



Mikko Pentti

ULKOILMALLA TAPAHTUVA KUIVAAMINEN

ULKOILMALLA TAPAHTUVA KUIVAAMINEN

Mikko Pentti
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Mikko Pentti
Opinnäytetyön nimi: Ulkoilmalla tapahtuva kuivaaminen
Työn ohjaaja: Pirjo Kimari
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2011
Sivumäärä: 32 + 14 liitettä

Opinnäytetyössä tutkittiin rekuperatiivisen ja regeneratiivisen lämmöntalteenoton yhdistämistä uimahallin ilmastoinnissa. Tutkimuksessa etsittiin optimaalista lämpötilaeroa rekuperatiivisen lämmöntalteenoton lämmönsiirtopintojen välille, jotta saatiin kuivattua poistoilmaa mahdollisimman paljon. Uimahallin ilmaa kuivattiin ulkoilmalla ja poistoilman kuivaamiseksi ei käytetty esimerkiksi lämpöpumppua.

Optimaalista lämpötilaeroa etsittiin luomalla sovellus Exceltaulukkolaskentaohjelmalla ja hyödyntämällä olemassa olevia tutkimuksia aiheesta. Työssä käytettiin myös Fläktwoods Acon -mitoitushjelmaa. Tutkimuksessa luotiin kolme erilaista säätömallia: $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhde maksimoituna. Niiden vaikutusta tutkittiin kuivatukseen, energiankulutukseen ja ilmavirtaan.

Optimaaliseksi tuloilman lämpötilaksi löydettiin arvo $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, jossa kumpikaan lämmöntalteenotto ei jäädy ja joka on energiataloudellisesti kannattavin. Kuivausta tapahtuu enemmän tuloilman lämpötilalla $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta se on energiataloudellisesti tarkasteltuna huonompi vaihtoehto. Tutkimuksissa ilmeni, ettei kyseisellä järjestelmällä tapahdu kuivausta lämpimimpinä kesäpäivinä lainkaan.

Kosteuden siirtymistä poistoilmasta tuloilmaan voidaan vähentää valitsemalla regeneratiiviseen lämmöntalteenottolaitteeseen hygroskooppisen roottorin sijasta ei-hygroskooppinen. Hyvänä ominaisuutena todettiin, että laitekoonpano on yksinkertainen verrattuna esimerkiksi lämpöpumpulla varustettuihin ilmastointikoneisiin. Tutkimuksen laitekoonpanossa kuivaaminen ei myöskään vaadi ostoenergiaa.

Asiasanat:

Regeneratiivinen lämmöntalteenotto, rekuperatiivinen lämmöntalteenotto, uimahallin ilmastointi, kuivaus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 UIMAHALLIN SISÄILMASTO.....	7
2.1 Allashuoneiden lämmitys.....	7
2.2 Kosteus	7
2.3 Sisäilman laatu	8
3 UIMAHALLIN ILMASTOINNIN LÄMMÖNTALTEENOTTO	9
3.1 Lämmöntalteenottoratkaisun valinta	9
3.2 Regeneratiivinen lämmöntalteenotto	9
3.3 Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto	10
4 TUTKIMUKSEN KOHTEENA OLEVA LAITERATKAISU	11
4.1 Toimintaperiaate.....	11
4.2 Laittekoonpano	11
4.3 Tutkimusmenetelmät	12
4.4 Lähtöarvot	12
5 LASKELMAT	14
5.1 Puhallinenergia.....	14
5.2 Talteensaatu energia.....	14
5.3 Etu- ja jälkilämmityspattereiden kuluttama energia	15
5.4 Poistoilman vuosihyötysuhde	16
6 SÄÄTÖTAVAT	17
6.1 Sääto 1: -6 °C	17
6.2 Sääto 2: 0 °C	19
6.3 Sääto 3: regeneratiivisen lämmöntalteenoton maksimoitu hyötysuhde ...	20
6.4 Säädön vaikutus ilmavirtaan.....	21
7 ENERGIALASKENTA	24
7.1 Sääto 1: -6 °C	24
7.2 Sääto 2: 0 °C	25
7.3 Sääto 3: regeneratiivisen lämmöntalteenoton maksimoitu hyötysuhde ...	26
8 PÄÄTELMÄT KUIVAUSMENETELMÄSTÄ.....	27

8.1 Kehittäminen	27
8.2 Rajoitukset.....	27
9 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET.....	30
LIITTEET	32

1 JOHDANTO

DI Jani Moilanen Indifine Oy:stä pyysi selvittämään rekuperatiivisen ja regeneratiivisen lämmöntalteenoton yhdistämisen hyödyntämismahdollisuudet ja rajoitukset uimahallin ilmastoinnissa. Ensisijaisena tavoitteena on laskea lämmöntalteenottolaitteilla hyödyksi saatavat energiat, lisälämmitysenergian tarpeet ja kuivauksen vaikutus ilmavirtaan vuositasolla.

Uimahallin poistoilma sisältää runsaasti kosteuteen sitoutunutta energiaa, joka pyritään saamaan talteen. Energian talteenotto vaatii tarpeeksi suuret lämpötilaerot poisto- ja tuloilman välille rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa, jotta saadaan energiaa sisältävä vesihöyry tiivistymään. Nykyisissä järjestelmissä vesihöyry saadaan tiivistymään lämpöpumppujärjestelmillä, jotka ovat monimutkaisia verrattuna tutkimuksen järjestelmään.

Tutkinnan työkaluina käytetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaa sekä Fläktwoods Acon -mitoitushjelmaa. Eri säätötapoja vertaillaan ja tehdään päätelmät tutkimuksen kuivaus- ja lämmöntalteenottotavasta. Kyseinen lämmöntalteenotto- ja kuivaustapa olisi uusi, mikäli se todetaan käyttökelpoiseksi.

2 UIMAHALLIN SISÄILMASTO

Uimahallin LVI-laitteiden toiminta ja sisäilmasto-olosuhteiden hallinta on erittäin tärkeää rakenteiden ja uimahallin käyttäjien kannalta. Ilmastoinnin tehtävänä on poistaa vedestä ja ihmisistä vapautuvia epäpuhtauksia sekä tuottaa riittävä määrä raitista ilmaa käyttäjille. Ilmastoinnin tehtävänä on myös lämmittää allashuonetta ja sen rakenteita niin, ettei niiden pinnoille pääse tiivistymään kosteutta. (1, s.9.)

Ilmanvaihto tulee mitoittaa niin, että ilmasto-olosuhteet ovat riittävän hyvät sekä uimareille, henkilökunnalle että uimahallin rakenteille. Erityisesti tulee huomioida oleskeluvyöhykkeiden riittävä ilmanvaihto sekä altaan pintataso, jossa epäpuhtas ilma nousee pääasiassa ylöspäin ja kerrostuu noin 2 metrin korkeudelle. (1, s. 9.)

2.1 Allashuoneiden lämmitys

Kylpylöiden ja uimahallien allastilat ovat yleensä ilmalämmitteisiä ja lisäksi käytetään myös lattialämmitystä viihtyvyyden takaamiseksi. Allastilojen lämpötilat ovat yleensä 1,5...2,5 °C allasveden lämpötilaa korkeampia. Erityistapauksissa viihtyvyyden ja haihtuvuuden vähentämiseksi lämpötila voi olla myös suurempi, noin 4 °C allasveden lämpötilan yläpuolella. (2, s. 155.) Vähäisempi haihtuminen pienentää ilmanvaihdon tarvetta ja siten säästää energiaa. Allastilan lämpötila ei tule kuitenkaan normaalisti olla yli 31 °C. Ilmavirrat on mitoitettava siten, että saadaan korvattua rakenteiden lämpöhäviöt ja päästään allastilan tavoitelämpötilaan. (3, s. 3.)

2.2 Kosteus

Haihtumisen vähentämiseksi pidetään myös suhteellinen kosteus mahdollisimman korkeana, noin 45...55 %:ssa. Suhteellinen kosteus ei kuitenkaan saa nousta kuin tilapäisesti yli 60 %, ettei tiivistymistä rakenteiden pinnalle tapahdu. Myös uimareiden ja henkilökunnan viihtyvyys huononee suhteellisen kosteuden ylittäessä 60 %. Kosteuden tiivistyminen tapahtuu yleensä huonoimman U-

arvon omaavan rakenteen pinnalle. Näitä rakenteita ovat muun muassa ovet ja ikkunat. Tiivistyminen pyritään estämään puhaltamalla riittävä määrä lämmintä ilmaa kylmille pinnoille ja asentamalla esimerkiksi sähkölämmitteiset lasit (3, s. 3).

Ilman sisältämää kosteutta voidaan poistaa puhaltamalla riittävä määrä kuivaa ulkoilmaa ja kuivattamalla kierrätettyä sisäilmaa. Uimahallin toiminnan kannalta on välttämätöntä, että kosteutta voidaan hallita ulkoilman olosuhteista huolimatta. Kesällä ulkoilman suhteellinen kosteus voi nousta suureksi, jolloin myös uimahallissa suhteellinen kosteus nousee jonkin verran sallitun rajan yli. Tämä ei ole kuitenkaan vaarallista, koska rakenteet ovat kesällä lämpimät eikä tiivistymistä tapahdu niin helposti. (1, s. 10.)

2.3 Sisäilman laatu

Uimahallin vähimmäisulkoilmavirran määrittää Suomen rakentamismääräyskoelman osa D2. Allastilan ilmanvaihdon perustana on kosteuden hallinta sekä ihmisistä ja altaasta vapautuvien epäpuhtauksien poisto. Kosteuden hallinnan edellyttämät ilmavirrat muodostuvat yleensä huomattavasti suuremmaksi kuin RakMK:n osa D2 vähimmäisvaatimukset. (3, s. 3.)

