



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Liuosvirran optimointi nestekiertoisessa lämmön- talteenottojärjestelmässä

Helli Huvinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

HUVINEN, HELLI

Liuosvirran optimointi nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 14 sivua
Huhtikuu 2017

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää Koja Oy:n kanssa yhteistyössä, onko uusi, nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän optimointiin tarkoitettu Netto-järjestelmä toimiva ja tehostaako se lämmönsiirtymistä sekä lämpötilahyötysuhteita pienilläkin nesteen virtaamilla. Käytännössä tämä tarkoitti perinteisen kolmitieventtiilin korvaamista kahdella uudella venttiilillä, energiaventtiilillä sekä paineesta riippumattomalla sähköisellä venttiilillä, jotka tarkkailevat jatkuvasti kiertonesteen virtaamaa ja avautuvat tai sulkeutuvat sen mukaan, onko neste vaarassa jähmettyä.

Netto-järjestelmää tutkittiin tarkoitusta varten rakennetulla ilmanvaihtokoneella, joka oli kytketty mittauksien tallentamiseen automaattisesti verkkoon tallentavaan automaatiojärjestelmään. Tavoitteena oli selvittää, säilyvätkö nesteen lämmönsiirto-ominaisuudet uudella järjestelmällä paremmin kuin vanhalla ja pysyvätkö patterien lämpötilahyötysuhteet tasaisempina. Lämpötilahyötysuhteiden määrittämistä varten koneesta mitattiin LTO-patterien lämpötiloja. Nesteen lämpötilaa tarkkailtiin, jotta voitiin poissulkea sen vaikutus lämpötilahyötysuhteiden muutoksiin. Mittauksissa havaittiin, että uusien venttiilien ansiosta nesteen lämpötilan muutoksilla ole suoraan nähtävissä olevaa vaikutusta lämpötilahyötysuhteisiin. Lisäksi havaittiin, että Netto-järjestelmällä lämpötilahyötysuhteet säilyvät paremmin kuin vanhalla järjestelmällä.

Lämpötilamittausten lisäksi toteutettiin mittaus, jossa ilmanvaihtokonetta käytettiin vajalla ilmavirroilla. Tällä haluttiin nähdä, vaikuttaako ilmavirtojen pienentäminen patterin lämpötilahyötysuhteeseen. Mittauksien perusteella liian pienet ilmavirrat eivät vaikuta lämpötilahyötysuhteeseen lainkaan, ainakaan mittausolosuhteissa, kun lämpötila liikkui nollan tietämissä. Kolmannessa mittauksessa selvitettiin, vaikuttaako putkistoon lisätty ilma lämpötilahyötysuhteisiin. Ilman saaminen putkistoon osoittautui hankalaksi eikä voidakaan varmasti sanoa, onko sillä vaikutusta LTO:n toimintaan.

Suunnittelijakyselyllä kartoitettiin alalla toimivien ja LVI-järjestelmiä suunnittelevien tietämystä nestekiertoisen LTO:n toiminnasta sekä ehdotuksia nestekiertoisten järjestelmien parantamiseksi. Kyselyn avulla saatiin selville suunnittelijoiden olevan melko hyvin tietoisia järjestelmän toiminnasta sekä kiinnostuneita sen kehittämisestä.

Asiasanat: LTO, lämpötilahyötysuhde, nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä, Netto-järjestelmä, energiaventtiili

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services
HVAC Building Services

HUVINEN, HELLI

Optimizing the Liquid Flow in a Liquid Flow Heat Recovery System

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 14 pages

April 2017

The purpose of this thesis was to find out, in co-operation with Koja Oy, whether their new liquid flow heat recovery system will increase the heat exchange in the recovery radiator. The main goal was to examine whether the temperature efficiency remains within acceptable limits even if the flow is decreased significantly. The research was conducted by replacing a standard three-way valve with two new valves; an energy valve and an electronic pressure-independent valve. Both of these valves constantly measure and observe the liquid flow, and open and close depending on the volume flow rate of the liquid. If the temperature of the liquid goes near the freezing point, both valves open gradually, increasing the volume flow rate until the temperature reaches set point value. By doing so the system aims to reduce or completely avoid situations where the liquid starts to cool down or freeze and lose its capability to transfer heat.

The main objective and the first test in this thesis was to measure air temperatures near the heat recovery radiator and calculate the temperature efficiency for both supply and exhaust radiators. The temperatures of the liquid were measured to show that the temperature efficiencies are not largely affected by the changes of those values. In these tests the new system was observed to sustain temperature efficiencies and heat transfer qualities better than the old system, particularly with low volume flow rates.

In the second test the supply and exhaust airflows were dropped gradually to test if using the ventilation unit with partial air flows will affect temperature efficiencies. In the third test a situation where some air has gotten into the liquid pipes was studied by forcing air into the system. Neither of these tests showed any meaningful change in temperature efficiencies although the latter test results cannot be considered reliable because measuring how much air was added to the system proved to be challenging.

The final part of the research was a survey for HVAC designers. The intention of the survey was to see how much designers know about liquid flow heat recovery in general and to map their ideas for improving those systems. It turned out that the general knowledge of this subject was satisfactory and a few of the respondents had similar ideas for improving the systems as were presented in this thesis.

Key words: heat recovery, temperature efficiency, liquid flow heat recovery system, energy valve, heat recovery radiator, HVAC

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NESTEKERTOISEN LTO:N TOIMINTA JA FYSIKAALISET ILMIÖT	7
2.1	Virtaustekniikka.....	8
2.2	Nestekiertoisen lämmöntalteenoton toiminta	8
2.3	Monoetyleeniglykolin aineominaisuudet.....	9
2.3.1	Muut lämmönsiirtonesteet.....	10
2.4	Insinööriyön tavoite	13
2.4.1	LTO normaalitoiminnassa.....	13
2.4.2	LTO huurteensulatuksen aikana.....	14
2.5	Ekosuunnitteludirektiivi.....	15
3	MITTAUSLAITTEISTO JA OLOSUHTEET	17
3.1	Olosuhteet	17
3.2	Ilmanvaihtokoneen rakenne	18
3.2.1	Lämmöntalteenoton toiminta	18
3.3	Automaation toiminta	20
4	MITTAUSTULOKSET.....	22
4.1	Ilman lämpötilat	22
4.1.1	Päätelmät	23
4.2	Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteen muutos.....	24
4.2.1	Päätelmät	25
4.3	Nesteen lämpötilat	26
4.4	Ilmavirtojen vaikutus	26
4.4.1	Päätelmät	28
4.5	Ilman lisääminen nesteeseen.....	28
4.5.1	Päätelmät	29
5	SUUNNITTELIJAKYSELY.....	30
6	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	36
	Liite 1. IV-koneen tekninen tuloste	36
	Liite 2. Netto säätökaavio.....	43
	Liite 3. Netto toimintaselostus.....	44
	Liite 4. Suunnittelijakyselyn vastaukset	45

LYHENTEET JA TERMIT

LTO	Lämmöntalteenotto
Lämpötilahyötysuhde	Ilmanvaihtokoneen ominaisuus, ilmaisee LTO-patterin tehokkuutta
Vuoshiyötysuhde	Laitteen tuottamat vuotuiset säästöt
PM-puhallin	Kestomagneettimoottorilla toimiva puhallin
AC-puhallin	Vaihtovirtamoottorilla toimiva puhallin

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan nestekiertoisiin lämmöntalteenottopattereiden (myöhemmin nestekiertoinen LTO) liuosvirran optimointiin kehitettyä uutta ratkaisua. Työ on toteutettu yhteistyössä järjestelmää valmistavan ja jälleenmyyvän Koja Oy:n kanssa. Uudesta optimointiratkaisusta on vireillä patentti ja testijakson jälkeen se tullaan ottamaan käyttöön Kojan uudessa New Future-ilmankäsittelykonesarjassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää liuosvirran optimoinnin hyötyjä perinteisiin ratkaisuihin verrattuna. Työssä tutkitaan huurteensulatuksen tarvetta, nesteen aineominaisuuksien vaikutusta matalissa lämpötiloissa, ilmavirtojen vaikutusta LTO:n hyötysuhteeseen ja huurteensulatuksen käynnistymiseen. Lisäksi työssä kartoitetaan ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelijoiden mielipiteitä ja tietämystä nestekiertoisen LTO:n ominaisuuksista ja mahdollisista haasteista.

Työtä varten tehtiin pitkäkestoisia mittauksia tarkoitusta varten rakennetulla esimerkkijärjestelmällä erilaisissa ulkoilmaolosuhteissa. Lisäksi toteutettiin kyselytutkimus suunnittelijoiden keskuudessa. Työssä kerrotaan myös nestekiertoisen LTO:n tekniikasta sekä perehdytään sen toimintaan liittyviin fysikaalisiin ilmiöihin ja haasteisiin.

2 NESTEKERTOISEN LTO:N TOIMINTA JA FYSIKAALISET ILMIÖT

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten energiatehokkuudesta todetaan, että ilmanvaihdon poistoilmasta tulee ottaa talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta, 2012) tai vastaavasti ottaa lämpöä talteen siten, että tuloilman lämpötilahyötysuhde on 50 % (Ympäristöministeriön asetus ilmankäsittelykoneiden tyyppihyväksynnästä, 2008). Hyötysuhteella tarkoitetaan tässä työssä lämpötilahyötysuhdetta, joka on LTO-laitteen ominaisuus, ei vuosihyötysuhdetta eli laitteen tuottamia vuotuisia säästöjä. Poistoilman lämpömäärä voidaan ottaa talteen muun muassa asentamalla rakennusta palvelevaan ilmanvaihtokoneeseen lämmöntalteenottoyksikkö. Tuloilman lämpötilahyötysuhde määritetään vertaamalla ulkoilman, tuloilman ja poistoilman lämpötilaa ja se lasketaan kaavalla (1):

$$n_t = \frac{t_{tulo} - t_{ulko}}{t_{poisto} - t_{ulko}} \quad (1)$$

missä t_{tulo} on lämpötila LTO-patterin jälkeen, t_{ulko} on LTO-patterille saapuvan ilman lämpötila ja t_{poisto} on poistoilman lämpötila ennen LTO-patteria (Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, 2003). Ilmanvaihtokonevalmistajien esitteissään ilmoittama hyötysuhde on lähes aina tuloilman lämpötilahyötysuhde, sillä se on normaalisti hivenen korkeampi kuin poistoilman lämpötilahyötysuhde. Poistoilman lämpötilahyötysuhde määritetään vertaamalla poistoilman, jäteilman ja ulkoilman lämpötilaa ja se lasketaan kaavalla (2):

$$n_p = \frac{t_{poisto} - t_{jäte}}{t_{poisto} - t_{ulko}} \quad (2)$$

missä $t_{jäte}$ on jäte- eli LTO-poistopatterilta lähtevän ilman lämpötila, t_{ulko} on LTO-patterille saapuvan ilman lämpötila ja t_{poisto} on poistoilman lämpötila ennen LTO-patteria (Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, 2003).

2.1 Virtaustekniikka

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä yleisimmin käytetty liuos on vesi-monoetyleeniglykoli-seos, jonka tyypillinen vahvuus Suomessa on 30 %. Tässä työssä käsitellään lämmönsiirtonesteenä ainoastaan monoetyleeniglykoli-seosta. Monoetyleeniglykolin lisääminen kasvattaa nesteen pakkasenkestävyyttä, mutta samalla lisäys kasvattaa nesteen kinemaattista viskositeettia. Kun nesteen kinemaattinen viskositeetti kasvaa, pienenee myös nesteen turbulentsisuus ja virtaus alkaa muuttua laminaariseksi. Tätä pyritään järjestelmissä välttämään, sillä turbulентtinen virtaus on energiatehokkain virtaustapa. Turbulenttisessa virtauksessa nesteen pyörteet sekoittavat lämmön tasaisesti koko nesteeseen, jolloin nesteen saapuessa poistopuolen patterille, kykenee koko patterin pinta-ala vastaanottamaan lämpöä poistoilmasta ja vastaavasti luovuttamaan lämpöä tuloilmaan. Mikäli virtaus olisi laminaarinen, syntyisi nesteeseen lämpökerrostumia jolloin ne patterin osat, joihin tulisi viileää vettä, jäisivät vajaakäytölle kun taas ne osat, joihin lämpö osuisi, eivät kykenisi sitä kaikkea vastaanottamaan. Virtauksen turbulентtista luonnetta kuvaa Reynoldsin luku. Reynoldsin luku lasketaan kaavalla (3):

$$Re = \frac{v * d}{\nu_1} \quad (3)$$

missä v on virtausnopeus, d putken halkaisija ja ν_1 virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti. Reynoldin luvun raja arvoja ovat 2 320, jolloin virtaus on laminaarista ja yli 3000, jolloin virtaus on turbulентtista. Tässä välillä täytyy virtauksen luonne määritellä tapauskohtaisesti (Seppänen O. 2001. s. 138).

2.2 Nestekiertoisen lämmöntalteenoton toiminta

Lämmöntalteenoton tarkoituksena on siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Nestekiertoisessa LTO:ssa tämä tapahtuu siten, että jäätymätön neste, yleensä vesi-monoetyleeniglykoli-seos, kiertää putkessa kahden patterin välillä, ottaen lämpöä talteen poistoilmapuolelta ja kuljettaen sitä tuloilmapuolelle. Nestekiertoisen järjestelmän lisäksi on olemassa pyöriviä lämmönsiirtimiä sekä risti- ja vastavirtakennoja. Näillä muilla järjestelmillä päästään lämpötilahyötysuhteissa useimmin parempiin tuloksiin,

sillä lämmönsiirto tapahtuu suoraan ilmasta ilmaan, kun taas nesteellä lämmön tulee siirtyä ensin ilmasta nesteeseen ja tämän jälkeen takaisin ilmaan. Nestekiertoisen järjestelmän etuna on kuitenkin sen edellisiä parempi mukautuvuus ahtaisiin tiloihin, poisto- ja tuloilmakoneiden voidessa olla etäällä toisistaan sekä se, että ilmavirrat voidaan pitää täysin erillään toisistaan. Näin ollen se soveltuu hyvin myös esimerkiksi äärimmäistä puhtautta vaativiin tiloihin kuten sairaaloihin ja kemianteollisuuden tarpeisiin. Lisäksi huoltoherkkyys muihin LTO-järjestelmiin verrattuna on pienempi, sillä liikkuvia osia järjestelmässä ovat ainoastaan pumppu sekä venttiilit. Huonoina puolina nestekiertoisessa järjestelmässä muihin LTO-järjestelmiin verrattuna ovat mahdolliset korkeat pumppauskustannukset, sekä laitteiston hankintahinta. Yhtenä haittapuolena nestekiertoisessa järjestelmässä on lisäksi patterien jäätymisvaara, minkä ehkäiseminen on perinteisesti laskenut hyötysuhdetta. Hyötysuhteeltaan nestekiertoinen järjestelmä on usein heikoin ja niillä päästäänkin yleensä vain 40–60 %:n lukemiin siinä missä muilla järjestelmillä hyötysuhteet vaihtelevat parhaimmillaan 60–80 %:n välillä (Seppänen 2004. s. 96).

2.3 Monoetyleeniglykolin aineominaisuudet

Monoetyleeniglykoli on edelleen yleisin ilmanvaihtokoneiden lämmönsiirrossa käytettävä neste, sillä sen pakkasenkestävyys on erittäin hyvä ja sen kinemaattinen viskositeetti on pienempi kuin monilla muilla käytössä olevilla lämmönsiirtonesteillä. Mitauksiin käytetyssä LTO-piirissä olevan nesteen pitoisuudeksi mitattiin ominaispainomittarilla 20 celsiusasteessa 35 %. Tämä vastaa pakkasenkestävyydessä noin -19 celsiusastetta (TAULUKKO 1).

Pitoisuus [p-%]	14,0	23,6	30,5	36,2	41,1	45,4	49,3	52,8	56,1
Jäätymispiste °C	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
K. viskositeetti mm ² /s	1,40	1,77	2,11	2,43	2,76	3,10	3,48	3,84	4,17
Tiheys kg/m ³	1017	1030	1039	1047	1054	1060	1065	1069	1073

TAULUKKO 1. Monoetyleeniglykolin aineominaisuudet (Välilliset kylmälaitokset. 2001)

Kuten taulukosta 2 nähdään, on käytetyn aineen pakkasenkestävyys erittäin hyvä vallitseviin olosuhteisiin. Lisäksi paljon suurempaa pitoisuutta ei ole syytä käyttää siitäkään syystä, että monoetyleeniglykolin aineominaisuudet heikkenevät pitoisuuden lisääntyessä ja seos muuttuu helpommin puuromaiseksi ja virtaukseltaan laminaariseksi haitaten näin lämmön siirtymistä merkittävästi (Marttila E. 1985). Tästä syystä glykolipitoisuuden määrittäminen tarkasti onkin tärkeää järjestelmän oikean toiminnan takaamiseksi. Suositeltavaa on ostaa liuos valmiina sekoituksena, jotta pitoisuus on mahdollisimman tasainen ja haluttu.

2.3.1 Muut lämmönsiirtonesteet

Lämmönsiirtonesteinä käytetään monoetyleeniglykolin lisäksi useita muita vaihtoehtoja. Monoetyleeniglykolin lisäksi glykolipohjainen lämmönsiirtoneste on propyleeniglykoli. Jonkin verran käytettyjä nesteitä ovat betaiini ja kaliumformiaatti. Muun muassa Thermera-niminen neste on betaiinipohjainen. Näiden lisäksi käytetään etanolipohjaisia nesteitä (esim. Naturet) sekä suolaliuoksia (esim. Freezium). Lämmönsiirtonesteiden aineominaisuudet eroavat toisistaan ja siksi osa niistä sopii hyvin lämmitys- osa jäähdytystarkoituksiin (TAULUKKO 2).

