 38,3 %.								
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI								
Lämpötila anturit		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7
Pesun jälkeen		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
8.1.2015	9:22:38	-3,2	-3,2	2,5	2,1	21,6	21,4	21,9
8.1.2015	9:25:38	-3,1	-3,1	2,6	2,3	21,6	21,5	21,9
8.1.2015	9:28:38	-3,1	-3,2	2,6	2,2	21,7	21,5	21,9
8.1.2015	9:31:38	-3,0	-3,2	2,6	2,3	21,7	21,5	22,0
8.1.2015	9:34:38	-3,0	-3,2	2,6	2,3	21,8	21,6	22,0
8.1.2015	9:37:38	-2,9	-3,0	2,6	2,3	21,8	21,6	22,0
8.1.2015	9:40:38	-2,9	-3,0	2,6	2,3	21,7	21,5	22,0
8.1.2015	9:43:38	-3,0	-3,0	2,6	2,3	21,7	21,5	21,9
8.1.2015	9:46:38	-2,9	-2,9	2,7	2,4	21,6	21,4	21,9
8.1.2015	9:49:38	-2,9	-3,0	2,7	2,4	21,6	21,4	21,9
	keskiarvo	-3,0	-3,1	2,6	2,3	21,7	21,5	21,9
	keskiarvo	-3,0		2,4		21,7		

6.2.2 Tuloilman lämpötilasuhteet

- Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava1) ulkolämpötilan ollessa noin 0°C astetta 22,69 %.
- Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava1) ulkolämpötilan ollessa noin -3°C astetta 22,02 %.

6.2.3 Virtaamat

- Vesiglykoliliuoksen virtaamaksi ulkolämpötilan ollessa noin 0°C astetta saatiin 3,84 m³/h.
- Vesiglykoliliuoksen virtaamaksi ulkolämpötilan ollessa noin -3°C astetta saatiin 3,83 m³/h.

6.3 Vaihe 3 liuos vaihdettu

Vaiheessa 3 vesiglykoliliuos laimennettiin noin 30 % ja tämän jälkeen suoritettiin viimeinen mittausarja.

6.3.1 Lämpötilat ilmanvaihtokoneesta

Kaupungintalon mittaustulokset ovat taulukoitu seuraavaan järjestykseen. Ensimmäisenä on taulukoitu ulkolämpötilan ollessa noin 0 °C ja seuraavaksi, kun ulkolämpötila on noin -3 °C astetta. Tulokset on esitetty taulukoissa 16 ja 17.

TAULUKKO 16. Pesun jälkeen ja uusi glykoliliuos 30 % ja ulkolämpötila 0°C

Mittaus 3. Pesun jälkeen . Glykoliliuos 30 %.									
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI									
Lämpötila anturit		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7	Anturi 8
Pesun jälkeen 30 %		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
3.2.2015	11:02:55	0,0	-0,1	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:05:55	-0,2	-0,3	4,9	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:08:55	-0,2	-0,3	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:11:55	0,2	0,0	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:14:55	-0,1	-0,3	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:17:55	-0,2	-0,3	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:20:55	0,2	-0,1	5,0	5,1	4,8	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:23:55	0,2	0,0	5,1	5,1	4,8	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:26:55	-0,1	-0,2	5,0	5,1	4,8	21,7	21,5	21,85
3.2.2015	11:29:55	-0,1	-0,2	5,0	5,1	4,7	21,7	21,5	21,85
	keskiarvo	0,0	-0,2	5,0	5,0	4,7	21,7	21,5	21,9
	keskiarvo	-0,1		4,9			21,7		

TAULUKKO 17. Pesun jälkeen ja uusi glykoliliuos 30 % ja ulkolämpötila -3°C

Mittaus 2. Uusi glykoliliuos 30 %.									
ELTEK -1000 LÄMPÖTILA MITTARI									
Lämpötila anturit		Anturi 1	Anturi 2	Anturi 3	Anturi 4	Anturi 5	Anturi 6	Anturi 7	Anturi 8
UUSI liuos 2		Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	Ulkoilma (°C) ennen LTO:ta	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	LTO, tulo (°C) jälkeen LTO:n	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)	Poistoilma (°C)
4.2.2015	8:05:55	-2,9	-3,3	2,7	2,8	2,4	21,6	21,5	21,9
4.2.2015	8:08:55	-2,9	-3,2	2,7	2,8	2,4	21,7	21,5	22,0
4.2.2015	8:11:55	-2,9	-3,1	2,7	2,9	2,5	21,8	21,6	22,0
4.2.2015	8:14:55	-2,8	-3,0	2,8	3,0	2,6	21,9	21,7	22,1
4.2.2015	8:17:55	-3,1	-3,3	2,7	2,8	2,5	21,8	21,7	22,1
4.2.2015	8:20:55	-3,0	-3,2	2,8	2,9	2,6	21,8	21,6	22,0
4.2.2015	8:23:55	-3,0	-3,3	2,7	2,8	2,4	21,8	21,6	22,0
4.2.2015	8:26:55	-3,0	-3,2	2,7	2,8	2,4	21,7	21,5	21,9
4.2.2015	8:29:55	-3,0	-3,2	2,7	2,8	2,4	21,7	21,5	21,9
4.2.2015	8:32:55	-2,8	-3,1	2,8	2,9	2,6	21,7	21,5	21,9
	keskiarvo	-2,9	-3,2	2,7	2,8	2,5	21,7	21,6	22,0
	keskiarvo	-3,1			2,7		21,7		

6.3.2 Tuloilman lämpötilasuhteet

- Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava1) ulkolämpötilan ollessa noin 0°C astetta 23,0 %.
- Tuloilman lämpötilasuhteeksi saatiin tuloilman lämpötilasuhteen kaavalla (kaava 1) ulkolämpötilan ollessa noin - 3°C astetta 23,0 %.