Talvella kosteudenpoiston edellyttämää ilmavirtaa voidaan pienentää, jolloin täytyy varmistaa, että RakMK:n osan D2 määräämä vähimmäisulkoilmavirta toteutuu. Allasveden laatu on suoraan yhteydessä ilmanlaatuun siitä vapautuvien epäpuhtauksien takia. Tämän vuoksi allasveden laadusta huolehtiminen on myös tärkeää. (3, s. 3.)

3 UIMAHALLIN ILMASTOINNIN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Uimahallin suuren ilmanvaihtotarpeen vuoksi varustetaan ilmastointilaitteistot lämmöntalteenotolla. RakMK:n osa D2 edellyttää, että poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. (4, s. 23.)

3.1 Lämmöntalteenottoratkaisun valinta

Lämmöntalteenotto voidaan järjestää usealla eri tavalla. Pelkän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen perusteella on vaikea verrata eri ratkaisuja, ja siksi pitääkin tehdä tarkemmat kannattavuuslaskelmat. (3, s. 10.) Lämmöntalteenoton valinnassa ja mitoituksessa tulee ottaa huomioon poistoilman suuresta kosteudesta aiheutuva kennon jäätymisvaara. Tarvittaessa käytetään esilämmitystä ennen lämmöntalteenottolaitetta. (3, s. 31.)

3.2 Regeneratiivinen lämmöntalteenotto

Tutkimuksen ilmastointikoneessa ensimmäisenä ulkoa katsoen on Fläktwoodsien pyöriväkennoinen regeneratiivinen ja hygroskooppinen (kosteutta siirtävä) lämmöntalteenottolaite Regoterm. Tällainen lämmöntalteenotto varaa puoli kierrosta kennoon lämpöä poistoilmasta ja luovuttaa varatun lämmön kylmään tuloilmaan toisella puolikkaalla (5). Regeneratiivinen lämmöntalteenotto myös siirtää osan kosteudesta tuloilmaan (5). Hygroskooppinen lämmöntalteenottolaite siirtää enemmän kosteutta takaisin poistoilmasta tuloilmaan kuin ei-hygroskooppinen lämmöntalteenotto. Fläktwoodsilta kuitenkin puuttuivat tiedot ei-hygroskooppisen lämmöntalteenoton kosteudensiirrosta, joten sitä ei otettu tutkimukseen mukaan.

Epäpuhtauksien siirtyminen tuloilmaan pyritään estämään puhtaaksipuhallussektorilla. Regeneratiivisella lämmöntalteenotolla päästään noin 70–80 %:n hyötysuhteeseen. Jäätymisen esto toteutetaan hyötysuhteen säädöllä eli kennon pyörimisnopeutta säätämällä. Regeneratiivisen lämmöntalteenoton rakenne näkyy kuvassa 1. (6.)



KUVA 1. Regeneratiivinen lämmönsiirrin (6)

3.3 Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto

Toisena lämmöntalteenottolaitteena tutkimuksen ilmastointikoneessa on Fläkt-woodsin ristivirtaustyyppinen rekuperatiivinen Recuterm-lämmöntalteenottokenno. Kennossa tapahtuu tarpeeksi suurella lämpötilaerolla kondensaatiota poistoilmassa. Jos kennossa tapahtuu vesihöyryn tiivistymistä, kuivuu poistoilma. Tällöin lämpötilan nousu tuloilmassa on suurempaa kuin lämpötilan lasku poistoilmassa, vaikka ilmavirrat olisivatkin yhtäsuuret (liite 1). Kennon teho ja hyötysuhde saadaan korkeaksi suurilla lämmönsiirtopinnoilla (7, s. 15). Rekuperatiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhde on noin 50–60 % (8). Kennon rakenne näkyy kuvassa 2.



KUVA 2. Rekuperatiivinen lämmönsiirrin (8)

4 TUTKIMUKSEN KOHTEENA OLEVA LAITERATKAISU

4.1 Toimintaperiaate

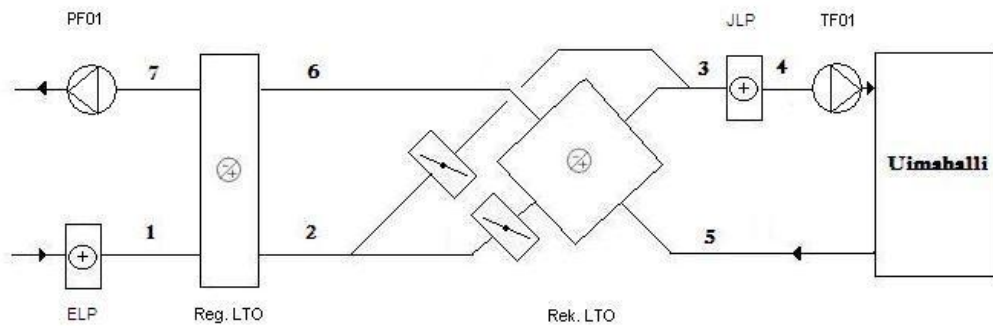
Etulämmityspatteri lämmittää ulkoilman asetettuun arvoon, jottei regeneratiivinen lämmöntalteenotto huurtuisi. Regeneratiivinen ja rekuperatiivinen lämmöntalteenotto on yhdistetty siten, että rekuperatiivista lämmöntalteenottoa käytetään ilman kuivaamiseen kondensoinnin kautta optimoimalla tulo- ja poistoilman välinen lämpötilaero.

Lämpötilan säätö tapahtuu regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta säätämällä. Rekuperatiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta säädetään ohituspelleillä. Ilma lämmitetään haluttuun asetusarvoon rekuperatiivisen lämmöntalteenoton jälkeen jälkilämmityspatterilla.

4.2 Laitekokoonpano

Ilmastointi- ja kuivausprosessia kuvattiin yksinkertaistetulla laitekokoonpanolla, johon sisällytettiin vain tutkimuksen kannalta olennaiset laitteet. Toimintakaavio on esitetty kuvassa 3. Ilman tilat on numeroitu kuvaan 3 sekä selvennetty seuraavasti:

1. tuloilman tila etulämmityspatterin (ELP) jälkeen
2. tuloilman tila regeneratiivisen lämmöntalteenoton jälkeen
3. tuloilman tila rekuperatiivisen lämmöntalteenoton jälkeen
4. tuloilman tila jälkilämmityspatterin (JLP) jälkeen
5. uimahallin poistoilman tila
6. kuivatun poistoilman tila rekuperatiivisen lämmöntalteenoton jälkeen
7. jäteilman tila regeneratiivisen lämmöntalteenoton jälkeen.



KUVA 3. Tutkimuksen ilmastointikoneen toimintakaavio

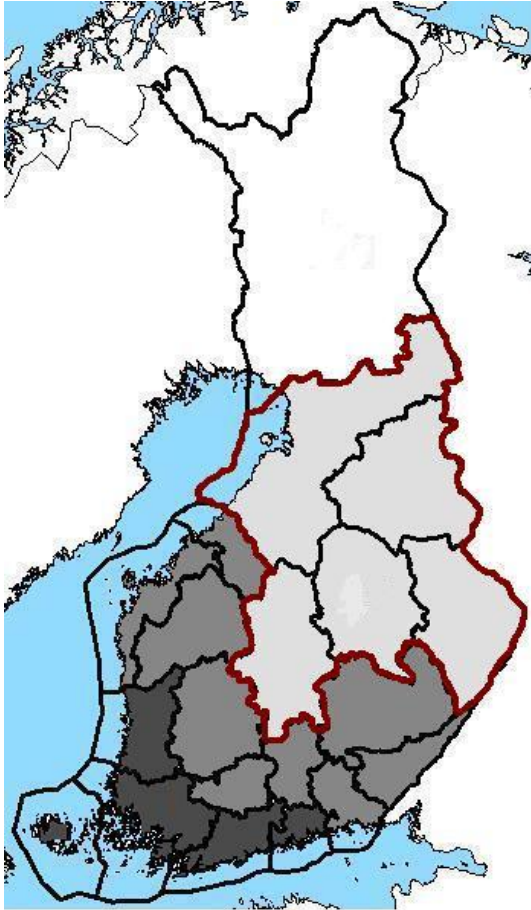
4.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin Fläktwoods Acon -mitoitusohjelmaa, Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa sekä käsin laskentaa. Acon-mitoitusohjelmaan pystyi syöttämään lähtöarvot lämmöntalteenotoille, ja ohjelma laski ilman tilan lämmöntalteenoton jälkeen. Ohjelmasta saatiin ilman suhteellinen kosteus, kosteussisältö, ominaisentalpiat ja lämpötilat. Saadut arvot syötettiin Excel-taulukkolaskentaan, jossa saatiin muodostettua taulukoita ja kaavioita.

4.4 Lähtöarvot

Lähtöarvoina energialaskennassa ja kuivaamisen tutkinnassa käytettiin uimahallista tulevan poistoilman lämpötilaa $+30\text{ °C}$ ja suhteellista kosteutta 54 %. Raitisilman lämpötilalle ennen pyörivää lämmöntalteenottoa valittiin lämpötila -15 °C , olettaen ettei pyörivä lämmöntalteenotto jäädy tällöin. Tuloilman lämpötilaksi asetettiin $+25\text{ °C}$ ja ilmavirta laskettiin kuivaustarpeen mukaan eri ulkolämpötiloille.

Lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteet saatiin Fläktwoods Oy:n tuotekuvauksista. Ulkoilman kosteussisältö Oulussa saatiin käyttämällä keskimääräistä suhteellista kosteutta 79 % (9). Raitisilman lämpötilat ja pysyvyydet saatiin Suomen RakMK:n osasta D5. Tutkimuksessa käytettiin säävyöhykettä Jyväskylällä, joka on rajattu kuvaan 4.