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

TAULUKKO 2. Lämmönsiirtonesteiden ominaisuuksia (Heinilä H. 2013)

Propyleeniglykolin kinemaattinen viskositeetti on huomattavan korkea muihin lämmönsiirtonesteisiin verrattuna eli sen lämmönsiirto-ominaisuudet heikkenevät huomattavasti nopeammin kuin esimerkiksi etyleeniglykolin. Propyleeniglykoli ei kuitenkaan ole ih-

misille tai ympäristölle haitallinen toisen kuin etyleeniglykoli (Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2013. s. 46)

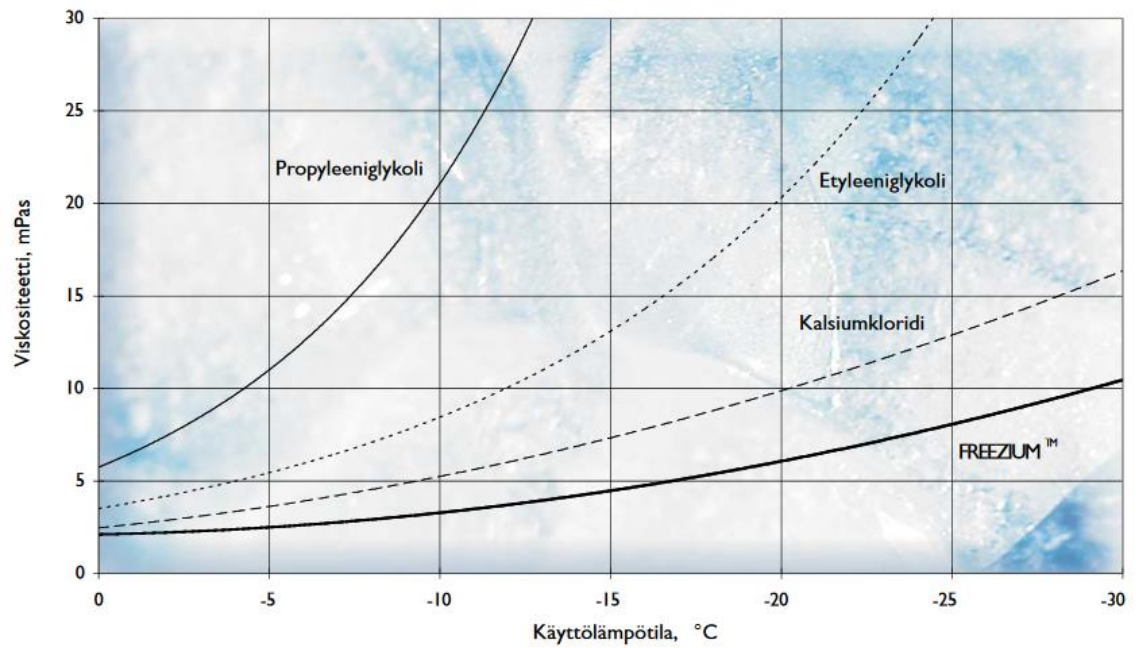
Betaiini on luonnontuote jota syntyy sivutuotteena sokerin valmistuksessa. Betaiini ei ole haitallista ihmisille eikä ympäristölle (Betaine, substance summary). Thermera nimisessä lämmönsiirtonesteessä pääkomponenttina on betaiini.

Kaliumformiaatilla on muita lämmönsiirtonesteitä huomattavasti pienempi kinemaattinen viskositeetti, eli se säilyttää lämmönsiirto-ominaisuutensa myös erittäin alhaisissa lämpötiloissa. Tämä tekee siitä erinomaisen nesteen esimerkiksi kylmälaitoksiin. Haittapuolena on kuitenkin muita lämmönsiirtonesteitä korrosiivisempi ja sitä käytettäessä tulisi välttää etenkin galvanoituja pintoja ja alumiinia. (Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2013. s. 46).

Etanoli on helposti syttyvä aine ja esimerkiksi vesi-etanoli-seos, jonka jäätymispiste on $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ leimahtaa jo $+29\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. (Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2013. s. 46). Tämä tekee siitä sellaisenaan epäsoveliaan suureen osaan käyttökohteista, mutta sitä käytetään maalämpöpiireissä. Esimerkiksi Naturet- niminen maalämpöneste on etanoli-pohjainen.

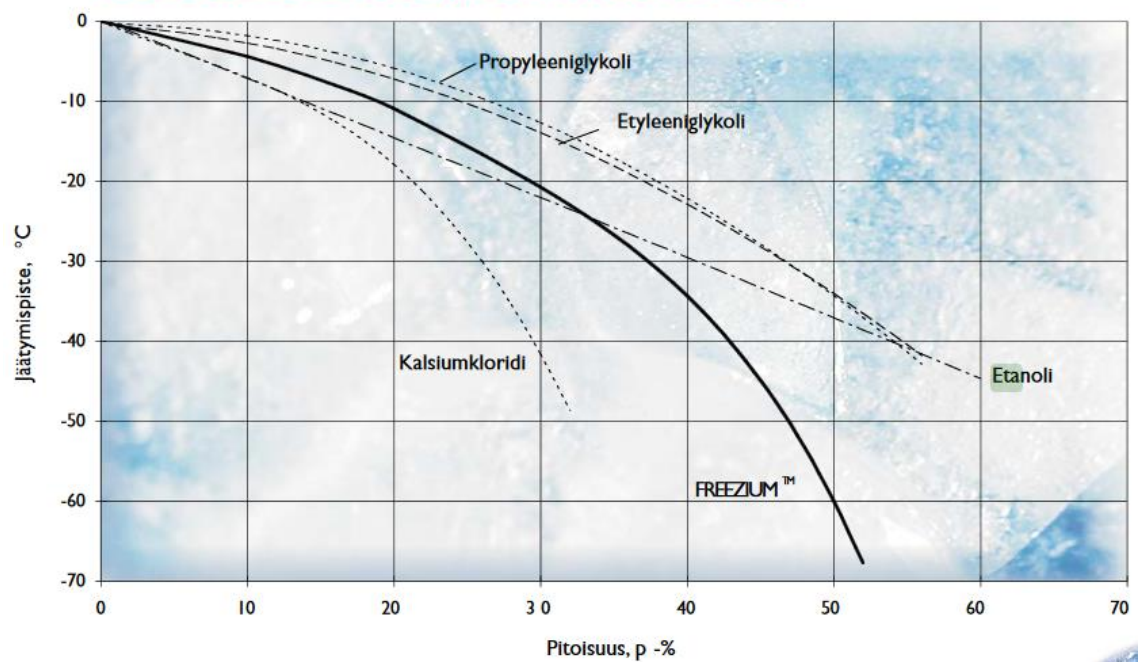
Yleisesti kylmälaitoksissa käytetty Freezium on suolaliuos, jonka lämmönsiirto-ominaisuudet ovat huomattavasti monia muita nesteitä paremmat (KUVIO 1 ja 2). Freezium on kuitenkin yhteensopimaton galvanoitujen pintojen sekä alumiinin kanssa. (Freeziumopas)

KYLMÄLIUOSTEN VISKOSITEETIT



KUVIO 1. Kylmäliuosten viskositeetit

KYLMÄLIUOSTEN JÄÄTYMISPISTEET



KUVIO 2. Kylmäliuosten jäätymispisteet

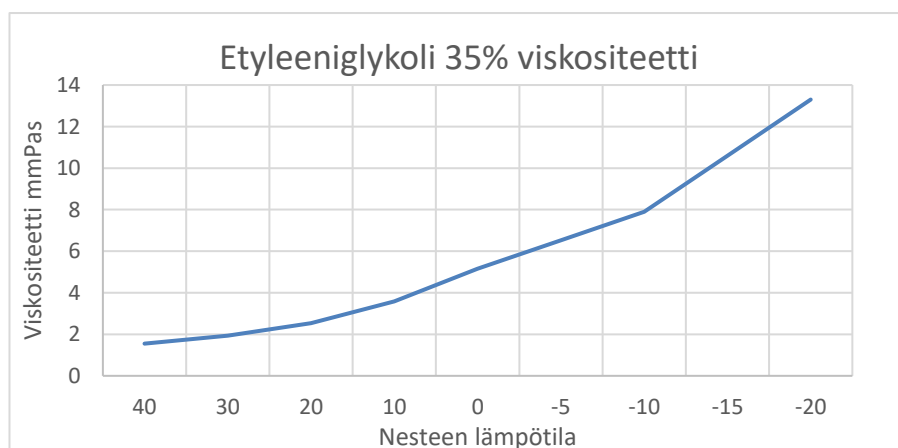
2.4 Insinööriyön tavoite

Työssä vertaillaan perinteistä nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää uuteen energiaventtiilillä varustettuun lämmöntalteenottojärjestelmään. Tavoitteena on selvittää millä tavalla nestevirtaaman ja ilmvirran muutokset vaikuttavat lämpötilahyötysuhteeseen.

2.4.1 LTO normaalitoiminnassa

Perinteisessä nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä säädetään liuosvirtaama käyttöönottovaiheessa piirin linjasäätöventtiilistä. Virtaama asetellaan laitevalmistajan ilmoittaman mitoitusvirtaaman mukaiseksi. Lisäksi piiri ilmataan. Käyttöönoton jälkeen pumppu käy vakionopeudella ja lämmöntalteenoton tehoa säädetään 3-tie venttiilillä talteenottotarpeen mukaisesti.

Käyttöönottovaiheessa piirissä oleva neste voi olla esimerkiksi +20C lämpötilassa, jolloin sen dynaaminen viskositeetti on noin 2,5 mmPas (KUVIO 3). LTO:n toiminnan aikana nesteen lämpötila vaihtelee hyvin paljon ulkolämpötilan mukaan, jolloin myös nesteen viskositeetti muuttuu. Neste on välillä lämmintä ja notkeaa ja välillä kylmää ja jähmeää.



KUVIO 3. Etyleeniglykolin viskositeetti eri ulkolämpötiloissa

Kun viskositeetti muuttuu, myös piirin painehäviöt, Reynoldsin luku ja virtaama vaihtelevat, mikäli muutoksiin ei reagoida. Käytännössä tämä johtaa siihen, että perinteisellä

lämmöntalteenottojärjestelmällä lämpötilahyötysuhde vaihtelee ulkoilman ja sitä kautta nesteen lämpötilan mukaan.

Uudessa Netto järjestelmässä 3-tie venttiili korvataan kahdella 2-tie venttiilillä, joista toinen on energiaventtiili ja toinen paineesta riippumaton ohitusventtiili. Lisäksi pumpu varustetaan taajuusmuuttajaohjauksella. Energiaventtiili mittaa jatkuvasti piirin nestevirtaamaa. Talteenottotarpeen alkaessa pumpu käynnistetään minimikierrosnopeudella ja energiaventtiilillä säädetään talteenottotarve. Kun talteenottotarve kasvaa, venttiili avautuu täysin auki ja tämän jälkeen pumpun kierrosnopeutta nostetaan. Näin säästetään pumppausenergiaa, kun talteenottotarve on alle 100 %. Kun talteenottotarve on 100 %, pumpulla säädetään LTO piiriin mitoitussajon mukainen energiaventtiilillä mitattu optiminestevirta. Pumpulla pidetään kyseinen optiminestevirta aina ulkolämpötilasta ja nesteen lämpötilasta riippumatta. Tämä ei ole perinteisessä järjestelmässä mahdollista, koska virtaamaa ei mitata eikä pumpun kierrosnopeutta säädetä. Käytännössä virtaaman pitäminen optimaalisena johtaa hyötysuhteen pysymiseen korkeana ulkoilman lämpötilasta riippumatta.

Lisäominaisuutena Netto järjestelmän energiaventtiili ilmoittaa, mikäli nestepiirissä liikkuu ilmakuplia. Korkean lämpötilahyötysuhteen nestekiertoisissa järjestelmissä on ensiarvoisen tärkeää saada piiri hyvin ilmattua, jolloin järjestelmällä on edellytykset saavuttaa määritelty lämpötilahyötysuhde (T. Timlin, henkilökohtainen tiedonanto 3.5.2017).

2.4.2 LTO huurteensulatuksen aikana

Perinteisessä järjestelmässä huurteensulatus toteutetaan siten, että ilmanvaihtokoneen automaatiikkaan asetetaan jäteilman lämpötilalle tai poistopatterille menevälle nesteelle raja-arvo. Järjestelmän havaitessa liiallisen poikkeaman asetelluista arvoista, kytkeytyy huurteensulatus päälle. Tällöin kolmitieventtiili kytkeytyy ohitukselle, mikä tarkoittaa, että osa nestevirrasta palautetaan erillisen kierron kautta poistopatterille, missä se lämmittää patteria ehkäisten sen jäätymistä. Näin ollen neste ei siis enää ole lämmittämässä tuloilmaa ja lämmityspatterille virtaa viileämpää ilmaa, jonka lämmittämiseen kuluu huomattavasti enemmän energiaa kuin LTO:n toimiessa täydellä teholla. Tällöin lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde heikkenee ja energiatehokkuus pienenee hetkelli-

sesti. Vaikka huurteensulatusjaksot eivät tavallisesti ole kovin pitkiä, vaikuttavat ne huomattavasti koneen kokonaisenergiatehokkuuteen pitkällä aikavälillä, jos pakkasjaksoja kertyy useita vuodessa. Perinteisiin nestekiertoisiin järjestelmiin on myös usein varmuuden vuoksi asennettu liian korkea huurteensulatuksen alkamisen raja-arvo, jolloin hukataan energiaa venttiilin kytkeytyessä ohitukselle silloin, kun lämpöä olisi vielä otettavissa talteen (M. Huvinen, henkilökohtainen tiedonanto 2.5.2017).

Netto-järjestelmässä on poistopatterilla paine-eromittaus, joka mittaa poistoilman paine-eroa patterin yli. Näin huurteensulatustarvetta saadaan seurattua eikä turhia sulatusjaksoja tule jolloin säästetään energiaa. Tilanteessa, jossa huuretta kertyy patteriin ja huurteensulatus alkaa, ohjataan 70 % nestevirtaamasta ohitukselle, jolloin talteenoton teho laskee ja lämmin poistoilma sulattaa poistoilmapatterin.

2.5 Ekosuunnitteludirektiivi

Ekodirektiivi on EU:n komission ekosuunnittelusta säätämä direktiivi, joka velvoittaa ja antaa ohjeita kaikille Euroopan markkinoilla toimiville yrityksille, joiden tuotteet kuuluvat direktiivin piiriin. Näitä tuotteita ovat myös ilmanvaihtokoneet, lukuun ottamatta hyvin pienellä sähköteholla varustettuja koneita sekä tiettyihin erikoistiloihin tai tilanteisiin tarkoitettuja ilmanvaihtokoneita (Komission asetus, 2014). Suurin osa kiinteistöjen ilmanvaihtokoneista siis kuuluu asetuksen piiriin. Vaatimuksiin on tulossa kiistykisiä jälleen vuonna 2018, mikä tarkoittaa sitä, että lämmöntalteenoton kehittäminen ja optimointi on erittäin ajankohtaista. Direktiivissä määrätyt hyötysuhdevaatimukset nestekiertoiselle järjestelmälle ovat lievemmat kuin muille järjestelmille (TAULUKKO 3).

TAULUKKO 3. LTO:n hyötysuhdevaatimukset vertailuolosuhteissa

	1.1.2016 alkaen	1.1.2018 alkaen
Muut kuin nestekiertoiset LTO:t	$n_t \geq 67 \%$	$n_t \geq 73 \%$
Nestekiertoiset LTO:t	$n_t \geq 63 \%$	$n_t \geq 68 \%$

Vaatimusten mukainen lämpötilahyötysuhde lasketaan kuivissa vertailuolosuhteissa, jolloin poistoilmasta ei saa tiivistyä vettä, tasapainoisilla ilman massavirroilla, 20 K

sisä- ja ulkolämpötilaerolla sekä ilman puhallinmoottorien ja sisäisten vuotojen tuottamaa lämpöä. Tästä syystä valmistajien ilmoittama laskennallinen hyötysuhde ei välttämättä vastaa todellista, toteutunutta hyötysuhdetta (Tietopaketti IV-koneiden ekosuunnitteluvaatimuksista).

3 MITTAUSLAITTEISTO JA OLOSUHTEET

Mittaukset toteutettiin helmi-maaliskuun 2017 aikana parhaiden mahdollisten olosuhteiden saavuttamiseksi. Toivottavaa oli, että ulkoilman lämpötila olisi mahdollisimman alhainen, jotta mittausolosuhteet vastaisivat riittävän hyvin ääriolosuhteita, joissa huurteensulatusta yleensä tarvitaan. Mittauksiin käytetty kone on suunniteltu ja rakennettu mittauskäyttöön ja sijaitsee Koja Oy:n mittauslaboratoriossa (KUVA 1).



KUVA 1. Mittauksiin käytetty ilmanvaihtokone

3.1 Olosuhteet

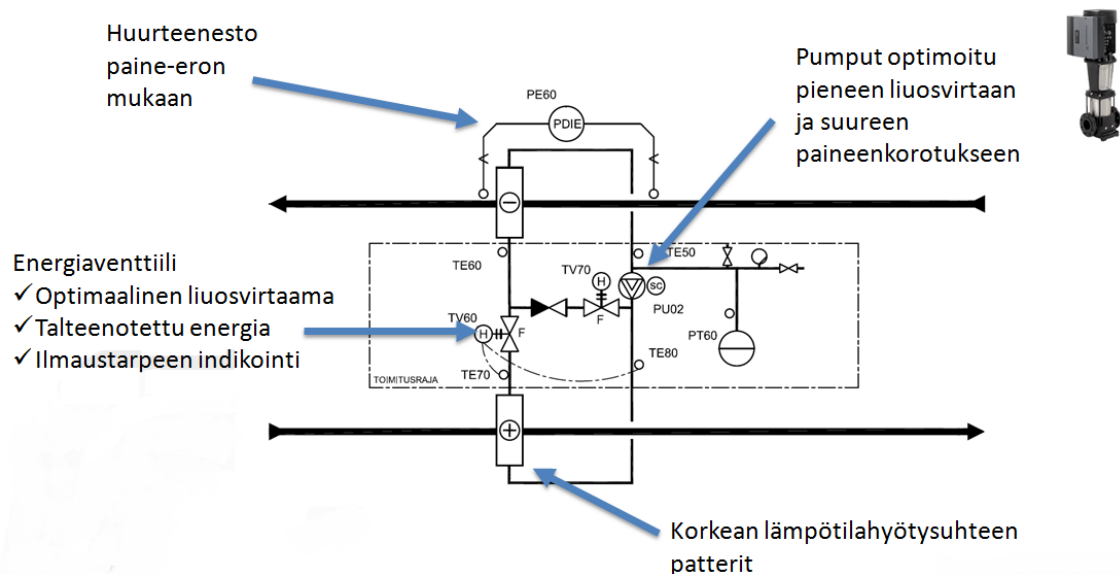
Mittausjakson ajaksi sattui talven kovimmat pakkaset eli olosuhteet olivat parhaat mahdolliset. Lämpötila ei kuitenkaan laskenut alle -16 celsiusasteen eli ääriolosuhteiden vaikutusta ei päästy täysin havainnoimaan. Kuitenkin, kun otetaan huomioon nykypäivän sääolosuhteet ja keskimääräinen pakkaspäivien lukumäärä vuodessa, voidaan kyseenalaistaa, onko paljon tämän kovempiin pakkasiin syytä edes varautua niiden jäädessä vain muutama päivään vuodessa (Ilmatieteenlaitos). Koviin pakkasiin varautuminen vaikuttaa järjestelmän koon mitoittamiseen, jolloin seurauksena on, että käytämme suurelle osalle vuotta täysin ylimitoitettuja koneita.