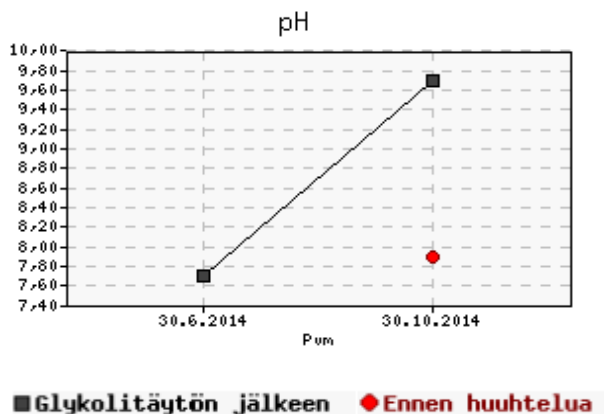
6.3.3 Virtaamat

- Vesiglykoliliuoksen virtaamaksi ulkolämpötilan ollessa noin 0°C astetta saatiin 3,88 m³/h.
- Vesiglykoliliuoksen virtaamaksi ulkolämpötilan ollessa noin -3°C astetta saatiin 3,85 m³/h.

6.4 Liuosanalyysien tulokset kaupungintalo

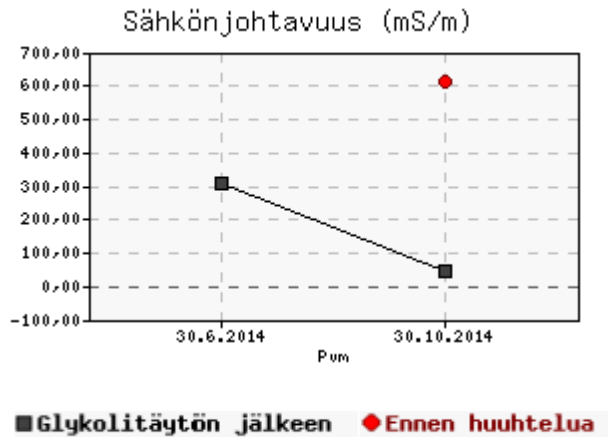
Mikkelin kaupungintalon glykolin analyyseistä selvisi seuraavat asiat. Ensimmäinen näytteenotto oli 30.6.2014, silloin pH oli 7.7. Ennen huuhtelun aloittamista pH oli 7.9, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Huuhtelun ja glykolitäytön jälkeen pH oli 9.7. Tulokset on esitettyinä taulukossa 18.

TAULUKKO 18. pH-kuvaaja /7/



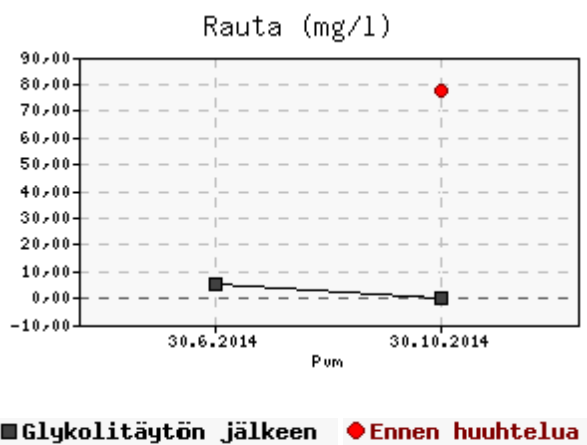
Sähkönjohtavuus oli ensimmäisen näytteenoton yhteydessä oli 311 mS/m. Ennen huuhtelun aloittamista sähkönjohtavuus oli 612 mS/m, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Vastaavasti glykolitäytön jälkeen sähkönjohtavuus 45.4 mS/m, mikä on normaali arvo, kun käytetään kyseistä vesiglykoliseosta. Tulokset on esitettyinä taulukossa 19.

