

Harri Heinilä

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

14.5.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Harri Heinilä Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi 31 sivua + 9 liitettä 14.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	LVI-insinööri Harri Nyssölä lehtori Seppo Innanen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää Oy Swegon Ab:n ja Oy Grundfos Pumput Ab:n kanssa yhteistyössä, toimiiko nestekiertoisen lämmöntalteenotto uudella kytkentämallilla ja onko sillä säästöpotentiaalia. Käytännössä olemassa olevan järjestelmän kytkentää muutettiin ja järjestelmään vaihdettiin EC-pumppu, jonka virtaamaa voidaan muuttaa portaattomasti. Verkoston kolmitieventtiili lukittiin täysin auki asentoon, jotta uutta kytkentämallia voitaisiin simuloida.</p> <p>Uuden kytkentämallin toimintaa tutkittiin vertailemalla kahta identtistä tilaa ja niiden tekniikkaa. Nestekiertoisista lämmöntalteenottojärjestelmistä mitattiin ilman ja nesteen lämpötiloja ja laskettiin tuloilmapatterille lämpötilasuhte. Kummankin lämmöntalteenottojärjestelmän pumppujen ottotehot mitattiin ja mahdolliset säästöpotentiaalit selvitettiin.</p> <p>Mittausajanjaksolla muutettu nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmä toimi moitteetta ja lähes samalla lämpötilasuhteella. Eron lämpötilasuhteissa selittää eroavaisuudet etyleeniglykolipitoisuuksissa, liuosvirtaamissa ja raitisilmanlämpötiloissa.</p> <p>Kahden viikon mittausajanjaksolla säästöjä ei saavutettu pumppauskuluissa. Potentiaalia säästöille on, kun verkostosta karsitaan ylimääräiset virtausvastusta aiheuttavat osat. Tällöin saman virtaaman tuottamiseksi tarvittaisiin vähemmän ottotehoa, eli käyttökustannukset laskisivat. Teoreettisesti säästöä pumppauskuluissa voitaisiin saada noin 20 %, kun lämmöntalteenottojärjestelmä toteutettaisiin uudella kytkentä tavalla.</p> <p>Tuloksien perusteella huomataan, että uutta kytkentämallia tulisi tutkia lisää laboratorioolosuhteissa. Jotta esimerkiksi huurtumisen esto-ohjelma saataisiin käynnistettyä, tarvitsee poistoilman olla kosteaa ja poistopatterille tulevan liuoksen reilusti pakkasella.</p>	
Avainsanat	EC-pumppu, huurtumisen esto, lämmöntalteenotto, lämpötilasuhte

Author(s) Title Number of Pages Date	Harri Heinilä Optimization of liquid heat recovery and its benefits in acquisition and operating costs 31 pages + 9 appendices 14 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Harri Nyyssölä, Bachelor of Engineering Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose and goal of the Bachelor's thesis was to optimize a liquid heat recovery system in Otaniemi, Espoo, and to determine if there is any saving potential in the acquisition and operating costs.</p> <p>There were two identical heat recovery systems in the same building, and one of the systems was modified in this final year project. To determine if a new connection method worked, the water circulation pump needed to be changed to a pump which can modify its rotation speed. The piping of the liquid heat recovery system was modified to simulate the new connection method.</p> <p>In the final year project it was proven that the new connection method worked and it had saving potential. With the new energy efficient pump and the pressure drop savings gained by the new way of building the piping system, up to 20 % in the pump's electricity consumption could be saved.</p> <p>The test results showed that the new connection method works and has saving potential. However, to be absolutely sure that the new connection method and its anti-frost system would work in extreme conditions, it needs to be tested in laboratory conditions.</p>	
Keywords	liquid heat recovery, connection method, saving potential

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pumpun energiatehokkuus	1
2.1	Energiatalouden kehittyminen ja energialuokat	1
2.2	Pumppujen sähkömoottorit	3
2.3	AC- ja EC-pumput ja niiden ohjaus	3
2.3.1	AC-moottoripumput	3
2.3.2	EC-moottoripumput	4
2.3.3	Affiniteettisäännöt	4
3	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	5
3.1	Teoriaa	5
3.2	Virtaustekniikka	6
3.3	LTO-liuokset	8
3.3.1	Yleisimmät liuokset nestekiertoisissa LVI-järjestelmissä	8
3.3.2	Vesietyleeniglykoliliuos	10
3.3.3	Liuoskierron tyypillisiä ongelmia	10
3.4	Toteutusmallit	10
3.4.1	Perinteisen liuoskiertoisen lämmöntalteenoton kytkentä- ja toimintaperiaate	10
3.4.2	Uuden liuoskiertoisen lämmöntalteenoton kytkentä- ja toimintaperiaate	11
3.5	Huurtumisenesto	12
3.5.1	Huurtumiseneston teoria	12
3.5.2	Huurtumiseneston toiminta	13
4	Koekohteen kenttämittaukset	13
4.1	Mittauskohteen kuvaus	13
4.2	Mittausten tarkoitus	14
4.3	Mittaus suunnitelma	14
4.4	Mittausjärjestelyt	15
4.5	Mittaustekniikka ja -laitteisto	16
4.6	Mittauks tulokset	17
4.6.1	Ilman lämpötilat	18
4.6.2	Sähkön ottotehot	20

4.6.3	Etyleeniglykolin ominaisuudet	21
4.6.4	Lämmöntalteenottojärjestelmän liuosvirtaamat	22
4.6.5	Mittaustulosten virhetarkastelu	25
5	Päätelmät	26
5.1	Edut ja ongelmat uudessa lämmöntalteenoton kytkentämallissa	27
5.2	Liuoksen pakkaskestävyyden valinta	28
6	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Muutettu kytkentämalli	
	Liite 2. Lämpötilasuhdelaskelma 5.3.2013, Fidelix Oy	
	Liite 3. Lämpötilasuhdelaskelma 5.3.2013, datalogger	
	Liite 4. Lämpötilasuhdelaskelma 4.3.2013, Fidelix Oy	
	Liite 5. Lämpötilasuhdelaskelma 4.3.2013, datalogger	
	Liite 6. Swegonin mitoitusajo, Case 1	
	Liite 7. Swegonin mitoitusajo, Case 2	
	Liite 8. Swegonin mitoitusajo, Case 3	
	Liite 9. Swegonin mitoitusajo, Case 4	

Lyhenteet

LTO	lämmöntalteenotto
EC	elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori
AC	vaihtovirtamoottori
EEl	energiatehokkuusindeksi
CE	vaatimustenmukaisuusvakuutus

1 Johdanto

Työ tehdään Granlund Oy:n, Oy Swegon Ab:n ja Oy Grundfos Pumput Ab:n käyttöön. Työssä tarkastellaan ilmanvaihtokoneen nestekiertoisen lämmöntalteenoton toimintaa kahdella erilaisella toimintaperiaatteella. Tarkastelulla pyritään selvittämään toimiiko uuden kytkentä- ja toimintaperiaatteen lämmöntalteenottojärjestelmä moitteetta nykyiseen vallitsevaan käytössä olevaan verrattuna.

Työn kohde on Aalto-yliopiston D- ja E-luentosalit Otaniemessä, Espoossa. Ilmanvaihtokoneet ovat identtiset, ja ne palvelevat kumpikin samanlaisia luentosaleja. Nykyisissä ilmanvaihdon LTO-järjestelmissä on käytetty AC-moottoreita vakiopyörimisnopeudella. Toisen järjestelmän pumppu vaihdetaan tässä insinöörityössä energiatehokkaampaan sekä paremmin säädettävissä olevaan EC-moottoripumppuun sekä muutetaan putki-kytkentää ja pumpun ohjausta.

2 Pumpun energiatehokkuus

2.1 Energiatalouden kehittyminen ja energialuokat

Kiertovesipumpun tulee täyttää nykyisin EuP-direktiivin vaatimukset, jotka tulevat voimaan 1. tammikuuta 2013 alkaen. Tammikuun 1. päivästä 2013 alkaen vanha energia-merkintä A–G korvataan uudella energiatehokkuusindeksillä (EEI). Vain parhaat nykyisistä A-merkityistä pumpuista täyttävät uudet vaatimukset.

Erillisten akselitiivisteettömien kiertovesipumppujen uudet energiatehokkuusindeksi säädökset ovat osana vaatimustenmukaisuusvakuutusta (CE). Pumppua ei saa myydä EU:n alueella, jos sille ei ole myönnetty CE-merkintää. Direktiivin vaatimusten mukaan 1.1.2013 lähtien energiatehokkuusindeksi (EEI) saa olla enintään 0,27 ja päivämäärästä 1.1.2015 eteenpäin EEI saa olla enintään 0,23. Direktiivi ei koske pumppuja, jotka on tarkoitettu erityisesti aurinkolämpöjärjestelmien ensiöpiireihin tai lämpöpumppuihin. [4]

EEI eli energiatehokkuusindeksi luokitteluasteikko jonka mukaan sähkölaitteelle laskeaan sen oma energiatehokkuusindeksiluokka. EEI on vertailuluku, joka määritetään keskimääräisen ottotehon ($P_{L,avg}$) ja vertailutehon (P_{ref}) suhteesta kaavalla 1:

$$EEI = \frac{P_{L,avg}}{P_{ref}} [-] \quad (1)$$

Kaavassa P_{ref} on vuoden 2002 vastaavien pumppumallien keskiarvoinen ottoteho johon uudempia pumppujen ottotehot suhteutetaan. Vuoden 2002 keskitason pumppujen energiatehokkuusindeksi = 1. Kun vertaillaan EEI-arvoja keskenään, on pienempi luku tehokkaampi kuin isompi. Uusiin pumppuihin EEI-arvo on merkittävä pumpun arvokilpeen, mutta vanhemmissa pumpuissa käyttö on vapaaehtoista. Kuvassa 1 on esimerkki A-luokan energialuokan merkintätavasta sekä uudesta EEI-arvoon perustuvasta merkkikilvestä. [15, s. 18.]



Kuva 1. Energiatehokkuusindeksin (EEI) A-luokan merkkikilpi ja uusi EEI-merkkikilpi.

Taulukossa 1 on esitetty energiatehokkuusindeksiluokan määräytyminen EEI-arvon mukaan. Direktiivin mukaan 1.1.2013 lähtien kaikkien valmistettavien alle 300 W:n otto-
teholla käyvien pumppujen tulee olla energiatehokkuusluokassa A.

Taulukko 1. Energiatehokkuusindeksi (EEI) luokan määrittelykriteerit [3, s. 32].

Class	Energy Efficiency Index (EEI)
A	$EEI < 0.40$
B	$0.40 \leq EEI < 0.60$
C	$0.60 \leq EEI < 0.80$
D	$0.80 \leq EEI < 1.00$
E	$1.00 \leq EEI < 1.20$
F	$1.20 \leq EEI < 1.40$
G	$1.40 \leq EEI$

2.2 Pumppujen sähkömoottorit

Pumppuja valmistetaan kahdella eri tekniikalla, AC- ja EC-moottorilla. Lyhenne AC (alternating current) tarkoittaa vaihtovirtaa ja EC (electronically commutated) tarkoittaa elektronisesti kommutoitua. AC-moottorilla varustetut pumput ovat iältään vanhempia, ja ne poistuvat käytöstä vähitellen. EC-moottorin energiankulutus on selvästi alhaisempi kuin AC-moottorin, energian säästöä voi syntyä jopa 50 %. [3.]

2.3 AC- ja EC-pumput ja niiden ohjaus

AC-moottorilla varustettu pumppu vaatii taajuusmuuttajan, jos sen tehoa halutaan säätää, kun taas EC-moottorissa voidaan pyörimisnopeutta muuttaa ulkopuolisella tai pumpun omalla integroidulla ohjausautomaatiikalla. Pumpuilla joissa on AC-moottori ja taajuusmuuntaja, ohjaus tapahtuu ulkopuolisella ohjausautomaatiikalla. [3.]

2.3.1 AC-moottoripumput

AC-moottoripumpun tehoa voidaan säätää, jos sille ohjattua jännitettä ja taajuutta muutetaan. Taajuusmuuntajalle pitää siis luoda matemaattinen malli, jonka perusteella se etsii oikean jännitteen ja taajuuden arvot. Tätä tapaa muuttaa vaihtovirtamoottorin vääntömomenttia kutsutaan vektorisäädöksi [2, s. 4].

Ennen taajuusmuuttajien yleistymistä AC-moottoripumppulla varustettuja järjestelmiä on voitu säätää fyysisillä keinoilla. Moottoripumpun juoksupyörän vaihdolla on saatu

muutettua pumpun tehoa; käytännössä tämä muutos huonontaa pumpun hyötysuhdetta. Tällä keinolla on voitu korjata ylimitoitettun pumpun tehoa pienemmäksi. Toinen käytössä ollut keino on ollut virtausvastusten lisääminen verkostoon. Kuristussäädössä on verkostoon lisätty esimerkiksi ylimääräinen linjasäätöventtiili, jonka avulla pumpun tehoa on saatu laskettua [6]. Edellä mainitut säätökeinot ovat olleet kiinteitä, eikä niillä ole tavoiteltu energiansäästöjä.

2.3.2 EC-moottoripumput

EC-moottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori, jossa perinteiset hiiliharjat on korvattu integroidulla säätimellä, joka ohjaa virran käämeihin elektronisesti. Hall-sensori kertoo säätimelle roottorin asennon suhteessa staattoriin. Tämän tiedon perusteella säädin ohjaa virtaa oikeaan käämiin oikeaan aikaan. EC-moottori reagoi nopeasti muutoksiin, joten jättämähäviöitä ei synny kuten perinteisissä tasavirtamoottoreissa. Edellä mainituista syistä EC-moottorin hyötysuhde on hyvä verrattuna perinteiseen tasavirta- tai AC-moottoriin [1].

EC-moottorin säädettävyys on myös laaja, säätöalue on jopa 10–100 %. Pyörimisnopeutta voidaan säätää esimerkiksi ulkoisella 0–10 V:n jänniteviestillä. EC-moottorissa etuna on sen portaaton pyörimisnopeuden säätö. Mitä suurempi jänniteviestin jännite on, sitä enemmän virtaa ohjataan käämeihin ja pyörimisnopeus kasvaa [1].