3.2 Ilmanvaihtokoneen rakenne

Koska tutkimuslaboratorion ilmanvaihtokone on suunniteltu mittauskäyttöön, on se fyysiseltä kooltaan tällaiselle ilmamäärälle ($1 \text{ m}^3/\text{s}$) normaalisti mitoitettua ilmanvaihtokoneetta suurempi. Koneessa on tulopuolella taajuusmuuttajalla varustettu PM-puhallin ja poistopuolella AC-puhallin. Koneen rakenne ja osat on kerrottuna liitteessä 1.

3.2.1 Lämmöntalteenoton toiminta

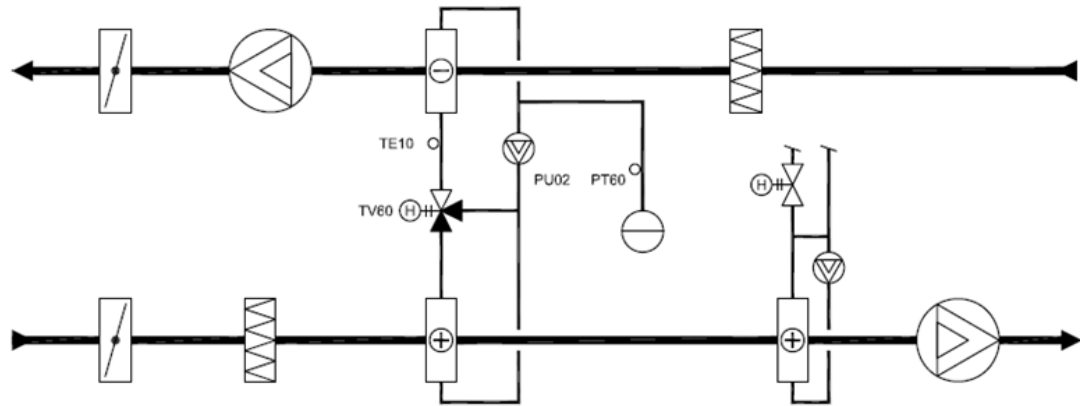
Insinööriyön varsinainen tutkimuksen kohde Netto-järjestelmä on Kojan valmistama (KUVA 2 ja 4). Tässä järjestelmässä lämmöntalteenotossa on tavanomaisen kolmitieventtiilin sijaan kaksi erillistä venttiiliä, jotka säätelevät nestevirtaa: päähaarassa energiaventtiili (KUVA 5) ja kiertohaarassa paineesta riippumaton sähköinen venttiili.



KUVA 2. Uuden Netto-järjestelmän kytkentäkaavio

Venttiilit ovat Belimon valmistamat (Belimo Energy Valve, tekniset tiedot). Sääto koneessa toimii monoetyleeniglykolin aineominaisuuksiin pohjaten siten, että energiaventtiili tarkkailee kaiken aikaa nesteen virtaamaa ja avautuu tai sulkeutuu sen mukaan, kuinka jäykkää neste on. Kiertohaarassa oleva venttiili alkaa avautua vasta, kun nesteen virtaama ja lämpötila laskee niin alhaiseksi, että aletaan lähestyä huurteensulatusta ja nestevirta täytyy kytkeä ohitukselle. Jos poistopatteri kuitenkin alkaa huurtua ja läm-

möntalteenottotarve kasvaa 100 %:iin, ohjaa automaatio nostamaan pumpun kierroksia kohti asetettua nimellisvirtaamaa. Näin taataan se, ettei liuosvirta pienene vaikka liuoksen viskositeetti kasvaakin. Ero normaaliin nestekiertoiseen LTO:on (KUVA 3) syntyy siinä, että järjestelmän säätö perustuu ensisijaisesti nesteen virtaamaa aktiivisesti tarkkaileviin venttiileihin, ei paine-eromittaukseen tai jäteilman lämpötilaan.



KUVA 3. Perinteisen järjestelmän kytkentäkaavio

Nesteen virtaaman tarkkailu mahdollistaa nykyistä nopeamman ja tarkemman säädön venttiilien reagoiessa välittömästi pieniinkin muutoksiin, pelkän paine-eromittauksen ollessa yleensä vasteajaltaan hitaammin reagoiva. Netto-järjestelmässä ei luoteta ainoastaan pumpun kierrostaajuuden muutteluun vaan käytetään myös venttiilejä toisin kuin Heinilän insinööritoimistossa käsitellyssä tapauksessa (Heinilä H. 2013), jossa virtaaman optimointi perustui puhtaasti pumpun kierrosnopeuden muuttamiseen. Heinilä arvioi pelkällä pumpun optimoinnilla olevan laskennallista säätöpotentiaalia, vaikkei se mittausjakson aikana realisoitunutkaan. Näin ollen ei siis voida olla varmoja riittäkö pelkän pumpun optimointi huurteensulatuksen hallintaan. Kiinnostavaa olisikin päästä vertaamaan Heinilän esittelemällä järjestelmällä optimioloissa toteutettua mittausta sekä Netto-järjestelmästä saatuja tuloksia.



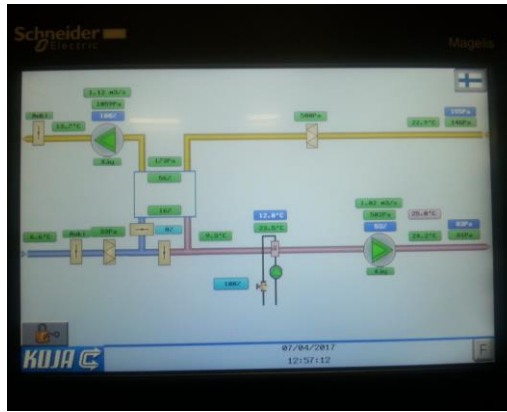
KUVA 4. LTO-piiri



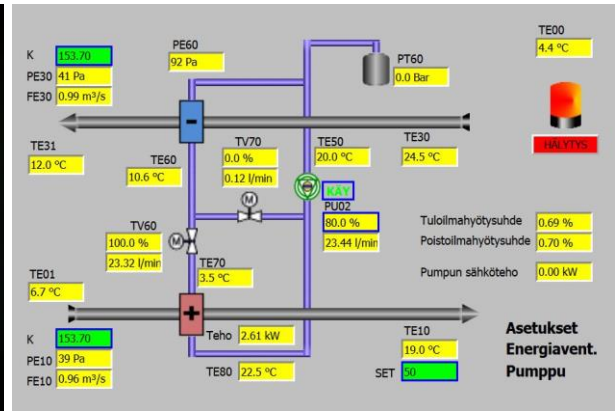
KUVA 5. Energiaventtiili

3.3 Automaation toiminta

Tutkittuun ilmanvaihtokoneeseen on asennettu lukuisia antureita varmistamaan, että kaikki mahdolliset arvot ovat luettavissa ja tallennettavissa. Myyntiin menevien koneiden automatiikka on kytkettävissä asiakkaan haluamaan taloautomaatiojärjestelmään, mutta tutkimuskohteessa automaatio on liitetty osittain Fidelixin valmistamaan sekä osittain Kojassa itse räätälöityyn käyttöliittymään. LTO-kierron ohjaus ja valvonta kulkee Fidelixin kautta (KUVA 7), kun taas ilmanvaihtokoneen säätö ja valvonta hoituu omalla SMART-automaatiojärjestelmällä (KUVA 6). Koneen säätö ei noudata normaaliin tapaan ilman lämpötilaan pohjautuvaa säätökäyrää vaan on asteltu tietyille vakioarvoille, joita voidaan halutun mittaustapahtuman mukaan vaihdella. Tarkempi kuvaus automaation toiminnasta löytyy liitteistä 2 ja 3.



KUVA 6. Ilmanvaihtokoneen ohjaus



KUVA 7. LTO-piirin ohjaus

4 MITTAUSTULOKSET

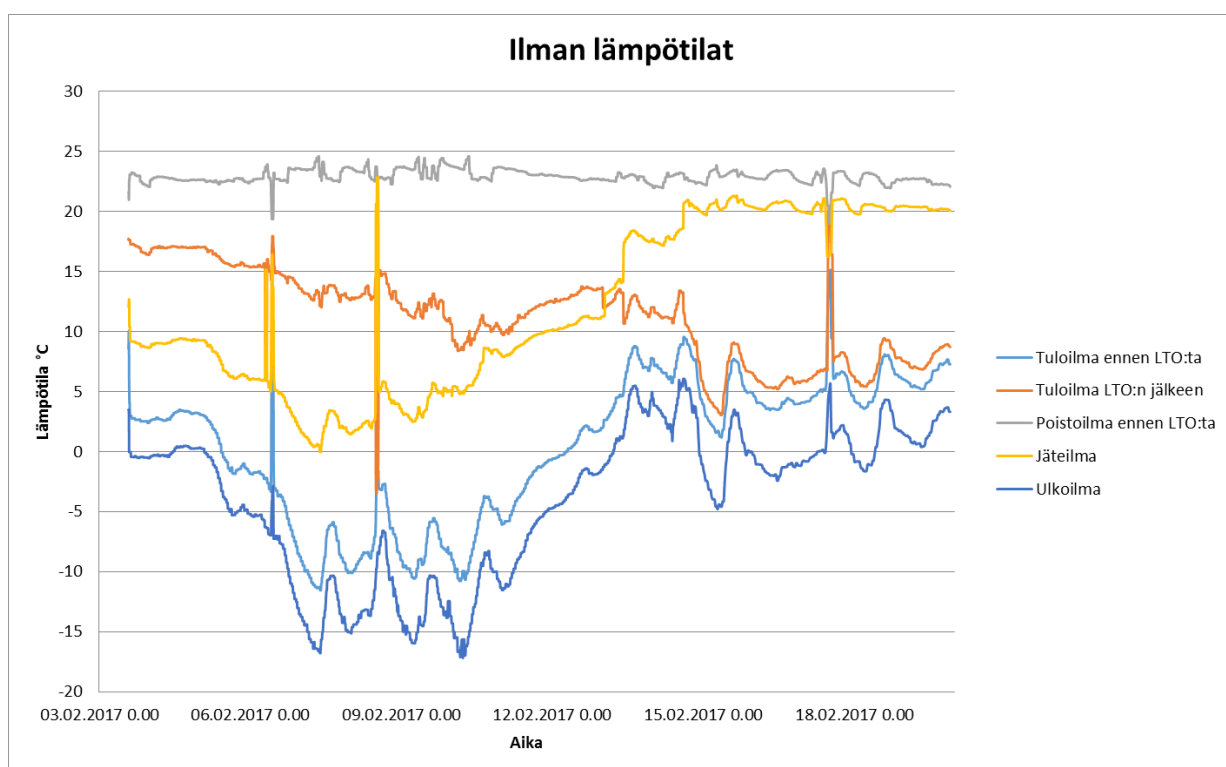
Tutkitun ilmanvaihtokoneen automatiikka tallentaa mittausdataa puolen minuutin välein suoraan pilveen, mistä tiedot ovat luettavissa ja analysoitavissa. Koska mittaukset toteutettiin pitkällä aikavälillä, kertyi pisteitä tuhansia. Näin ollen raan mittausdatan liittäminen tähän työhön olisi epämielekäästä, ja siksi tulokset on esitetty ainoastaan kuvaajamuodossa lukemisen helpottamiseksi. Mittaukset toteutettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa pumpun kierrosnopeutta pienennettiin asteittain simuloimaan huurteensulatuksen lähestymistä, jolloin nesteen virtaus järjestelmässä alkaa hidastua. Näin tutkittiin uusien venttiilien toimivuutta ääriolosuhteissa ja hyötysuhteen pysyvyyttä alhaisilla nesteen virtaamilla. Toisessa mittauksessa ilmanvaihtokoneen puhaltimien nopeutta pienennettiin asteittain, jotta nähtiin, vaikuttaako alhainen ilman virtaus järjestelmän hyötysuhteeseen. Kolmannessa mittauksessa tutkittiin putkistoon lisättävän ilman vaikutusta hyötysuhteen säilyvyyteen.

4.1 Ilman lämpötilat

Ulkoilman lämpötila oli koko mittausjakson aikana melko lämmin, mutta kuten kappaleessa 3 todettiin, kyseessä oli yksi talven 2017 kylmimpiä ajankohtia. Kuviossa 4 on esitetty ilman lämpötila ensimmäisen mittausjakson aikana, jolloin pumpun kierrostaajuutta laskettiin. Ulkoilman lämpötila kuvaa raakaa ulkoilmaa, jota kone ottaa ulkoa. Tuloilman lämpötila ennen LTO:ta kuvaa lämpötilaa, jossa ilma saapuu LTO-patterille. Tämän ilman lämpötila on hieman korkeampi kuin ulkoilman, sillä mittauskäyttöön tarkoitetun koneen rakenteesta johtuen ilma joutui kulkemaan verrattain pitkän matkan kanavassa ennen patterille saapumistaan. Tuloilma LTO:n jälkeen kuvaa LTO-patterin lämmittämän ilman lämpötilaa. Poistoilma ennen LTO:ta kuvaa ilman lämpötilaa ennen kuin siitä on siirretty lämpöä tuloilmaan ja vastaa käytännössä huoneilman lämpötilaa. Jäteilma taas kuvaa LTO:n poistopuolen patterin jälkeistä ilman lämpötilaa ja kertoo minkä lämpöistä ilmaa koneesta puhalletaan takaisin ulos.

Kuten hyötysuhdekaavasta 1 nähdään, näistä lämpötiloista LTO:n tuloilman hyötysuhdelaskennan kannalta oleellisia ovat ulkoilman lämpötila, lämpötilat tulopuolen LTO:n jälkeen sekä ennen poistopuolen LTO:ta. Näiden lämpötilojen avulla on laskettu seuraavassa kappaleessa esitetyt LTO-patterin lämpötilahyötysuhteet.

Kuviossa nähtävä jäteilman ja LTO:n jälkeisen tuloilman äkillinen risteäminen johtuu siitä, ettei neste ole kyennyt enää siirtämään lämpöä tehokkaasti ja osa käytettävissä olevasta lämmöstä on jäänyt jäteilmaan. Vertaamalla kuviota 4 kuvioon 5 nähdään, että hyötysuhteen romahtaessa ensimmäisen kerran rajusti, jäteilman ja LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilat ovat alkaneet lähestyä toisiaan. Kohdassa jossa nämä lämpötilat risteävät, ovat lämpötilahyötysuhteet romahtaneet lopullisesti. Käyrät havainnollistavat selvästi sen, miten huurteensulatusta lähestyttäessä nesteen virtaama heikkenee ja heikentää samalla lämpötilahyötysuhteita. Jähmettymisen seurauksena muuttuu virtaus osittain laminaariseksi ja se menettää lämmönsiirto-ominaisuuksiaan, mikä näkyy jäteilman lämpötilan kohoamisena ja LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan laskuna. Loppuolella mittauksista lämpöä ei siirry juuri lainkaan patterien välillä.



KUVIO 4. Ilman lämpötilat LTO-patterissa sekä ulkoilma lämpötila

4.1.1 Päätelmät

Lämpötilat ovat mittausjakson aikana aluksi suhteessa toisiinsa normaalit, mutta nestevirran alkaessa pienentyä LTO-piirissä ei lämmönsiirtoa tapahdu enää yhtä tehokkaasti kuin aikaisemmin. Tästä syystä jäteilman lämpötila ja tuloilman lämpötila LTO:n jäl-

keen risteävät mittausten loppupuolella. Seuraavan kappaleen lämpötilahyötysuhteiden kuvaajassa vertailulämpötilana käytetty käyrä on tuloilman lämpötila ennen LTO:ta.