KUVA 4. Säävyöhykkeet (muokattu 10, s. 56)

5 LASKELMAT

5.1 Puhallinenergia

Puhaltimien sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähkötehon, ilmavirran ja käyntiajan tulon perusteella kaavalla 1 (10, s. 36). Käyntiaika on oletettu 24 tuntia vuorokaudessa vuoden jokaisena päivänä.

$$W_{\text{ilmanvaihto}} = \Sigma P_{\text{SFP}} q_v \Delta t$$

KAAVA 1

$W_{\text{ilmanvaihto}}$ = ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutus, kWh

ΣP_{SFP} = ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v = ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

Δt = ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h

5.2 Talteensaatu energia

Poistoilmasta talteensaatu energia lasketaan molemmille lämmöntalteenottolaitteille erikseen. Laskenta on esitetty regeneratiiviselle lämmöntalteenotolle kaavassa 2 ja rekuperatiiviselle lämmöntalteenotolle kaavassa 3 (11, s. 22). Tulo- ja poistoilman numeroinnissa on viitattu kuvaan 3.

$$Q_{\text{reg. LTO}} = c_p \rho q_{\text{reg. LTO}} \Sigma (t_2 - t_1) \Delta \tau$$

KAAVA 2

$Q_{\text{reg. LTO}}$ = regeneratiivisella lämmöntalteenotolla poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia, kWh

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1kJ/kgK

ρ = ilman tiheys, kg/m³

$q_{\text{reg. LTO}}$ = lämmöntalteenoton läpikulkeva ilmavirta, m³/s

t_2 = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C

t_1 = ulkoilman lämpötila, °C

$\Delta \tau$ = aikajakso vuodesta jolloin lämpötilaero ($t_2 - t_1$) esiintyy, h

$$Q_{rek.LTO} = c_p \rho q_{rek.LTO} \Sigma(t_3 - t_2) \Delta\tau \quad \text{KAAVA 3}$$

$Q_{rek.LTO}$ = rekuperatiivisella lämmöntalteenotolla poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia, kWh

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1kJ/kgK

ρ = ilman tiheys, kg/m³

$q_{rek.LTO}$ = lämmöntalteenoton läpikulkeva ilmavirta, m³/s

t_3 = tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C

t_2 = ulkoilman lämpötila, °C

$\Delta\tau$ = aikajakso vuodesta jolloin lämpötilaero ($t_3 - t_2$) esiintyy, h

5.3 Etu- ja jälkilämmityspattereiden kuluttama energia

Etu- ja jälkilämmityspattereiden kuluttama energia vuositasolla saadaan lasketua kaavojen 4 ja 5 mukaan (10, s. 54). Ilman tilan numeroinnissa on viitattu kuvaan 3.

$$Q_{ELP} = c_p \rho q_{vtulo} \Delta\tau (t_1 - t_u) \quad \text{KAAVA 4}$$

$$Q_{JLP} = c_p \rho q_{vtulo} \Delta\tau (t_4 - t_3) \quad \text{KAAVA 5}$$

Q_{ELP} = etulämmityspatterin kuluttama energia vuositasolla, kWh

Q_{JLP} = jälkilämmityspatterin kuluttama energia vuositasolla, kWh

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1kJ/kgK

ρ = ilman tiheys, kg/m³

q_{vtulo} = lämmityspatterin läpikulkeva ilmavirta, m³/s

t_1 = tuloilman lämpötila, johon etulämmityspatteri lämmittää, °C

t_u = ulkoilman lämpötila, °C

t_4 = tuloilman lämpötila, johon jälkilämmityspatteri lämmittää, °C

t_3 = tuloilman lämpötila, johon rekuperatiivinen LTO lämmittää, °C

$\Delta\tau$ = aikajakso vuodesta jolloin lämpötilaerot ($t_1 - t_u$), ($t_4 - t_3$), esiintyvät, h

5.4 Poistoilman vuosihyötysuhde

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde saadaan laskemalla talteenotetun lämpöenergian suhde energian tarpeeseen. Kaavassa 6 (11, s. 7) on esitetty poistoilman vuosihyötysuhteen laskenta.

$$\eta = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}}$$

KAAVA 6

η = poistoilman vuosihyötysuhde

Q_{LTO} = lämmöntalteenotoilla talteensaatu energia

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitystarve ilman LTO-laitteita

Laskelmat on esitetty liitteissä 6, 7 ja 8. Laskelmiin on numeroitu tulo- ja poistoilman tila prosessissa.

6 SÄÄTÖTAVAT

Optimaalista lämpötilaeroa etsiessä tavoitteena oli löytää lämpötilat, jolloin kumpikaan lämmöntalteenottolaite ei mene huurteeseen, mutta kuivausta rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa tapahtuu maksimaalisesti. Työkaluina käytettiin Fläktwoods Acon -mitoitusohjelmaa, Mollier-käyrää, lämmöntalteenottojen teknisiä asiakirjoja sekä asiantuntijoiden haastatteluja.

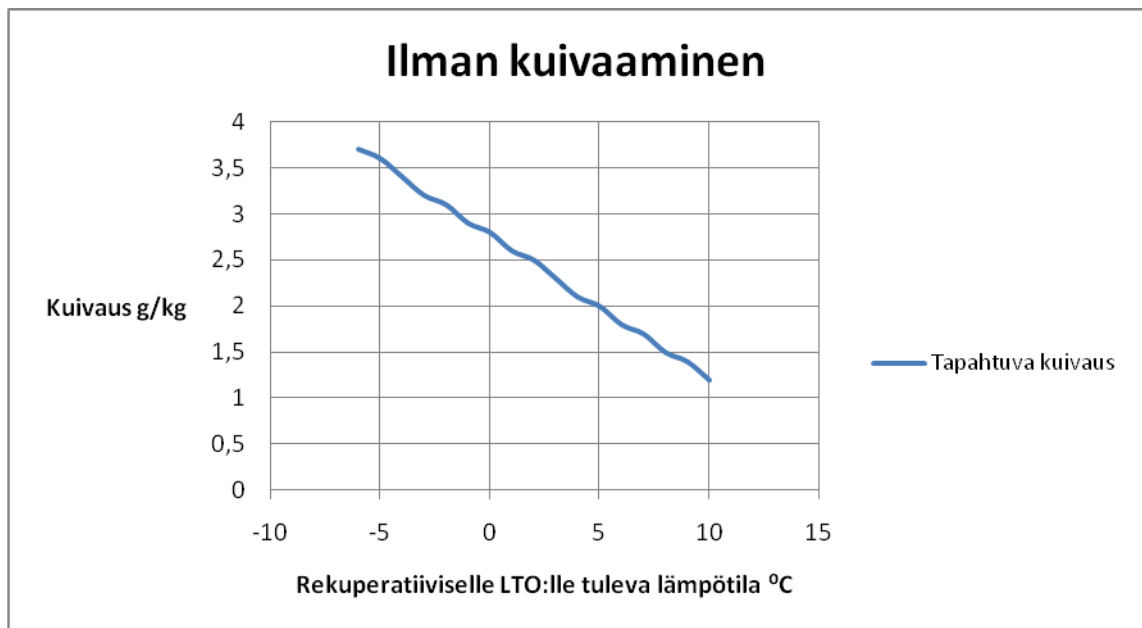
Optimilämpötilaa etsiessä mallinnettiin kolme erilaista säätötapaa ja ne nimettiin seuraavasti:

- säätö 1: -6 °C
- säätö 2: 0 °C
- säätö 3: regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhde maksimoitu.

Jokaiselle säädölle laskettiin vaikutus energiankulutukseen, kuivaustehoon ja ilmavirtaan.

6.1 Säätö 1: -6 °C

Regeneratiivinen lämmöntalteenottolaite on herkkä jäätymään uimahallin kostean poistoilman vuoksi, joten etulämmityspatteri lämmittää ulkoilman -15 °C :seen, jolloin oletetaan, ettei regeneratiivinen lämmöntalteenotto huurru. Rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa huurteensulatus on tarpeen aina, kun ulkolämpötila laskee alle $-7\text{...}-5\text{ °C}$ (12). Tämän vuoksi pyrittiin valitsemaan se lämpötila, milloin lämmöntalteenotto ei vielä huurru. Lämpötilaksi rekuperatiiviselle lämmöntalteenotolle valittiin -6 °C . Rekuperatiiviselle lämmöntalteenotolle tulevan ilman lämpötila vaikuttaa kuivaustehoon suoraan. Mitä lämpimämpi tuleva ilma, sitä vähemmän tapahtuu kuivausta (kuva 5). Lämpötilaero on tällöin pienempi tulo- ja poistoilman välillä.