TAULUKKO 19. Sähkönjohtavuus kuvaaja /7/



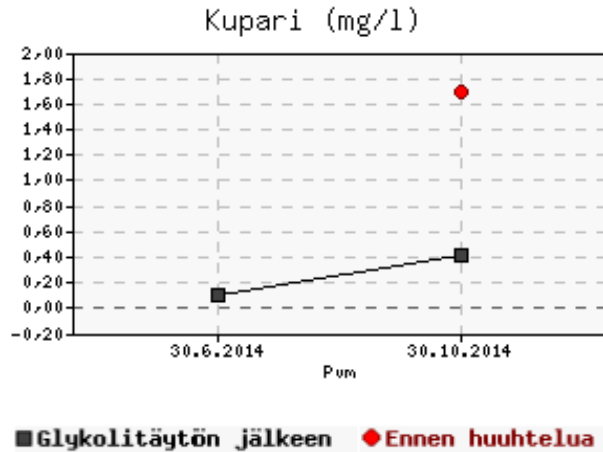
Rautapitoisuus ensimmäisessä mittauksessa oli 5.3 mg/l. Ennen huuhtelun aloittamista rautapitoisuuden arvo oli 78.0 mg/l, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaineet sisällä ja glykolitäytön jälkeen rautapitoisuuden arvo oli alle 0.2 mg/l. Tulokset on esitettynä taulukossa 20.

TAULUKKO 20. Rauta- arvojen kuvaaja /7/



Kuparipitoisuus oli ensimmäisessä mittauksessa alle 0.1 mg/l. Ennen huuhtelun aloittamista kuparipitoisuus oli 1.7 mg/l, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Kuparipitoisuus glykolitäytön jälkeen oli 0.42 mg/l. Tulokset on esitettynä taulukossa 21.

TAULUKKO 21. Kupari-arvojen kuvaaja /7/



Seuraavassa kuvassa 17 on esitetty järjestelmästä otettu näyte. Näytteen väristä voidaan visuaalisesti arvioida verkoston likaantumistasetta.



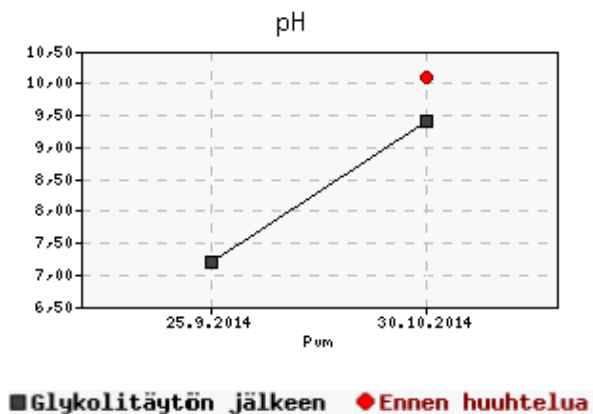
KUVA 17. Kaupungintalon vesiglykolinäyte

Kaupungintalon ensimmäisestä näytteestä ilmeni pH:n olleen alhainen. Sähkönjohtavuus oli korkeahko, myös rauta arvo oli koholla. Ainoastaan kupariarvo oli oikealla tasolla. Pesuaineen vaikutuksen jälkeen arvot nousivat lukuun ottamatta pH:n arvoa, joten tämä kertoo siitä, että järjestelmässä oli epäpuhtauksia ja pesu oli tarpeen suorittaa.

6.5 Liuosanalyysien tulokset kirjasto

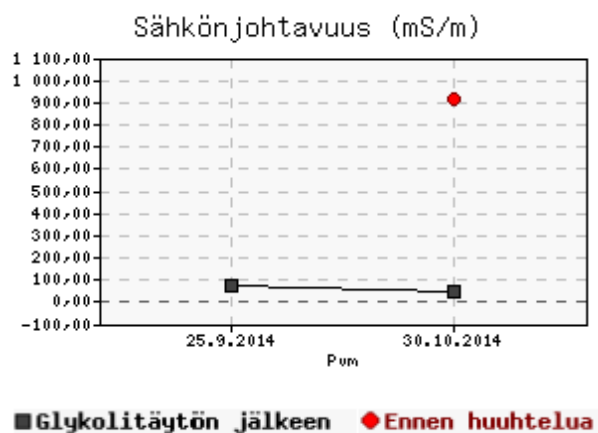
Mikkelin kaupungin pääkirjaston glykolianalyyseistä selvisi seuraavat asiat. Ensimmäinen näytteenottopäivä oli 25.9.2014, silloin pH oli 7.2. Ennen huuhtelua pH oli 10.2, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Huuhtelun ja glykolitäytön jälkeen pH oli 9.4. Tulokset on esitettyä taulukossa 22.

TAULUKKO 22. pH-kuvaaja /7/



Sähkönjohtavuus ensimmäisen näytteenoton yhteydessä oli 73.4 mS/m. Ennen huuhtelun aloittamista sähkönjohtavuus oli 916 mS/m, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Vastaavasti glykolitäytön jälkeen 47.3 mS/m, mikä on normaali arvo, kun käytetään kyseistä vesiglykoliseosta. Tulokset on esitettyä taulukossa 23.