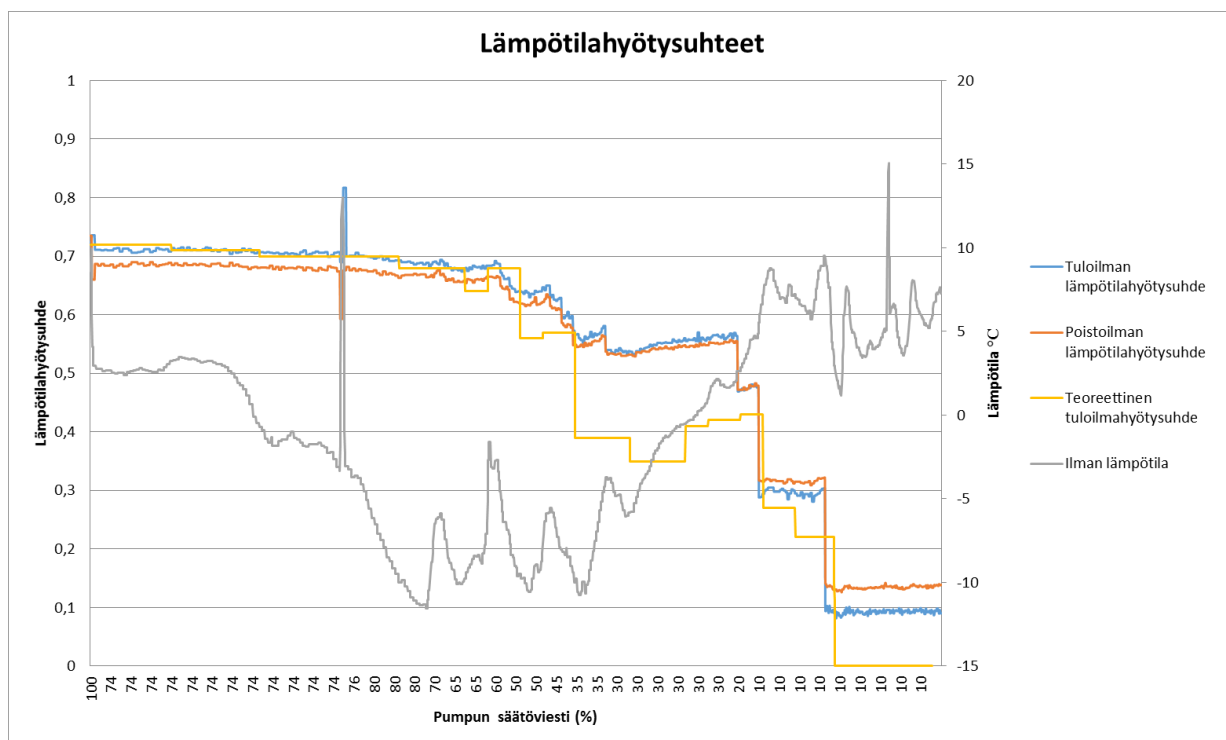
4.2 Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteen muutos

Kappaleessa kolme kuvaillaan insinööriyön tavoite ja järjestelmän toiminta. Jotta järjestelmää voitiin testata ääriolosuhteissa, täytyi sen toimintaa ohjata käsin ja näin alkaa tavoitella haluttuja olosuhteita keinotekoisesti. Mittauksen tarkoituksena on havainnoida kuinka nopeasti ja kuinka alas LTO:n hyötysuhde laskee nesteen alkaessa kylmetä ja muuttua hitaasti liikkuvaksi. Tätä pyrittiin simuloimaan pienentämällä pumpun kierroksia tasaisesti, jolloin nesteen kierto piirissä hidastuu. Alkutilanteessa pumppu toimii normaaliteholla eli asetellulla nesteen normivirtaamalla. Lopussa pumppu pyörii enää vain kymmenesosan teholla tavallisesta. Kuten kuvioista 5 huomataan, lämpötilahyötysuhteet pysyvät erittäin tasaisena pitkään, vaikka tuloilma on reilusti pakkasen puolella ja alkavat laskea jyrkästi vasta, kun pumpun säätöviestiä eli prosentuaalista käyttöastetta pienennetään 20 prosenttiin. Näin pienellä teholla nestepiirin virtaama on enää muutamia senttilitroja minuutissa mikä kuvastaa hyvin tilannetta, jossa neste olisi kohmettunut lähes kokonaan.

Tässä testissä täytyy kuitenkin ottaa huomioon se, ettei pumppu päässyt osallistumaan lainkaan huurteensulatuksen toimintaan ja näin ollen alueella, jolla neste liikkui erittäin hitaasti, olisi lämpötilahyötysuhde saattanut olla parempikin johtuen siitä, että pumppu olisi alkanut nostaa kierrostaajuutta nesteen virtausta kompensoidakseen.

Kaaviossa on esitetty myös Kojan mitoitusohjelmalla luotu teoreettisen tuloilmahyötysuhteen käyrä, jossa näkyvät ohjelman mitoittamat lämpötilahyötysuhteet samoissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa kuin mittauksissa. Kuten huomataan, toimii mitoitusohjelma hyvin silloin kun lämpötilahyötysuhde on hyvä. Nesteen kierron alkaessa heiketä, tippuu ohjelman antama lämpötilahyötysuhde huomattavasti radikaalimmin kuin todellisuudessa. Lisäksi mitoitusohjelma ei osaa kertoa hyötysuhdetta nesteen virtaaman laskiessa hyvin alhaiseksi (alle 0,045 l/s), vaikka todellisuudessa lämmönsiirtoa edelleen tapahtuu. Tämä johtuu siitä, että ohjelma ottaa huomioon Reynoldsin luvun (kaava 3), jonka mukaan nesteen virtausnopeuden laskiessa liian alhaiseksi, muuttuu virtaus laminaariseksi ja näin lämmönsiirto-ominaisuudet menetetään. Nykyisessä Koja Oy:n

LTO-laskentaohjelmassa on tarkoituksena välttää laminaarivirtaus kokonaan mitoitustilanteessa, koska laminaarivirtauksella toimivan patterin osan pinta-ala jäisi lähes hyödyntämättä (Heikkinen H.). Todellisuudessa venttiilien ja pumpun yhteissäätö saa virtaaman todennäköisesti pysymään osittain turbulentsena ja lämmönsiirto-ominaisuudet säilymään hyvinkin pienillä virtaamilla.



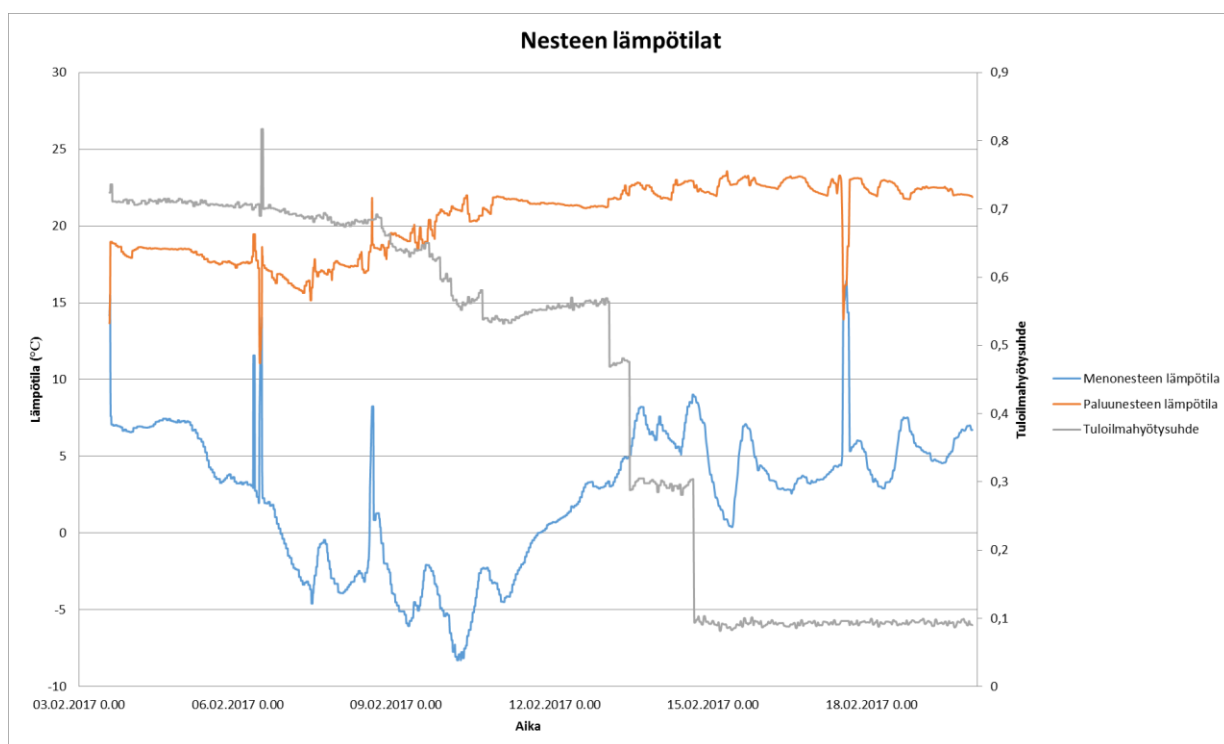
KUVIO 5. Lämpötilahyötysuhteet sekä tuloilman lämpötila ennen LTO:ta

4.2.1 Päätelmät

Udella Netto-järjestelmällä nesteen lämmönsiirto-ominaisuudet saadaan säilymään pidempään kuin vanhalla kolmitieventtiilillä varustetulla järjestelmällä. Lämpötilahyötysuhteet säilyvät hyvinä pidempään ja osittaista lämmönsiirtymistä tapahtuu myös erittäin pienillä nesteen virtaamilla. Mitoitusohjelmalla saatuun käyrään verrattaessa lämpötilahyötysuhteet eivät laske todellisuudessa niin jyrkästi kuin ohjelma antaa olettaa.

4.3 Nesteen lämpötilat

Kuviosta 6 nähdään nesteen lämpötilat ensimmäisen mittausjakson aikana. Kuten kuvaaja osoittaa, nesteen lämpötila ei koko mittausjakson aikana käynyt lähellä jäätymistä. Lämpötilakuvaajien rinnalle on laitettu tuloilman lämpötilahyötysuhteen kuvaaja, jotta voidaan verrata, onko hyötysuhde muuttunut merkittävästi nesteen lämpötilan muuttuessa. Kuvaajasta nähdään lämpötilahyötysuhteen laskeneen nesteen lämpötilan laskiessa, mutta siinä missä lämpötila on poukkoillut edes takaisin, on lämpötilahyötysuhde pysynyt tasaisena. Hyötysuhteen romahtaessa nesteen lämpötila on ollut plussan puolella eli kaukana jäätymisestä. Tästä voidaan päätellä jonkin muun kuin nesteen lämpötilan olevan avaintekijä hyötysuhteen romahtamiseen. Todennäköisesti romahdus johtuu nesteen virtauksen muuttumisesta turbulenttisesta osittain laminaariseksi virtaaman pienen-tyessä.



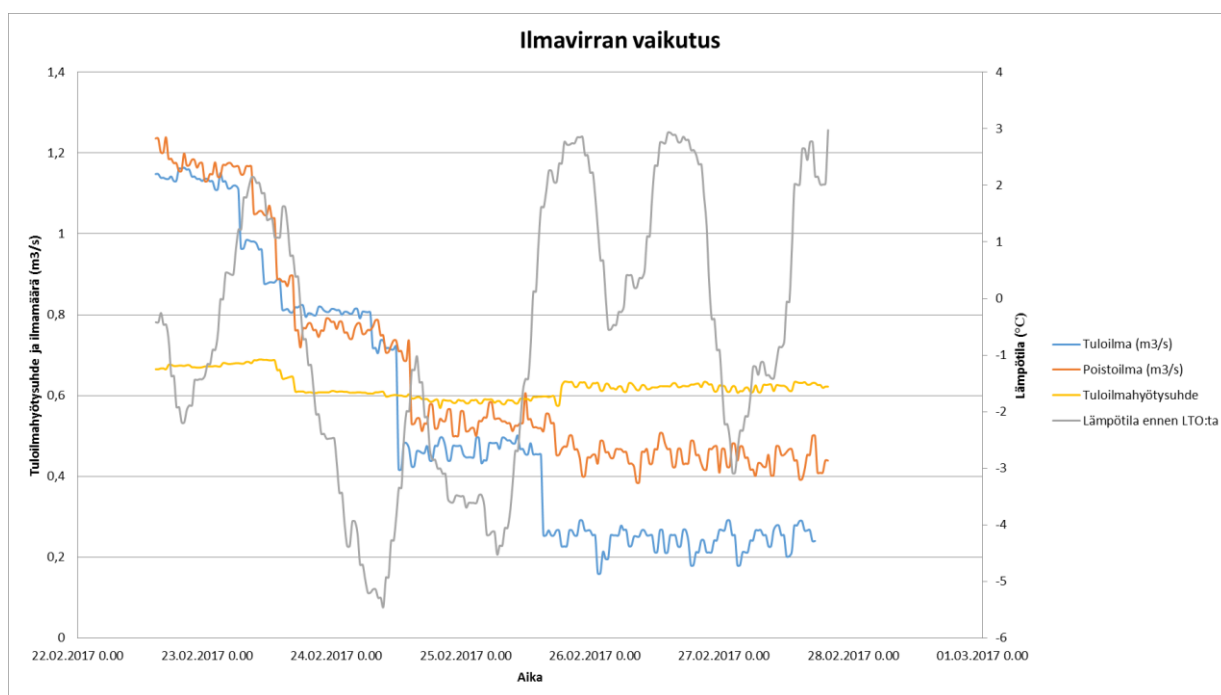
KUVIO 6. Nesteen lämpötilat

4.4 Ilmavirtojen vaikutus

Toisessa kokeessa ilmanvaihtokoneen puhaltimien tehoa alettiin vähitellen pudottaa. Tällä mittauksella haluttiin testata, kuinka hyvin hyötysuhde säilyy, kun ilmanvaihtokoneetta käytetään osailmavirroilla. Kuten kuvaajasta 7 nähdään, ei osailmavirroilla käyt-

täminen laske käytännössä lainkaan LTO:n hyötysuhdetta. Alussa, kun kone toimii optimimitoitustilavirroilla, on hyötysuhde paras, mutta kun ilmavirtoja tiputettiin niin alas kuin puhaltimet antoivat myöden, ei hyötysuhde siitä huolimatta pudonnut alle 60 %:n.

Koe on kiinnostava siksi, että yhä useammat asiakkaat ovat kiinnostuneita siitä, voidaananko ilmanvaihtokoneita käyttää myös mitoitustilavirtoja pienemmillä ilmavirroilla. Tämä johtuu halusta optimoida ilmanvaihtoa paremmin tarpeisiin sopivaksi ja energiatehokkaammaksi. Esimerkiksi ilta-aikaan tai viikonloppuisin, jolloin käyttäjiä saattaa kiinteistössä olla vähemmän kuin arkipäivinä, ei ole energiataloudellisesti kannattavaa vaihtaa ilmaa yhtä tiuhaan kuin täysinä käyttöaikoina. Yhä useammissa kohteissa osa-ilmavirtoja käytetään suurimman osan aikaa. Lisäksi rakennuksilta vaaditaan kaiken aikaa parempaa energiatehokkuutta, joten on välttämätöntä pohtia kaikkia mahdollisia säästökeinoja (Huvinen M. henkilökohtainen tiedonanto 2.5.2017). Ongelmaksi ilmavirtoja pienentäessä olisi saattanut muodostua se, että ilmanvaihtokoneet mitoitetaan aina halutun maksimi-ilmavirran mukaan ja LTO-patterin koko on myös tuota ilmavirtaa vastaava. Kun patterin läpi laitetaan kulkemaan mitoitettua pienempi ilmavirta, olisi mahdollista, ettei poistoilmavirta riittäisi lämmittämään koko patteria. Tällöin siirtoneste alkaisi jähmettyä, jolloin kävisi kappaleessa 4.1 esitetyllä tavalla, eli jäteilmasta ei saataisi enää talteen tuloilman vaatimaa lämpö määrää.



KUVIO 7. Ilmavirran muuttaminen

4.4.1 Päätelmät

Netto-järjestelmässä lämpötilahyötysuhde säilyy tasaisena vaikka konetta käytetään vajailla ilmavirroilla. Tämä mahdollistaa ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden säilymisen myös silloin, kun kiinteistössä on paikalla vähemmän väkeä ja ilmanvaihtoa halutaan pienentää energiakustannusten säästämiseksi.

4.5 Ilman lisääminen nesteeseen

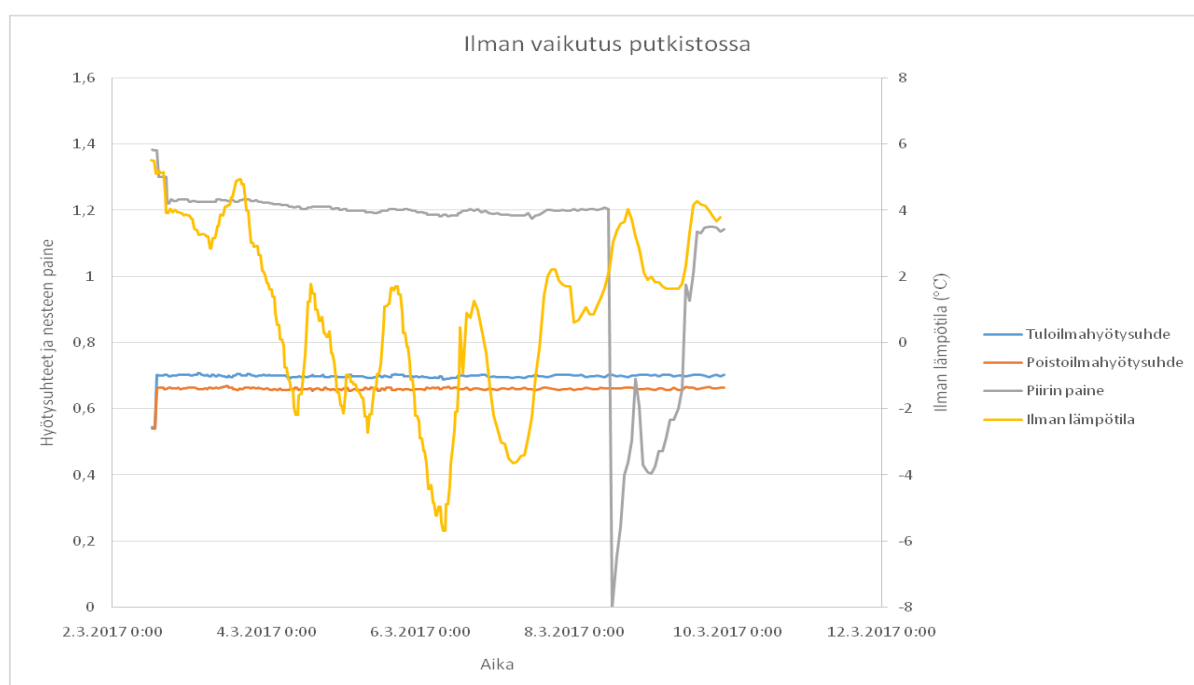
Kolmantena mittauksena testattiin, kuinka ilman lisääminen nesteen kiertopiiriin vaikuttaa järjestelmän hyötysuhteeseen. Tällä haluttiin simuloida tilannetta, jossa nestepiiri on jäänyt asennuksen yhteydessä kokonaan tai osittain ilmaamatta tai sinne on ajan saatossa päässyt vuotamaan ilmaa. Ilman lisääminen putkistoon toteutettiin käsipumpulla, joka kytkettiin venttiilillä osaksi kiertopiiriä (KUVA 8). Käytännössä osoittautui hankalaksi havainnoida, kuinka paljon ilmaa putkistoon on mennyt ja missä muodossa se järjestelmässä liikkuu.