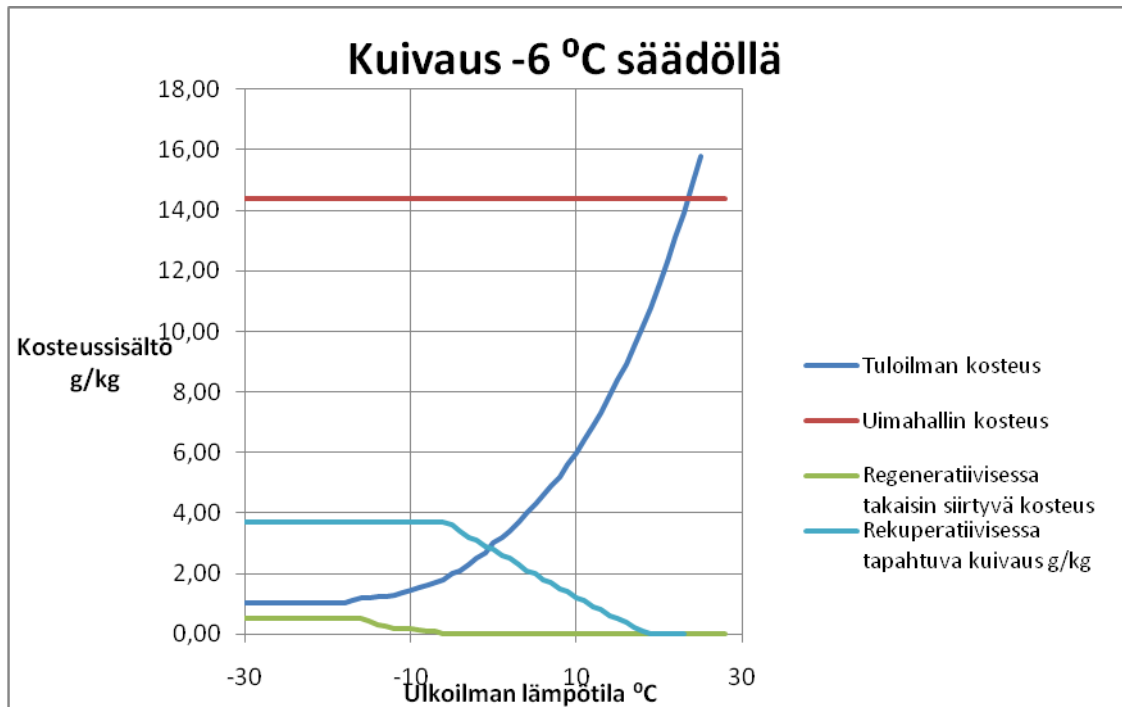


KUVA 5. Ilman kuivaaminen

Säätö 1:ssä pidettiin rekuperatiiviselle lämmöntalteenotolle tulevan ilman lämpötila -6 °C :ssa, kunnes ulkoilman lämpötila nousee yli tämän arvon. Lämpötilan säätö tapahtuu regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta säätämällä. Kun lämpötila nousee yli -6 °C :n, pysähtyy regeneratiivinen lämmöntalteenotto kokonaan.

Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto lämmittää ilmaa täydellä hyötysuhteella ulkoilman lämpötilaan $+18\text{ °C}$ saakka, jolloin haluttu uimahallin asetusarvo $+25\text{ °C}$ saavutetaan. Kun ulkoilman lämpötila nousee yli $+18\text{ °C}$:n, säädetään rekuperatiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhdetta ohituspeltejä käyttämällä.

Regeneratiivinen lämmöntalteenottolaite pyörii alhaisella hyötysuhteella välillä $-30\text{ °C} \dots -6\text{ °C}$ ja siirtää kosteutta takaisin tuloilmaan. Kuivaaminen rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa on vakio välillä $-30\text{ °C} \dots -6\text{ °C}$. Kuivaaminen vähenee välillä $-6\text{ °C} \dots +19\text{ °C}$, minkä jälkeen kuivaamista ei enää tapahdu ollenkaan rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa. Säädön 1 vaikutus kuivaamiseen näkyy kuvassa 6.



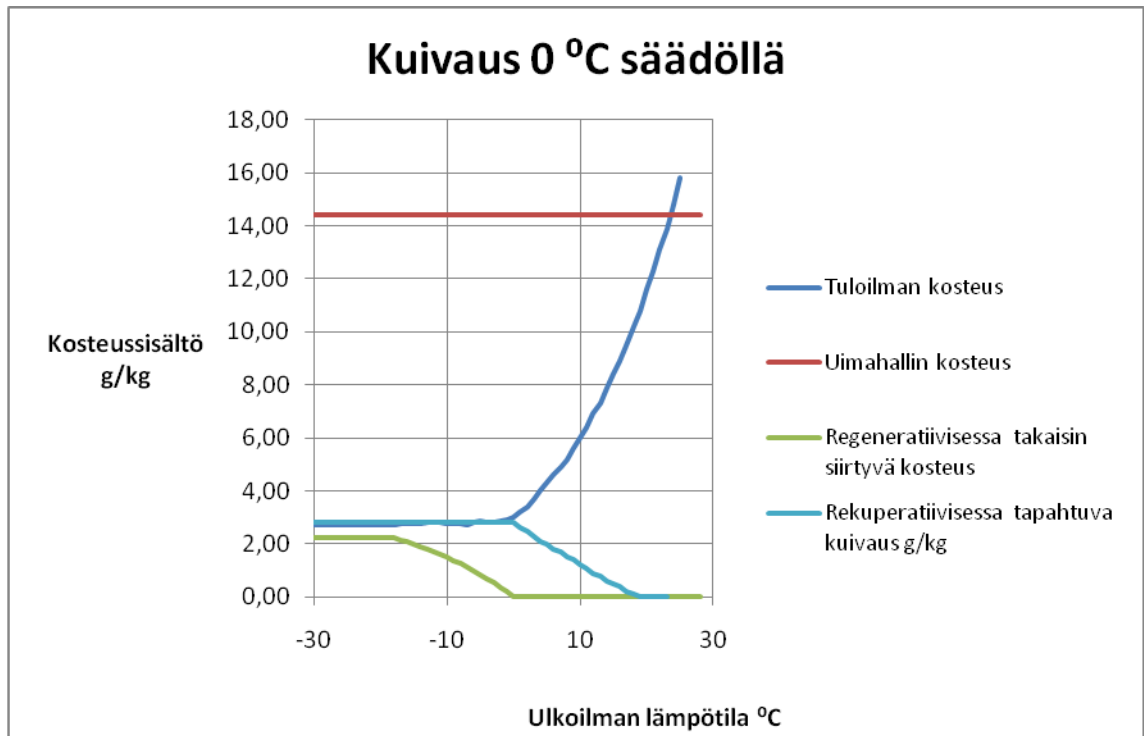
KUVA 6. Kosteusprosessi säädöllä 1

6.2 Sääto 2: 0 °C

Rekuperatiivisen lämmöntalteenoton jäätymisvaara on suuri poistoilman suuren kosteussisällön vuoksi. Optimilämpötilan etsintään otettiin myös vaihtoehto, jolloin rekuperatiivinen lämmöntalteenotto pysyy varmasti sulana. Rekuperatiiviselle tulevan ilman lämpötilaksi valittiin 0 °C.

Sääto 2:ssa regeneratiivisella ja rekuperatiivisella lämmöntalteenotoilla säädetään lämpötilaa kuten sääto 1:kin, vain rekuperatiiviselle tulevan ilman lämpötila muuttui -6 °C:sta 0 °C:seen. Myös säädössä 2 etulämmityspatteri lämmittää regeneratiiviselle lämmöntalteenotolle tulevan ulkoilman -15 °C:seen. Regeneratiivinen lämmöntalteenotto laite pyörii alhaisella hyötysuhteella välillä -30 °C...0 °C ja siirtää kosteutta takaisin tuloilmaan. Kuivaaminen rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa on vakio välillä -30 °C...0 °C. Kuivaaminen vähenee välillä 0 °C... +19 °C, jonka jälkeen kuivaamista ei enää tapahdu ollenkaan rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa (kuva 7).

Laskelmien lähtöarvoilla ulkoilman kosteussisältö nousee uimahallin arvoihin noin +23 °C lämpötilassa, jolloin uimahallin kosteudenhallinta vaikeutuu.



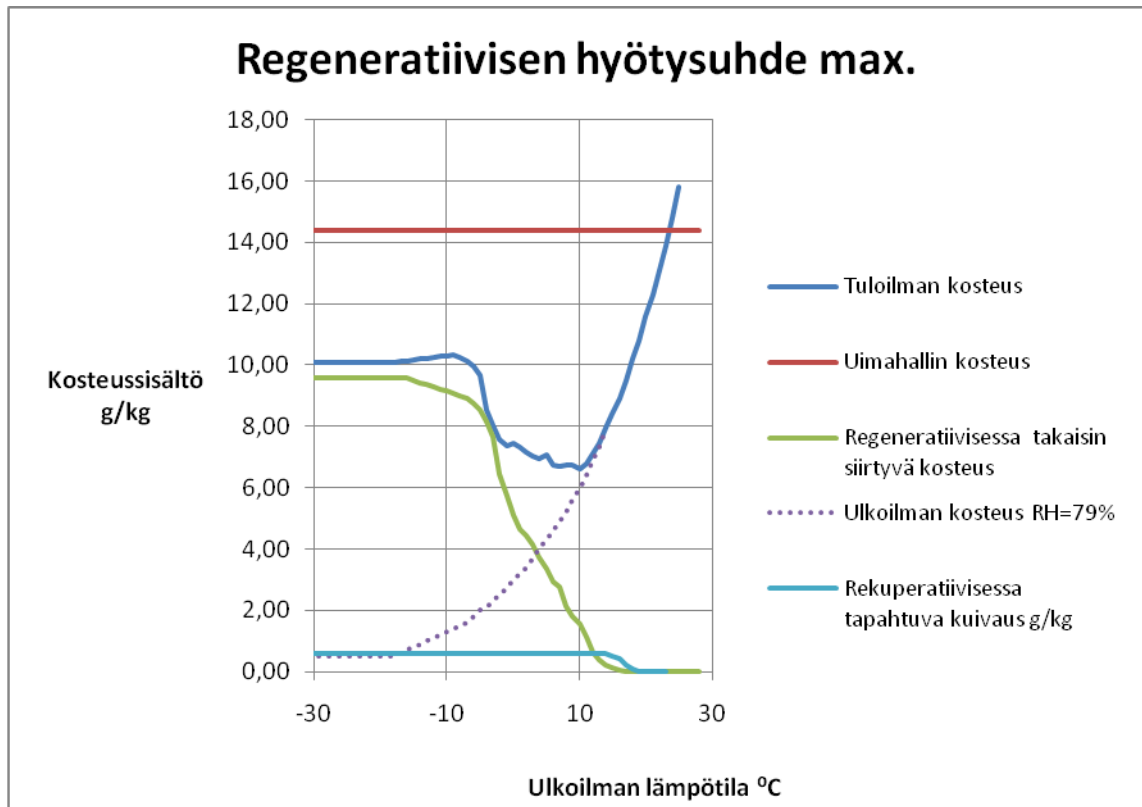
KUVA 7. Kosteusprosessi säädöllä 2

6.3 Sääto 3: regeneratiivisen lämmöntalteenoton maksimoitu hyötysuhde

Regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhde pyrittiin maksimoimaan säädössä 3. Tällä saatiin kuvattua hyötysuhteen vaikutusta kosteusprosessiin ja tutkittua poistoilmasta takaisin tuloilmaan siirtyvän kosteuden osuutta (kuva 8).