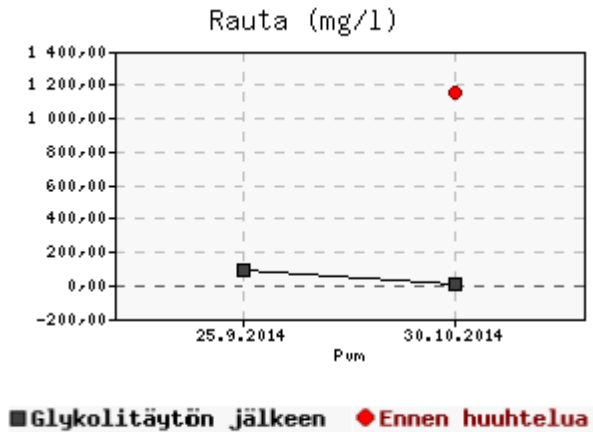
TAULUKKO 23. Sähkönjohtavuus kuvaaja /7/



Rautapitoisuus ensimmäisessä mittauksessa oli 91.0 mg/l. Ennen huuhtelun aloittamista rautapitoisuuden arvo oli 1150 mg/l, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisäl-

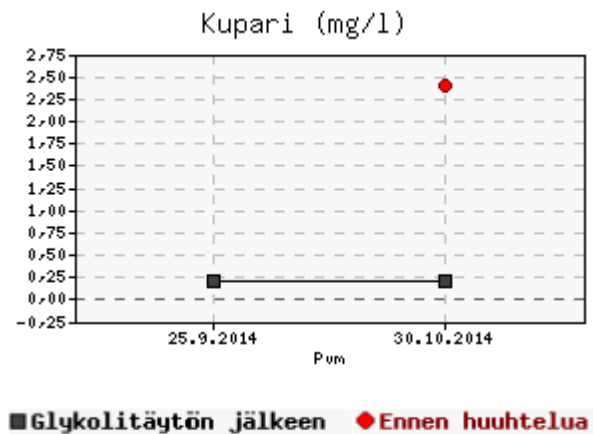
lä. Glykolitäytön jälkeen rautapitoisuus oli 3.1 mg/l. Tulokset on esitettyinä taulukossa 24.

TAULUKKO 24. Rauta-arvojen kuvaaja /7/



Kuparipitoisuus oli ensimmäisessä mittauksessa alle 0.2 mg/l. Ennen huuhtelun aloittamista kuparipitoisuus oli 2.4 mg/l, tässä vaiheessa verkostossa oli pesuaine sisällä. Kuparipitoisuus glykolitäytön jälkeen oli alle 0.2 mg/l. Tulokset on esitettyinä taulukossa 25.

TAULUKKO 25. Kupari-arvojen kuvaaja /7/



Seuraavassa kuvassa 18 on kirjaston järjestelmästä otettu näyte. Näytteen väristä voidaan visuaalisesti arvioida verkoston likaantumisasastetta.



KUVA 18. Kirjaston vesiglykolinäyte

Kirjaston ensimmäisestä näytteestä ilmeni pH:n olleen alhainen. Sähkönjohtavuus oli raja-arvon sisällä sekä kupari-arvo. Rauta arvo oli korkea. Pesuaineen vaikutuksen jälkeen rauta-arvo ja sähkönjohtavuuden arvo nousi korkeaksi, eli niin kuin kuvasta voidaan päätellä, kyseisessä järjestelmässä oli runsaasti epäpuhtauksia. Pesun suorittaminen oli erittäin oikea toimenpide tässä kohteessa.

6.6 Takaisinmaksuaika pesun ja vesiglykoliliuoksen vaihdon vaikutuksista

Pesuista ja glykolin vaihdoista saadut tulokset siirrettiin Exceeliin ja laskettiin Exceeliin tehdyllä energialaskimella toimenpiteillä saavutettu lämpöenergian säästö ja takaisin maksuaika. Energialaskin on tehty Tasauslaskentaoppaan 2012 mukaan.

Myös Fläkt Woods Oy:n Acon-ohjelmalla suunniteltu uusi ilmanvaihtokone ja siitä saadulla tuloilman lämpötilahyötysuhteella 0° C asteella, joka tässä tapauksessa oli 40,7 % ja vanhan ilmanvaihtokoneen mittaustulosten perusteella laskettu 23,2 %, sijoitettiin Excel-laskentaohjelmaan. Käyntiaikoina käytettiin saatuja käyntiaikoja, jotka olivat 100 % ilmavirralla päivällä 6.00 – 17.00 ja tämän jälkeen yökäytöllä 50 % ilmavirralla 17.00 – 6.00. Viikonloppuna tämä ilmanvaihtokone on poissa päältä.

Kaavoissa käytettävät merkinnät:

η_t	on tuloilmanlämpötilasuhde
η_p	on poistoilmanlämpötilasuhde
t_{tLTO}	on tuloilman lämpötila lto:n jälkeen, °C
t_u	on ulkoilman lämpötila, °C
t_s	on poistoilman lämpötila, °C
t_j	on jäteilman lämpötila lto:n jälkeen, °C
R_{LTO}	on tulo- ja poistoilmavirran välinen suhde
q_{tLTO}	on tuloilmavirta, m ³ /s
q_{pLTO}	on poistoilmavirta, m ³ /s
q_p	on käyntiajoilla painotettu rakennuksen poistoilmavirta, m ³ /s
$q_{v,p}$	on poistoilmavirta, m ³ /s
τ_d	on ilmavaihtokoneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, (h/vrk)
τ_w	on ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde, (vrk/vko)
ρ	on ilman tiheys, kg/m ³
c_p	on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
Q_{IV}	on ilmanvaihdon lämmitykseen kulunut lämpöenergia, kWh
$\Delta\tau$	on aikajakso, jolloin lämpötilaero ($t_s - t_u$) esiintyy, h
Q_{LTO}	on poistoilmasta talteenotettu lämmitysenergia, kWh