2.3.3 Affiniteettisäännöt

Pumpun kierrosluvun säädössä pätee affiniteettisääntö, jonka mukaan pumpun tilavuusvirta on suoraan verrannollinen pumpun kierroslukuun. Affiniteettisäännön mukaan myös pumpun nostokorkeus on verrannollinen pumpun kierrosluvun toiseen potenssiin ja pumpun ottoteho on verrannollinen kierrosluvun kolmanteen potenssiin. [13, s. 24.]

Affiniteettisäännöille pätevät seuraavat kaavat:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (2)$$

Q on tilavuusvirta

H on nostokorkeus

n on kierrosluku

P on pumpun ottoteho.

3 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

3.1 Teoriaa

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton tarkoitus on siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa jäätymätön neste kiertää kahden patterin väliä, joista toinen varastoi ja toinen luovuttaa lämpöä. Käytettäviä patterityyppejä ovat neulaputki-, sileäputki-, ripaputki- ja lamelliputkipatterit. Järjestelmän tehoa säädetään perinteisesti kolmitieventtiilillä, mutta nyt insinööritöyssäni toisen LTO-järjestelmän virtaamaa säädetään pumpun virtaamaa muuttamalla.

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa hyviä puolia ovat paloturvallisuus ja se, että ilmavirtoja ei tarvitse sekoittaa. Etuna on myös pieni tilantarve, sillä patterit voidaan sijoittaa etäälle toisistaan.

Huonoja puolia ovat kulumien osien lisääminen järjestelmään, pumppaukseen kuluva sähkönkulutus sekä hankintahinnat pattereille, putkille ja pumpulle. Lisäksi patterien huurtuminen ja umpeen jäätyminen ovat uhkana järjestelmän toimivuudelle ja niiden huomioiminen alentaa hyötysuhdetta. Lämmöntalteenottotekniikoista nestekiertoinen on lämpötilahyötysuhteeltaan heikoin, lämpöä saadaan talteen 40–60 %, kun parhaat lämpötilahyötysuhteet ovat luokkaa 70–90 %. Lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan LTO-laitteen ominaisuutta, ei vuosihyötysuhdetta eli vuotuisia säästöjä. [5, s. 4.]

Taulukko 2. Lämpötilasuhteet eri lämmöntalteenottolaitetyypeille [5, s. 5].

LAITETYYPPI	LÄMPÖTILASUHDE (%)
Nestekiertoiset	40...60
Levylämmönsiirtimet	55...65
Pyöreät regeneraattorit	70...85
Kiinteäkennoiset	70...90
Lämpöputkipatteri	55...65

Lämpötilasuhte on yleisin keino esittää lämmöntalteenoton tehoa. Lämpötilahyötysuhde lasketaan vertailemalla ulkoilman, tuloilman ja poistoilman lämpötilaa. Lämpötilasuhte lasketaan kaavalla (2):

$$\eta_{tulo} = \frac{t_{tulo} - t_{ulko}}{t_{poisto} - t_{ulko}}, \quad (3)$$

jossa t_{tulo} on lämpötila LTO-patterin jälkeen, t_{ulko} on lämpötila, joka tuodaan LTO-patterille, ja t_{poisto} on poistoilman lämpötila ennen LTO-patteria [8, s. 8].

Todelliseen hyötysuhteeseen vaikuttaa lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen keskinäinen suhde. Todellinen hyötysuhde on koko järjestelmälle laskettu arvo, kun lämpötilasuhte on tietyn laitteen ominaisuus [7]. Valmistajien ilmoittamat lämpötilasuhteet on mitattu standardiolosuhteissa.

3.2 Virtaustekniikka

Virtausteknisesti energiatehokas virtaustapa lämmönluovutuksessa on turbulентtinen virtaus (kuva 2). Virtauksen virtaustapaa kuvaa Reynoldsin luku Re . Reynoldsin luku

on virtausnopeuden ja putkihalkaisijan tulon suhde virtaavan nesteen kinemaattiseen viskositeettiin (kaava 3). Kun Reynoldsin luku on pienempi tai yhtäsuuri kuin 2 320, virtaus on pyörteetöntä eli laminaarista (kuva 3). Virtauksesta tulee pyörteistä eli laminaarista kun Reynoldsin luku on 3 000 tai yli. Väliin jäävällä alueella ($2\,320 \leq Re < 3\,000$) virtauksen luonne on epämääräistä. [14, s. 138.]

$$Re = \frac{v * d}{\nu_1} \quad (4)$$

v on virtausnopeus, m/s

d on putken sisähalkaisija, m

ν_1 on virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti, m^2/s .

Lämmöntalteenottojärjestelmissä käytetään usein liuosta, jossa on etyleeniglykolia sekä vettä, useimmiten käytetään 30 %:n vahvuista liuosta (30 % etyleeniglykolia, 70 % vettä). Etyleeniglykolin lisääminen nostaa pakkaskestävyyttä, mutta lisää virtauksen vastusta. Pumppuvalmistaja Grundfos, jonka pumppu on käytössä insinöörityöni koe-kohteessa, käyttää mitoitukseen kinemaattista viskositeettiä $3,95 * 10^{-6} m^2/s$, kun 30 % etyleeniglykoli liuoksen lämpötila on 0 °C. Edellä mainituilla lähtötiedoilla turbulenttisen ja laminaarisen virtauksen rajanopeus on

$$v = \frac{\nu_1 * Re}{d} \quad (5)$$

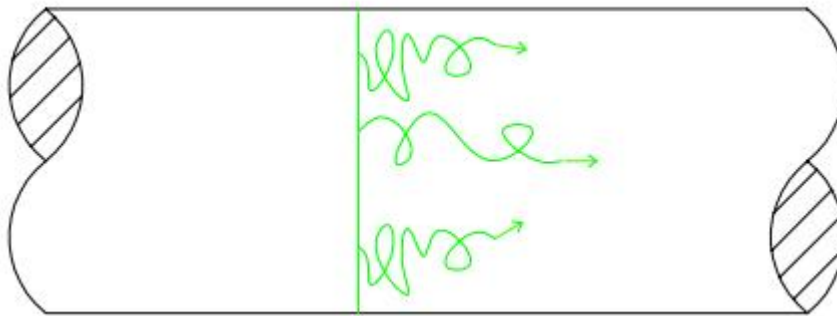
Kun $\nu_1 = 3,95 * 10^{-6} m^2/s$, $d = 0,01 m$ ja $Re = 3000$ saadaan rajanopeudeksi:

$$v = (3,95 * 10^{-6} m^2/s * 3000) / 0,01 m = 1,19 m/s.$$

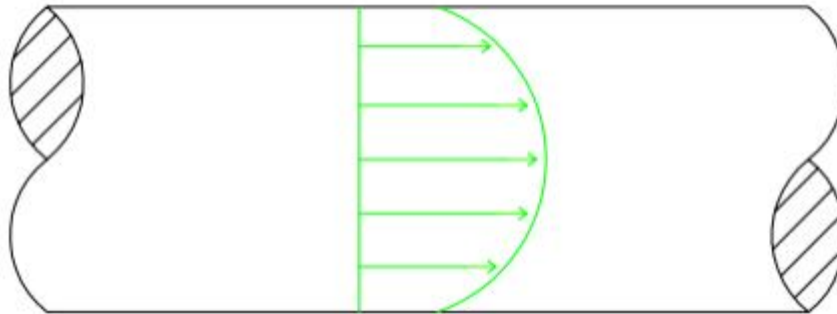
Kun pattereissa on noin 10 mm:n kupariputket ja käytössä on 30 %:n etyleeniglykoli-liuos, on turbulenttisen virtauksen rajanopeus 1,19 m/s, tällöin virtaamaksi saadaan noin 0,09 l/s. Mittausajojen (liite 6) perusteella voidaan laskea, että virtaamalla 1,2 l/s ja

virtausnopeudella 0,9 m/s virtaaman luonne on turbulентtista, kun putken sisähalkaisija on noin 41 mm.

Lämmitys-, jäähdytys- ja LTO-pattereissa virtaus jakaantuu useisiin kiertopiireihin ja jokaisessa yksittäisessä kiertopiirin osassa tulee olla turbulентtinen virtaus, jotta lämmöntalteenotto toimii tehokkaasti. Muuttuvan liuosvirran ohjauksessa tulee tietää, millä pumpun virtauksella edellä mainittu rajanopeus alittuu.



Kuva 2. Turbulenttinen virtaus.



Kuva 3. Laminaarinen virtaus.

3.3 LTO-liuokset

3.3.1 Yleisimmät liuokset nestekiertoisissa LVI-järjestelmissä

Vaihtoehtoja on useita, mutta mikään vaihtoehtoista ei ole ehdottomasti paras (taulukko 3). Liuoksia on glykolipohjaisia, ja ne voidaan jakaa vielä etyleeniglykoliksi ja propyleeniglykoliksi. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin valmistetaan myös liuoksia, jotka valmistetaan kaliumista tai etanolista [11, s. 33]. Fortum valmistaa Thermera-nimistä

lämmönsiirtonestettä, joka on vettä ja betaiinia. Betaiini on ympäristöystävällistä, ja sitä saadaan sivutuotteena, kun valmistetaan sokeria [10, s. 1].

Taulukko 3. Käytettävien lämmönsiirtoaineiden ominaisuuksia [11, s. 33].

Ominaisuus	Betaiini (40–45 p%)	Etanoli (35p%)	Etyleeniglykoli (41 p%)	Kaliumformiaatti (34 p%)	Propyleeniglykoli (44 p%)
Tiheys [kg/m ³] (-15 °C)	1097	966	1068	1232	1051
Lämmönjohtavuus [W/mK] (-15 °C)	0,37	0,37	0,39	0,51	0,37
Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK] (-15 °C)	2,99	4,00	3,34	2,96	3,63
Kinemaattinen viskositeetti [mm ² /s] (-15 °C)	19,7	19,1	11,65	3,41	42,6
Sekoittuvuus veteen	täysin liukeneva	täysin liukeneva	täysin liuke- neva	täysin liukeneva	täysin liukeneva
Haitallisuus (ihmiselle/ympäristölle)	ei haitallinen	ei haitallinen	haitallinen	ei haitallinen	ei haitallinen

Betaiinin edut ovat ympäristöystävällisyydessä. Betaiini on luonnontuote ja se ei ole haitallista ihmisille tai ympäristölle.

Etanoli on yleinen lämmönsiirtoneste; se varastoi paljon lämpöä ja johtaa sitä hyvin. Etanoli ei myöskään ole haitallista ihmisille eikä ympäristölle.

Etyleeniglykoli on yleinen lämmönsiirtoneste, joka käytetään paljon lämmöntalteenottojärjestelmissä. Etanoliiin verrattuna sillä on pienempi kinemaattinen viskositeetti, joten verkoston pumppu ei joudu yhtä kovaan rasitukseen. Etyleeniglykolin haittapuolena on sen haitallisuus ihmisille ja ympäristölle.

Propyleeniglykolilla on etyleeniglykoliin verrattuna huomattavasti suurempi kinemaattinen viskositeetti, mutta se ei ole haitallinen ympäristölle. Propyleeniglykoli soveltuu joihinkin sovelluksiin täten paremmin kuin etyleeniglykoli.

Kaliumformiaatti on lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin ominaisuuksiltaan muita aineita parempi vaihtoehto. Aineen ongelma on sen korroosiovaikutus eli syövyttävyys, kaliumformiaatin kanssa on käytettävä korroosioinhibiittoreita [11, s. 34].

3.3.2 Vesietyleeniglykoliliuos

Pakkaskestävyys on suoraan verrannollinen glykolipitoisuuteen. Kohteesta ja järjestelmästä riippuen glykolipitoisuus vaihtelee noin 10–60 %:n välillä. Glykolipitoisuus olisi hyvä mitoittaa mahdollisimman tarkasti, sillä ominaislämpökapasiteetti laskee merkittävästi, mitä suurempi osa liuksesta on glykolia. Suuri glykolipitoisuus kasvattaa liuoksen tiheyttä ja virtausvastusta sekä heikentää liuoksen lämmönjohtavuutta ja ominaislämpökapasiteettiä. [9, s. 14.]