Etulämmityspatterilla lämmitettiin ulkoilma niin lämpimäksi (−9 °C), ettei regeneratiivinen lämmöntalteenottolaite mennyt jäähän ja pystyi toimimaan täydellä hyötysuhteella. Mikäli regeneratiivinen lämmöntalteenotto pyöri täydellä hyötysuhteella, siirtyi kosteutta moninkertaisesti säätöihin 1 ja 2 verrattuna. Kuivausta tapahtui vain vähän rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa, koska sille tulevan ilman lämpötila oli niin suuri, eikä tarvittavaa lämpötilaeroa tullut lämmönsiirtopintojen välille.

Hyötysuhteen merkitys poistoilmasta tuloilmaan siirtyvään kosteuteen regeneratiivisessa hygroskooppisessa lämmöntalteenotossa on suuri. Mitä suurempi on hyötysuhde, sitä enemmän siirtyy kosteutta tuloilmaan (liite 2).



KUVA 8. Kosteusprosessi säädöllä 3

6.4 Säädön vaikutus ilmavirtaan

Eri säätötapojen vaikutus ilmavirtaan saatiin mallintamalla uima-allas, jonka pinta-ala on 500 m². Allastilalle laskettiin ilmanvaihtoon perustuvan kosteudenpoiston vaatima ilmavirta kaavoilla 7 ja 8 (3, s. 4–5). Ilmanvaihtoon perustuvan allastilan kosteudenhallinta toteutetaan siten, että ulkoilmavirran määrää säädelään kosteudenpoistotarpeen mukaan. Kosteuden haihdunnan laskelmat on esitetty liitteessä 3.

$$q_{mi} = \frac{\sum q_{vm}}{(x_5 - x_4)}$$

KAAVA 7

q_{mi} = ilmavirta, kg/s

x_5 = poistoilman vesisisältö (=allastilan keskimääräinen vesisisältö), kg/kg_{k,i}

x_4 = tuloilman vesisisältö, kg/kg_{k,i}

Σq_{vm} = sisältää altaiden, lattiapintojen, laitteiden ja ihmisten aiheuttaman haihdunnan, kg/s

$$q_{vm} = A * B_x * (x_v - x_i)$$

KAAVA 8

A = altaan pinta-ala m²

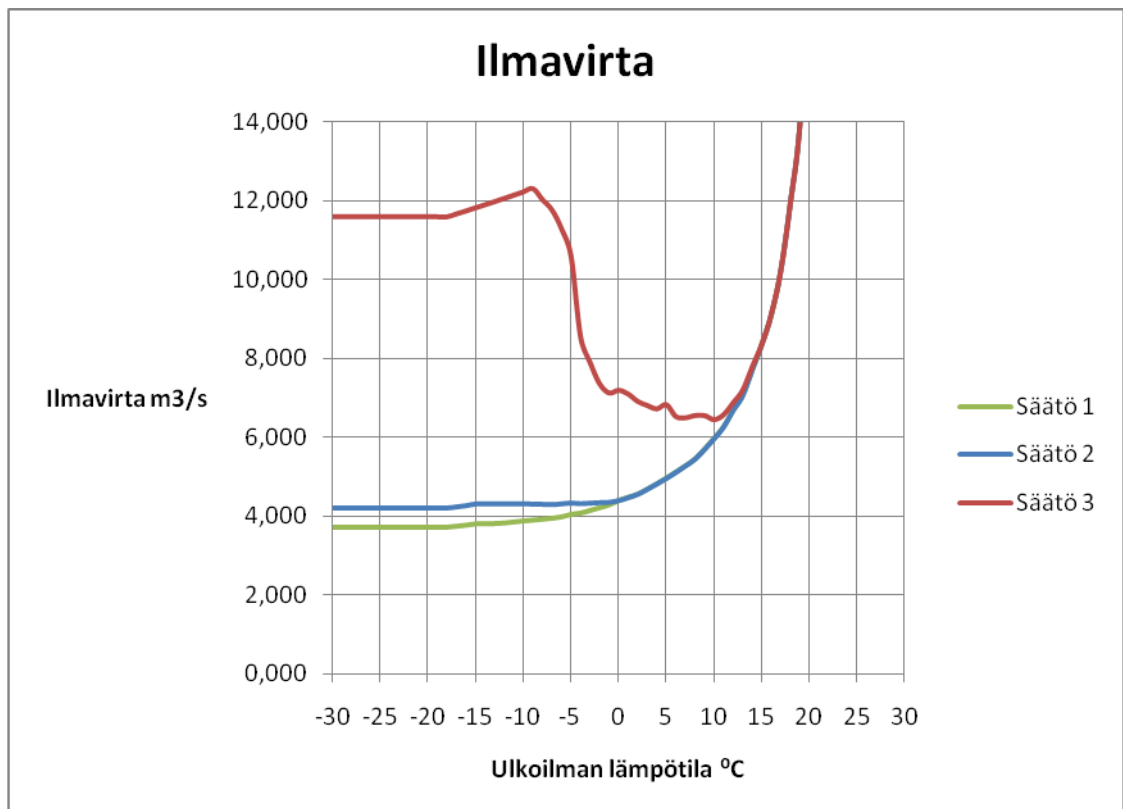
B_x = kokemusperäinen haihtumiskerroin 1,5m syvälle altaalle kg/m²s

x_v = kylläisen ilman vesisisältö allasveden lämpötilassa kg/kg

x_i = allastilan ilman keskimääräinen vesisisältö kg/kg

Kuvasta 9 näkyy ilmavirtojen erot erit säädöillä. Ilmavirta on noin 15 % suurempi säädöllä 2 kuin säädöllä 1 ulkoilman lämpötiloilla -30...0 °C. Sen jälkeen korkeammilla ulkolämpötiloilla eroa ei ole. Säädetavassa 3 regeneratiivinen lämmöntalteenotto pyörii suurella hyötysuhteella ja siirtää paljon kosteutta takaisin poistoilmasta tuloilmaan. Tämä vaikuttaa suoraan uimahallin ilmavirran suuruuteen ja säädön 3 ilmavirta on lähes kolme kertaa suurempi kuin esimerkiksi säädöllä 2.

Erot ilmavirtojen suuruuksissa tulevat eroista regeneratiivisen lämmöntalteenoton takaisin siirtämästä kosteudesta eri säätöjen välillä. Regeneratiivisen lämmöntalteenoton hyötysuhteen säätäminen muuttaa myös kosteushyötysuhtetta, mutta hyötysuhteet eivät muutu samassa suhteessa (liite 4) (13, s. 3).



KUVA 9. Säädön vaikutus ilmavirtaan

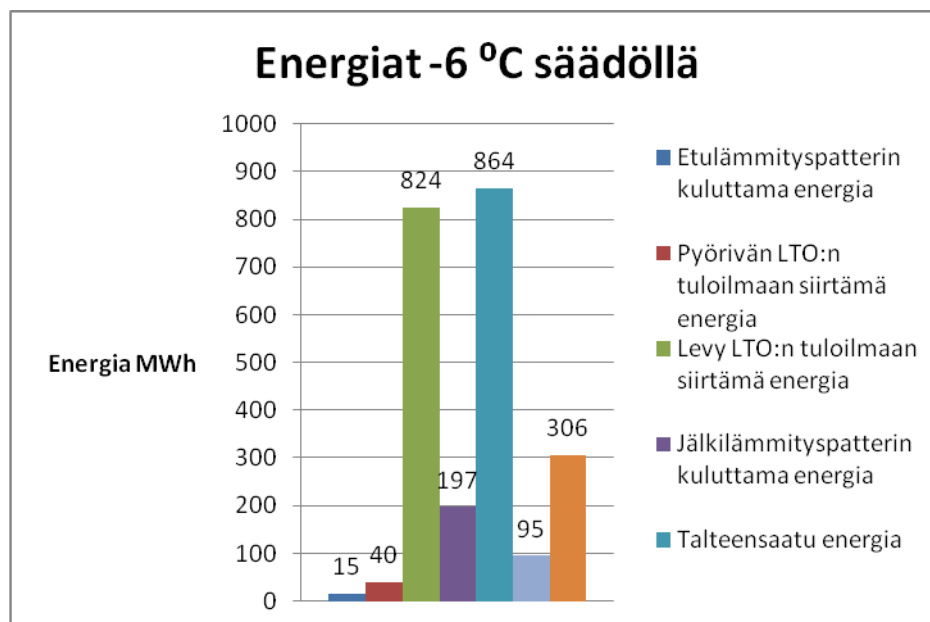
7 ENERGIALASKENTA

Ilmavirran vaikutus lämmitys- ja puhallinenergiaan sekä talteenotettuun energiaan on otettu aina ulkolämpötilaan 15 °C asti, jotta saataisiin todenmukaisemman arvot. Ulkolämpötilan kohotessa yli 15 °C käytetään ilmavirran arvoa 8,4 m³/s kaikissa säätötavoissa.