KUVA 8. Käsipumppu

Toivottavaa olisi ollut, että ilma olisi sekoittunut nesteeseen, mutta todennäköisesti kävi niin, että ilma jäi nesteen sekaan suuriksi kupliksi tai matoiksi. Tätä päätelmää tukee myös se, että Netto-järjestelmän energiaventtiili havaitsee nesteen seassa olevat mikrokuplat ja antaa ilmaushälytyksen mikäli ilman vaikutus nesteen lämmönsiirtoominaisuuksiin kasvaa liian suureksi. Mittausten aikana järjestelmä ei kuitenkaan anta-

nut hälytystä, joten voidaan olettaa, ettei ilmaa saatu putkistoon riittävästi. Putkiston olisikin pitänyt olla läpinäkyvä, mikäli koe olisi haluttu toteuttaa kunnollisesti. Kuvasta 8 kuitenkin nähdään hieman osviittaa, sillä vaikka eräissä kohtaa ilmaa on selvästi saatu putkeen paremmin, mikä näkyy nesteen paineen laskuna, eivät lämpötilahyötysuhteet ole liikahtaneet lainkaan. Voidaan siis todeta, että tässä mittauksessa ilman vaikutus järjestelmän lämpötilahyötysuhteeseen on pieni. Ilma on kuitenkin haitallista järjestelmässä jo siitä syystä, että se ruostuttaa putkistoa ja lisää pumppauskustannuksia. Käytännössä on myös todettu, että järjestelmän ilmaamattomuus ja nesteessä olevat ilmakuplat heikentävät oleellisesti lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdetta ilman kuristaessa nesteen virtauksen laminaariseksi (Nykänen M. Henkilökohtainen tiedonanto 2.5.2017).



KUVIO 8. Ilman vaikutus putkistossa

4.5.1 Päätelmät

Mittauksissa ei saatu havainnoitua kunnolla ilman vaikutusta järjestelmän lämpötilahyötysuhteisiin, sillä ei ollut mahdollista mitata kuinka paljon ja missä muodossa ilmaa putkeen saatiin. Piirin paine kuitenkin laski mittausten aikana, mutta lämpötilahyötysuhde ei, eli ainakaan tässä mittauksessa ilma ei vaikuttanut järjestelmän toimintaan.

5 SUUNNITTELIJAKYSELY

Koska insinööriyön tarkoituksena oli tutkia kaupalliseen käyttöön tulevaa järjestelmään, haluttiin ohessa kartoittaa LVI-suunnittelijoiden mielikuvia ja mielipiteitä nestekiertoisten LTO-järjestelmien toiminnasta sekä tarkoituksenmukaisuudesta. Tätä tarkoitusta varten laadittiin kolme avointa kysymystä, jotka lähetettiin 477 suunnittelijalle. Kysymykset kuuluivat: 1. Milloin ja miksi alkaa huurteensulatus nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä (esim. ulkolämpötila, nesteen lämpötila tms.), 2. Miksi lämmöntalteenoton hyötysuhde laskee nestekiertoisessa järjestelmässä ulkolämpötilan laskiessa ja 3. Millaisia parannusehdotuksia haluaisit esittää nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän kehittämiseksi. Ensimmäisellä kysymyksellä haluttiin kartoittaa pääasiassa suunnittelijoiden tietämys nestekiertoisen LTO:n toiminnasta yleisesti. Toisen kysymyksen tarkoitus oli sama kuin edellisen, mutta tässä haettiin syvällisempää tietämystä nesteen aineominaisuuksien muutoksesta eri lämpötiloissa. Kolmannella kysymyksellä pyrittiin kartoittamaan suunnittelijoiden mielialoja ja kokemuksia nestekiertoisista järjestelmistä sekä kuulostelemaan heidän halukkuuttaan saada parannuksia näiden järjestelmien toimintaan.

Kyselyyn vastasi 12 % suunnittelijoista, mitä voidaan pitää hyvänä otantana, kun kyseessä on avoimia kysymyksiä sisältävä tutkimus. Vastauksien perusteella noin 75 %:lla vastaajista on hyvä tai kohtalainen käsitys nestekiertoisen LTO:n toiminnasta, mutta vain noin 60 % ymmärtää syvällisemmin järjestelmän toimintaa. Vastaajista 70 %:lla oli konkreettisia ja vartenotettavia ehdotuksia järjestelmän kehittämiseksi ja näistä 14 % prosenttia oli joko tyytyväisiä insinööriyön aiheena olevaan järjestelmään tai tullut ajatelleeksi työssä kuvattujen mittausmenetelmien käyttöä. Kyselyn vastaukset löytyvät liitteestä 4.

Muina vartenotettavina ideoina nestekiertoisten järjestelmien parantamiseksi mainittiin muun muassa poistoilman kosteuden tarkkailu ja kastepisteen lisääminen osaksi säätöparametreja, pattereiden ilmauksen helpottamista, esilämmityspatterin asentamista, lämmönsiirtonesteen vaihtamista (esim. freeziumiin) sekä patterin huurtumisen tarkkailua optisella valokennolla. Näistä esilämmityspatterin asentaminen ei välttämättä toisi parannusta vuosihyötysuhteeseen, vaikka se lämpötilahyötysuhdetta kohentaisikin, sillä patterin lämmittäminen vaatisi sähköenergiaa. Asiaa voisi kuitenkin tutkia mittaamalla, mikä olisi esilämmityspatterin optimilämpötila niin että LTO-patterista saataisiin kui-

tenkin kaikki teho irti. Kastepisteen lisäämisessä hankaluutena taas on saada uusi mitausparametri kommunikoimaan muiden järjestelmän osien kanssa. Uusiin lämmönsiirtonesteisiin siirtyminen taas olisi kallista, sillä esimerkiksi freezium vaatii järjestelmän osilta enemmän kuin muut nesteet ollen yhteensopimaton esimerkiksi galvanoitujen pintojen ja alumiinin kanssa. Freezium on kuitenkin aineominaisuuksiltaan parempi muihin lämmönsiirtonesteisiin verrattuna ja mikäli LTO-laitteistojen hyötysuhdevaati-mukset tulevaisuudessa vielä kiristyvät, saattaa siirtonesteen kehittäminen olla viimeisiä keinoja nestekiertoisen lämmöntalteenoton tehostamiseen (Freezium-opas).

Kokonaisuutena kysely antaa hyvän kuvan suunnittelijoiden tietämyksestä nestekiertoisen LTO:n suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, ettei uutta järjestelmää markkinoidessa tarvitse keskittyä liikaa itse nestekiertoisen järjestelmän toiminnan selostamiseen vaan voidaan suunnata huomio Netto-järjestelmän tarjoamiin parannuksiin ja sen luomiin uusiin mahdollisuuksiin.

6 POHDINTA

Mittausten perusteella uusi säätö- ja kytkentätapa voidaan todeta toimivaksi ja sen tarjoavan huomattavia parannuksia nestekiertoisen LTO-järjestelmän toimintaan ja hyötysuhteiden säilymiseen myös huurteensulatustapauksissa. Netto-järjestelmällä päästään nykyistä parempiin hyötysuhteisiin myös osittain laminaarisilla virtauksilla, mikä ei vanhassa kytkentämallissa onnistu kolmitieventtiilin ohjatessa herkästi nestekierron patterin ohitukselle ja näin päästään kylmän ulkoilman virtaamaan suoraan lämmityspatterille. Ohitus heikentää koneen vuosihyötysuhdetta lämmitystarpeen lisääntyessä ja näin kasvattaa käyttökustannuksia.

Uusi Netto-järjestelmä saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia huollettavuuden suhteen, sillä venttiileiden ollessa jatkuvassa liikkeessä saattavat ne kulua käytössä nopeammin kuin tavanomaisessa järjestelmässä. Järjestelmän säännöllinen tarkkailu onkin tärkeää laitevikojen ja toimintahäiriöiden välttämiseksi. Kehittämistä vaatii myös Kojan käyttämä mitoitusohjelma, sillä Netto-järjestelmässä saadut tulokset osoittavat venttiilien kykenevän toimimaan huomattavasti pienemmillä nesteen virtaamilla kuin mitoitusohjelma antaa ymmärtää. Lisäksi ohjelma antaa todellista pienempiä hyötysuhteita kuin mittauksissa on todettu ja näin ollen todellisuutta huonompaa kuvaa järjestelmän potentiaalista. Haasteena onkin ratkaista, millaisia parametreja käyttäen ohjelma saadaan ottamaan huomioon hyötysuhteen pysyvyys nesteen virtaaman pienentyessä lähes laminaariseksi. Tämä vaatii varmasti lisämittauksia yksiselitteisten arvojen takaamiseksi.

Lämmönsiirtonesteen vaihtaminen olisi yksi vaihtoehto järjestelmän lämpötilahyötysuhteen kasvattamiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen. Monilla muilla lämmönsiirtonesteillä kuten Freeziumilla tai kaliumformiaatilla on parempi pakkasenkestävyys kuin monoetyleeniglykolilla. Nämä kuitenkin vaativat järjestelmän rakenteelta enemmän yhteen sopimattomia galvanoitujen pintojen ja alumiinin kanssa. Näihin nesteisiin siirtyminen siis tarkoittaisi nestepiirien materiaalien muuttamista, mikä saattaisi tulla valmistajille kalliiksi. Glykoli on kuitenkin ympäristölle haitallinen aine, mikä antaa entisestään aiheutta pohtia muihin lämmönsiirtonesteisiin siirtymistä (OVA-ohje). Vaikka mononetyleeniglykoli onkin yleisimmin käytetty neste, löytyy Kojan mitoitusohjelmasta myös monia muita vaihtoehtoja kuten Freezium, Thermera sekä Nature. Näin ollen Netto-järjestelmän mitoitus on mahdollista tehdä myös näille lämmönsiirtonesteille, mikäli asiakas sitä haluaa.

Ilman vaikutusta kiertonesteeseen ei käytettävissä olevalla mittalaitteistolla päästy kun-
nolla toteamaan ja sen vaikutusten tarkastelua voitaisiinkin jatkaa uusilla mittauksilla ja
järjestelmän rakennetta muuttamalla. Lisäksi muissa mittauksissa saatuja tuloksia on
hyvä vahvistaa asentamalla samankaltaisia mittausjärjestelyjä todellisiin kohteisiin ja
keräämällä niistä mittausdataa erilaisten olosuhteiden vaikutuksen ymmärtämiseksi en-
tistä paremmin.

Insinööriyön Kojan asettamien rajattujen tavoitteiden voidaan katsoa täyttyneen. Uusi
kytkentämalli on toimiva ja se parantaa nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpöti-
lahyötysuhdetta sekä ilmanvaihtokoneen energiatehokkuutta. Netto-järjestelmä on lisäk-
si hyvä alusta jatkokehittää entistä parempia ratkaisuja nestekiertoisen lämmöntalteen-
oton parantamiseksi.

LÄHTEET

Belimo Energy Valve, tekniset tiedot. Luettu 18.3.2017

http://www.belimo.fi/pdf/fi/EV..R_BAC_datasheet_fi-fi.pdf

Betaine, substance summary. Luettu 27.4.2017

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/247#section=Top>

Freezium-opas. Vesitekno Oy. Luettu 20.4.2017

<http://www.vesitekno.fi/pdf/freeziumopas.pdf>

Heikkinen H. 2002. LTO-pattereiden laskentalämpötilan vaikutus. Selvitys.

Heinilä H. 2013. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi. Insinööritoimisto. Metropolita ammattikorkeakoulu.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriö. Luettu 18.4.2017

http://www.laskentapalvelut.fi/maaraykset/YM_opas_122.pdf

Ilmatieteenlaitoksen vuodenaikojen tilastot kovista pakkasista. Luettu 28.3.2017

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kovat-pakkaset-ja-kylmimmat-talvet>

Komission asetus [EU] N:o 1253/2014 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta. Luettu 13.4.2017

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=FI>

Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Juvonen J. & Lapinlampi T. Ympäristöministeriö, 2013). Luettu 27.4.2017

<http://hdl.handle.net/10138/40953>

Marttila E. Pumpun valinta glykoliverkostossa. 1985. LVI-lehti 8/1985

Nuora H. 2008. Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu. Opinnäyte-työ. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748/Nuora%20Harri.pdf?sequence=1>

OVA-ohje: Etyleeniglykoli. Työterveyslaitos. Luettu 2.5.2017

<https://www.ttl.fi/ova/etyleeniglykoli.pdf>

Seppänen O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Suomen LVI-liitto ry.

Seppänen O. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Tietopaketti IV-koneiden ekosuunnitteluvaatimuksista. Kojä Oy. Luettu 13.4.2017

<http://www.koja.fi/uploads/images/pdf/Tietopaketti%20ekosuunnitteluvaatimuksista.pdf>

Välilliset kylmlaitokset, suunnittelu ja rakentaminen. 2001. TTY

Ympäristöministeriön asetus ilmapäsittelykoneiden tyyppihyväksynnästä. 2008. Luettu 14.3.2017

http://www.finlex.fi/data/normit/33885/THohje_151108_ilmapasittelykoneet.pdf

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2012. Luettu 21.3.2017

http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf

Ympäristöministeriön asetus sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. 2003. Luettu 21.3.2017

<http://www.finlex.fi/data/normit/1921/D2s.pdf>

Ympäristöministeriön asetus sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. 2012. Luettu 21.3.2017

http://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012_Suomi.pdf

Ympäristöministeriön ohjeet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskennasta. 2012. Luettu 21.3.2017

https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf

LIITTEET

Liite 1. IV-koneen tekninen tuloste



Future++
Ohjelmaversio 6.11.2015

10.11.2015
Sivu: 1 / 7
TK1 / PK1

Projektin yhteenlaskettu sähköteho	1.6	kW
Projektin yhteenlaskettu SFP	1.62	kW/(m³/s)

Koneen kuvaus

Ilman tiheys	1.2	kg/m³
SFP	1.62	kW/(m³/s)
Tulokone		
Konekoko	0906	
Ilmavirta	1.00	m³/s
Otsapintanopeus	1.66	m/s
Raitisilmavirta		m³/s
Kanaviston painehäviö, pst	300	Pa
Poistokone		
Konekoko	0906	
Ilmavirta	1.00	m³/s
Otsapintanopeus	1.66	m/s
Kanaviston painehäviö, pst	300	Pa
Ulkoilma		
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	27.0 °C / 50	%
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	-26.0 °C / 90	%
Tuloilma		
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	27.0 °C / 50	%
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	-3.8 °C / 17	%
Poistoilma		
Lämpötila / suhteellinen kosteus kesällä	25.0 °C / 30	%
Lämpötila / suhteellinen kosteus talvella	22.0 °C / 30	%

Äänen tehotaso

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz		
Raitisilmakanavaan	58	61	79	73	69	65	63	60	dB	76	dB(A)
Tulokanavaan	65	66	77	76	74	72	66	64	dB	79	dB(A)
Poistokanavaan	58	61	79	73	69	65	63	60	dB	75	dB(A)
Jäteilmakanavaan	65	66	77	76	74	72	66	64	dB	79	dB(A)
Konehuoneeseen, tulopuhallin	64	63	55	47	45	42	36	29	dB	53	dB(A)
Konehuoneeseen, poistopuhallin	64	63	55	47	45	42	36	29	dB	52	dB(A)
Konehuoneeseen, yhteisvaikutus	67	66	58	50	48	45	39	32	dB	56	dB(A)

Koneen toiminnot

Tulokone

Tyyppi

1. Vaippamoduuli

Tyyppi

Vaipan materiaali (sisä/ulko)

FMOD-0906-R-1-700-1-S

Future

Kuumasinkitty/Kuumasinkitty

Lämmöntalteenottotoiminto, patteri
FRTG-0906-R-14-1-2.0-3-2-30-T-S

Patterin riviluku	14
Patterin reittiluku	3
Lamellijako	2 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L25/28.0
Ilmapuolen painehäviö	134 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	-26.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen	-3.8 °C
Lämmitysteho	26.7 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö	145.9 kPa
Nestevirta	0.37 kg/s
Nesteen nopeus	0.97 m/s
Nestetilavuus	26.5 l
Teho ilman rajoitusta:	
Ulkoilman lämpötila	-26.0 -17.3 -8.7 0.0 8.7 °C
Lämpötila ulos	8.0 10.8 13.2 15.7 18.3 °C
Tuloiilman lämpötilahyötysuhde	71 72 71 72 72 %
Teho	41.1 34.0 26.5 19.1 11.8 kW
Huurtumisen esto alkaa ulkolämpötilassa	-8.9 °C
Huurtumissuojatermostaatin asetusarvo nesteelle	-3.0 °C
Tulopatteri	FROG-0906-R-14-1-2.0-3-2-30-T-S-L25/28.0
Putkilaippa	FPZL-DN25-*4

2. Vaippamoduuli
FMOD-0906-R-1-1400-1-S

Tyyppi	Future
Vaipan materiaali (sisä/ulko)	Kuumasinkitty/Kuumasinkitty

Puhallintoiminto, kammiopuhallin
FFTS-0906-R-040-SB-1-1-2-1-3-S-3
Puhallin

GPEB-1-00-040-09-0

Puhallinkoko

040

Puhaltimen pintakäsittely

Kuumasinkitty

Tärinänvaimennin

Kumi

Kokonaispaineenkorotus

434 Pa

Hyötysuhde (St)

75 %

Hyötysuhde (Kok)

78 %

Kierrosluku

1696 1/min

Kierrosluku, max.

3325 1/min

Äänen tehotaso, A-painotettu

79 dB(A)

k-kerroin / referenssipaine-ero

 $q_v \left(\frac{m^3}{s} \right) = k \times \sqrt{\Delta p (Pa)}$ 0.0453515 / 1093 Pa

Taajuus min. / mitoituspisteessä / max.