Laskentaohjelmassa käytetyt laskentakaavat:

Tuloilmanlämpötilasuhde,

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u}$$

Lämpötilasuhteiden välinen yhteys,

$$\eta_t = \eta_p * R_{LTO}$$

Tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde,

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}$$

Käyntiaika painotettu poistoilmavirta,

$$q_p = q_{v,p} * \tau_d * \tau_w$$

Lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen,

$$t_{tLTO} = t_u + \eta_t * (t_s - t_u)$$

Jäteilman lämpötila,

$$t_j = t_s - \eta_p * (t_s - t_u)$$

Tuloilmanlämpötilasuhde epäsuhtaisilla ilmavirroilla,

$$\eta_{t(RLTO)} = \frac{2}{1 + RLTO} * \eta_{t(RLTO=1)}$$

Ilmanvaihdon lämmitykseen kulunut lämpöenergia,

$$Q_{IV} = \rho * c_p * q_p * (t_s - t_u) * \Delta\tau$$

Talteenotettu lämpöenergia poistoilmasta,

$$Q_{LTO} = \rho * c_p * q_{tLTO} * (t_{tLTO} - t_u) * \Delta\tau$$

Toimenpiteellä saavutettu energian säästö,

$$Q_{\text{säästö}} = Q_{LTO, \text{ennen toimenpiteitä}} - Q_{LTO, \text{toimenpiteiden jälkeen}}$$

Mikkelin kaupungintalon pesun ja vesiglykoliliuoksen vaihdon kustannus oli 1631,3 € alv. 0 %.

Laskennassa käytettiin ensin vanhalle ilmanvaihtokoneelle tuloilmanlämpötilasuhteenä -3°C asteessa saatua tuloilmanlämpötilasuhdetta 20,38 % vaiheessa 1, tällä saatiin poistoilmasta lämpöenergiaa talteen 69057,46 kWh, kun mitään toimenpiteitä ei oltu suoritettu.

Seuraavaksi laskennassa käytettiin pesun jälkeistä tuloilmanlämpötilasuhdetta -3°C asteessa vaiheesta 2, joka oli 22,02 % ja poistoilmasta saatiin lämpöenergiaa talteen 74614,58 kWh.

Lopuksi käytettiin vaiheen 3 tuloilmanlämpötilasuhdetta -3°C asteessa, tässä vaiheessa vesiglykoliliuos laimennettiin 30 %, jolloin tuloilmanlämpötilasuhde oli 23,0 % ja poistoilmasta saatiin lämpöenergiaa talteen 77935,3 kWh.

Erotukseksi vaiheen 3 ja vaiheen 1 välille saatiin 8877,84 kWh. Kilowattitunnin hintana käytettiin 0,058 €/kWh alv, 0 % Tilakeskukselta saatua hintaa, joka kerrottiin 8877,84 kWh:lla, josta saatiin tulokseksi 514,9 €. Takaisinmaksuajaksi saatiin $1631,3 \text{ €} / 514,9 \text{ €} = 3,2$ vuotta.

6.7 Tuloilmalämpötilasuhteen paraneminen Mikkelin kaupungintalossa pesun ja liuoksen vaihdon johdosta

Tuloilmalämpötilasuhteen paraneminen vaiheen 1 ja 2 välillä ulkolämpötilan ollessa -3°C on noin 8,05 % ja vaiheen 2 ja 3 välillä muutos on noin 4,7 %. Kokonaisuudessaan muutos toimenpiteiden vaiheen 1 ja vaiheen 3 välillä on noin 13 %. Vaiheen 1 ja 2 välille saatiin noin 8,0 % parannus, tästä voidaan päätellä pesun vaikutuksen olleen suurempi kuin vesiglykoliseoksen laimentamisesta johtuva tuloilmalämpötilasuhteen parannus.

6.8 Mikkelin kaupungintalon ja kirjaston vesiglykoliliuoksen virtauksen paraneminen

Kaupungintalon virtauksen muutoksen vertailut tehtiin ulkoilmanlämpötilan ollessa noin 0°C. glykoliliuoksen virtausmittaukset on otettu samaan aikaan kuin tuloilmanlämpötilasuhteen mittaukset samassa ulkoilmanlämpötilassa. Mittaukset suoritettiin ennen toimenpiteitä, pesun jälkeen ja vesiglykoliliuoksen laimennuksen jälkeen. Taulukossa 25 näkyy Mikkelin kaupungintalon mittaustulokset ja vesiglykoliseoksen pitoisuus kyseisen mittauksen aikana ja taulukossa 26 näkyvät kirjaston mittaustulokset ja vesiglykoliseoksen pitoisuus kyseisen mittauksen aikana. Virtauksen parannus kokonaisuudessaan oli 2,9 %.