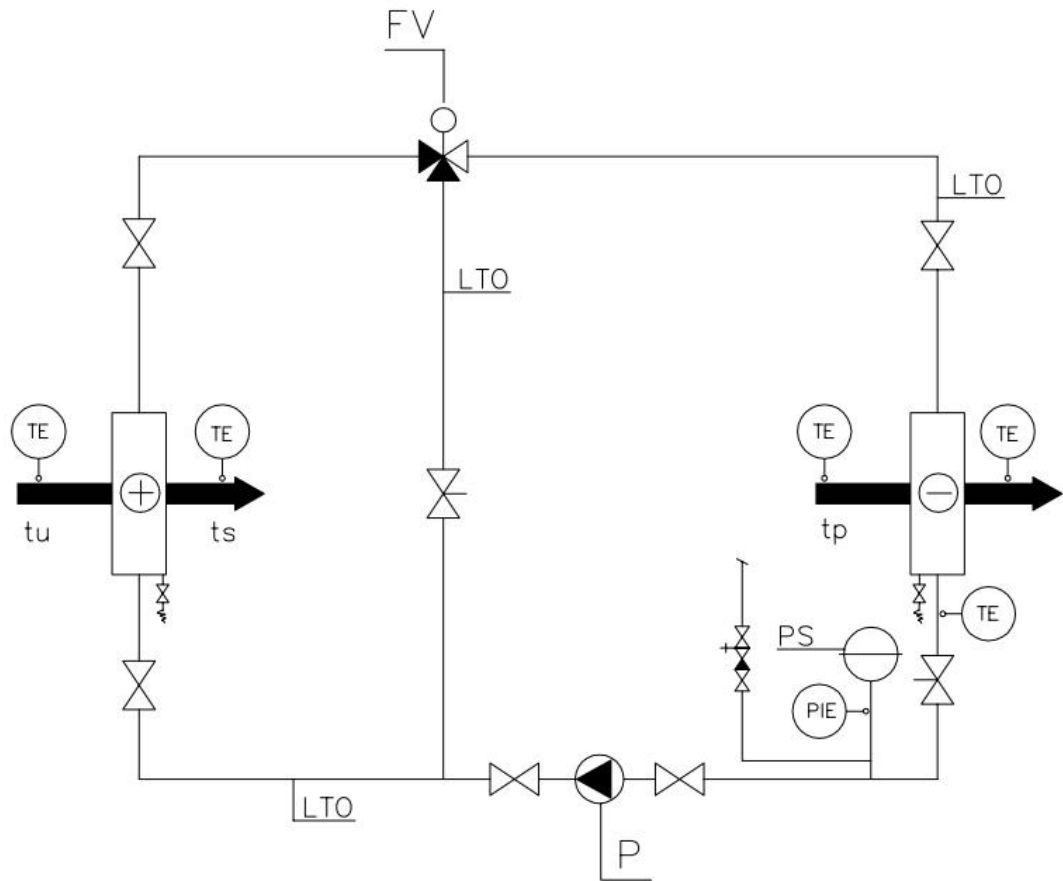
3.3.3 Liuoskierron tyypillisiä ongelmia

Liuoskiertoisessa lämmöntalteenotossa voi esiintyä lukuisia liuoksen tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Liuoksen glykolipitoisuus on helppo sekoittaa väärin, jolloin joko pakkasenkestävyys tai lämmönluovutusominaisuudet kärsivät. Verkostoon voi päästä ilmaa tai likaa, jotka luonnollisesti heikentävät liuoksen ominaisuuksia. Myös väärin mitoitettu järjestelmä voi heikentää järjestelmän tehokkuutta huomattavasti. Jos esimerkiksi lämmöntalteenottopatterin putkikoot ja virtausnopeudet on valittu väärin, voi virtaus olla laminaarista, jolloin lämmönjohtavuus kärsii huomattavasti. Huurtumiseneston, eli LTO-patterilta palaavan nesteen minimilämpötilan väärä asetusarvo voi katkaista nestekierron juuri silloin, kun LTO-järjestelmä toimisi tehokkaimmin. Liuokseen liuennut ilma vaikuttaa heikentävästi liuoksen ominaislämpökapasiteettiin, ja lisäksi se ruostuttaa putkistoa ja vaikeuttaa pumppaustyötä.

3.4 Toteutusmallit

3.4.1 Perinteisen liuoskiertoisen lämmöntalteenoton kytkentä- ja toimintaperiaate

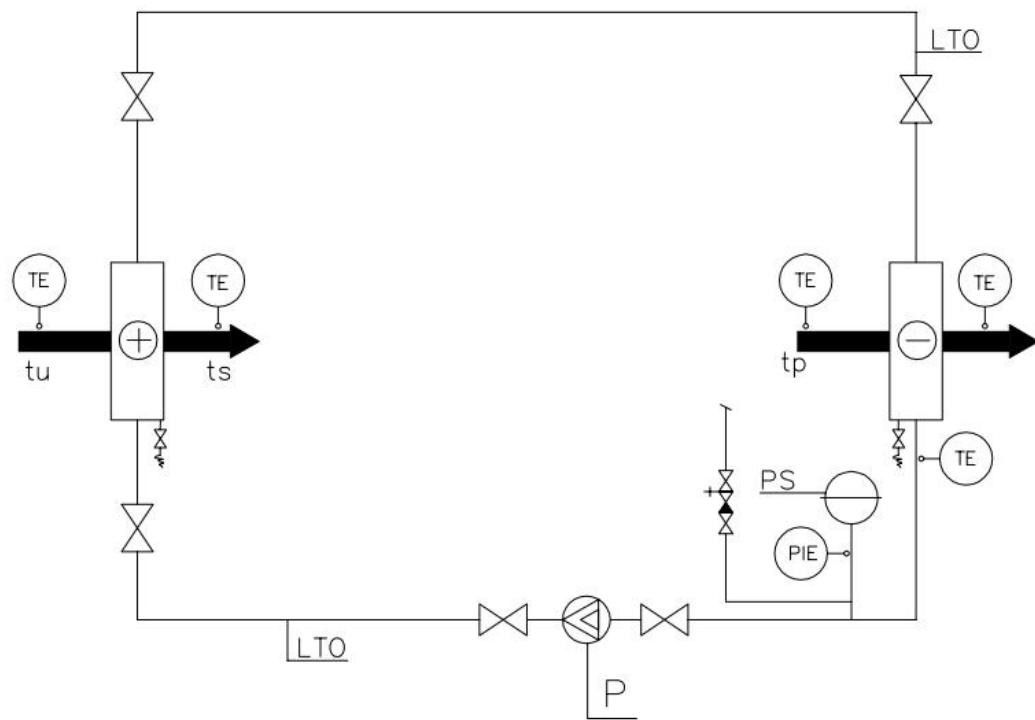
Perinteisesti nestekiertoisen lämmöntalteenotto rakennetaan kolmitieventtiilillä, joka rajoittaa nestekiertoa tarpeen mukaan. Perinteisessä mallissa (kuvio 1) pumppu pitää verkostossa saman virtaaman välittämättä ympäröivistä olosuhteista. Jos liuoksen lämpötila laskee liian alas, ohjaa kolmitieventtiili virtaamaa poistoilmapatterille, jotta poistoilma lämmittäisi liuosta.



Kuvio 1. Perinteinen LTO-järjestelmä.

3.4.2 Uuden liuoskiertoisen lämmöntalteenoton kytkentä- ja toimintaperiaate

Insinööriyössäni käytettävän järjestelmän ideana on poistaa kolmitieventtiili ja vaihtaa pumppu portaattomasti säätäväksi. Periaate uudessa kytkentämallissa (kuvio 2) on sama, mutta huurtumisenesto toimii liuosvirran rajoituksella. Tässä kytkentämallissa yksinkertaistetaan putkikytkentää ja lisäksi virtausvastukset vähenee kun kolmitieventtiili voidaan poistaa. Myös LTO-järjestelmän hankintakustannuksissa säästetään, kolmitieventtiiliä ei tarvita ja putkimetrejä säästyy. Järjestelmä varustetaan aina EC-moottoripumpulla, joka on energiatehokkaampi kuin vanhat AC-moottoripumput. Säästöä syntyy myös, kun verkoston virtaamaa säädetään.



Kuvio 2. Uusi kytkentämalli.

3.5 Huurtumisenesto

3.5.1 Huurtumiseneston teoria

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä huurtumisenesto on pakollinen poistoilmassa olevan kosteuden takia. Poistoilmapatterille tuodaan kylmää liuosta, ja kun lämmin ja kostea poistoilma kohtaa liian kylmän poistoilmapatterin voi patteri alkaa huurtua. Poistoilmapatterin huutuessa haittaa se lämmöntalteenoton toimintaa ja sen huutuessa umpeen ilmanvaihdon poistoilmamäärä romahtaa, sillä koko poistoilmavirta kulkee poistoilmapatterin kautta.

Swegon määrittää liuoksen minimilämpötilan mittaamalla poistoilman kosteuspitoisuuden ja poistoilmapatterin läpi kulkevan liuoksen lämpötilan. Mittauksilla ohjausjärjestelmä määrittää poistopatterille kastepisteen. Swegonin lämmöntalteenottojärjestelmässä liuoksen minimilämpötila on laskennallinen kastepiste, johon lisätään $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kun poistopatterin kastepistettä ei teoriassa koskaan saavuteta, ei poistopatterin pitäisi päästä huurtumaan.

3.5.2 Huurtumiseneston toiminta

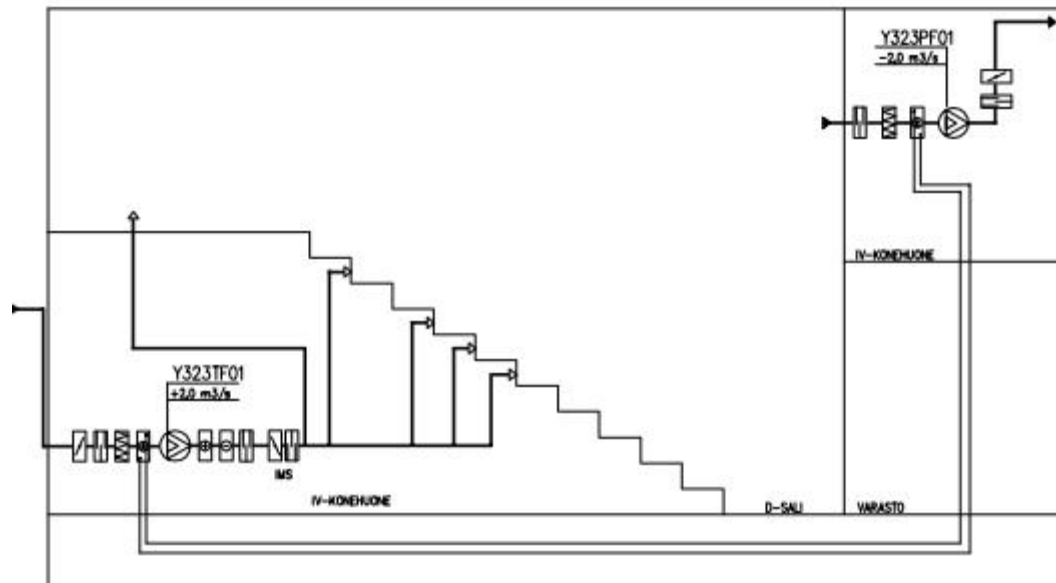
Huurtumisenesto-ohjelma rajoittaa liuosvirtaa tuloilmapatterille. Liuokselle asetetaan minimilämpötila, jonka alituttua sulatusohjelma käynnistyy. Poistoilma on aina lämmin, ja se sulattaa huurtuneen patterin. Yleisesti huurtumisenestolle on määritetty tietty sulatusaika, esimerkiksi 5 minuuttia.

Lämmöntalteenoton poistopatterin yli mitataan paine-eroa. Jos paine-ero kasvaa, tiedetään, että poistopatterissa on jäätä tai jotain joka estää ilmanvirtausta. Sulatusohjelma käynnistyy ja on käynnissä vähintään asetetun minimiajan. Kun paine-ero on laskenut, palautuu järjestelmä toimimaan normaalisäädöillä.

4 Koekohteen kenttämittaukset

4.1 Mittauskohteen kuvaus

Insinööriyön koekohteena on Otaniemessä sijaitseva Aalto-yliopiston kampuksen päärakennus. Koekohteessa on kaksi luentosalia, joita palvelee kaksi identtistä ilmanvaihtokonetta (kuva 4). Ilmanvaihtokoneet on jouduttu tilanpuutteen vuoksi sijoittamaan yhteensä kolmeen eri konehuoneeseen. Poistopuhaltimille, -pattereille ja lämmöntalteenoton kiertopumpuille on yhteinen konehuone, kun tulopuhaltimet ja -patterit on sijoitettu kummatkin omaan konehuoneeseensa.



Kuva 4. D-salin ilmanvaihtokaavio.

4.2 Mittausten tarkoitus

Mittauksissa verrataan kahta identtistä vesietyleeniglykoliliuoslämmöntalteenotolla varustettua ilmanvaihtokonetta toisiinsa. Toisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottojärjestelmän kytkentää ja toimintaa muutetaan liitteessä 1 esitetyn mukaiseksi.

Mittausten tarkoituksena on tutkia uudella kytkentätavalla toimivan lämmöntalteenoton toimivuutta. Liitteessä 1 kuvatussa kytkentäkaaviossa saataisiin nykyistä nestekiertoisen lämmöntalteenoton kytkentää yksinkertaistettua ja tutkittua sen vaikutusta hankinta- ja käyttökustannuksiin.

4.3 Mittaussuunnitelma

Ilman ja liuoksen lämpötiloja mitataan kummastakin ilmanvaihtokoneesta ilmanvaihdon- ja nestekierron eri vaiheista. Lämpötilat mitataan kahdella eri tekniikalla, jotta saadaan luotettavia tuloksia. Kohteessa automatiikkaa valvoo Fidelix Oy, joka toimittaa halutut mittaustulokset sähköisesti excel-taulukkoina. Lisäksi kohteeseen viedään data-loggerit, jotka asetetaan mittaamaan lämpötila 10 minuutin välein. Kummastakin järjestelmästä mitataan lämpötiloja kuudesta eri mittauspisteestä. Ilmanvaihtokoneesta mita-

taan raitis-, tulo-, poisto- ja jäteilmanlämpötilat sekä liuoksen lämpötilat ennen ja jälkeen poistoilmapatterin. Mittauspisteet on merkitty kytkentäkaavioon (liite 1). Lämmöntalteenoton liuoksen pakkaskestävyys ja painoprosentti selvitetään kummastakin järjestelmästä. Verkostojen teoreettinen virtaaman tueksi myös virtaamat mitataan paine-eromittarilla. Lisäksi kummankin lämmöntalteenottojärjestelmien pumppujen sähkönot-tohhot mitataan.

4.4 Mittausjärjestelyt

Lämmöntalteenottojärjestelmissä oli alkuperäisesti asennettuna Grundfos UPS 40-180 -pumput (kuva 5). Jotta uusi kytkentämalli olisi mahdollinen, tarvitaan pumppu, joka pystyy muuttamaan virtaamaa tarpeen mukaisesti. Toinen pumppu vaihdettiin uuteen Grundfos Magna3 40-180 -pumppuun (kuva 6), joka soveltuu uuteen kytkentämalliin. Lämmöntalteenoton kolmitieventtiili asetettiin asentoon, jossa se on täysin auki; tällä keinolla simuloidaan uutta kytkentämallia. Saleissa oli tarpeen mukainen ilmanvaihto, mutta mittauksen ajaksi ilmapirrat asetettiin toimimaan samoilla käyttöajoilla ja tehoilla.

Rakennusautomaatioon tehtiin muutoksia ja pumpulle asetettiin minimi- ja maksimivirtaama. Huurtumisenesto-ohjelmaa muokattiin järjestelmässä, jonka kytkentää muutettiin. Uudessa ohjelmassa liuosvirtaama lasketaan minimiin määrääjaksi, kun perinteisesti kolmitieventtiili rajoittaisi liuoksen virtaamaa tuloilmapatterille.