10 / 59 / 71 Hz

Verkosta ottama teho

0.81 kW

Verkosta ottama teho 97%

0.76 kW

Moottori

APAL-4-00110-1-2-7

Teho (nimellinen)

1.10 kW

Pyörimisnopeus (nimellinen)

1435 1/min

Virta (nimellinen)

2.50 A

Hyötysuhde (nimellinen)

81 %

Jännite

3 ~ 400 V

Taajuus (nimellinen)

50 Hz

Moottorin varmuus

1.00

Ääni

63 125 250 500 1k 2k 4k 8k Hz

Imupuoli

58 61 79 73 69 65 63 60 dB

Paineapuoli

70 71 79 77 74 72 66 64 dB

Puhallin

GPEB-1-00-040-09-0 1.10 kW 4P 12

Ikkuna

FIZL-IL1-200

Ilmavirtamittari

FIZM-IM3-GPEB-040

Sarana, huoltoluukkuun

FSZH-SH1-*

Valaisin

FVZV-VV1-1

Poistokone

Tyyppi

3. Vaippamoduuli
FMOD-0906-L-1-900-1-S

Tyyppi

Future

Vaipan materiaali (sisä/ulko)

Kuumasinkitty/Kuumasinkitty

Lämmöntalteenottotoiminto, patteri
FRTG-0906-L-16-1-2.4-3-2-30-P-S

Patterin riviluku	16
Patterin reittiluku	3
Lamellijako	2.4 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L25/28.0
Ilmapuolen painehäviö	128 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	22.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen	1.9 °C
Lämmitysteho	-26.5 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö	166.7 kPa
Nestevirta	0.37 kg/s
Nesteen nopeus	0.97 m/s
Nestetilavuus	30.3 l
Poistopatteri	FJOV-0906-L-16-1-2.4-3-2-30-S-L25/28.0
Putkilaippa	FPZL-DN25*-4

4. Vaippamoduuli
FMOD-0906-L-1-1400-1-S

Tyyppi	Future
Vaipan materiaali (sisä/ulko)	Kuumasinkitty/Kuumasinkitty
Puhallintoiminto, kammiopuhallin	FFTS-0906-L-040-SB-1-1-2-1-3-S-3
Puhallin	GPEB-1-00-040-09-0
Puhallinkoko	040
Puhaltimen pintakäsittely	Kuumasinkitty
Tärinänvaimennin	Kumi
Kokonaispaineenkorotus	428 Pa
Hyötysuhde (St)	75 %
Hyötysuhde (Kok)	79 %
Kierrosluku	1689 1/min
Kierrosluku, max.	3325 1/min
Äänen tehotaso, A-painotettu	79 dB(A)
k-kerroin / referenssipaine-ero	$q_v \left(\frac{m^3}{s} \right) = k \times \sqrt{\Delta p (Pa)}$ 0.0453515 / 1093 Pa
Taajuus min. / mitoitusasteessa / max.	10 / 58 / 78 Hz
Verkosta ottama teho	0.81 kW
Verkosta ottama teho 97%	0.73 kW

Moottori

APAL-4-00150-1-2-7

Teho (nimellinen)	1.50	kW
Pyörimisnopeus (nimellinen)	1450	1/min
Virta (nimellinen)	3.31	A
Hyötysuhde (nimellinen)	83	%
Jännite	3 ~ 400	V
Taajuus (nimellinen)	50	Hz
Moottorin varmuus	1.30	

Ääni

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Imupuoli	58	61	79	73	69	65	63	60	dB
Painepuoli	70	71	79	77	74	72	66	64	dB

Puhallin

GPEB-1-00-040-09-0 1.50 kW 4P 12

Ikkuna

FIZL-IL1-200

Ilmavirtamittari

FIZM-IM3-GPEB-040

Sarana, huoltoluukkuun

FSZH-SH1-*

Valaisin

FVZV-VV1-1

Konealusta, TK1

FKZA-0906-1-2100-160-1

Säätöjalka

FSZJ-SJ1-16 x6

Konealusta, PK1

FKZA-0906-1-2300-160-1

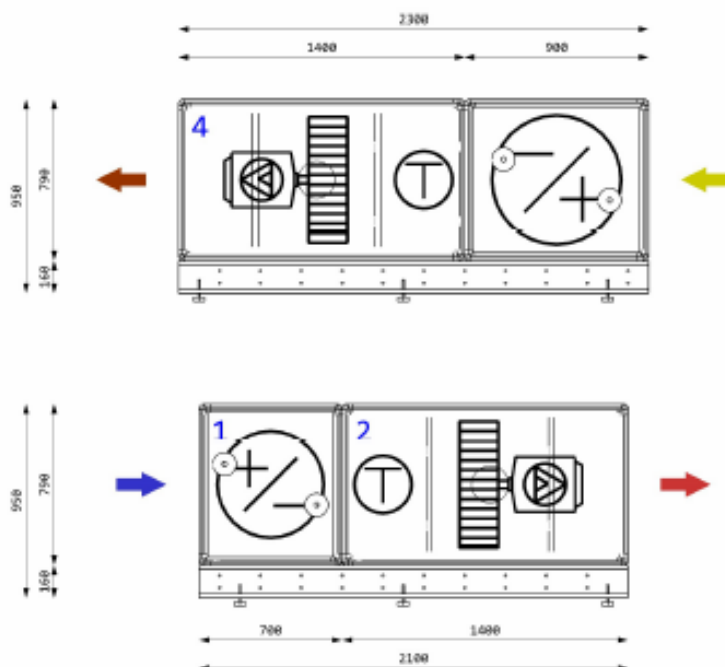
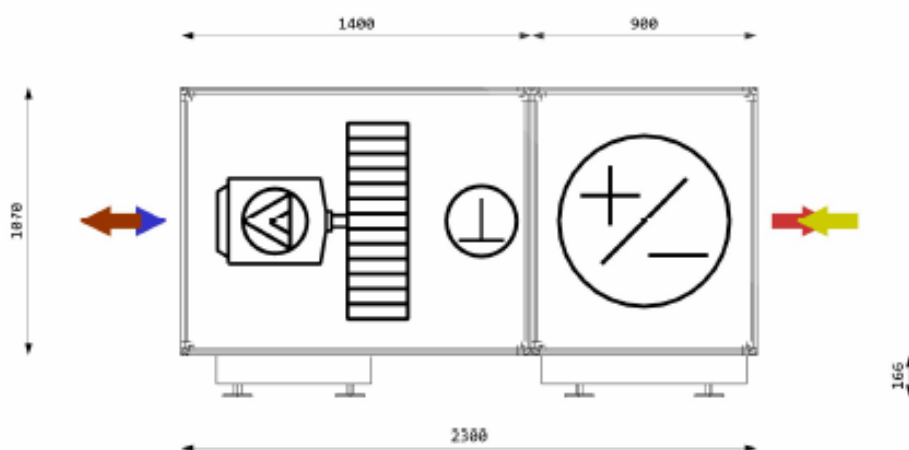
Säätöjalka

FSZJ-SJ1-16 x6

Koneen kuva

Mittakaava: Ei mittakaavaa

Huoltopuoli


Yläpuoli


Tiivysluokka (EN 1886) L2, kun kone toimitetaan enintään 3 lohkossa ja L3, kun kone toimitetaan 4 - 7 lohkossa, lämpöeristys 50 mm.

Painot, mitat ja tilavuudet
Tulokone

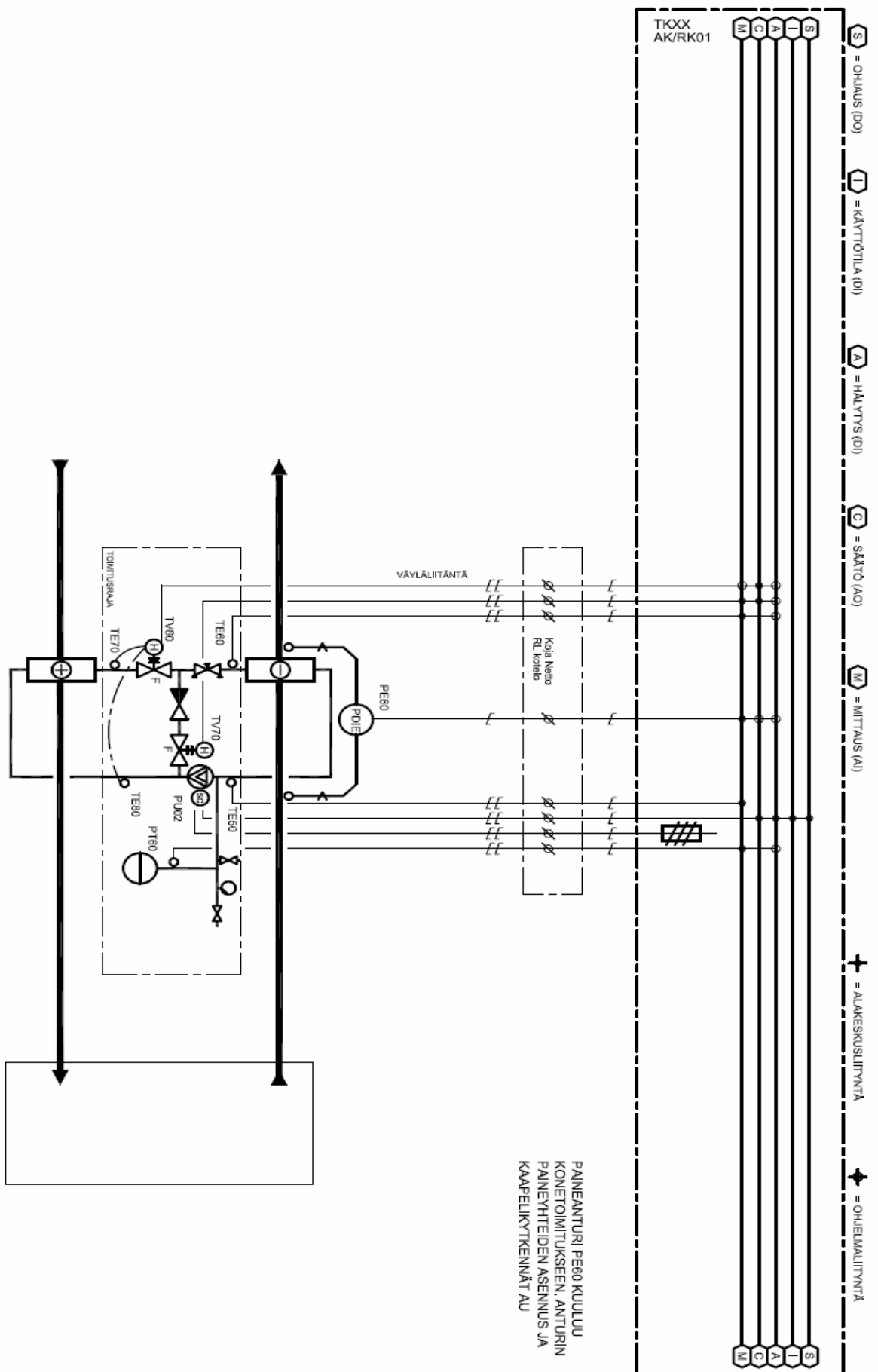
Paino	376.2	kg
Koneen tilavuus	1.8	m ³
Koneen vaippapinta-ala	8.3	m ²

Poistokone

Paino	396.4	kg
Koneen tilavuus	1.9	m ³
Koneen vaippapinta-ala	9.0	m ²

1. Vaippamoduuli	FMOD-0906-R-1-700-1-S	191	kg
	1070 x 790 x 700 mm	0.6	m ³
		2.8	m ²
2. Vaippamoduuli	FMOD-0906-R-1-1400-1-S	129	kg
	1070 x 790 x 1400 mm	1.2	m ³
		5.4	m ²
3. Vaippamoduuli	FMOD-0906-L-1-900-1-S	208	kg
	1070 x 790 x 900 mm	0.8	m ³
		3.6	m ²
4. Vaippamoduuli	FMOD-0906-L-1-1400-1-S	130	kg
	1070 x 790 x 1400 mm	1.2	m ³
		5.4	m ²
Konealusta	FKZA-0906-1-2100-160-1	56.25	kg
Konealusta	FKZA-0906-1-2300-160-1	59.05	kg

Liite 2. Netto säätökaavio



KAAPeli KOnetOIMItUKSessa

[illegible]

Liite 3. Netto toimintaselostus

KOJA NETTO TOIMINTASELOSTUS									
1. TALLENOTON TOIMINTA									
1.1 Tallenoton toiminta									
Kun kone ei käy jatkoi tallenotarvetta ei ole, energiventiliä TV80 on täysin auki, ohtusventiliä TV70 on kiinni ja pumpun PU02 ei käy. Pumpun oltessa pysähtyneenä, käynnistetään se venttiilivaihtojen avulla asettelavara aikana asettelavaksi ajaksi (esim. 1min/vrk) kiinniliutuksen estämiseksi.									
Tallenototarpeen alkaessa automaatiojärjestelmän käynnistää ensin pumpun PU02 asetteluun nopeuteen (noin 30% mitatusvirtausta) ja ohjaa lamontarpeen mukaan 1. portaan energiventiliä TV80 mitoitettun virtausarvoon saakka. Ohtusventiliä on kiinni. Jos mitoitettua virtaamaa ei saavuteta, lisätään 2. portaan PU02 pyöränopeutta.									
Lämöntarpeen pieneydessä on toiminta päinvastainen.									
Tallenoton oltua vähintään asettelajan määräjän (esim. 30 min) täydellä teholla, ohjataan se huurteenpoistokäytölle paine-eron PE80 noususta yli ohjelmasta asettelajan, poistopuhaltimen virtauspaineen (PE30) perusteella lukuun raja-arvossa (Kuvuz. Huurteenpoistokäytölle). Huurteenpoistokäytölle uudelleenohjaus voi tapahtua alustavien asettelajan ajan (esim. 15 min) kuluuttua edellisen huurteenpoistokäytön päätyttyä. Huurteeneston kesto on asettelavissa (esim. 15min).									
Huurteenpoistokäytöllä ohjataan energiventiliä TV80 asettelavaan arvoon (noin 20%) ja ohtusventiliä TV70 asettelavaan arvoon (noin 80%). LTO 4. pumpulla PU02 säädetään venttiilien yhteisasteeksi virtaamaksi LTO:n mitoitusvirtaus. Tulot- ja poistopuhaltimen teho lasketaan 30 prosentin lämmityspatterin tehontarpeen rajoittamiseksi.									
Energiventiliä TV80 läitetään automaatiojärjestelmään Baconin kautta. Energiventiliästä TV80 saadaan Baconet väyällymään kautta säästetty energia kWh. Kaikista toimintakavavissa esitellyistä pisteistä luodaan automaatiojärjestelmään trendiseuranta. Säästelyä energiasta luodaan automaatiojärjestelmään graafinen kuukauskohtainen tilustettava raportti.									
1.2 Jäähdytystehon tallenotto									
Poistojen lämpötilan (TE30) laskiessa asettelavan arvon (esim. 1°C) verran matalammaksi kuin ratkaisun lämpötila (TE01), ohjataan tallenotto täydelle teholle. Toiminto poistuu, kun poistojen lämpötila (TE30) on enää asettelavan arvon verran matalampi (esim. 0,5°C) kuin ratkaisun lämpötila (TE01).									
1.3 Tallenoton rajoitusääto									
Rajoitusääto kasvatetaan tallenoton tehon tallenoton jälkeen tulon lämpötilan (TE02) laskiessa alle rajoitusäädon asetusarvon (esim. +15°C).									
2. Laskentaohjelmat									
2.1 Käyntitietokaskeumat									
Tallenotopumpun PU02 kumulaatiivista käyttöaikaa (h) lasketaan automaatiojärjestelmässä. Käyntitietokaskeun on nolattavissa käyttöpaätteella. Tallenoton kumulaatiivista huurteeneston oloaika (h) lasketaan automaatiojärjestelmässä. Käyntitietokaskeun on nolattavissa käyttöpaätteella. Tallenoton huurteenestokäytön kumulaatiivista lukumäärää (kpl) lasketaan ohjelmassa. Käyntitietokaskeun on nolattavissa käyttöpaätteella.									
2.2 Tallenoton hyötysuhde									
Energiventiliästä TV80 saadaan Baconet väyällymään tallenotettu energia, jota verrataan poistojen oltavissa olevaan energiamäärään.									
3. OHJELMALLISET HÄLYTYKSET									
3.1 Varotoimintojen hälytykset									
Tallenotopumpun ilmaustarpeesta tapahtuu automaatiojärjestelmään hälytykset (luokka 2).									
3.2 Laitehälytykset									
Energiventiliä TV80 ja ohtusventiliä TV70 vikaantumisesta tapahtuu automaatiojärjestelmään hälytykset (luokka 1). Hälytyksiä vahvotaan jatkuvasti.									
3.3 Ristiriitahälytykset									
Automaatiojärjestelmään tapahtuu pumpulla PU02 ristiriitahälytykset (luokka 2), mikäli pumpun ei löyde ohjausta. Hälytyksiä vahvotaan jatkuvasti.									
3.4 Raja-arvohälytykset									
Tallenoton paine-eron PE80 ylitäessä yläraja-arvossa, tapahtuu automaatiojärjestelmään hälytykset (luokka 3). Hälytyksiä vahvotaan koneen käytössä.									
Tallenottoverkkoston paineen PT80 oltiessa alle- tai yläraja-arvossa, tapahtuvat automaatiojärjestelmään hälytykset (alaraja luokka 1, yläraja luokka 2). Hälytyksiä vahvotaan jatkuvasti.									
Tallenoton virtauspaineen alittessa asettelavan arvon, tapahtuu automaatiojärjestelmään hälytykset (luokka 3). Hälytyksiä vahvotaan tallenoton oltessa ohjattuna lämmityskäytöllä täydelle teholle.									
Tallenoton ohjautuu peräkkäisiin kertoma huurteenpoistokäytölle yli asettelavan lukumäärän verran (esim. 5 krt), tapahtuu automaatiojärjestelmään hälytykset (luokka 3). Hälytyksiä vahvotaan koneen käytössä.									
Automaatiojärjestelmään tapahtuu virtaushälytykset, kun energiventiliä TV80 aseteltua virtaamaa ei saavuteta (luokka 2). Hälytyksiä vahvotaan tallenoton oltessa ohjattuna lämmityskäytöllä täydelle teholle.									
4. HÄLYTYSLUOKAT JA VIIVEET									
4.1 Luokan 1 hälytykset (kriteerit) :									
• Tallenottoverkkoston paineen PT80 alarajahälytykset, 80 sek									
• Tallenottoverkkoston energiventiliin TV80 vikaohjaus, 80 sek									
4.2 Luokan 2 hälytykset (vikaohjaus) :									
• Tallenottopumpun PU02 ristiriitahälytykset, 30 sek									
• Tallenottoverkkoston paineen PT80 yläarahälytykset, 80 sek									
• Tallenottoverkkoston ilmaustarpeen TV80 hälytykset, 80 sek									
• Tallenottoverkkoston TV80 virtaushälytykset, 120 sek									
4.3 Luokan 3 hälytykset (huutohälytykset) :									
• Tallenoton paine-eron PE80 yläarahälytykset, 5 min									
• Tallenoton hyötysuhdehälytykset, 20 min									
• Tallenoton peräkkäisten sulutuskäytön hälytykset, 5 kpl									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava poistojen virtauspaine									
Suurempaa käyttöaikaa vastaava po									