Tiheyden muutoksen vertailussa käytettiin molemmissa järjestelmissä 30 % vesiglykoliliuoksen tiheyttä 1045 kg/m³ ja 40 % vesiglykoliliuoksen tiheyttä 1056 kg/m³, jolloin kaupungintalon järjestelmässä tiheyden muutoksen vaikutus virtauksen paranemiseen oli noin 1 % ja pesun vaikutus oli noin 1,86 %. Kirjaston järjestelmässä voitiin olettaa tiheyden vaikutuksen olevan samaa luokkaa kuin kaupungintalon järjestelmän eli noin 1 %, kun taas pesusta johtuva virtauksen muutos oli noin 21 %. Kokonaisuudessaan parannus 22 %.

TAULUKKO 26. Mittaustulokset kaupungintalo

Virtauksen mittaus qv (m ³ /h)		
Mittaus		
(ennen pesua) 39,6 %	Ulko-lämpötila (°C)	qv (m³/h)
2	0	3,77
Mittaus		
(pesun jälkeen) 38,3 %	Ulko-lämpötila	qv (m³/h)
9	-0,2	3,84
Mittaus		
Vesiglykoliseos 30 %	Ulko-lämpötila	qv (m³/h)
3	-0,15	3,88

TAULUKKO 27. Mittaustulokset kirjasto

Vesiglykoliliuos	Flux ultraäänivirtausmittari	
	Virtaus (qv, m ³ /h)	Virtaus (qv, l/s)
Ennen pesua 43,5 %	4,55	1,26
Mittaus 1 (+ 0..-2)°C		
Liuos	Flux ultraäänivirtausmittari	
Pesun jälkeen 30,5 %	5,55	1,54
Mittaus 4 (+ 0..-2)°C		

6.9 Vanhan ja uuden ilmanvaihtokoneiden tulosten vertailu ja takaisinmaksuaika

Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottojen vertailu tehtiin Exceliin tehdyllä laskentaohjelmalla, joka perustuu Tasauslaskentaoppaan 2012 tietoihin ja Vantaan säätietoihin, joita käytetään 1 ja 2 vyöhykkeellä. Vanhan ilmanvaihtokoneen tuloilmanlämpötilasuhteena käytettiin 23,0 % ulkolämpötilan ollessa 0° C ja vastaavasti uuden ilmanvaihtokoneen tuloilmahyötysuhteena käytettiin 40,7 % samalla ulkolämpötilalla.

Tuloilman lämpötilasuhteella 23,0 % saatiin vuoden aikana poistoilmasta energiaa talteen 77935,3 kWh. Tuloilman lämpötilasuhteella 40,7 % saatiin vastaavasti poistoilmasta energiaa talteen 137911,6 kWh. Energiaa saadaan uudella ilmanvaihtokoneella talteen 59976,3 kWh enemmän. Uuden ilmanvaihtokoneen tiedot esitetään liitteessä 1. Euromääräinen säästö vuositasolla on seuraavanlainen, kun kilowattitunnin hintana käytetään 0,058 € alv 0 % Tilakeskukselta saatua hintaa, on 3478,6 € vuosi. Kyseisen ilmanvaihtokoneen hinta ja mahdolliset asennus- ja rakennustyöt ovat noin yhteensä 35000 € alv 0 %, jolloin takaisinmaksuajaksi saadaan 35000 €/3478,6 € = 10 vuotta.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli minusta käytännönläheinen ja paljon mittauksia sisältävä työ. Mittausten suhteen tämä talvi oli vähän erikoinen johtuen sääolosuhteista. Seuraavaa vastaavanlaista työtä ajatellen olisi osa mittauksista hyvä suorittaa jo edellisenä talvena. Samalla olisi aikaa tehdä laajempia mittausotoksia laskelmia varten.

Vesiglykoliseosten vaihtamisesta ja pesusta voidaan todeta, että vesiglykolijärjestelmien säännöllinen seuranta ja näille tehtävät toimenpiteet normaalina huoltotoimenpiteinä on kannattavaa tehdä. Kun seuranta on säännöllistä huoltotoimintaa, vesiglykoli-liuokset järjestelmissä pysyvät optimaalisella tasolla ja järjestelmä toimii suunnitellulla tasolla, jolloin saadaan lämmöntalteenotosta suunniteltu lämpöenergia talteen. Myös lämmöntalteenottopatterin puhdistus imuroimalla tai pesemällä tulisi olla säännöllistä ja sen suorittamista tulisi seurata. Pesulla oli suurempi vaikutus virtaukseen kuin vesiglykoliseoksen vaihdolla Mikkelin kaupungintalossa sekä Mikkelin kaupungin pääkirjastossa. Lämmöntalteenoton patterin sisäpuolisella pesulla oli suurempi vaikutus lämmönluovutukseen kuin vesiglykoliliuoksen vaihdolla.

Itse ainakin tulevaisuudessa suosin tämänkaltaisia toimenpiteitä vanhoille ja uusille nestekiertoisille lämmöntalteenottojärjestelmille. Luonnollisesti suuremmilla ilmavirroilla säästö vuositasolla on suurempaa. Tarkasteluun olisi myös voinut ottaa lämmöntalteenottopatterin ulkopuolisen pesun vaikutuksen lämmönluovutukseen, mutta tässäkin tapauksessa aikataulu ei sallinut tehdä kyseistä toimenpidettä.