Kuva 5. Vanha pumppu.



Kuva 6. Uusi pumppu.

4.5 Mittaustekniikka ja -laitteisto

Lämpötilojen mittauksiin käytetään Eltekin dataloggereita (kuva 7), jotka mittaavat ja tallentavat halutut lämpötilat. Dataloggeriin asetetaan aikamääre, jonka mukaisin välein laite mittaa halutun lämpötilan ja tallentaa sen järjestelmäänsä. Datalogger-mittauksien ohessa tehdään varmentavia kertamittauksia, jotta voidaan todeta tuloksien olevan luotettavia.

Lämpötila-anturit sijoitettiin olemassa oleviin mittaustaskuihin sekä putken ja eristeen väliin. Ensimmäisenä mittauspäivänä varmistetaan, että mittaus- ja koejärjestelyt toimivat vaarantamatta ilmanvaihtokoneen perustoimintoja.

Sähkönottotehojen mittauksessa on mukana henkilö sähköosastolta. Vanhan pumpun ottama virta mitattiin pihtiampeerimittarilla ja mittaustuloksesta laskettiin teoreettinen sähkönkulutus mittausjaksolta. Uudessa pumpussa on sisäänrakennettu sähkönkulutuksen mittaus.

Liuoksista otetaan näytteet ja niiden pakkaskestävyys selvitetään optisella glykolikoettimella. Koetin kertoo aineen pakkaskestävyyden, jonka perusteella selvitetään liuoksen painoprosentti.

Liuosvirtaamat mitataan TA-CBI -paine-eromittarilla. Verkostossa on linjasäätöventtiili, josta saadaan mitattua verkoston paine-ero. TA-CBI laitteeseen asetetaan verkostossa kiertävän liuoksen ominaisuudet (liuos, painoprosentti, lämpötila) sekä linjasäätöventtiilin malli ja koko. Laite laskee syötettyjen lähtötietojen perusteella liuoksen virtaaman.



Kuva 7. Datalogger ja poistoilmapatteri.

4.6 Mittaustulokset

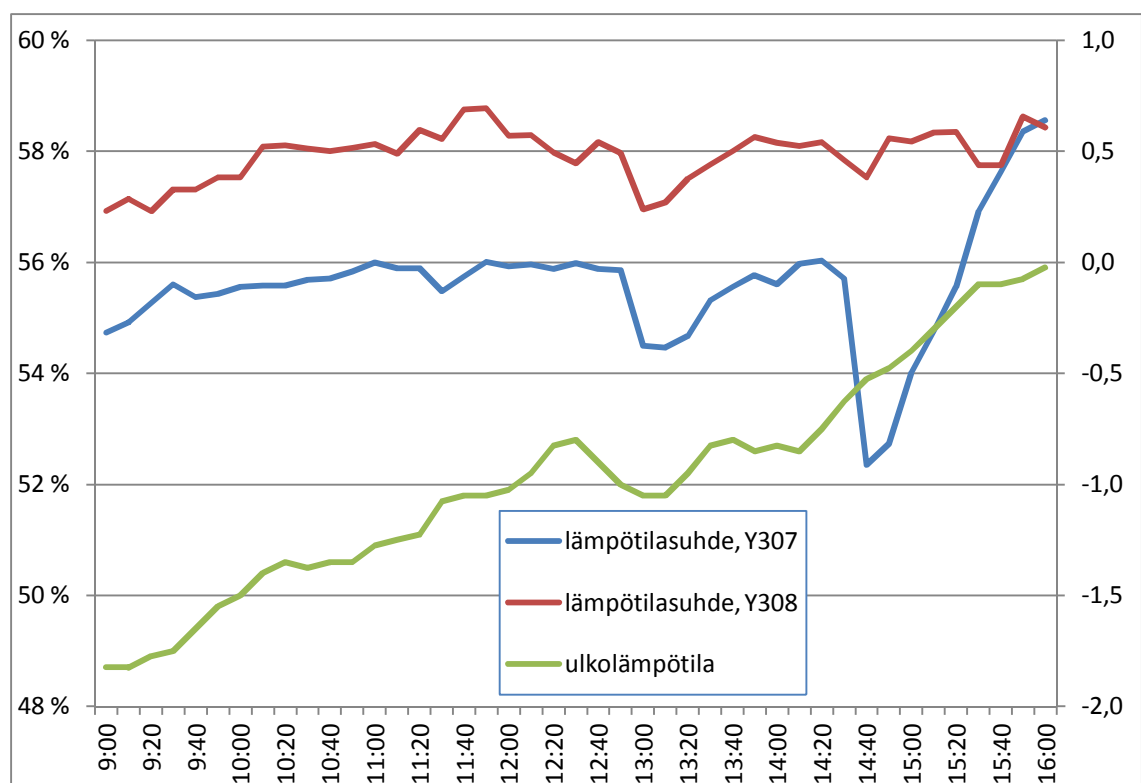
Mittauspöytäkirjaan kerättiin kaikki mittausdata, joka analysoitiin ja käsiteltiin. Yksittäiset mittaustulokset esitetään kuvin tai tekstimuodossa.

Tilojen käytöstä saatiin lukujärjestykset. Lukujärjestyksen perusteella valittiin insinööri-työhön sopivia ja vertailukelpoisia aikoja.

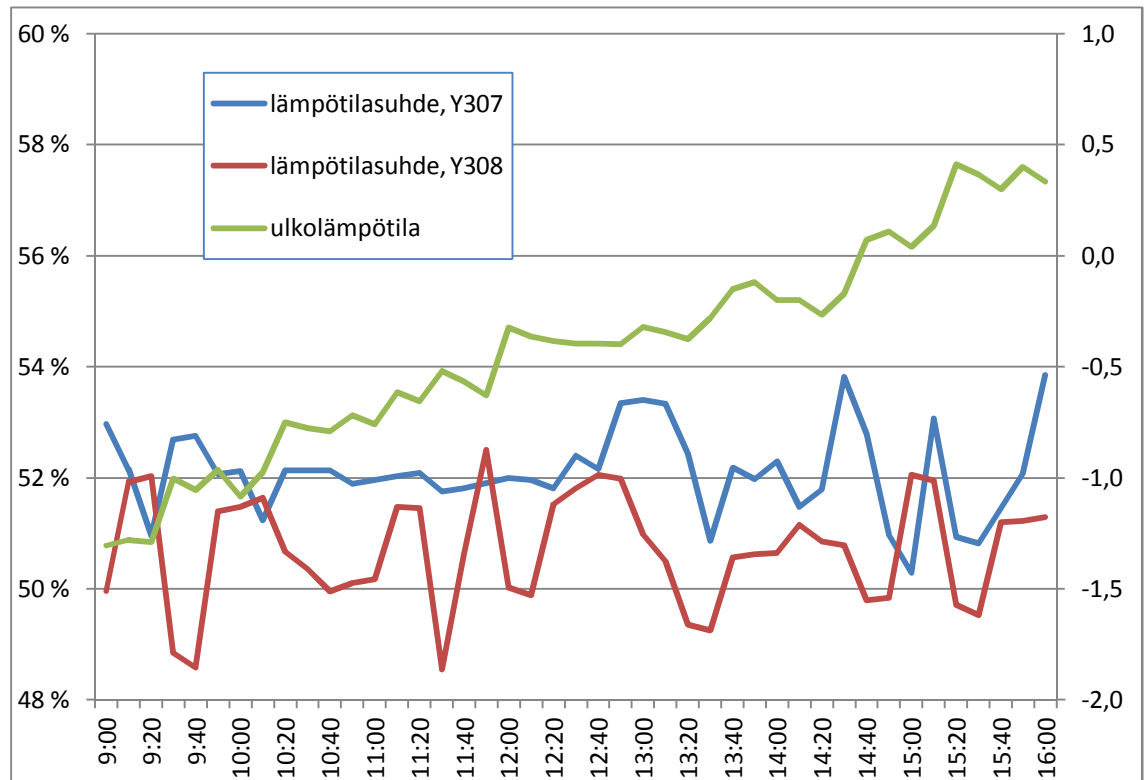
4.6.1 Ilman lämpötilat

Saaduilla ilman lämpötilamittauksilla lasketaan lämmöntalteenottojärjestelmien lämpösuhdetta ja verrataan, miten järjestelmät toimivat toisiinsa verrattuna. Lämpötilat on listattu excel-taulukkoon, jossa on päivämäärä, kellonaika ja mitatut lämpötilat. Tarkat tulokset ovat liitteissä 2–5.

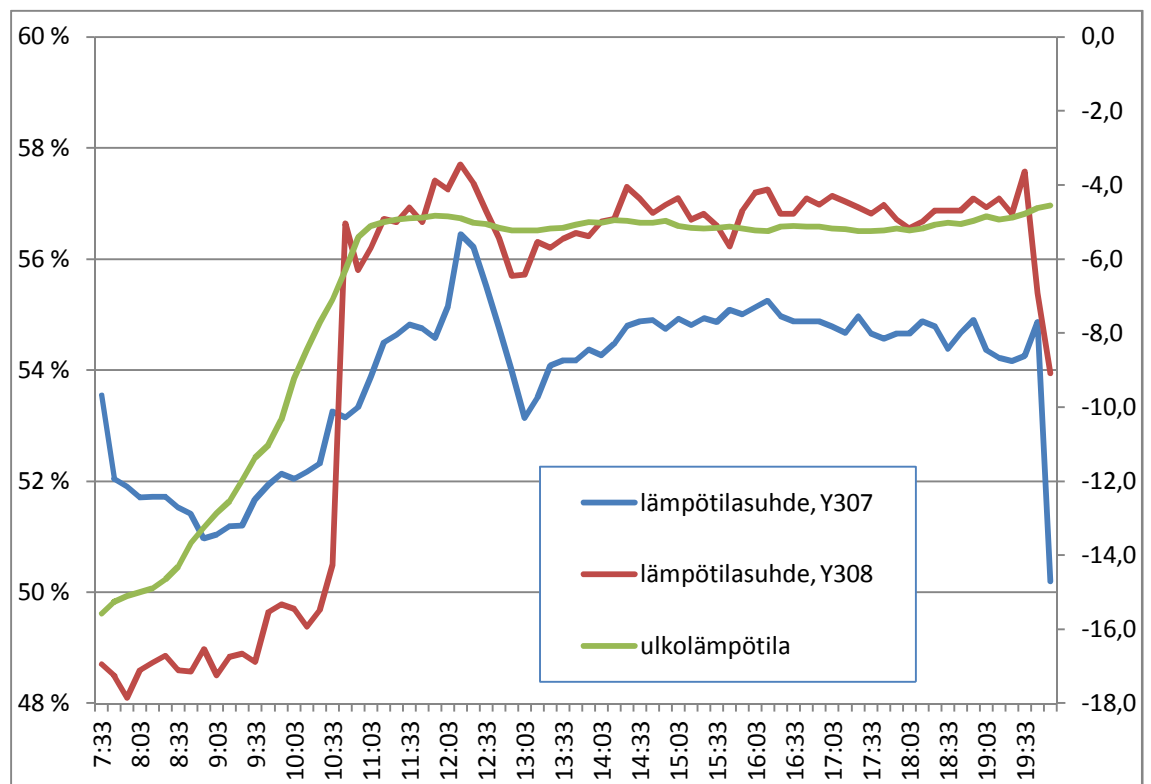
Lämmöntalteenoton lämpösuhdetta tarkastellaan, kun molemmissa saleissa on samanlainen tilanne. Mittaustuloksista on pääteltävissä, että molempien järjestelmien tuloilmapatterit toimivat yleensä hieman yli 50 %:n lämpötilasuhteella. Mittaustulokset ovat suuntaa näyttäviä, eikä niitä voi pitää absoluuttisina totuuksina. Dataloggereilla mitatuista lämpötiloista (kuvat 8 ja 10) lasketut lämpötilasuhteet näyttävät että Y307 (muokattu lämmöntalteenottojärjestelmä) olisi lämpötilasuhteeltaan heikempi kuin alkuperäinen. Fidelix Oy:n mittaustuloksista (kuvat 9 ja 11) lasketut lämpötilasuhteet kertovat taas, että Y307:n lämpötilasuhteet ovat paremmat. Mittausjaksolla lämmöntalteenottojärjestelmän nestekierron lämpötila ei laskenut tarpeeksi alas, jotta huurtumisenesto-ohjelma olisi käynnistynyt.



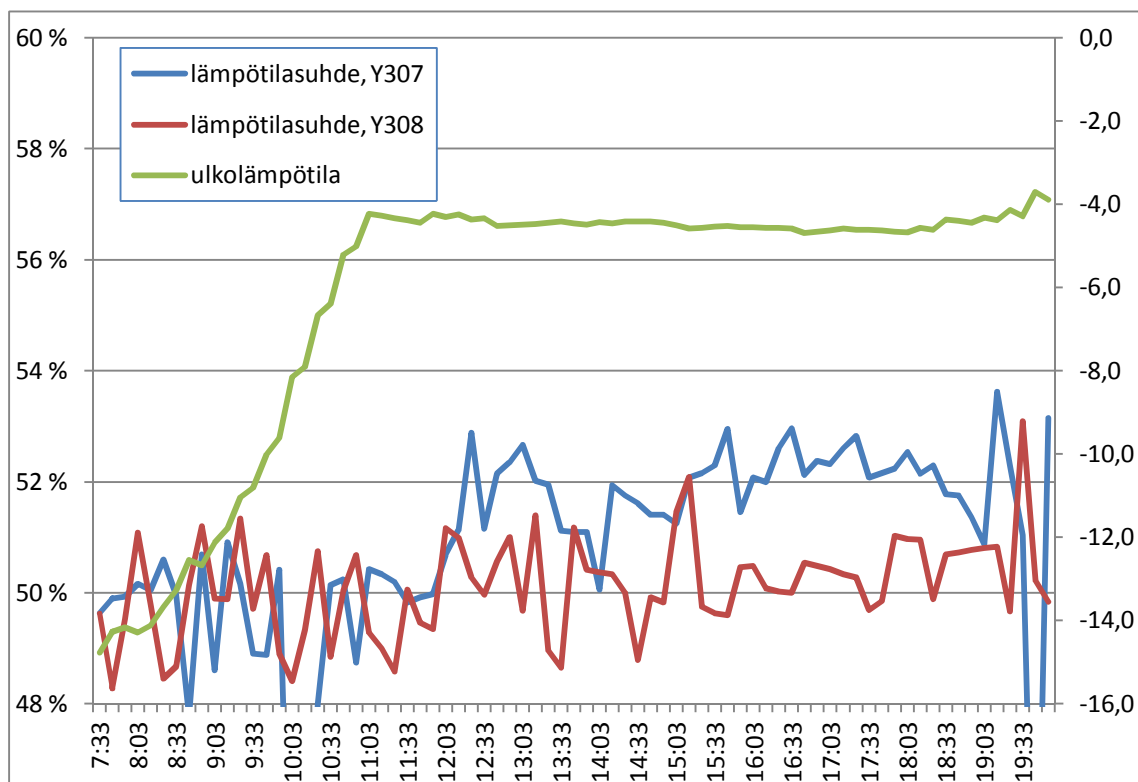
Kuva 8. 5.3.2013, kello 09:00–16:00. Lämpötilasuhte, mitattu dataloggerilla.