7.1 Säätö 1: –6 °C

Säädössä regeneratiivinen lämmöntalteenotto pysähtyy kokonaan –6 °C:n jälkeen ja se vähentää regeneratiivisella talteenotetun energian määrää. Koska säädössä 1 regeneratiivinen lämmöntalteenotto siirtää vähemmän kosteutta takaisin tuloilmaan, on säädössä 1 noin 0,5 m³/s pienempi ilmavirta kuin säädössä 2 ulkoilman lämpötiloilla –30 °C...0 °C. Säätötavassa on alhaisin puhallinenergian kulutus, koska haluttu ilmanvaihtoon perustuva kuivaus uimahalliin toteutuu pienimmällä ilmavirralla (kuva 9).

Säädössä 1 rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa tapahtuu kuivausta eniten ja siten myös energiaa saadaan eniten rekuperatiivisella lämmöntalteenotolla talteen. Poistoilman vuosihyötysuhde (80,5 %) on heikompi kuin säädöillä 2 ja 3. Energiat näkyvät kuvassa 10.

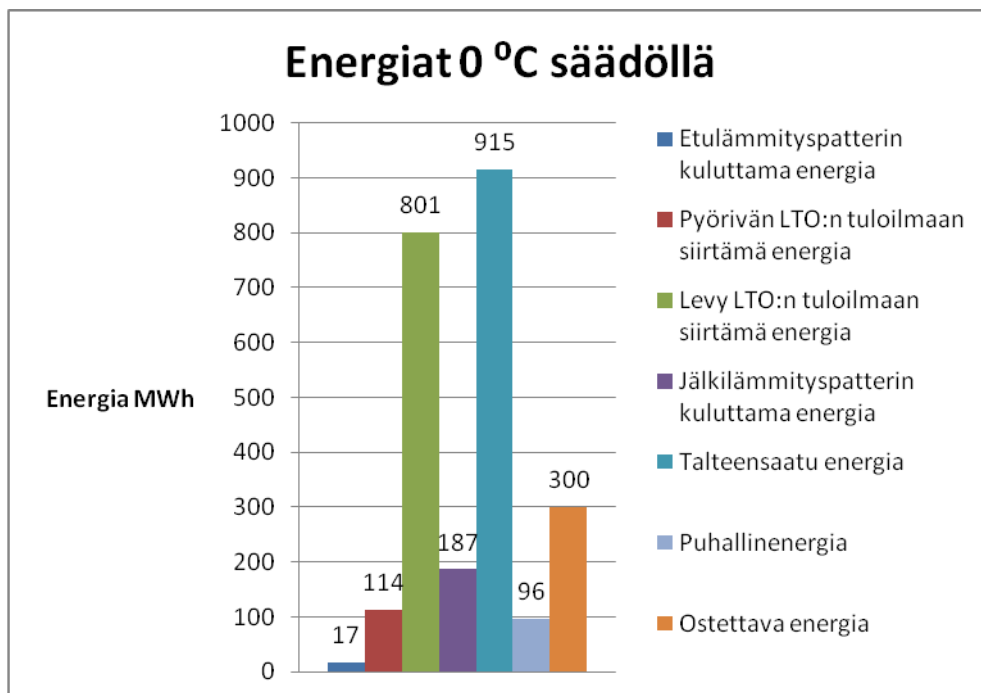


KUVA 10. Säädön 1 vaikutus energioihin

7.2 Säätö 2: 0 °C

Säädössä 2 ostettavan energian määrä on pienin verrattuna tutkimuksen muihin säätötapoihin. Myös poistoilman suurempi vuosihyötysuhde 82,4 % puoltaa säätötapaa 2 optimaalisemmaksi valinnaksi, vaikka säätötavassa 1 kuivausta tapahtuukin enemmän. Energiamäärät ovat hyvin lähellä toisiaan säädöissä 1 ja 2.

Suurin ero säädön 2 hyväksi tulee regeneratiivisen lämmöntalteenoton tuloilmaan siirtämässä energiamäärässä sekä jälkilämmityspatterin vähemmän kuluttamassa energiassa (kuva 11). Jälkilämmityspatterin kuluttamaa energiaa voitaisiin vähentää käyttämällä ilmastointikoneessa sekoitusosaa, jolloin poistoilmasta voitaisiin kosteuden salliessa palauttaa osa kierrätysilmana tuloilmaan.

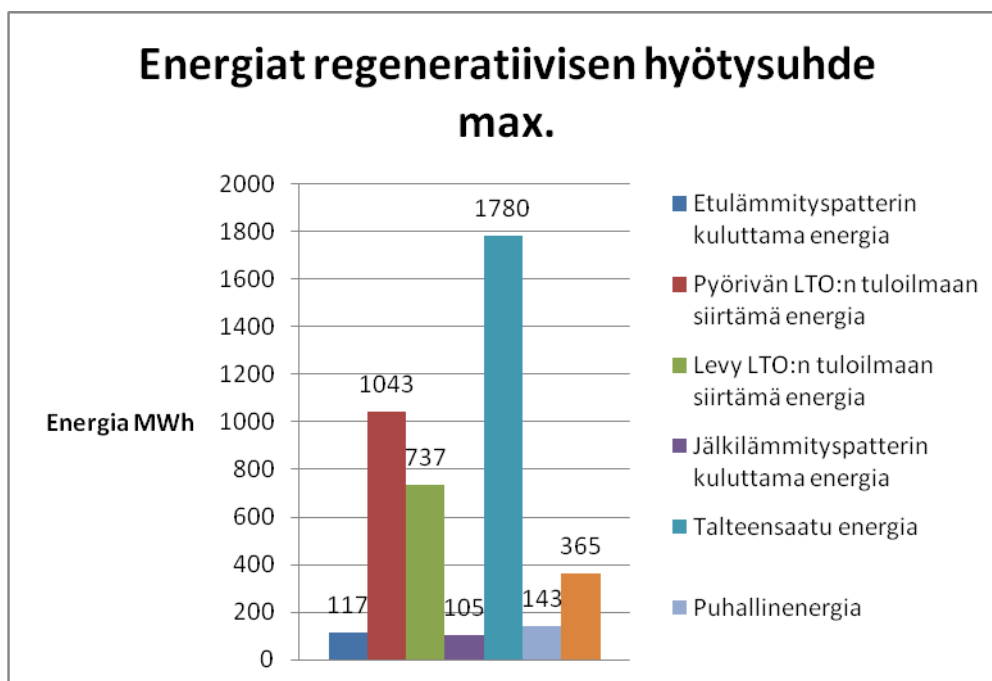


KUVA 11. Säädön 2 vaikutus energioihin

7.3 Säättö 3: regeneratiivisen lämmöntalteenoton maksimoitu hyötysuhde

Säädössä 3 ostettavan energian osuus on säätötavoista suurin. Kosteutta siirtyy paljon poistoilmasta tuloilmaan ja tämän vuoksi kuivatuksen vaatima ilmavirta ja puhallinenergian määrä on suuri. Säädöllä 3 suurempi talteensaadun energian määrä johtuu suuremmasta kuivatuksen vaatimasta ilmavirrasta. Suuret ilmavirrat vaativat suurempien konekokojen lisäksi myös suuremmat tilat, minkä vuoksi säätötapa 3 ei ole järkevä.

Ulkolämpötiloilla $-30\text{ °C} \dots -9\text{ °C}$ ilmavirta on suurimmillaan noin $12\text{ m}^3/\text{s}$, kun samaan aikaan säädöillä 1 ja 2 ilmavirta on noin $4\text{ m}^3/\text{s}$ (kuva 9). Poistoilman hyvä hyötysuhde 88,9 % ei ota huomioon kosteuden siirtymistä takaisin tuloilmaan ja siitä johtuvaa ilmavirtojen kasvua. Energiat näkyvät kuvassa 12.



KUVA 12. Säädön 3 vaikutus energioihin

8 PÄÄTELMÄT KUIVAUSMENETELMÄSTÄ

Tässä tutkimuksessa ei vertailtu laajemmin tutkimuksen järjestelmää ja nykyisiä järjestelmiä, vaan keskityttiin enemmän tutkimuksen järjestelmän toimintaan ja tekemään päätelmiä sen kehittämiseksi. Tutkimuksen perusteella havaitut kehitysehdotukset ja rajoitukset laitekokoospanolle on lueteltu seuraavissa kappaleissa.

8.1 Kehittäminen

Kuivausta voidaan parantaa valitsemalla rekuperatiivinen lämmöntalteenottolaitte mahdollisimman suurilla lämmönsiirtopinnoilla.

Mikäli laitekokoospanoon lisättäisiin sekoitusosa, poistoilmasta voitaisiin allastilan kosteuden salliessa palauttaa osa kierrätysilmana tuloilmaan. Tällöin jälkilämmityspatterin kuluttama energia vähenisi kylmimmillä ulkoilman lämpötiloilla.

Kosteudensiirtymistä poistoilmasta takaisin tuloilmaan voidaan vähentää valitsemalla ei-hygroskooppinen regeneratiivinen lämmöntalteenottolaitte.

Rekuperatiivinen lämmöntalteenottolaitte tulee varustaa hyvällä lohkosulatuksella, jotta alhainen tuloilman lämpötila ei jäädytä kennoa umpeen.