Kaupungintalon lämmöntalteenoton suhteen asialle olisi tehtävä jotain, joko vaihtamalla lämmöntalteenoton patterit tai vaihtamalla uusi ilmanvaihtokone. Kummallakin toimenpiteellä saataisiin otettua talteen lämpöenergiaa huomattava määrä enemmän kuin vanhalla järjestelmällä. Asian tekee hankalaksi se, että vanhaan ilmanvaihtokoneeseen on vaihdettu uudet puhaltimet ja lämmityspatteri. Jos päädytään uuden ilmanvaihtokoneen vaihtamiseen, on mietittävä, voidaanko vanhoja uusittuja puhaltimia taajuusmuuntajineen käyttää joissain muussa kohteessa. Kumpikin vaihtoehto teettää työtä aika paljon.

Vanha ilmanvaihtokone ei nykyisellään täytä tämän päivän D3:n määräyksiä, jotta poistoilmasta otettava lämpömäärä olisi 45 %. Myös Acon-ohjelmalla mitoitettu vastaavanlainen uusi perusilmanvaihtokone ei myöskään täytä tämänhetkistä tavoitetta annetuilla arvoilla ja vastaavanlaisilla fyysisillä ulkomitoillaan joka mahtuisi samaan kohtaan kuin vanha ilmanvaihtokone, mutta pääsee kuitenkin lähelle sitä tuloilman lämpötilasuhteen ollessa 41,9 %.

8 LÄHTEET

- /1/ D3 Suomen rakennusmääräyskokoelma ympäristöministeriö, rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012.
- /2/ Tuotteiden ekosuunnittelu ja merkintä. Ilmanvaihto ja ilmastointi. Www-dokumentti. <http://www.ekosuunnittelu.info/files/291/D03078402-fi.doc/>. Päivitetty 4.3.2015. Luettu 4.3.2015.
- /3/ Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 1996.
- /4/ RT LVI 38- 10515 tasauslaskentaohje.
- /5/ Sandberg Esa (toim). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tammerprint. 2014.
- /6/ Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001. Tampereen teknillinen korkeakoulu, energia ja prosessitekniikka.
- /7/ Kurvinen, Sari. Haastattelut ja materiaalit 11/2014 – 3/2015. KL-Lämpö Oy. Kemisti.
- /8/ Glykolipitoisten hulevesien ohjaus Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Hanna-Leena Latvala. 13.11.2009. Vesihuoltotekniikan diplomityö.
- /9/ FläktWoods Oy. Tekninen käsikirja. s.125
- /10/ Työterveyslaitos. OVA-ohje:Etyleeniglykoli. www.ttl.fi/ova/etyleeniglykoli.html. Päivitetty 23.10.2014. Luettu 1.3.2015.
- /11/ DOWCAL Fluids. Tuoteprofiilit prosessisuunnittelijoille ja järjestelmäkäyttäjille. Esite.
- /12/ DOW Propylene Glycol. Applications. Aircraft Deicing Fluid. http://www.dow.com/propyleneglycol/applications/aircraft_deicing_fluid.htm. Päivitetty 4.3.2015. Luettu 4.3.2015.
- /13/ FINAVIA . Vuosikertomus 2013. [Www.http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2013/vastuullisuus/vastuuteemat/vesi-ja-maaperapaastojen-hallinta/jaanpoisto-ja-esto/](http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2013/vastuullisuus/vastuuteemat/vesi-ja-maaperapaastojen-hallinta/jaanpoisto-ja-esto/).Päivitetty 3.4.2015. Luettu 4.3.2015
- /14/ VesiTekno Oy. Freezium kylmäliuos. Freezium opas pdf-dokumentti. <http://www.vesitekno.fi/pdf/freeziumopas.pdf>. Päivitetty 4.3.2015. Luettu 4.3.2015.
- /15/ Fortum Oil and Gas Oy. Thermeran edut käytössä. Esite.
- /16/ Seutuhaku.fi. Kulttuurireitti. <http://www.seutuhaku.fi/portal?routeid=501>. Päivitetty 4.3.2015. Luettu 4.3.2015.
- /17/ FläktWoods Oy. Acon-ohjelma.
- /18/ Mikkelin kaupungin Tilakeskus.

Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot vyöhykkeelle 1 ja 2

Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki TRY 2012, %
-21	0
-20	0,07991
-19	0,3311
-18	0,5594
-17	0,8333
-16	1,199
-15	1,872
-14	2,763
-13	3,550
-12	4,349
-11	4,932
-10	5,445
-9	6,050
-8	7,032
-7	8,459
-6	10,11
-5	12,00
-4	14,12
-3	16,29
-2	18,76
-1	21,45
0	25,03
1	31,24
2	36,80
3	41,97
4	45,86
5	49,08
6	52,36
7	55,71
8	59,01
9	62,24
10	65,56
11	68,80
12	72,20

Uuden ilmanvaihtokoneen mitat ja tuloilmanhyötysuhde tiedot

	<p style="text-align: right;">FläktWoods</p> <p>Mikkelin kaupungintalo (2) / Kaupungintalo lämpötila -29 astett 4.26 m³/s 4.16 m³/s</p> <p>Projektin nimi Koneen nimi Tuloilma Poistoilma</p> <p>Asiakasnumero Projekti Kone AOC</p> <p>67574 38 11 ACON-01590435</p> <p>eQ-054 eQ-054</p> <p>Huoltopuoli 2015/03/01 2.7.150225.1</p>
--	--