Kuva 9. 5.3.2013, kello 09:00–16:00. Lämpötilasuhde, tiedot välittänyt Fidelix Oy.



Kuva 10. 4.3.2013, kello 07:30–17:00. Lämpötilasuhde, mitattu dataloggerilla.



Kuva 11. 4.3.2013, kello 07:30–17:00. Lämpötilasuhde, tiedot välittänyt Fidelix Oy.

4.6.2 Sähkön ottotehot

Lämmöntalteenottojärjestelmien pumppujen sähkönottotehot mitattiin ja tuloksilla saimme tietoa energiakulutuksista.

Uudesta EC-moottoripumpusta saatiin sähkönottotehoksi 88 kWh. Tieto perustuu pumpun omaan sähkönkulutusmittaukseen. Vanhan pumpun sähkövirta mitattiin pihtiampeerimittarilla ja tulokseksi saatiin 0,79 A. Tällä virralla ja samoilla käyttötunneilla sähkönottotehoksi saadaan 73 kWh.

Mittauksista voidaan päätellä, että EC-moottoripumppu on ollut koko ajan täydellä teholla. EC-moottoripumpun suuremman sähkönottotehon selittää pumpun suurempi virtaama. Tavoitteena oli saada uusi EC-moottoripumppu toimimaan samalla virtaamalla kuin verrattavana oleva pumppu, mutta tämä ei käynyt toteen. Kun AC- ja EC-moottoripumput toimivat samalla vakiovirtaamalla verkostossa, jossa on yhtä paljon painehäviöitä, toimii EC-moottoripumppu energiatehokkaammin. EC-moottoripumpun säästöpotentiaali realisoituu, kun pumpun tehoa tarvitsee säätää. Nestekiertoisessa

lämmöntalteenottojärjestelmässä tällainen pumpun tehonsäätötilanne on silloin, kun ulkoilma alkaa lämmetä ja lämmöntalteenoton lämpötilasuhde heikentyy.

4.6.3 Etyleeniglykolin ominaisuudet

Kummastakin verkostosta otettiin näytteet, joista selvitettiin kummankin liuoksen pakkaskestävyys. Alkuperäisessä lämmöntalteenottojärjestelmässä (Y308) käytetyn liuoksen pakkaskestävyydeksi mitattiin $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Muokatun lämmöntalteenottojärjestelmän liuoksen pakkaskestävyydeksi mitattiin $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Painoprosenttien selvittämiseksi käytettiin TA Select II -ohjelmistoa. (Kuvat 12 ja 13.)



Nesteen ominaisuudet

Lämpötila: 0.0 °C

Lisäaine ryhmä: Glykolit

Lisäaine nimi: Etyleeni Glykoli

Painoprosentti: 33.4

Tiheys: 1050.7 kg/m³

Kinemaattinen viskositeetti: 4.5396e-6 m²/s

Ominaislämpö: 3591.2 J/kg.K

Jäätymispiste (ilm. paine.): -17.5 °C

OK

Peruuta

Varoitus: tarkista aina lisäaineen toimittajalta sen soveltuvuus käytetyille venttiilimateriaaleille.

Kuva 12. Y307-lämmöntalteenottojärjestelmässä käytetyn liuoksen ominaisuudet.

Nesteen ominaisuudet

Lämpötila
0.0 °C

Lisäaine ryhmä
Glykolit

Lisäaine nimi
Etyleeni Glykoli

Painoprosentti
19.1

Tiheys
1028.1 kg/m³

Kinemaattinen viskositeetti
3.0295e-6 m²/s

Ominaislämpö
3903.4 J/kg.K

Jäätymispiste (ilm. paine.)
-7.5 °C

Varoitus: tarkista aina lisäaineen toimittajalta sen soveltuvuus käytetyille venttiilimateriaaleille.

OK
Peruuta

Kuva 13. Y308-lämmöntalteenottojärjestelmässä käytetyn liuoksen ominaisuudet.

Liuoksien välillä on merkittävä ero kun verrataan pumppauksen tehon tarvetta. Perinteisessä kytkentämallisissa (Y308) käytetty liuos on painoprosenttiltaan reilusti pienempi. Suurempi painoprosentti vaikuttaa suurentamalla liuoksen tiheyttä ja kinemaattista viskositeettia ja laskemalla liuoksen ominaislämpökapasiteettia. Pienempi painoprosentti- nen liuos vaatii siis vähemmän tehoa pumpulta, ja liuos sitoo paremmin lämpöä verrattuna vahvempaan liuokseen.

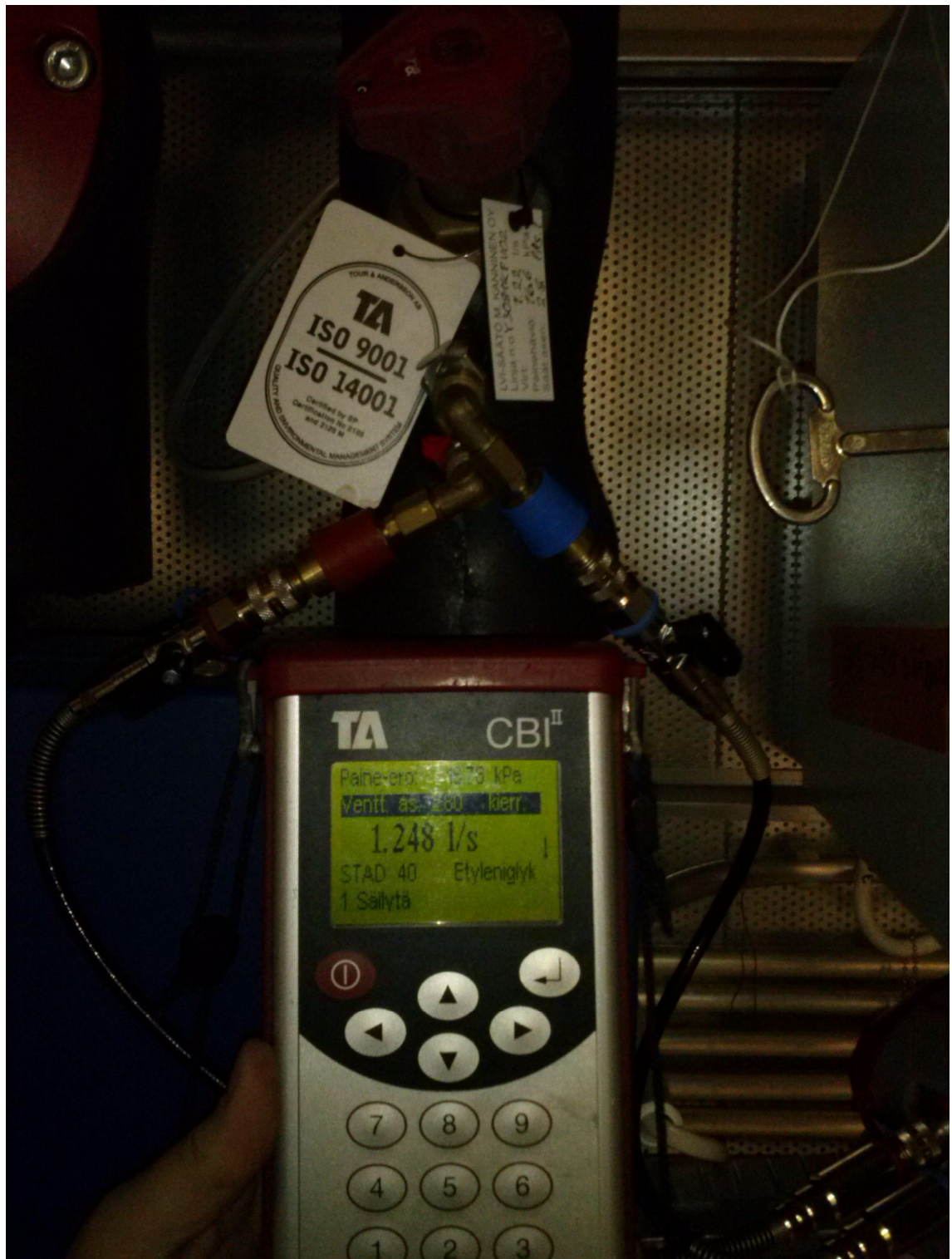
4.6.4 Lämmöntalteenottojärjestelmän liuosvirtaamat

Lämmöntalteenottojärjestelmien liuosvirtaamille tehtiin tarkastusmittaukset. Alkuperäisen lämmöntalteenottojärjestelmän liuosvirtaamaksi saatiin 1,25 l/s (kuva 15) ja muokatun järjestelmän liuosvirtaamaksi saatiin 1,44 l/s (kuva 14). Alkuperäisesti järjestelmissä liuosvirtaamaksi oli ilmoitettu 1,2 l/s.

Uuden pumpun liian suuri virtaama lisää pumpun tekemää työtä, ja tämä vaikuttaa suoraan sähkön ottotehoon. Linjasäätöventtiilistä mitattu paine-ero 22,4 kPa on varsin suuri, ja se selittää uuden pumpun suurehkoa sähkön ottotehoa verrattuna vanhaan pumppuun.



Kuva 14. Uuden pumpun virtaama.



Kuva 15. Vanhan pumpun virtaama.

4.6.5 Mittaustulosten virhetarkastelu

Koekohteen lämmöntalteenottojärjestelmän liuoksien etyleeniglykoli painoprosentit eroavat toisistaan melko paljon. Tämä vaikuttaa liuoksen viskositeettiin ja tiheyteen, eli virtausvastukseen ja täten lisää pumpun työmäärää. Myös lämmönjohtavuus huononee mitä suurempi painoprosentti liuoksessa on.

Ilmanvaihdon raitisilmaaukot ovat eri puolella rakennusta, joten raitisilman lämpötiloissa on eroja ilmanvaihtokoneiden välillä. Raitisilman lämpötilaan voi vaikuttaa mahdollinen auringon paiste tai esimerkiksi joku läheisyydessä oleva poistoilmaaukko. Kahden eri mittausjärjestelyn välillä voi huomata noin kahden prosenttiyksikön eroavaisuuden lämpötilasuhteissa, tämän selittävät rakennusautomaation mittauspisteet. Rakennusautomaation mittauspisteistä ei ole tarkkaa tietoa, joten tulosten tarkastelussa luottaisin dataloggereilla mitattuihin tuloksiin.

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton liuosvirtaamat eroavat toisistaan. Tämä vaikuttaa pumpun tekemään työhön ja näin ollen sähkön ottotehoon. Liuosvirtaama vaikuttaa myös lämmönluovutukseen, sillä patterit ovat mitoitettu tietyille virtaamille.

Swegonilta saatujen mitoitusajojen (liitteet 5, 6, 7 ja 8) perusteella muokatussa lämmöntalteenottojärjestelmän pattereissa on noin 130 kPa:n painehäviöt 33,4 painoprosentin etyleeniglykolipitoisuudella ja virtaamalla 1,44 l/s. Vastaavasti muokkaamattoman verkoston pattereista tulee painehäviöitä 92 kPa, kun verkostossa on 19,1 painoprosenttista etyleeniglykoliliuosta ja virtaama on 1,25 l/s. Edellä mainituista mitoitusajoista voidaan päätellä, että tässä insinööriyössä mitattu EC-pumpun ottoteho on liian suuri. Kun pumpun virtaama on patterien mukaan mitoitettu, patterien laskennalliseksi painehäviöksi saadaan 92 kPa.

Kaavalla 6 saadaan laskettua pumpun ottoteho, kun oletetaan, että pumpun kokonaisyötysuhde on vakio [14, s. 234]. Tarkastellessa kaavaa voidaan todeta, että pumpun ottoteho on suoraan verrannollinen virtaamaan ja kokonaispaineen tuloon. Mitoitusajoista saaduista tiedoista voidaan laskea, paljonko uuden pumpun sähkön ottoteho olisi, kun verkostossa olisi oikea virtaama ja samat painehäviöt kuin alkuperäisessä verkostossa. Taulukosta (taulukko 4) voidaan huomata, että mitoitetuissa olosuhteissa EC-pumpun sähkönottoteho olisi 66 % mitatusta, eli 58 kWh. Säästöpotentiaalia pelkällä pumpun vaihdolla olisi noin 20 %.

Taulukko 4. Pumppujen toimintapisteet ja laskennallinen sähkönottoteho EC-pumpulle.