8.2 Rajoitukset

Tutkimuksen rekuperatiivisella lämmöntalteenotolla kondensaatiota ei tapahdu ulkoilman lämpötilan +19 °C:n jälkeen. Tämän vuoksi kesän kuumimpina päivinä uimahallin kosteudenhallinta voi olla hankalaa ja ilmavirrat kasvaa suuriksi. Nykyään yleisesti käytettävillä lämpöpumppujärjestelmillä voidaan kuivata poistoilmaa myös kesän suurimpina kosteuskuormapäivinä. Joillakin uimahalleissa käytettävillä ilmastointikoneilla voidaan kuivata myös ulkoilmaa.

Regeneratiivinen lämmöntalteenotto on herkkä jäätymään kosteuden tiivistyessä lämmönsiirtopinnoille. Ulkoilmaa täytyy esilämmittää mikä huonontaa hyö-

tysuhdetta. Regeneratiivinen lämmöntalteenotto myös siirtää kosteutta poistoilmasta tuloilmaan, mikä on otettava huomioon ilmavirtaa lisäävänä tekijänä ilmastointikoneen mitoituksessa. (3, s. 34.) Tutkimuksessa oletettiin että regeneratiivinen lämmöntalteenotto pysyy sulana kun raitisilman lämpötila on $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja jäteilman lämpötila pysyy nollan yläpuolella.

Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto on myös herkkä huurtumaan ja prosessia tutkittiin $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$:n raitisilman lämpötilalla, jolloin valmistajan mukaan huurtumisenestoautomaattikka ei ole vielä toiminnassa. Kun erityisen kostea poistoilma kuivuu, kondensoituu ilmasta paljon vettä, joka jäätyessään tukkii lämmönsiirtimen. Tämän vuoksi prosessia tutkittiin myös raitisilman lämpötilalla $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, jolloin lämmönsiirrin pysyy varmemmin sulana.

Ilman laboratorio testejä on vaikea määrittää tarkkoja lämpötiloja, milloin kumpikaan lämmöntalteenotto ei varmasti jäädy eikä joudu käyttämään huurteensulatausta. Tutkimuksessa käytetyt lämpötilat ovat kuitenkin suuntaa antavia ja niiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä laitekokoonpanosta.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli yhdistää regeneratiivinen ja rekuperatiivinen lämmöntalteenotto siten, että rekuperatiivista lämmöntalteenottoa käytetään ilman kuivaamiseen kondensoinnin kautta optimoimalla tulo- ja poistoilman välinen lämpötilaero. Optimaalinen lämpötilaero löydettiin tekemällä Exceltaulukkolaskentaohjelmaan sovellus ja hyödyntämällä olemassa olevia tutkimuksia. Järjestelmän kuivausteho saatiin mallinnettua Exceltaulukkolaskentaohjelmaan käyttämällä apuna Fläktwoods Acon-mitointiohjelmaa. Kuivaaminen mallinnettiin taulukoihin, joista näkyy järjestelmällä tapahtuva kuivaus vuositasolla.

Tutkimuksessa selvisi, että regeneratiivinen lämmöntalteenotto siirtää paljon kosteutta takaisin tuloilmaan, jos pyörimisnopeus on suuri. Uimahallissa kosteuden siirtyminen takaisin tuloilmaan merkitsee ilmavirran lisäämistä ja siten energiakulujen kasvua. Kosteudensiirto hygroskooppisella kennolla on suurempaa kuin ei-hygroskooppisella kennolla. Tutkimuksen laitekoonpanon ongelmia ovat muun muassa lämmönsiirtimien jäätyminen alhaisissa lämpötiloissa poistoilman suuren kosteussisällön vuoksi sekä korkeissa ulkolämpötiloissa alhaiseksi jäävä kuivausteho.

Optimaaliseksi tuloilman lämpötilaksi rekuperatiiviselle lämmöntalteenotolle löydettiin arvo 0 °C tutkimuksen laitekoonpanolla. Ostettavan energian määrät olivat kuitenkin lähellä toisiaan säädöissä 1 ja 2. Laitekoonpano soveltuisi uimahallien ilman kuivaamiseen tietyin kehitysehdoin. Regeneratiivinen lämmöntalteenottolaite ei saisi siirtää kosteutta takaisin tuloilmaan ja kuumimmille kesäpäiville täytyisi olla varajärjestely ilman kuivaamiseksi.

LÄHTEET

1. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2008. Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. Saatavissa:
http://www.valvira.fi/files/ohjeet/Oppaita_3_2008_Uimahallien_ilmanvaihto_5.pdf Hakupäivä 15.11.2010.
2. RIL 235-2009. 2009. Uimahallin rakenteiden suunnittelu ja kunnonhallinta. Saarijärvi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Oy.
3. LVI 06-10451. 2009. Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto ry.
4. RakMK D2. 2008. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohje. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf Hakupäivä 9.10.2010.
5. Lämmöntalteenotto poistoilmasta. 2010. LVI-talotekniikkateollisuus. Saatavissa: http://www.talotekniikka.eu/tate-lehti/fi_FI/lammontalteenotto/ Hakupäivä 4.11.2010.
6. Pyörivä lämmönsiirrin Regoterm. Fläktwoods Tekninen ohje. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/da0ea49e-f1d7-4a4e-be16-71499e1a5b95> Hakupäivä 29.11.2010.
7. Aittomäki, Antero – Karkiainen, Sasu – Vehmaan-Kreula, Maria. 1998. Uimahallien ilmankuivausjärjestelmien vertailu. Raportti 131. Tampere: Teknillinen korkeakoulu energia- ja prosessitekniikka.
8. Levylämmönsiirrin Recuterm. Fläktwoods. Energiatehokkuus. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.com/fi/erityisosaamisemme/elinkaarietullisuus/levylammonsiirrin-recuterm/> Hakupäivä 29.11.2010

9. Ilman suhteellinen kosteus. 1971–2000. Oulu. Saatavissa http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_7.html#5 Hakupäivä 29.11.2010.
10. RakMK D5. 2007. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmöntehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf> Hakupäivä 29.11.2010.
11. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Helsinki.
http://www.teknologiateollisuus.fi/file/3778/lto_opas_122_lopullinen.pdf.html
Hakupäivä 22.1.2011
12. Mäkinen, Pekka. 2010. Tuotepäällikkö, Fläktwoods. Puhelinhaastattelu. 29.9.2010.
13. Pyörivä lämmönsiirrin Regoterm. Fläktwoods. Energiatehokkuus. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.com/fi/erityisosaamisemme/elinkaarietdullisuus/pyoriva-lammonsiirrin-regoterm-ja-turboterm/> Hakupäivä 29.11.2010.

LIITTEET

Liite 1. Lämpötilaerot

Liite 2. Regeneratiivisen LTO:n kosteudensiirto

Liite 3. Esimerkkiuima-allas

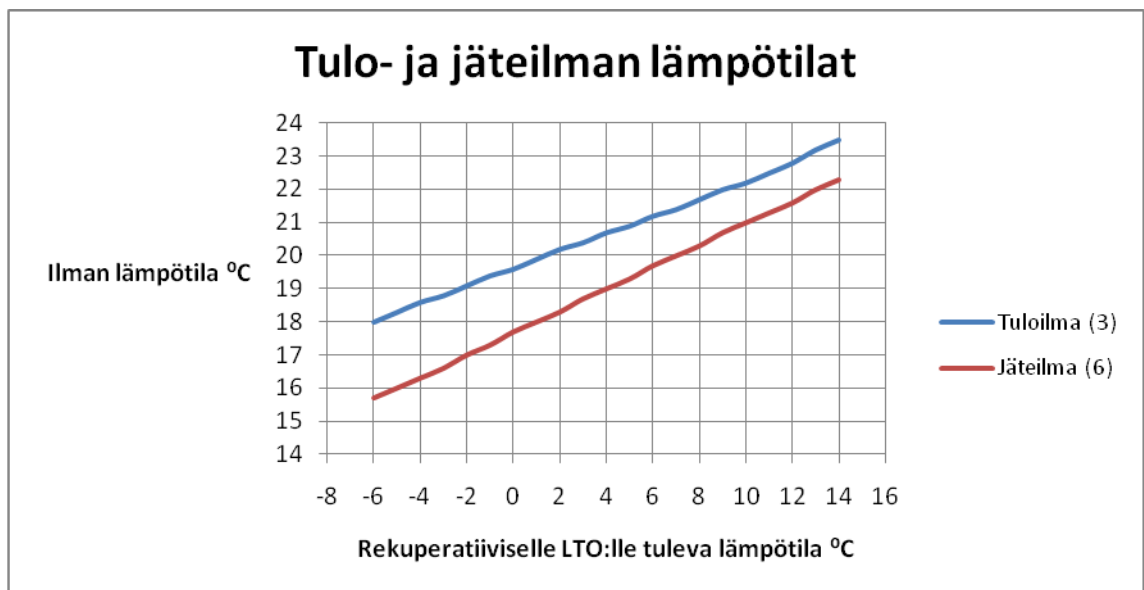
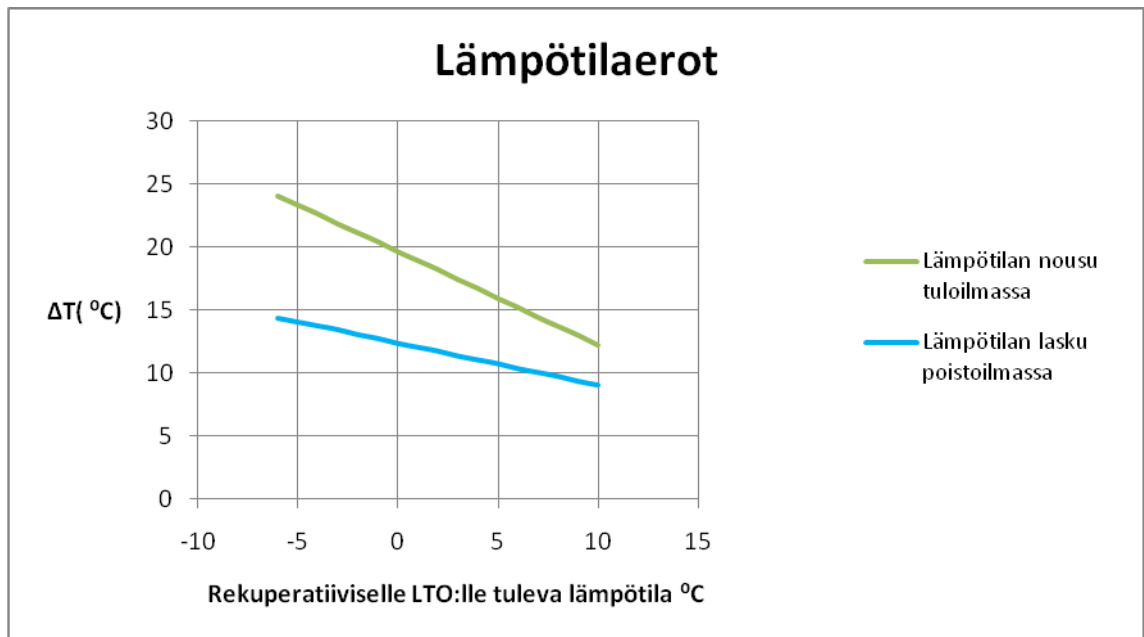
Liite 4. Hyötysuhteiden riippuvuus