Liite 4. Suunnittelijakyselyn vastaukset

<p>Milloin ja miksi alkaa huurteensulatus nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä (esim. ulkolämpötila, nesteen lämpötila tms.)</p> <p>-</p> <p>Nykyisin huurteensulatuslämpötila on arvio siitä lämpötilasta jolloin poistopatterilla on sulatustarve. Huurteensulatuslämpötila annetaan ulkolämpötilana. Se on nykyisin joko laitetoimittajan antama tai kokemusperäinen. Useimmiten huurteensulatuksen tarve poistuu sisäilman kuivuessa ja pattereita sulatetaan turhaan.</p> <p>Kun poistoilmapatterilta palaavan nesteen lämpötila alittaa esim (+2 C). Huurteensulatus ei voi käydä kun kovimilla pakkasilla esim (-15 C) jälkeen.</p> <p>Perinteisesti mitataan nesteen lämpötilaa poistopatterista ja sen perusteella säädetään 2- tai 3-tie venttiiliä jotta lämpötila nousee. Tällä pyritään estämään poistopatterin jäätyminen.</p> <p>Perinteisesti huurteensulatusta ohjataan nesteen lämpötilalla, jos poistopatterille palaava neste tippuu esim. alle +3 asteen, aloitetaan suntaamaan piiriä kolmitieventtiilillä ja varmistamaan poistopatterin lamellien sulanapysyminen. Riippumatta ja tietämättä sitä, onko poistoilmassa riittävästi kosteutta muodostamaan huurretta.</p> <p>Huurteensulatuksella pidetään poistopatteri toimintakuntoisena, huurtunut patteri jäätyy pikkuhiljaa muuten umpeen ja ilmavirta estyy.</p> <p>Huurteensulatuksen pitäisi alkaa silloin kun sille on tarvetta. Esim mittaamalla poistoilman lämpötilaa ja kosteutta, jäteilman lämpötilaa LTO-patterin jälkeen sekä patterille menevän luoksen lämpötilaa tiedetään milloin jäätymistä voi tapahtua. Vieläkään huurtuminen ei välttämättä tapahdu mutta reagointi voidaan aloittaa ennen todellista huurtumista.</p> <p>Riippuu vähän poistoilman kosteudesta sekä patterin mitoituksesta. jäätyminen tietysti alkaa kun pintalämpötila nollan alapuolella. Tällöinhän ilma voi olla hivenen viileämpää.</p> <p>Mitataan tulopatterille menevän nesteen lämpötilaa ja käynnistetään sulatus, jos lämpötila laskee tiettyyn pisteeseen.</p> <p>Mitataan paine-eroa poistopatterin yli ja käynnistetään sulatus, jos paine-ero kasvaa tietyn raja-arvon yli.</p> <p>Mielestäni nestekiertoisissa järjestelmissä jäätyminen esto hoidetaan nestevirtausta pienentämällä? Lämmöntalteenoton sääto tehdään sen takia ettei poistopuolen patterille tuleva kostea huoneilma jäädy.</p> <p>Aika laaja kysäri vastata lyhyesti. Huurteen muodostuminen alkaa kylimmistä nurkasta poistopatteria kun pinnan lämpötila alittaa 0-astetta.</p> <p>Poistoilman kosteus tiivistyy riittävästi poistopatterin pinnalle. Yleensä paine-eromittauksen perusteella sulatus käynnistyy.</p> <p>Nesteen lämpötilan ja poistoilmapatterin ilmapuolen painehäviön mukaan</p> <p>Poistoilmassa oleva kosteus alkaa huurtumaan LTO patterissa, kun jäteilman lämpötila lähestyy nollaa. Huurtumisen lämpötila riippuu poistoilman sisältämästä kosteusmäärästä.</p> <p>Poistokoneen LTO-patterin lamellien pinnalle alkaa kertyä kosteutta kun lamellien pintalämpötila saavuttaa huonetoista poistettavan ilman kastepisteen. Kastepiste riippuu poistettavan ilman ominaisuuksista (T [°C] ja RH [%]). Mutta nyrkisääntönä voisi perustomistorakennuksissa pitää +21°C, RH30%, jolloin kastepiste on n. +3°C pintalämpötilassa.</p> <p>Kun ulkolämpötila tipahtaa nollan tietämille pakkasen puolelta ja samalla sisään tuleva raitisilma sisältää kosteutta ja tämän lisäksi nestekiertoisen lämmönluovuttajassa kiertävä nesteen oma lämpötila ei optimaalinen tulevan ilman suhteen.</p> <p>ulkolämpötila ja monesti normaalista kosteampi poistoilman aiheuttaa ongelmia.</p> <p>hyvä hyötysuhde sekä väärin mitoitettu lamelliväli "liian tiukka"</p> <p>Kaksi asiaa pitää toteutua:</p> <p>1) Poistopatterille menevän nesteen lämpötila pitää olla pakkasen puolella (tarkemmin sanottuna poistopatterin pinnan lämpötila pitää olla alle 0C).</p> <p>2) Samaan aikaan poistoilman lämpötila ja kosteus pitää olla sellaisia, että poistoilman kosteus tiivistyy LTO-patterin kylmään pintaan ja lopulta jäätyy (kastepiste).</p> <p>Poistopuolen patterille tulevan nesteen lämpötilan mukaan.</p> <p>Se korreloi parhaiten huurtumis-/jäätymisriskiä.</p> <p>Kaikkein paras keino olisi, mikäli löydettäisiin joku keino indikoida aivan konkreettisesti jäätyminen alkaminen (huurtumisvahti).</p> <p>Isoissa koneissa usein käytetään poistoilman lämpötilaa LTO:n jälkeen. Kun se alittaa esim +4, aloitetaan tehon rajoitus (tämä ns varman päälle ratkaisu). Tämä toki ei ole paras ratkaisu, kuiva poistoilmahan ei huurruta joten tässä menetetään tehoa.</p> <p>Huurteensulatus alkaa, kun poistoilman sisältämän kosteuden tiivistyminen ja jäätyminen poistoilmapatteriin on kasvattanut poistopuolen patterin painehäviötä ja huonontanut lämmönsiirtoa. Tällöin tuloilmapatterilta palaavan nesteen lämpötila on laskenut pakkasen puolelle, jolloin myös ulkoilman lämpötila on selkeästi pakkasen puolella.</p> <p>Kun poistoilma LTO-patterin jälkeen menee riittävästi pakkasen puolelle.</p> <p>Oikeasti pitäisi huomioida poistoilman kosteus ja patterin ilmapuolen painehäviön muutos.</p> <p>vesi tiivistyy ilmasta LTO pinnalle ja kun lämpötila on alle 0°C se jäätyy</p> <p>Yleensä mitataan patterin yli ilman paine-eroa tai sitten riippuen nesteestä tietyssä lämpötilassa.</p> <p>Poistopuolella huurretta alkaa muodostumaan patteriin ja täten tukkien lamellien välit. Tämä johtuu sisäilman kosteuden tiivistymisestä kylmään patteriin (<kastepiste) ja tämän tiivistyneen kosteuden jäätymisestä patterin pintaan. Tämä tapahtuu yleensä kun patteri on pakkasen puolella. Ulkolämpötila on tällöin usein reilusti pakkasella.</p> <p>Kun poistopatterin paine-ero nousee yli sulatusrajan ulkolämpötilan ollessa alle asetellun arvon.</p> <p>Jäteilman lämpötilan rajoitus 0...-5 asteeseen riippuen poistoilman kosteuskuormasta. Lisäksi sulatusjaksot tarvittaessa, poistopuolen paine-eromittauksen mukaan.</p> <p>POISTOILMAN LÄMPÖTILAN RAJA-ARVON LÄHESTYESSÄ.</p> <p>Jäähdytyspatterin puolella tässä ei varmaankaan ole suurta merkitystä kun tarkoituksena on saada jäteilmasta talteen mahdollisimman suuri energia määrä.</p> <p>Lämmityspuolella ulkolämpötila ja ulkoilman kosteus sisältö ovat yhtä tärkeitä huomioida huurteensulatuksen mitoittamisessa.</p> <p>Huurteensulatus täytyy aloittaa siinä lämpötilassa jolloin poistopuolelta talteenotetun energian määrä ei riitä sisäännotettavan ilman energiatarvetta ilman lämmittämiseksi +2 asteeseen</p> <p>paine-ero poistopatterin yli ja jäteilman lämpötila</p>

Vaikea kysymys, sillä huurteensulatus on normaalisti käytössä vain levylämmönsiirtimissä. Nestekiertoisissa LTO-järjestelmissä huurtuminen sinänsä voidaan estää eri tavoin.
Nestekiertoisessa LTO-järjestelmässä ei ole varsinaista "huurteensulatusta", joka olisi verrattavissa levy-LTO:den ohitus- ja lohkosulatuspeltijärjestelmiin.
Nestekiertoisissa LTO-järjestelmissä glykolipiirissä kierrätetään suunnitelmien mukaista vakionestevirtaamaa LTO-pattereiden lävitse erillisellä glykoli- ja pumppuryhmällä. Automaattikalla ja mahdollisella hifistelyllä glykolipiirin pumppua ja säätöventtiiliä voidaan tarvittaessa ohjata automatiikan kautta.
LTO:n poistopatterin huurtumisen ehkäisemiseksi voidaan automaattiosäätöohjelmalla estää poistopatterille menevän liuoksen lämpötilaa laskemasta alle asetusarvon ohjaamalla glykolipiirin säätöventtiiliä kiinni. Lämpötilan laskiessa alle alaraja-asetuksen seuraa hälytys (kuittaus valvomosta).
En oikeastaan tiedä. Olen oikeastaan luullut, että huurteensulatusta ei nestekiertoisissa ole ollenkaan. Todennäköisesti syy on sama kuin pyörivässä ja kuutiokennossa, että poistoilmapuolen LTO-patteri menee huurteeseen jäteilman lämpötilan laskiessa niin alas.
- kun poistoilman lto-patteri alkaa huurtua, ilman paine-ero patterin yli kasvaa -> rajoitetaan glykolinesteen kiertoa niin että lämmin poistoilma sulattaa patterin. - Voidaan seurata myös poistopuolen lto-patterilta palaavan glykolinesteen lämpötilaa, ja jos neste on tietyn raja-arvon alle, aloitetaan huurteensulatus.
Huurteen sulatus alkaa kun on kertynyt huurretta. Huurteen kertymistä voidaan tarkkailla optisesti tai paine-erolla (vakioilmamäärät).
Tehoa rajoitetaan jottei huurtumista tapahtuisi. Tämä voi tapahtua ulkolämpötilaan tai nesteen lämpötilaan perustuen. Tai vaikka optisesti.
Jos poistopatteri alkaa jäätyä kun poistoilmassa on paljon kosteutta.
en osaa sanoa
Kun patteri uhkaa jäätyä
Kun poistoilman tuoma kosteus alkaa muodostamaan raitisilman (alle 0Celsiusta) kanssa sekoittuessaan patterin pinnalle huurretta/jäätä
Niitä voi olla useampia mahdollisuuksia, kuten väärin sijoitettu valokenno tai huurteentunnistimen vioittuminen.
Nesteen lämpötilan mukaan, asetusarvoon vaikuttaa mm. poistoilman kosteus ja lämpötila...
paine-eron kasvaessa LTO osan ylitse yli annetun raja-arvon. Virtausarvot ja lämmönsiirtokyky eivät muutu.
Tärkeää on estää patterien huurtuminen eli ei oteta poistoilmasta lämpöä talteen liikaa. Paluupuolen nesteen lämpötila poistopuolen LTO-patterille ei lamellipatterilla saa olla alle -2C.
Huurtumisen estämiseksi poistopatterille menevän liuoksen lämpötilan ei anneta laskea liian alas. Nesteen lämpötilan rajoitusarvo riippuu poistoilman tilasta (lämpötila ja suhteellinen kosteus). Energiatehokkain ratkaisu lienee se, että patterin huurtumista seurataan mittaamalla ilmapuolen painehäviötä poistopatterin yli. Mikäli paine-ero nousee tiedetään patterin huurtuneen ja nesteen lämpötilataso on nostetaan.
Kun poistoilman kosteus alkaa tiivistyä kennon pinnalle ja paine nousee raja-arvoon, yleensä kylmällä ilmalla.
Uskoisin, että silloin, kun lämmönluovutusta ei tapahdu ja painehäviö patterissa nousee
poistoilman lämpötila lto patterin jälkeen +2..0 C
Kun tuloilmapatterilta palaavan nesteen lämpötila laskee alle asetusarvon, jonka saa nykyään koneajosta. Aikaisemmin pidettiin -5 tai jotain. Sulatus tehdään, jotta patterin läpi kulkee ilmaa myös pakkasella, eikä patteri rikkoudu.
Kun poistoilmapatteri alkaa huurtua, niin että lämmönsiirtyminen pienenee liikaa. Tietysti sulatus pitää aloittaa myös silloin, kun ilmavirtaa ei saada enää pidettyä haluttuna.
Huurteen sulatus on tarpeen, kun ulkona lämpötila on alle -7 astetta.
Yleensä tasolla -5...+2 C. Siksi sen hyötysuhde on huono
Tulopuolen patterin painehäviö kasvaa liian suureksi.
kun ilmapuolen painehäviö alkaa nousta lämmönvaihtimen yli, lämmönsiirto heikkenee
kun huurretta kertyy patterin pinnalle
Riippuu patterityypistä, mutta yleensä n. -15C ulkolämpötilassa, kun tuloilmakonen LTO-patterilta palaava liuos alittaa n. -11C.
Itse suunnittelen yleensä paine-eromittauksen LTO-patterin yli ja se on ohjaava huurteensulatukselle.
HuurteenESTOsäätöohjelma pitää LTO:n lämpötilan TE22 asetusarvossaan [=ME/TE19 laskettu kastepiste-lämpötila + eroalue (-0%%DC)] rajoittamalla LTO-venttiiliin FV02 aukeamista tai pumpun kierrosnopeutta.
Mikäli LGP02-laitteen painehäviö huurtumisen takia ylittää asetettavissa olevan raja-arvon PDIE02 (=150 Pa yli kanavapainekompensoitu nimellispaine-ero) aktivoituu huurteensulatus. Huurteensulatuksessa ohjelma pitää
LTO-nesteen lämpötilan TE22 asetusarvossaan (+2%%DC).
Kojeikko palautuu normaaliin käyntiin kun paine-ero PDIE02 on laskenut alle raja-arvon (=20 Pa yli kanavapainekompensoitu nimellispaine-ero) ja viive (5min) kulunut.
Jos poistoilman lämpötila talteenottolaitteen jälkeen on yli 0 C, ei huurtumista haitallisesti ilmene. Koska lämpötila ei ole välttämättä joka puolella patteria yhtä suuri, ei pelkkä keskilämpötilan tarkkailu ole "varmaa". Em. syystä huurteensulatuksen asetusarvo 0 C on liian optimistinen huurtumisen välttämiseksi. Painehäviön kasvu kertoo enemmän.
Olosuhteissa, jossa patteri mahdollisesti alkaa jäätyään/huurtumaan.
Jos poistoilmassa on kosteutta, niin poistoilmaa ei saisi päästää nestekiertoisessa järjestelmässä 2-5 °C alempaan lämpötilaan.
Mielellään viimeistään silloin, kun nesteenlämpötila on +5C.Lamellien lämpötila ei saisi mennä pakkasen puolelle

Miksi lämmöntalteenoton hyötysuhde laskee nestekiertoisessa järjestelmässä ulkolämpötilan laskiessa.

Koska lämmönsiirtonesteen aineominaisuudet muuttuvat lämpötilan funktiona, ja virtauksen ollessa vakio turbulenttisuus/lämmönsiirto heikentyy

Koska huurteensulatus ohjaa nestekiertoa lämmöntalteenoton ohi pitääkseen patterin sulana ja toiminnassa.

Glygolin aineominaisuudet ovat sellaiset, että piikkipakkasilla neste jäähmettyy ja tämän vuoksi mitoitusnestevirta ei riitä pitämään nestettä turbulenttisena ja täten hyötysuhteen kannalta hyvänä

Hyötysuhde on ulkolämpötilan ja ilman lämpötilan LTO tulopatterin jälkeisen ilman lämpötilan erotus. (esim. $-20 \dots +4 = \Delta T$ on 24) jaettuna poistoilman lämpötilan ennen LTO patteria ja ulkoilman lämpötilan delta Teellä (esim. $+21 \dots -20 = \Delta T$ on 41). Tässä tapauksessa hyötysuhde on siis 24 jaettuna 41 = 58,5%. Nestekiertoisessa, kolmitieventiilillä varustetussa glykolipiirissä, jossa huurteensulatus ohjataan nesteen lämpötilalla, ilman lämpötilahyötysuhde pienenee ulkoilman viiletessä, koska osa nestevirrasta ohjataan tulopatterin ohi, ja energiaa käytetään poistopatterin huurteensulatukseen.

koska ulkoilman lämpötila laskee luoksen lämpötilaa ja huurtumisen ennakoitiin laskee LTO:n tehoa ja sitä kautta hyötysuhdetta.