MAGNA3 40-180 F

mitattu sähkönotto, P_s	88	kWh
pumpun teho, P	657	W
liuoksen painoprosentti	33,4	%p
virtaama, q_v	0,00144	m ³ /s
verkoston painehäviöt, Δp	162000	Pa
patterien painehäviöt, Δp	131000	Pa
käyttötunnit	134	h

UPS 40-185 F

mitattu sähkönotto, P_s	73	kWh
pumpun teho, P	545	W
liuoksen painoprosentti	19,1	%p
virtaama, q_v	0,00125	m ³ /s
verkoston painehäviöt, Δp	123000	Pa
patterien painehäviöt, Δp	92000	Pa
käyttötunnit	134	h

tavoiteltu toimintapiste / mitattu toimintapiste	66 %
suhteutettu sähkönotto	58,0 kWh

$$P_s = \frac{q_v * \Delta p_t}{\eta}$$

(6)

P_s on pumpun vaatima sähköteho, W

q_v on tilavuusvirta, m³/s

Δp_t on verkoston kokonaispaine, Pa

η on pumpun kokonaishyötysuhde.

5 Päätelmät

Uusi kytkentämalli toimii, ja sillä on potentiaalia säästää hankinta- ja käyttökustannuksissa. Kun nestekiertoinen lämmöntalteenotto rakennetaan ilman kolmitieventtiiliä ja linjasäätöventtiilejä, verkoston painehäviöt ja virtausvastukset laskevat. Optimaalisessa

tilanteessa, eli kun putkistosta on karsittu ylimääräiset osat, sähkön ottoteho on pienempi kuin insinööriyössä on mitattu.

Uusi kytkentämalli ja EC-moottoripumppu pääsevät optiselle säästöalueelle, kun pumpun virtaamaa halutaan säätää. Näitä tilanteita on silloin kun lämmöntalteenoton lämpötilasuhde heikentyy tai poistopatterin sulatusohjelma on päällä. Virtaamaa säädettäessä säästetään pumppauksessa käytettävää energiaa, kun sitä verrataan vakiovirralla toimivaan pumppuun.

Uudesta kytkentämallista painehäviöt laskee noin 25 kPa, kun kolmitieventtiili ja virtausta kuristava linjasäätöventtiili poistetaan. Tällöin voidaan laskea uuden ja vanhan kytkentämallin välinen suhde kaavan 6 mukaan. Tulokseksi saadaan, että sähkönotto-tehossa säästöpotentiaalia olisi noin 20 %.

Uusi kytkentämalli toimii ainakin eteläisessä Suomessa. Jos kytkentämalli halutaan viedä arktisiin olosuhteisiin, pitää kytkentämallia tutkia lisää. Vertaillessa kahden eri lämmöntalteenottojärjestelmän kytkentämallien lämpötilasuhteita ei niissä ollut käytännössä eroa. Kun verrataan mittaustuloksia ja niistä saatuja tuloksia, voidaan huomata, että raitisilman lämpötiloissa on noin asteen ero kahden mittaustavan välillä. Tällä on suora vaikutus lämpötilasuhteeseen, ja se näkyy kuvaajissa ja taulukoissa muutaman prosentin erona. Uusi kytkentämalli toimii yhtä tehokkaasti kuin vanhakin, tosin insinööriyön aikana emme saaneet otantaa kaikista mahdollisista ulkolämpötiloista.

5.1 Edut ja ongelmat uudessa lämmöntalteenoton kytkentämallissa

Perinteinen kytkentämalli on käytössä toimintavarma, tälle kytkentämallille ainoa ongelmatilanne on, jos pumppu hajoaa kovalla pakkasella. Tällöin on mahdollista, että tulopatterissa paikallaan oleva liuos jäätyy ja rikkoo patterin. Tosin oikein valitun ja tehdyn liuoksen ei pitäisi aiheuttaa ongelmia, sillä liuoksen pakkaskestävyyden tulisi olla riittävä edellä mainittuun tilanteeseen.

Uusi kytkentämalli on edullisempi hankkia, ja sen verkostoon tulee vähemmän painehäviöitä, esimerkiksi linjasäätöventtiiliä ja kolmitieventtiiliä ei verkostossa tarvittaisi. Tällöin säästetään pumpun käytössä ja pumpun hankintahinnassa, kun voidaan valita pienempitehoinen pumppu.

Uuden kytkentämallin kanssa voi tulla ongelmia; ainakin teoriassa poistopatteri voi jäättyä. Jos ulkolämpötila on todella kylmää pitkän aikaa, voi liuoksen lämpötila laskea tulopatterin jälkeen liian alhaiseksi. Ongelman voisi ratkaista esimerkiksi sulatusohjelman käynnistyessä raitisilman ilmavirtaa rajoittamalla. Tällöin liuos lämpiäisi poistopatterilla enemmän kuin tulopatteri viilentäisi sitä. Toinen ratkaisu ongelmaan voisi olla tuloilmapatterin kiertäminen ohitusjohdolla ja liuosvirtaaman syöttäminen tätä kautta esimerkiksi magneettiventtiilillä. Tällöin toiminta voitaisiin varmistaa, kun liuosvirtaamaa säättämällä ei liuoksen lämpötilaa pystytä nostamaan.

5.2 Liuoksen pakkaskestävyyden valinta

Liuoksen etyleeniglykolipitoisuuden valinta on optimaalisen lämmöntalteenottojärjestelmän mitoituksessa tärkeää. Liian laimeaa seosta ei voi valita, koska silloin liuoksen jäätyminen riski kasvaa. Toisaalta yhtään liian suurta suhdetta ei kannata valita, se tuo vaikuttaa negatiivisesti niin ominaislämpökapasiteettiin, lämmönsiirtymiseen kuin virtausvastukseen. Ilman poistamiseen liuoksesta tulee myös kiinnittää huomiota, sillä ilma vaikeuttaa liuoskiertoa ja sen ominaislämpökapasiteettia.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä muutettiin nestekiertoisen lämmöntalteenoton kytkentämallia ja tutkittiin sen toimintaa verraten sitä perinteiseen kytkentään. Uusi kytkentämalli toimii, mutta kahden viikon mittausjaksolla pumppauskuluissa ei tullut säästöjä. Potentiaalia säästöihin on, kun verkostosta poistetaan ylimääräiset virtausvastukset. Lisäksi säästöjä saadaan, kun olosuhteet lämmöntalteenotolle heikentyvät ja liuosvirtaa voidaan laskea.

Lämmöntalteenoton tulopatterin lämpötilasuhde oli molemmissa lämmöntalteenottojärjestelmissä samansuuruisia, noin 53 %. Eroja järjestelmien välille aiheuttavat ulko-, tulo- ja poistolämpötilat sekä etyleeniglykolin painoprosentti.

Liuospitoisuuksia tutkiessa huomattiin toisen verkoston liuoksen olevan pakkaskestävyydeltään vaarallisen matalalla. Liuoksen lämpötila laski matalimmillaan $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$:een, kun liuoksen pakkaskestävyys on $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

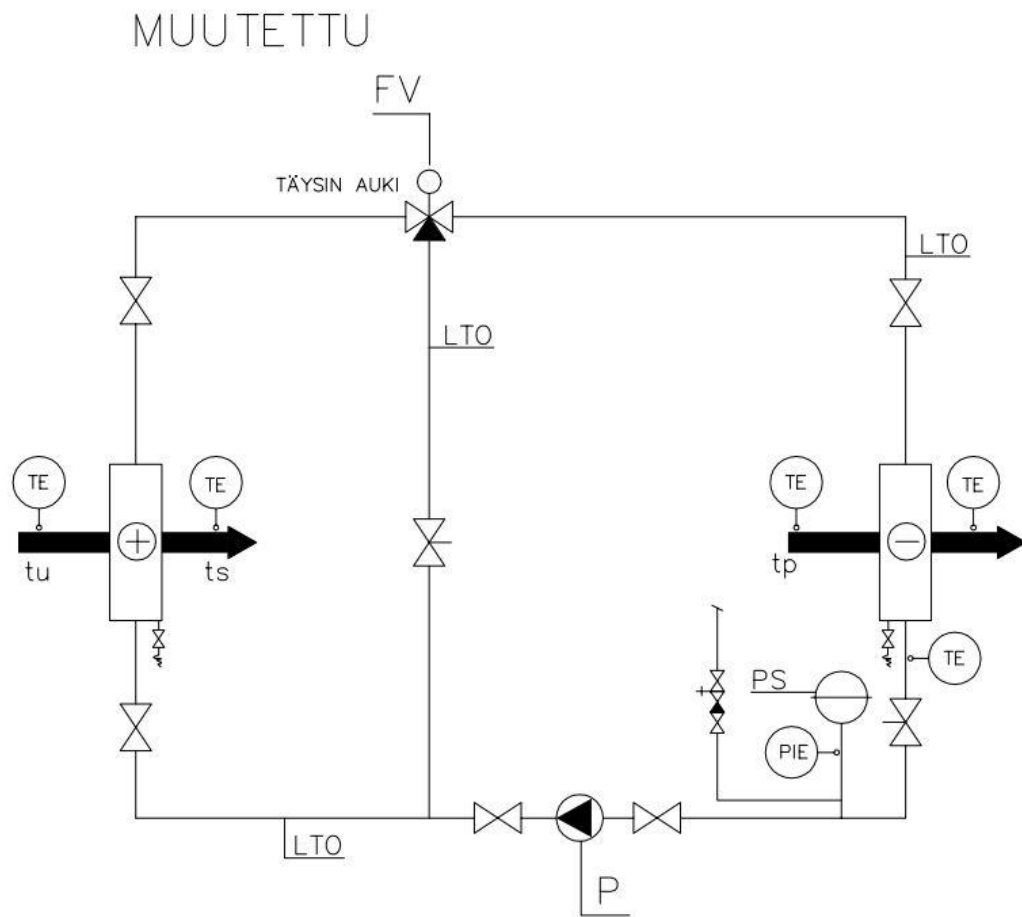
Insinööriyön tavoitteiden voidaan katsoa täyttyneen. Uusi kytkentämalli toimii, ja sillä on säästöpotentiaalia, vaikka mittausjaksolla sitä ei pystytty realisoimaan. Teoreettisesti pumppauskuluissa voitaisiin säästää noin 20 %, kun verkostosta poistetaan ylimääräiset painehäviöitä aiheuttavat osat ja verkoston virtaama on säädetty oikein. Jotta kytkentämallia voitaisiin käyttää missä vain, joudutaan kytkentämallia tutkimaan lisää laboratorio-olosuhteissa.

Lähteet

- 1 Lyhyesti EC-tekniikasta. 2007. Verkkodokumentti. Systemair.
<<http://www1.systemair.com/fi/Suomi/Systemairin-tuotteet/Ajankohtaista/EC/>>.
Luettu 21.1.2013.
- 2 Ruusunen, Matias. 2012. Uuden puhallintekniikan energiataloudelliset hyödyt saneerauskohteessa. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 3 Mänttari, Ville. 2011. Energiatehokkaan kiertovesipumpun määrittäminen LVI-suunnittelussa. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 4 Eup-direktiivi ja sen vaikutus kiertovesipumppuihin. 2011. Verkkodokumentti. Grundfos. <<http://energy.grundfos.com/fi/lainsaadaentoe/eup-direktiivi-saehkoemootorit>>. Luettu 21.1.2013
- 5 Lätti, Aleksei. 2011. Pölynpoisto ja lämmöntalteenotto vaneritehtaan kuumapuristimen poistoilmasta. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 6 Nyyssölä, Harri. 2013. Ryhmäpäällikkö, Kunnossapito-osasto, Granlund Oy, Helsinki. Keskustelu 11.3.2013.
- 7 LTO-vuosihyötysuhteen laskenta. 2010. Verkkodokumentti. SIY Sisäilmatieto Oy. <<http://teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/lto-vuosihy-tysuhteen-laskenta.html>>. Luettu 9.3.2013.
- 8 RakMK D5. 2007. Verkkodokumentti. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö.
<<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>>. Luettu 21.1.2013.
- 9 Niemi, Kerkko. 2012. Aurinkojäähdytysjärjestelmän toteutus. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 10 Thermera AC & Thermera R. 2007. Verkkodokumentti. Dehon service SA. <http://www.climalife.dehon.com/uploads/media/3/407/407_286_thermera-fd-uk-08-pdf.pdf>. Luettu 12.3.2013.
- 11 Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2009. Verkkodokumentti. Suomen ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108367>>. Luettu 12.3.2013.
- 12 Nuora, Harri. 2008. Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

- 13 Lesonen, Mikko. 2010. Prosessilaboratorion esisuunnitelma. Opinnäytetyö. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.
- 14 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Helsinki. Suomen LVI-liitto.
- 15 Hannula, Niko. 2010. Pumppujen hyötysuhteen arviointi hankesuunnitteluvaiheessa. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Muutettu kytkentä



Lämpötilasuhdelaskelma 5.3.2013, Fidelix Oy

Lämpötilasuhdelaskelmat, Fidelix Oy.