Uuden ilmanvaihtokoneen mitat ja tuloilmanhyötysuhde tiedot



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	38 () / Mikkelin kaupungintalo	2.7.150225.1
AOC	ACON-01590435	
Kone	11 (2) / Kaupungintalo lämpötila -29 astett	2015/03/01
Konekoko	054	Sivu 7/24

Konekoko: 054

Toiminto: tuloilma, lämmitin

Tehovaihtoehto: 1

Rakenne: Vakio otsapinta

Lamellijako: 2 mm

Vesireitit: 14

Materiaali, lamellirunko: Cu/Al

Materiaali, kehysosat: Sinkitty teräs

Liitännäpuoli: Oikea

Vesitilavuus

38.0 l

Etyleeniglykoli

30 %

Putkiliitäntä DN

32

Mitoitettava painehäviö

80 Pa

Patteritiedot

Kesä

Talvi

Ilman lämpötila

24 / 24

-29 / -13.1 °C

Suhteellinen kosteus

53.1 / 53.1

90 / 19.3 %

Painehäviö

80

88 Pa

Otsapintanopeus

2.1

1.8 m/s

Nesteen lämpötila

5.8 / -11.7 °C

Vesipuolen painehäviö

69.3 kPa

Vesivirta

1.5 l/s

Hyötysuhde

31.3 %

Tehotiedot ilman huurtumisen estoa

Ilman lämpötila sisään

-29

-5

0

5 °C

Lämpötila ulos

-10.3

5.8

8.9

12 °C

Hyötysuhde

36.9

40.2

40.7

41.5 %

Teho

96.3

55.4

45.6

35.8 kW

EN308

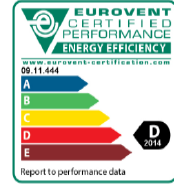
Hyötysuhde laskettu standardin EN308 mukaan

41.9 %

Monitoimikaapeli

Automaattinen ilmanpoistiventtiili

Uuden ilmanvaihtokoneen mitat ja tuloilmanhyötysuhde tiedot



ILMANKÄSITTELYKONE eQ

Projekti	38 () / Mikkelin kaupungintalo	2.7.150225.1
AOC	ACON-01590435	
Kone	11 (2) / Kaupungintalo lämpötila -29 astett	2015/03/01
Konekoko	054	Sivu 4/24
Asiakas		
Asiakkaan viite		
Oma viite	sami Lahikainen	
Tuloilmavirta	4.26 m ³ /s Poistoilmavirta	4.16 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	200 Pa Ulkoinen painehäviö	200 Pa
Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz Paino	1996 kg
Ominais sähköteho SFP	1.20 kW/(m ³ /s) Designed for wet conditions	
Ilman tiheys	1.2 kg/m ³ Korkeus mpy	0 m

LYHYT TEKNINEN ERITTELY

Kone			
Tuloilmavirta	4.26 m ³ /s	Asennus	Sisäasennus, vaakasuora
Ulkoinen painehäviö	200 Pa	Materiaali	Aluzink teräs
Poistoilmavirta	4.16 m ³ /s	Lämpöeristys	T3
Ulkoinen painehäviö	200 Pa	Kondenssieristys	TB3
Mitoittava lämpötila kesällä	24 °C	Tiiviysluokka	L2 (CEN B)
Mitoittava kosteus kesällä	53.1 %	Vaipan lujuusluokka	CEN D2
Mitoittava lämpötila talvella	-29 °C	Tuloilman suodatinluokka	F7
Mitoittava kosteus talvella	90 %	Poistoilman suodatinluokka	M5
Lämpötila sisään, tuloilma/kesä	15 °C	Lämpötila sisään, poistoilma/kesä	25
Kosteus sisään, tuloilma/kesä	50 %	Kosteus sisään, poistoilma/kesä	55
Lämpötila sisään, tuloilma / talvi	20 °C	Lämpötila sisään, poistoilma / talvi	22
Kosteus sisään, tuloilma / talvi	40 %	Kosteus sisään, poistoilma / talvi	20
LTO hyötys.	40.7 %	Lämmön talteenoton kapasiteetti	81.6
SFP tuloilma	0.66 kW/(m ³ /s)	Kokonaispaino	1996
SFP poistoilma	0.54 kW/(m ³ /s)		
SFP yhteensä	1.20 kW/(m ³ /s)	Suurimman lohkon paino	801

Lämmitys/Jäähdytys

	Teho [kW]	Ilma Sisään [°C/%]	Ilma Ulos [°C/%]	Vesi sisään / ulos [°C]	Jäätymissuoja	Vesi [l/s]	Vesi [kPa]	Liit. [mm]
Ilmanlämmitin	216	-22.6/19.3	19.5/0.7	60/30	Etyleeniglykoli 30 Jäätymissuoja	1.86	13.8	50

Moottoritiedot

Jännite	3 x 400V + N, 50 Hz
Nimellisteho, tuloilma	5.5 kW Nimellisteho, poistoilma
Nimellisvirta, tuloilma	11 A Nimellisvirta, poistoilma