Pattereiden jäätyminen/huurtimisen sulatuksesta johtuen. Samalla kun patteria "sulatetaan" ei voida ottaa täydellä teholla energiaa talteen ja luovuttaa sitä toisella patterilla.

Huurteeneston takia LTO:n tehoa täytyy rajoittaa ja siksi hyötysuhde laskee. Toisaalta myös lämmönsiirtoliuoksen lämmönsiirto-ominaisuudet heikkenevät luoksen lämpötilan laskiessa: viskositeetti kasvaa ja liuoksesta tulee kankeampaa, mikä huonontaa lämmönsiirtoa ja kasvattaa painehäviöitä ja siten pienentää liuosvirtaa.

Pienempi nestevirtaus vähentää myös lämmön siirtoa (hyötysuhde laskee). Toinen tapa on tehdä lämpötilan säätö ohituksen avulla, jolloin nestevirta myös pienentyy pattereiden välillä.

Glykoli-vesi nesteen kinemaattinen viskositeetti kasvaa lämpötilan laskiessa, jolloin nesteen nopeus laskee ja turbulenttisuus vähenee.

Glyk.Neste ei ehdi lämmentä poistoilmassa samaa tahtia kuin ulkolämpötila jäähdyttää.

kun poistoilman ja ulkoilman välinen lämpötilaero kasvaa niin hyötysuhde heikkenee; lämmönsiirtonesteen lämmönsiirto-ominaisuudet heikkenevät lämpötilan laskiessa jolloin teho laskee ja pumppauskulut kasvavat

LTO-neste paksuuntuu

poistoilmapatterin lämmönsiirtokyky huononee huurtumisen vuoksi ja silloin yös huurteensulatusjaksot vaikuttavat hyötysuhteeseen negatiivisesti (tauko lämmöntalteenotossa)

Ilma jäätyy kennon pinnalle tai glykolin lämpötila uhkaa laskea liian alas.

Glykolin pumppavuus heikkenee, ja huurteen sulatus, oliko muita syitä

Ei välttämättä laske, jos nesteen virtaus pystytään pitämään optimaalisena huolimatta nesteen aineominaisuuksien muuttumisesta nesteen kylmetessä. Samaa aikaa myöskään huurretta ei saa kertyä liikaa (pieni huurre parantaa lämmönsiirtoa).

?

Tulopatterille menevän nesteen massavirtaa täytyy laskea.

Huurteenesto rajoittaa lämmöntalteenottoa. Ennen tätä pistettä LTO hyötysuhde ei laske - päinvastoin.

Koska huurretta pitää poistaa poistupuolen LTO-patterilla huurteenestolla eli sähköllä tai vaihtoahtoisesti tulopuhaltimen käynnin katkomisella.

Ei se laske, jos ei tarvitse rajoittaa tehoa/hyötysuhdetta huurtumisen vuoksi.

Siksi kun poistoilmasta pyritään koko ajan saamaan kaikki mahdollinen energia talteen. Ts. poistoilma pyritään pitämään hieman plussan puolella, tällöin sisääntulevan ilman lämpötila ja poistuvan ilman lämpötilaero pienenee -> hyötysuhde pienenee.

Ei kai se laske ulkolämpötilan alentuessa? Hyötysuhdehan rupeaa laskemaan vasta sitten kun ruvetaan rajoittamaan lämmöntalteenoton tehoa/hyötysuhdetta huurtumisen estämiseksi. Eli hyötysuhde alenee ulkoilman lämpötilan alentuessa tietyn rajaulkolämpötilan alapuolelle.

Nyt en ymmärrä sanaa laskee. (suurenee vai pienenee/heikentyy).

Eikös hyötysuhde parane/suurene, kun lämpötilaero poistoilman ja ulkoilman välillä suurentuu.

En täysin ymmärrä lausetta?

Joudutaan nostamaan nesteen lämpötilaa patterin jäätyksen takia.

Tulopuolen patterin osittaisen huurtumisen vuoksi.

en osaa sanoa

Tehonrajoituksen takia.

Tuloilman kosteus muuttuu

Poistoilmahyötysuhde = $(\text{poisto} - \text{jäte}) / (\text{poisto} - \text{ulko})$

Päinvastoin, tuloilman lämpötilasuhde kasvaa lämpötilaerojen kasvaessa. Jos joudutaan huurteensulatukseen, ottaa se oman osuutensa saatavasta hyödystä. Oleellista on, onko poistoilmassa kosteutta vai ei.

Huurtumisen poiston takia

Kun patterin huurtumisen raja alkaa lähestyä, on pakko jättää osa lämmöstä pois talteenotosta.

Hyötysuhteen laskentakaava osoittaa asian. ΔT kaavassa kasvaa, mutta poistoilma voi jäähtyä vai tietyn määrän, ettei patteri mene jäähän.

patteria joudutaan sulattamaan

Huurtuminen ja jäätyminen alentavat lämmöntalteenoton hyötysuhdetta.

Huurteensulatuksen takia. Sama homma on pyörivissä ja kuutiokennoissa. Niissä saadaan esilämmityspatterilla huurtumista estettyä (pyörivän huurtumislämpötilaraja -11°C ja kuutiokennon -3°C).

no kun sitä huurtumista rajoitetaan muun muassa :D

Huurtumisen johdosta.

Poistoilman energia sama ja raitisilman tarve suurempi

Huurtumisen takia. Nesteen lämpötila laskee

Poistoilmapatterin jäähtymisen estämiseksi, säätöventtiili ohjaa vain osan nestevirrasta tuloilmapatterille

Koska jäähdyttää patterissa kiertävää nestettä.

Huurtumisen takia, osateho

Osin ainakin siksi, että tuo "jäätyminen ehkäisy" alkaa rajoittaa LTO:n toimintaa.

ulkolämpötilaa sitoo vähemmän vettä

Entalpia

Huurteensulatuksen takia.

huurteen takia

Huurtumisen/jäätyminen vuoksi

Patterin huurtumisen takia

Koska nestekiertoisessa järjestelmässä rajoitetaan virtaamaa tulopuolella, jotta poistupuolen patterin lämpötila ei laske liikaa.

Huurteensulatuksen vuoksi.

Nesteen lämpötilaa ei voi antaa pudota liian alas.

koska kiertävä neste jäähtyy, samoin esilämmitettävän ilman lämpötila vaikuttaa saavutettuun hyötysuhteeseen

Talteenotto tehoa rajoitetaan huurtumisen estämiseksi.

Poistoilmapuolen jäätyminen rajoittaminen tai sulattaminen.

Lto tehoa joudutaan rajoittamaan kovilla pakkasilla huurtumisen välttämiseksi.

Koska tehoa rajoitetaan=>huurtumisenesto

Nesteen aineominaisuudet muuttuvat kun sen lämpötila laskee

Millaisia parannusehdotuksia haluaisit esittää nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän kehittämiseksi.

Neste- ja IV-puolen painehäviöitä tulee alentaa ja samalla hyötysuhdetta parantaa lähemmäksi vastavirta- tai pyöriviä. Voisi olla useampiin patteri ja sulatus piiri kerrallaan. Eli yksi piiri vaikuttaa aina yhteen osaan koko patterin syvyydellä.

Mitoitusohjelmaan EN308 mukainen laskenta tai tieto tulosteeseen, kun tämä täyttyy.

Nestevirran optimointi lämpötilan muuttuessa, järjestelmän ilmaustarpeen ilmaisin

1) Valmiit plug-in koneikot muutamalle tehoportaalle 200-2000 kW

2) Työkalu, kenties on jo

En esitä varsinaisesti parannusehdotuksia vaan lähinnä kaipaisin käytännön tutkimustuloksia joilla voitaisiin antaa selkeämpiä raja-arvoja huurtumisen käynnistämisen raja-arvoille.

Esimerkiksi tuloilmaan esilämmityspatteri kovien pakkasten ajaksi, tällöin LTO voisi toimia max. teholla. Esilämmitys pitäisi saada "ilmaislämpönä" esim. maapiiristä.

Koja NETTO :)

Koja Netto. Huurteensulatusta ohjataan poistoLTO patterin yli mitattavalla paine-erolla. Jos patteri oikeasti huurtuu, paine-ero kasvaa ja silloin annetaan energiaa pois tuloilmasta huurteen sulatukseen.

Neste (vesi-glykoliseos) on oltava "tehdasvalmista" konsentraatiota esim. 35%etyleeniglykoli jolloin neste on tasalaatuinen verrattuna itse sammiossa seattuun. Nestevirtaamaa piirissä mitataan koko ajan, ja nestevirta pidetään mitoitusarvossaan riippumatta siitä onko nesteen lämpötila +5 taikka -15 C, koska vesiglykoliseoksen pumpattavuus ja viskositeetti muuttuu tavattoman nopeasti lämpötilan funktiona. Lisäksi piisirrä on reaaliaikainen mukrokuplannustin, joka häkyyttää piirissä esiintyvistä ilmasta. Piirissä oleva kaasua saattaa kuristaa nestevirtaamaa jopa 40%, jolloin lämmön talteenotto ei toimi mitoitettulla tavalla.

Hyötysuhdevaatimusten kasvaessa tulee varmistaa, että patterien painehäviöt sekä ilma- että nestepuolella pysyvät kurissa. Turbulaattorien käyttö putkien sisällä voisi mahdollistaa hyvän lämmönsiirron myös pienillä liuoksen virtausnopeuksilla, mikä voisi auttaa nestepuolen painehäviöiden kurissa pidossa.

pumpun kierrosnopeuden muuttaminen venttiilin sijaan

Lämpöpumppu lämmönvaihtimien tilalle on yksi mahdollisuus. Lämmönsiirtopinnan kasvattamisen lisäksi hyötysuhdetta, mutta vastaavasti nostaa paine-eroa, mikä vaikuttaa puhaltimen moottorin sähkökulutukseen.

Luulen, että me olemme LTO ratkaisuihin ääriarvoilla, joten tehostuskeinot ovat marginaalisia.

- glykolipattereihin pitäisi saada kunnon tyhjennys- ja ilmausyhteet ylä- ja alaosaan nykyisten pienten ilmausruuvien ilmausruuvien sijasta

- glykolipatterin kytkentäohjetta voisi selkeyttää. Nykyinen tarramerkintä patterin kyljessä on epäselvä ja englanniksi. Putkiyhteet ovat todellisuudessa "vinoittain" keskenään ja tarrassa taas vierekkäin.

- glykolikoneiden yhteyteen pitäisi antaa esimerkkiasennusohje putkimiehille glykolipiirin rakentamisesta. Ohjeessa voitaisiin käsitellä ilmauksen tärkeys (esim. piiskat suoraan glykoliastiaan), glykolipiiri pitää olla mitattavissa (säätöventtiilit), glykolin vahvuus, putkikoot, kytkentäohjeet yms.

Kai tuossakin voisi olla hyvä se esilämmityspatteri. Tosin ei kannata ihan huurtumislämpötilaan asti lämmittää, koska tällöin ei saada täyttä hyötyä LTO-patterista. Lämmitetään esilämmityspatterilla kovilla pakkasilla sen verran, että LTO-kenno riittää lämmittämään tuloilman tavoitelämpötilaan eikä jälkilämmityspatteria tarvita ollenkaan. Tuolla tavalla on paljon tehty etenkin Etelä-Ruotsissa.

Ei ole tähän mitään ajatuksia.

ECONET ja ECONET-premium kone sekä Kojan uusi kone sisältävät jo joukon parannuksia, ei erillisä lämmityspattereita, tuplapatterit ja optimoidut tehontarpeen mukaiset vesivirrat jne

Tilan sallissa voisi ajatella pidempiä ja tehokkaampia LTO-pattereita eli nostettua menevän nesteen lämpötilaa korkeammaksi.

Hyötysuhteen ja energiatehokkuuden kannalta ei liene kovin merkityksellistä hilata huurtumisen rajoittamisen kohtaa kylmempään ulkoilmanlämpötilaan päin. Mitoitustehon kannalta se kuitenkin olisi erittäin hyödyllistä. Eli huurtumisen ja huurtumisen eston parempi hallinta.

Huurteen kertymisen indikointiin voisi kehittää ns. kastepistemenetelmän.

lämmönsiirtonesteeksi joku muu kuin glykoli esim. freezium (vaatii materiaaleilta ja liitostavoilta paljon), säätötekniikan lisääminen järjestelmiin

Valokennotarkkailu huurtumisen selvittämiseksi jolloin tehoa rajoitetaan vasta kun huurretta alka näkyä.

Painehäviöitäkin voidaan tarkkailla, mutta se on helposti liian hidas.

Poistoilman kosteuden huomioiminen huurteensulatuksessa
Erittäin iso ongelma on asennusvirheet. Järjestelmän asennus- ja käyttöönnotto-ohjeet tulee olla todella kattavat sekä suomen kieliset.
Energiaventili ideanne on ihan hyvä. korkean hyötysuhteen patterit totetuu yleensä ylisuurilla pattereilla, mutta löytyisikö tähän jotain muuta vaihtoehtoa?
kastepistesäädön ennakointiin lisäisin
Mahdollisesti voitaisiin hyödyntää muuta hukkalämpöä tulopatterilta tulevan nesteen esilämmitykseen, kuten jonkin pienehkön jäähdytysjärjestelmän lauhdelämpöä tai koneiden/moottoreiden jäähdytyslämpöä
Helpottaa nestekiertoisen vaihdin-osan huoltotoimintaa, kennon puhdistusta, jne..
Tarkempaa laskentaa huurrekastepisteelle huomioiden ilmamäärä, glykolin väkevyys (ominaislämpökapasiteetti), nestevirta (kierrossäädettävä pumppu?), yms.
Patteri sellainen, ettei huurru helposti ja jos huurtuu, niin lämmönsiirtyminen ei vähene tai paine-ero ei nouse liikaa.
1. kohdassa kuvattu ajatusmalli.
Erityistä kehittämistä mielestäni tulisi tehdä pattereiden pumppujen ja venttiileiden ohjauksen sekä energia mittauksien suhteen.
Mielestäni olisi myös tarpeen kehittää pattereihin tarvittavan "sulanpidon" lisäenergia lähteen kehittämiseen. Sulattaminen kahden patterin piirissä vaikutta huomattavasti LTO-laitteen hyötysuhteeseen, joko ilmamäärää pienentämällä ja samalla nestevirtaa muuttamalla.
Vaikka en kannatakaan monimutkaisia järjestelmiä, niin automatiikkaa pitäisi ehkä muuttaa siten, että nestevirta (ja lämpötilaero nesteessä) korreloisi ulkoilman lämpötilan kanssa paremmin.
En ole oikeen koskaan perehtynyt näihin, niin ei tule kyllä mitään mieleen.
Paremmat hyötysuhteet!
Pidänpä omana tietonani :D
Laitte toimisi kaikilla lämpötiloilla maksimillaan +20-(-30) astetta.
Jaa-a. voisiko ajatella lämmönsiirtoa jostain muualtakin, kuin poistokoneesta.
Jaaha... parantavatko ne laisinkaan e-lukua, kun koneisiin tulee lisää painehäviöitä ja huonolla hyötysuhteella saadaan lämpöä talteen.
Uusien EcoDirektiivien vaatimukset ovat kovat (68% LTO). Tämä edellyttää pattereilta paljon. Kuitenkin hyvän LTO:n rinnalla tulee huomioida pattereiden toimintavarmuus ja puhdistettavuus sekä sähkötehokkuus. Huurteensulatukseen voisi konevalmistaja kehittää oman automaatiopalikan, mikä optimoi lämmön talteenottoa huurteen sulatus keleissä.
PS Oletko Matti Huvisen tytär tms...
Ostakaa Retermia ja käytäkää heidän lämmönsiirtopattereita teidän pattereiden lisäksi. Nestepuolen painehäviötä ei kasvattaa liikaa.
Onko olemassa valmista lto-pakettia päällekin rakennettuihin tulo-poistoilmakoneisiin?
Pakettiin tuotaisiin vain sähkönsyöttö ja 0-10V säätöviesti / modbus-väylä, paketti hoitaisi itsenäisesti pumpun ohjaukset ja huurteenpoiston.
Ei ole ehdotuksia.
Vesi-glykolijärjestelmän todellista vuosihyötysuhdetta (poistoilmahyötysuhde) ei saa millään yli 50 %. Siksi on vastuutonta käyttää esitteissä tuloilmahyötysuhdetta
Voisiko pinnoitteilla parantaa lto hyötysuhdesta, löytyisikö Retermiaan kilpailevaa vaihtoehtoa, löytyisikö parkkihallien LTO järjestelmiin ratkaisuvaihtoehtoja eli aksiaalipuhallin + LTO patteriyhdistelmiä. LTO ratkaisu, jossa hyödynnetään lämpöpumppu tekniikkaa "ei ehkä ole nestekiertoinen lto", olisiko etyleeniglykolille vaihtoehtoisia lämmönsiirtoneiteita, jolla suurennettaisiin hyötysuhteita.
En osaa sanoa, en ole keksijä. Mutta hyötysuhdevaatimukset kiristyy ja jotain pitäisi keksiä myös nestekiertoiseen lto:oon, ettei tarvitse alkaa käyttää likaisissa poistoissa levysiirtimiä, koska ne vie niin paljon tilaa.
Tehdasoptimoitu huurteensulatusautomaatiikka
Kiinnitettävä huomiota LTO-pumpun mitoitukseen ja sähkönkulutukseen
hyötysuhteenlaskenta on kätevä
hinta
Parempi hyötysuhde mahdollisimman lyhyellä patteriosalla
Olisi fiksua, jos nesteen pitoisuutta voitaisiin automaattisesti muuttaa ulkolämpötilan mukaan. 0-kelejä on paljon ja silloin 30..35%-prosenttinen liuos on turhan vahvaa. Vesi on parhain lämmönsiirtoaine ja aina, kun siihen lisätään jotain, tapahtuu heikentymistä.