Mitattu: 5.3.2013, klo. 9-16

Pvm & aika	Y307 poisto	Y307 ulko	Y307 Tulo	lämpötilasuhde
9:00	19,94	-1,09	10,05	53 %
9:10	20,03	-0,97	9,98	52 %
9:20	20,39	-0,94	9,93	51 %
9:30	20,49	-0,9	10,37	53 %
9:40	20,45	-0,95	10,34	53 %
9:50	20,41	-0,7	10,29	52 %
10:00	20,5	-0,89	10,26	52 %
10:10	20,5	-0,6	10,21	51 %
10:20	20,5	-0,6	10,4	52 %
10:30	20,5	-0,6	10,4	52 %
10:40	20,5	-0,6	10,4	52 %
10:50	20,42	-0,41	10,4	52 %
11:00	20,44	-0,46	10,4	52 %
11:10	20,47	-0,52	10,4	52 %
11:20	20,49	-0,57	10,4	52 %
11:30	20,33	-0,25	10,4	52 %
11:40	20,36	-0,31	10,4	52 %
11:50	20,4	-0,39	10,4	52 %
12:00	20,14	-0,15	10,4	52 %
12:10	20,19	-0,19	10,4	52 %
12:20	20,25	-0,19	10,4	52 %
12:30	20	-0,17	10,4	52 %
12:40	20,06	-0,13	10,4	52 %
12:50	20,09	-0,1	10,67	53 %
13:00	20,04	-0,22	10,6	53 %
13:10	20	-0,25	10,55	53 %
13:20	20,25	-0,29	10,48	52 %
13:30	20,58	-0,08	10,43	51 %
13:40	20,68	0	10,79	52 %
13:50	20,65	0,08	10,77	52 %
14:00	20,61	-0,06	10,75	52 %
14:10	20,88	-0,04	10,73	51 %
14:20	20,82	-0,15	10,71	52 %
14:30	20,78	0,06	11,21	54 %
14:40	20,72	0,13	11	53 %
14:50	21	0,28	10,84	51 %
15:00	22,48	0,23	11,42	50 %
15:10	22,52	0,49	12,18	53 %
15:20	22,99	0,43	11,92	51 %
15:30	22,92	0,39	11,84	51 %
15:40	22,99	0,33	11,99	51 %
15:50	22,7	0,58	12,1	52 %
16:00	22,3	0,52	12,25	54 %
ka				52 %

Y308 Poisto	Y308 Ulko	Y308 Tulo	lämpötilasuhde
22,82	-1,52	10,64	50 %
23,52	-1,59	11,45	52 %
23,29	-1,64	11,33	52 %
24,03	-1,11	11,17	49 %
23,97	-1,16	11,05	49 %
23,87	-1,23	11,67	51 %
23,8	-1,28	11,63	51 %
23,71	-1,35	11,59	52 %
23,67	-0,9	11,55	51 %
23,79	-0,95	11,51	50 %
23,88	-0,98	11,44	50 %
24	-1,03	11,51	50 %
24,09	-1,06	11,56	50 %
23,26	-0,71	11,63	51 %
23,4	-0,74	11,68	51 %
23,58	-0,79	11,04	49 %
22,89	-0,82	11,18	51 %
22,46	-0,87	11,38	53 %
21,77	-0,5	10,64	50 %
21,99	-0,54	10,7	50 %
21,43	-0,58	10,76	52 %
21,46	-0,62	10,82	52 %
21,51	-0,66	10,88	52 %
21,54	-0,7	10,86	52 %
21,59	-0,42	10,8	51 %
21,7	-0,44	10,74	50 %
22,09	-0,46	10,67	49 %
22,06	-0,48	10,62	49 %
22,01	-0,3	10,98	51 %
21,98	-0,32	10,97	51 %
21,93	-0,34	10,94	51 %
21,71	-0,36	10,93	51 %
21,8	-0,38	10,9	51 %
21,87	-0,4	10,91	51 %
21,96	0,01	10,94	50 %
22,03	-0,06	10,95	50 %
21,23	-0,15	10,98	52 %
21,36	-0,22	10,99	52 %
21,53	0,39	10,9	50 %
21,66	0,34	10,9	50 %
21,03	0,27	10,9	51 %
21,07	0,22	10,9	51 %
21,11	0,15	10,9	51 %
ka			51 %

Lämpötilasuhdelaskelma 5.3.2013, datalogger

Lämpötilasuhdelaskelmat, datalogger.

Mitattu: 5.3.2013, klo. 9-16

	Y307 poisto	y307 raitis	y307 tulo	lämpötilasuhde
9:00	20,1	-1,55	10,3	55 %
9:10	20,3	-1,55	10,45	55 %
9:20	20,25	-1,55	10,5	55 %
9:30	20,25	-1,6	10,55	56 %
9:40	20,35	-1,5	10,6	55 %
9:50	20,25	-1,4	10,6	55 %
10:00	20,3	-1,3	10,7	56 %
10:10	20,3	-1,2	10,75	56 %
10:20	20,3	-1,2	10,75	56 %
10:30	20,3	-1,25	10,75	56 %
10:40	20,25	-1,2	10,75	56 %
10:50	20,2	-1,2	10,75	56 %
11:00	20,1	-1,15	10,75	56 %
11:10	20,1	-1,1	10,75	56 %
11:20	20,05	-1,15	10,7	56 %
11:30	20,05	-0,95	10,7	55 %
11:40	20	-0,9	10,75	56 %
11:50	19,9	-0,9	10,75	56 %
12:00	19,8	-0,85	10,7	56 %
12:10	19,75	-0,8	10,7	56 %
12:20	19,75	-0,65	10,75	56 %
12:30	19,75	-0,7	10,75	56 %
12:40	19,7	-0,7	10,7	56 %
12:50	19,7	-0,8	10,65	56 %
13:00	20,2	-0,9	10,6	55 %
13:10	20,4	-0,9	10,7	54 %
13:20	20,6	-0,8	10,9	55 %
13:30	20,5	-0,65	11,05	55 %
13:40	20,55	-0,6	11,15	56 %
13:50	20,55	-0,7	11,15	56 %
14:00	20,65	-0,75	11,15	56 %
14:10	20,55	-0,8	11,15	56 %
14:20	20,45	-0,7	11,15	56 %
14:30	20,45	-0,55	11,15	56 %
14:40	21,9	-0,45	11,25	52 %
14:50	22,5	-0,35	11,7	53 %
15:00	22,75	-0,3	12,15	54 %
15:10	22,9	-0,2	12,45	55 %
15:20	22,85	-0,1	12,65	56 %
15:30	22,4	0	12,75	57 %
15:40	21,95	0	12,65	58 %
15:50	21,3	0,05	12,45	58 %
16:00	20,8	0,05	12,2	59 %
	ka			56 %

Y308 poisto	y308 raitis	y308 tulo	lämpötilasuhde
23,55	-2,1	12,5	57 %
23,8	-2,1	12,7	57 %
24	-2	12,8	57 %
24,1	-1,9	13	57 %
24,2	-1,8	13,1	57 %
24,2	-1,7	13,2	58 %
24,2	-1,7	13,2	58 %
24,05	-1,6	13,3	58 %
23,8	-1,5	13,2	58 %
23,65	-1,5	13,1	58 %
23,5	-1,5	13	58 %
23,3	-1,5	12,9	58 %
23,2	-1,4	12,9	58 %
23,1	-1,4	12,8	58 %
22,85	-1,3	12,8	58 %
22,5	-1,2	12,6	58 %
21,95	-1,2	12,4	59 %
21,6	-1,2	12,2	59 %
21,45	-1,2	12	58 %
21,2	-1,1	11,9	58 %
21,25	-1	11,9	58 %
21,25	-0,9	11,9	58 %
21,25	-1,1	11,9	58 %
21,4	-1,2	11,9	58 %
21,8	-1,2	11,9	57 %
22,1	-1,2	12,1	57 %
22,2	-1,1	12,3	58 %
22,2	-1	12,4	58 %
22,1	-1	12,4	58 %
22	-1	12,4	58 %
21,8	-0,9	12,3	58 %
21,65	-0,9	12,2	58 %
21,55	-0,8	12,2	58 %
21,6	-0,7	12,2	58 %
21,65	-0,6	12,2	58 %
21,55	-0,6	12,3	58 %
21,5	-0,5	12,3	58 %
21,2	-0,4	12,2	58 %
20,95	-0,3	12,1	58 %
21,1	-0,2	12,1	58 %
21,1	-0,2	12,1	58 %
20,95	-0,2	12,2	59 %
20,95	-0,1	12,2	58 %
ka			58 %

Lämpötilasuhdelaskelma 4.3.2013, Fidelix Oy

Lämpötilasuhdelaskelmat, Fidelix Oy.

4.3.2013

klo	Y307 poisto	Y307 ulko	Y307 Tulo	lämpötilasuhde
7:33	21,07	-14,59	3,11	50 %
7:43	20,85	-14,38	3,2	50 %
7:53	20,66	-14,07	3,27	50 %
8:03	20,78	-14,17	3,36	50 %
8:13	20,54	-13,71	3,43	50 %
8:23	20,41	-13,54	3,64	51 %
8:33	20,44	-13,49	3,46	50 %
8:43	20,48	-12,55	3,23	48 %
8:53	20,49	-12,49	4,23	51 %
9:03	20,59	-11,92	3,88	49 %
9:13	20,62	-11,87	4,67	51 %
9:23	21,09	-10,83	5,18	50 %
9:33	21,12	-10,76	4,83	49 %
9:43	21,24	-9,75	5,4	49 %
9:53	21,44	-9,64	6,03	50 %
10:03	21,55	-7,83	4,62	42 %
10:13	21,68	-7,75	4,71	42 %
10:23	21,7	-6,45	7,06	48 %
10:33	21,7	-6,38	7,7	50 %
10:43	21,7	-5,15	8,34	50 %
10:53	21,7	-5,03	8	49 %
11:03	21,7	-3,94	8,99	50 %
11:13	21,62	-3,99	8,9	50 %
11:23	21,52	-4,06	8,78	50 %
11:33	21,58	-4,11	8,69	50 %
11:43	21,46	-4,18	8,62	50 %
11:53	21,32	-3,87	8,72	50 %
12:03	21,38	-4,05	8,84	51 %
12:13	21,25	-3,94	8,94	51 %
12:23	20,9	-4,23	9,06	53 %
12:33	20,44	-4,17	8,42	51 %
12:43	20,19	-4,3	8,47	52 %
12:53	20,15	-4,3	8,5	52 %
13:03	20,1	-4,3	8,55	53 %
13:13	20,46	-4,3	8,58	52 %
13:23	20,65	-4,3	8,66	52 %
13:33	20,86	-4,2	8,61	51 %
13:43	20,77	-4,24	8,54	51 %
13:53	20,7	-4,27	8,49	51 %
14:03	20,92	-4,11	8,42	50 %
14:13	20,91	-4,12	8,88	52 %
14:23	20,93	-4,15	8,83	52 %
14:33	20,95	-4,16	8,8	52 %
14:43	20,98	-4,19	8,75	51 %
14:53	20,99	-4,26	8,72	51 %
15:03	20,83	-4,4	8,53	51 %
15:13	20,6	-4,38	8,63	52 %
15:23	20,68	-4,36	8,7	52 %
15:33	20,77	-4,34	8,79	52 %
15:43	20,57	-4,32	8,86	53 %
15:53	20,32	-4,4	8,32	51 %
16:03	20,1	-4,4	8,36	52 %
16:13	20,22	-4,4	8,4	52 %
16:23	20,01	-4,4	8,44	53 %
16:33	19,92	-4,4	8,48	53 %
16:43	19,97	-4,59	8,21	52 %
16:53	19,83	-4,53	8,23	52 %
17:03	19,86	-4,49	8,25	52 %
17:13	19,7	-4,42	8,27	53 %
17:23	19,72	-4,51	8,29	53 %
17:33	19,74	-4,53	8,11	52 %
17:43	19,76	-4,55	8,13	52 %
17:53	19,78	-4,57	8,15	52 %
18:03	19,7	-4,59	8,17	53 %
18:13	19,7	-4,35	8,19	52 %
18:23	19,7	-4,43	8,19	52 %
18:33	19,7	-4,21	8,17	52 %
18:43	19,7	-4,24	8,15	52 %
18:53	19,88	-4,28	8,13	51 %
19:03	19,81	-4,01	8,11	51 %
19:13	19,71	-4,07	8,68	54 %
19:23	20,06	-4,11	8,53	52 %
19:33	20,32	-4,17	8,33	51 %
19:43	20,45	-3,82	6,41	42 %
19:53	20,51	-3,93	9,06	53 %
	ka			52 %

Y308 Poisto	Y308 Ulko	Y308 Tulo	lämpötilasuhde
21	-14,95	2,89	50 %
21	-14,15	2,82	48 %
21,38	-14,26	3,39	50 %
21,84	-14,41	4,11	51 %
22,48	-14,51	3,91	50 %
22,18	-13,79	3,64	48 %
22,94	-13,05	4,47	49 %
22,56	-12,56	5,05	50 %
23,34	-12,85	5,68	51 %
23,05	-12,36	5,31	50 %
23,86	-11,72	6,03	50 %
23,62	-11,25	6,65	51 %
23,62	-10,86	6,28	50 %
23,72	-10,28	6,95	51 %
23,78	-9,59	6,73	49 %
23,88	-8,47	7,19	48 %
23,94	-8,05	7,73	49 %
23,22	-6,91	8,38	51 %
23,45	-6,42	8,17	49 %
22,85	-5,27	8,8	50 %
22,13	-5	8,75	51 %
22,27	-4,53	8,68	49 %
22,37	-4,57	8,63	49 %
22,51	-4,62	8,56	49 %
21,62	-4,65	8,5	50 %
21,83	-4,7	8,42	49 %
21,98	-4,59	8,52	49 %
21,26	-4,56	8,65	51 %
21,53	-4,55	8,75	51 %
20,8	-4,52	8,21	50 %
20,98	-4,5	8,23	50 %
20,97	-4,76	8,25	51 %
20,76	-4,73	8,27	51 %
21,43	-4,68	8,29	50 %
21,13	-4,65	8,6	51 %
21,93	-4,6	8,39	49 %
21,8	-4,63	8,23	49 %
21,62	-4,68	8,78	51 %
22,01	-4,71	8,76	50 %
22,04	-4,76	8,74	50 %
22,05	-4,79	8,72	50 %
22,08	-4,68	8,7	50 %
22,09	-4,66	8,39	49 %
21,7	-4,64	8,51	50 %
21,89	-4,62	8,59	50 %
21,22	-4,61	8,68	51 %
21,29	-4,78	8,8	52 %
21,34	-4,77	8,22	50 %
21,41	-4,74	8,24	50 %
21,46	-4,73	8,26	50 %
21,02	-4,7	8,28	50 %
21,06	-4,71	8,3	50 %
21,1	-4,74	8,2	50 %
21,14	-4,75	8,2	50 %
21,18	-4,78	8,2	50 %
20,91	-4,79	8,2	51 %
20,93	-4,78	8,2	50 %
20,95	-4,77	8,2	50 %
20,97	-4,74	8,2	50 %
20,99	-4,73	8,2	50 %
21,26	-4,7	8,2	50 %
21,19	-4,71	8,2	50 %
21,09	-4,74	8,44	51 %
21,03	-4,75	8,39	51 %
20,93	-4,78	8,32	51 %
21,39	-4,79	8,27	50 %
21,37	-4,53	8,6	51 %
21,35	-4,57	8,58	51 %
21,33	-4,61	8,56	51 %
21,31	-4,65	8,54	51 %
21,31	-4,7	8,52	51 %
21,33	-4,16	8,5	50 %
21,35	-4,4	9,27	53 %
21,37	-3,6	8,94	50 %
21,39	-3,87	8,72	50 %
ka			50 %

Lämpötilasuhdelaskelma 4.3.2013, datalogger.

Lämpötilasuhdelaskelmat, datalogger.

4.3.2013

klo	Y307 poisto	Y307 ulko	Y307 Tulo	lämpötilasuhde
7:33	20,4	-15,55	3,7	54 %
7:43	20,35	-15,2	3,3	52 %
7:53	20,25	-15,2	3,2	52 %
8:03	20,2	-15	3,2	52 %
8:13	20,1	-14,8	3,25	52 %
8:23	20,1	-14,7	3,3	52 %
8:33	20,05	-14,3	3,4	52 %
8:43	20,1	-13,75	3,65	51 %
8:53	20,45	-13,2	3,95	51 %
9:03	20,75	-12,85	4,3	51 %
9:13	21,1	-12,6	4,65	51 %
9:23	21,25	-11,95	5,05	51 %
9:33	21,35	-11,45	5,5	52 %
9:43	21,4	-10,85	5,9	52 %
9:53	21,45	-10,2	6,3	52 %
10:03	21,5	-9,05	6,85	52 %
10:13	21,6	-8,3	7,3	52 %
10:23	21,5	-7,65	7,6	52 %
10:33	21,45	-7	8,15	53 %
10:43	21,45	-6,3	8,45	53 %
10:53	21,45	-5,55	8,85	53 %
11:03	21,35	-5	9,2	54 %
11:13	21,25	-4,9	9,35	54 %
11:23	21,15	-4,75	9,4	55 %
11:33	21,1	-4,8	9,4	55 %
11:43	21	-4,75	9,35	55 %
11:53	21	-4,65	9,35	55 %
12:03	20,7	-4,6	9,35	55 %
12:13	20,1	-4,7	9,3	56 %
12:23	19,8	-4,75	9,05	56 %
12:33	19,7	-4,8	8,8	56 %
12:43	19,75	-4,9	8,6	55 %
12:53	20,05	-5,05	8,5	54 %
13:03	20,45	-5,05	8,5	53 %
13:13	20,65	-5,05	8,7	54 %
13:23	20,65	-5,05	8,85	54 %
13:33	20,75	-5	8,95	54 %
13:43	20,8	-4,95	9	54 %
13:53	20,85	-4,9	9,1	54 %
14:03	20,95	-4,85	9,15	54 %
14:13	20,9	-4,8	9,2	54 %
14:23	20,8	-4,75	9,25	55 %
14:33	20,75	-4,85	9,2	55 %
14:43	20,65	-4,85	9,15	55 %
14:53	20,55	-4,75	9,1	55 %
15:03	20,5	-4,9	9,05	55 %
15:13	20,45	-5	8,95	55 %
15:23	20,25	-5,05	8,85	55 %
15:33	20,15	-5	8,8	55 %
15:43	20	-5,05	8,75	55 %
15:53	19,95	-5,05	8,7	55 %
16:03	19,8	-5,05	8,65	55 %
16:13	19,7	-5,1	8,6	55 %
16:23	19,6	-5,05	8,5	55 %
16:33	19,6	-5	8,5	55 %
16:43	19,55	-5,05	8,45	55 %
16:53	19,55	-5,05	8,45	55 %
17:03	19,5	-5,05	8,4	55 %
17:13	19,5	-5,1	8,35	55 %
17:23	19,45	-5,2	8,35	55 %
17:33	19,5	-5,2	8,3	55 %
17:43	19,5	-5,15	8,3	55 %
17:53	19,55	-5,15	8,35	55 %
18:03	19,55	-5,15	8,35	55 %
18:13	19,45	-5,15	8,35	55 %
18:23	19,5	-5,05	8,4	55 %
18:33	19,6	-4,95	8,4	54 %
18:43	19,6	-5	8,45	55 %
18:53	19,55	-4,95	8,5	55 %
19:03	19,85	-4,8	8,6	54 %
19:13	20,05	-4,85	8,65	54 %
19:23	20,35	-4,85	8,8	54 %
19:33	20,5	-4,75	8,95	54 %
19:43	20,5	-4,65	9,15	55 %
19:53	20,8	-4,5	8,2	50 %
ka				55 %

Y308 Poisto	Y308 Ulko	Y308 Tulo	lämpötilasuhde
20,95	-15,6	2,2	49 %
21,2	-15,3	2,4	48 %
21,8	-15	2,7	48 %
22,25	-15	3,1	49 %
22,55	-15	3,3	49 %
22,65	-14,6	3,6	49 %
22,95	-14,3	3,8	49 %
23,25	-13,6	4,3	49 %
23,45	-13,3	4,7	49 %
23,8	-12,9	4,9	49 %
23,95	-12,5	5,3	49 %
24,2	-12	5,7	49 %
24,4	-11,3	6,1	49 %
24,25	-11,2	6,4	50 %
23,85	-10,5	6,6	50 %
23,6	-9,4	7	50 %
23,4	-8,6	7,2	49 %
23,2	-7,8	7,6	50 %
22,7	-7,2	7,9	51 %
22,3	-6,3	9,9	57 %
22,3	-5,3	10,1	56 %
22,2	-5,2	10,2	56 %
22,05	-5,1	10,3	57 %
21,9	-5,1	10,2	57 %
21,7	-5	10,2	57 %
21,65	-5	10,1	57 %
21,3	-5	10,1	57 %
21,1	-5,1	9,9	57 %
20,55	-5,1	9,7	58 %
20,5	-5,3	9,5	57 %
20,55	-5,3	9,4	57 %
20,85	-5,4	9,4	56 %
21,35	-5,4	9,5	56 %
21,7	-5,4	9,7	56 %
21,95	-5,4	10	56 %
22,1	-5,3	10,1	56 %
22,2	-5,3	10,2	56 %
22,25	-5,2	10,3	56 %
22,2	-5,1	10,3	56 %
22,15	-5,2	10,3	57 %
22,05	-5,1	10,3	57 %
21,85	-5,2	10,3	57 %
21,6	-5,2	10,1	57 %
21,55	-5,2	10	57 %
21,3	-5,2	9,9	57 %
21,15	-5,3	9,8	57 %
21,15	-5,3	9,7	57 %
21,1	-5,3	9,7	57 %
21,2	-5,3	9,7	57 %
21,3	-5,2	9,7	56 %
21,25	-5,3	9,8	57 %
21	-5,4	9,7	57 %
20,8	-5,4	9,6	57 %
20,85	-5,2	9,6	57 %
20,85	-5,2	9,6	57 %
20,9	-5,2	9,7	57 %
20,95	-5,2	9,7	57 %
20,95	-5,3	9,7	57 %
21	-5,3	9,7	57 %
21,05	-5,3	9,7	57 %
21,1	-5,3	9,7	57 %
21,2	-5,3	9,8	57 %
21,25	-5,2	9,8	57 %
21,4	-5,3	9,8	57 %
21,45	-5,2	9,9	57 %
21,45	-5,1	10	57 %
21,45	-5,1	10	57 %
21,45	-5	10,1	57 %
21,45	-4,9	10,1	57 %
21,45	-5	10,1	57 %
21,5	-4,9	10,1	57 %
21,25	-4,8	10,2	58 %
21,4	-4,6	9,8	55 %
21,35	-4,6	9,4	54 %
ka			57 %

Swegonin mitoitusajo, Case 1.

FACO MULTICOIL SELECTION PROGRAM - REF.: GOLD 30 SD / Case 1

26/03/2013

System total power: 39,2 kW Efficiency: 56,4 %

Medium: Ethylene-glycol 30,0 percent by weight 1,20 l/s

Total pressure drop (supply+exhaust): 92 kPa



COIL DATA

Item)	Power	Air					Medium					Coil
		m ³ /s	°C	RH%	SHF	m/s	Pa	l/s	°C	m/s	kPa	
1) 1	39,2	2,25	-5,0			2,0	130	1,20	11,8	0,9	46	2288
			9,4						3,2			
2) 1	39,2	2,15	20,5	20		1,9	125	1,20	3,2	0,9	46	2289
			5,5	53	1,000				11,8			

COIL MODELS

- 1) Supply 1 off P40-16 AC 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7
 2) Exhaust 1 off P40-16 AR 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7

Coil Type	Face A / B	Out.Dim. Fta/Ftb/S	Wght kg	Int. Vol.	In/Out Conn.	Surf. m ²	Price EURO
1)Supply	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	
2)Extract	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	

NOTE: not-drainable circuits

TABLE OF COIL DATA AT DIFFERENT SUPPLY AIR TEMPERATURES

SUPPLY AIR TEMPERATURES:

Air IN:	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0
OUT(1):	9,4	11,7	13,9	16,1	18,2
Liq. IN:	11,8	13,5	15,2	16,9	18,6
OUT:	3,2	6,6	9,9	13,3	16,7
kW:	39,2	31,8	24,3	16,6	8,8
EFF. %:	56,4	57,0	57,4	57,7	58,0

Coil type: 331218-001

Swegonin mitoitusajo, Case 2.

FACO MULTICOIL SELECTION PROGRAM - REF.: GOLD 30 SD

/ Case 2

26/03/2013

System total power: 38,9 kW Efficiency: 56,0 %
 Medium: Ethylene-glycol 33,4 percent by weight 1,44 l/s
 Total pressure drop (supply+exhaust): 131 kPa



COIL DATA

Item)	Power	Air					Medium					Coil
		m3/s	°C	RH%	SHF	m/s	Pa	l/s	°C	m/s	kPa	
1) 1	38,9	2,25	-5,0			2,0	130	1,44	11,1	1,1	66	2288
			9,3						3,9			
2) 1	38,9	2,15	20,5	20		1,9	126	1,44	3,9	1,1	66	2289
			5,6	53	1,000				11,1			

COIL MODELS

- 1) Supply 1 off P40-16 AC 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7
 2) Exhaust 1 off P40-16 AR 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7

Coil Type	Face A / B	Out.Dim. Fta/Ftb/S	Wght kg	Int. Vol.	In/Out Conn.	Surf. m2	Price EURO
1)Supply	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	
2)Extract	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	

NOTE: not-drainable circuits

TABLE OF COIL DATA AT DIFFERENT SUPPLY AIR TEMPERATURES

SUPPLY AIR TEMPERATURES:

Air IN:	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0
OUT(1):	9,3	11,6	13,8	16,0	18,1
Liq. IN:	11,1	12,9	14,8	16,6	18,5
OUT:	3,9	7,1	10,4	13,6	16,9
kW:	38,9	31,5	24,0	16,4	8,6
EFF. %:	56,0	56,4	56,7	56,9	57,1

Coil type: 331218-001

Swegonin mitoitusajo, Case 3.

FACO MULTICOIL SELECTION PROGRAM - REF.: GOLD 30 SD / Case 3

26/03/2013

System total power: 42,5 kW Efficiency: 55,1 %
 Medium: Ethylene-glycol 30,0 percent by weight 1,20 l/s
 Total pressure drop (supply+exhaust): 92 kPa

COIL DATA

Item)	Power	Air						Medium			Coil	
		m3/s	°C	RH%	SHF	m/s	Pa	l/s	°C	m/s	kPa	Calc
Pieces	kW											Num.
1) 1	42,5	2,50	-5,0			2,3	155	1,20	12,0	0,9	46	2288
			9,0						2,7			
2) 1	42,5	2,33	20,5	20		2,1	143	1,20	2,7	0,9	46	2289
			5,5	53	1,000				12,0			

COIL MODELS

- 1) Supply 1 off P40-16 AC 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7
 2) Exhaust 1 off P40-16 AR 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7

Coil	Face	Out.Dim.	Wght	Int.	In/Out	Surf.	Price
Type	A / B	Fta/Ftb/S	kg	Vol.	Conn.	m2	EURO
1)Supply	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	
2)Extract	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	

NOTE: not-drainable circuits

TABLE OF COIL DATA AT DIFFERENT SUPPLY AIR TEMPERATURES

SUPPLY AIR TEMPERATURES:

Air IN:	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0
OUT(1):	9,0	11,4	13,7	15,9	18,1
Liq. IN:	12,0	13,7	15,4	17,0	18,7
OUT:	2,7	6,2	9,6	13,1	16,6
kW:	42,5	34,6	26,5	18,1	9,6
EFF. %:	55,1	55,7	56,2	56,6	56,9

Coil type: 331218-001

Swegonin mitoitusajo, Case 4.

FACO MULTICOIL SELECTION PROGRAM - REF.: GOLD 30 SD / Case 4

26/03/2013

System total power: 44,0 kW Efficiency: 57,1 %
 Medium: Ethylene-glycol 19,1 percent by weight 1,25 l/s
 Total pressure drop (supply+exhaust): 92 kPa



COIL DATA

Item)	Power	Air						Medium			Coil	
		m3/s	°C	RH%	SHF	m/s	Pa	l/s	°C	m/s	kPa	Calc Num.
1) 1	44,0	2,50	-5,0			2,3	155	1,25	11,7	0,9	46	2288
			9,6						2,9			
2) 1	44,0	2,33	20,5	20		2,1	143	1,25	2,9	0,9	46	2289
			4,9	56	1,000				11,7			

COIL MODELS

- 1) Supply 1 off P40-16 AC 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7
 2) Exhaust 1 off P40-16 AR 8R 21T 1295A 2Pa Cu/Al NC= 7

Coil Type	Face A / B	Out.Dim. Fta/Ftb/S	Wght kg	Int. Vol.	In/Out Conn.	Surf. m2	Price EURO
1) Supply	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	
2) Extract	1295/ 840	1471/ 895/320	131	49	1 1/2"	264	

NOTE: not-drainable circuits

TABLE OF COIL DATA AT DIFFERENT SUPPLY AIR TEMPERATURES

SUPPLY AIR TEMPERATURES:

Air IN:	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0
OUT(1):	9,6	11,8	13,9	16,1	18,2
Liq. IN:	11,7	13,5	15,2	16,9	18,6
OUT:	2,9	6,3	9,8	13,2	16,7
kW:	44,0	35,6	27,1	18,5	9,7
EFF. %:	57,1	57,4	57,6	57,8	57,9

Coil type: 331218-001