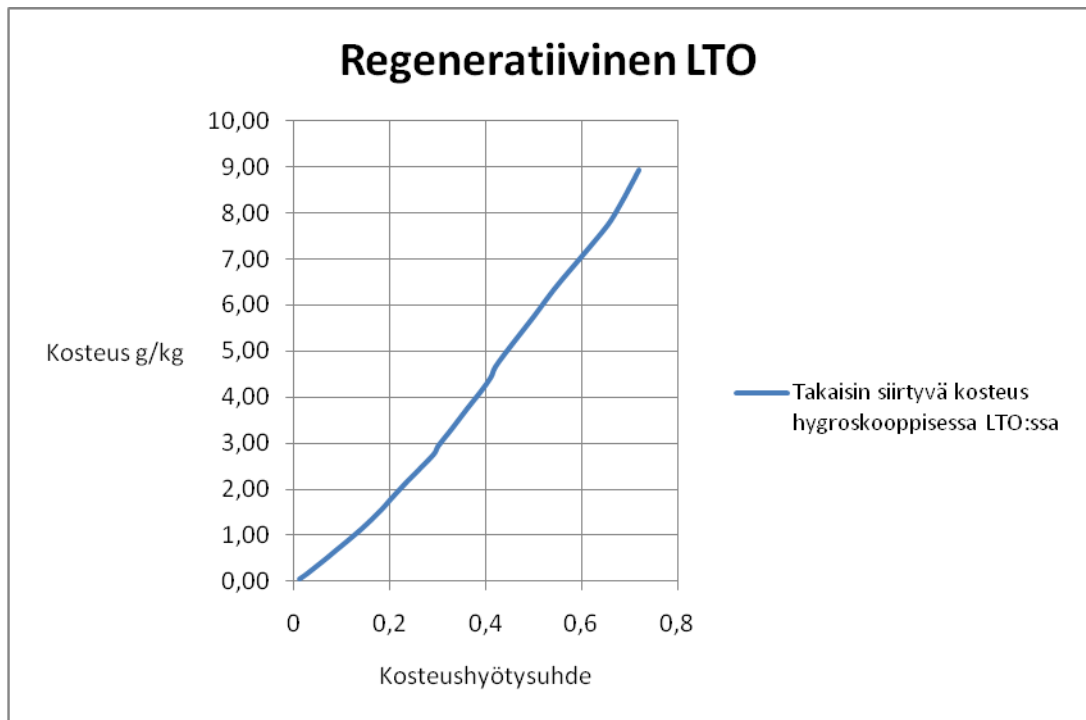
Liite 5. Ilmastointikoneen toimintakaavio

Liite 6. Säädön 1 Excel-laskelmat

Liite 7. Säädön 2 Excel-laskelmat

Liite 8. Säädön 3 Excel-laskelmat





Esimerkkiallas

Veden haihdunta(LVI 06-10451 s.5)

Esimerkkiallas

Pinta-ala	A	500 m ²
Ilman vesisisältö	x_i	0,0144 kg/kg
Kylläinen ilma	x_v	0,024 kg/kg
Kokemusp. Haihtumiskerroin	B_x	0,0087 kg/m ² s
Allasveden lämpötila		28 °C
Allastilan lämpötila		30 °C
Allastilan suhteellinen kosteus		54 %

Veden haihdunta	$q_{vm}=A * B_x * (x_v-x_i)$ kg/s	=	0,042	kg/s
-----------------	-----------------------------------	---	-------	------

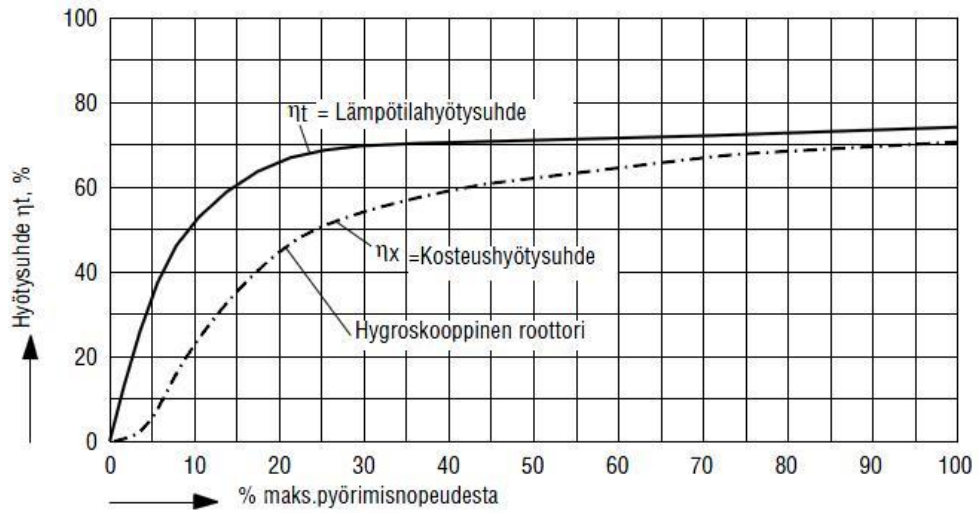
Allastilan ilmanvaihtoon perustuvan kosteudenpoiston ilmavirta(LVI 06 10451 s.5)

Haihtuvan veden massavirta	q_{vm}	0,042 kg/s
Poistoilman vesisisältö	x_p	0,0144 kg/kg
Tuloilman vesisisältö	x_t	riippuu ulkolämpötilasta

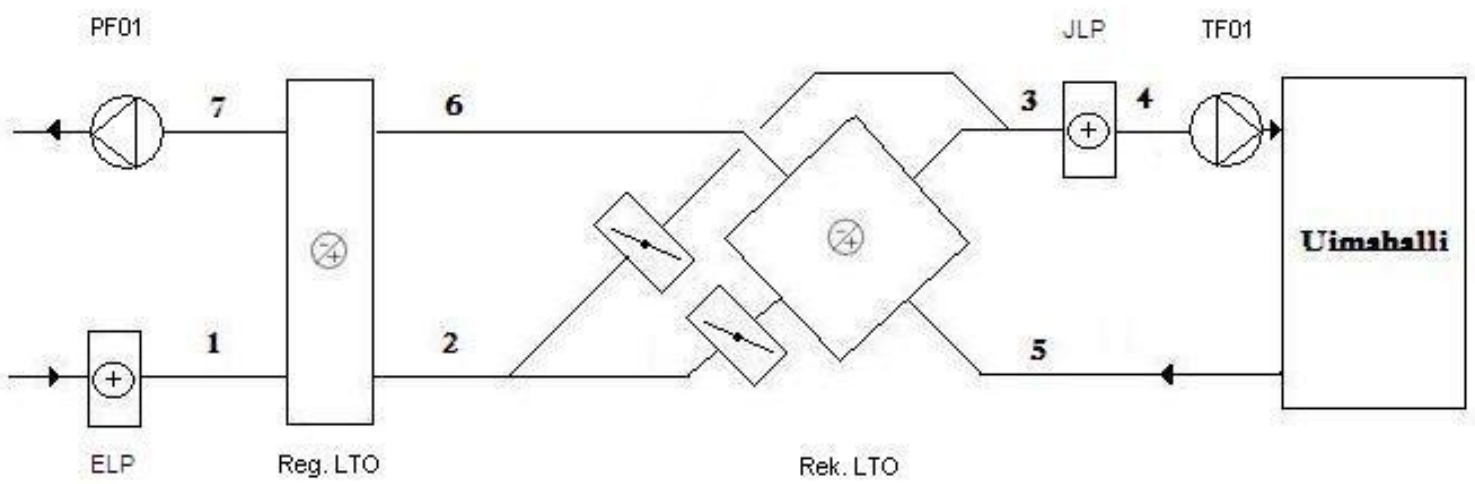
Ilmavirta	$q_{mi}=q_{vm} : (x_p-x_t)$ kg/s	laskettu erikseen eri ulkolämpötiloille
-----------	----------------------------------	---

Lämpötila- ja kosteushyötysuhde

Käyrästä 2



[Kirjoita teksti]



[Kirjoita teksti]

LIITE 6/1

SÄÄDÖN 1 EXCEL-LASKELMAT

Jlki: lämmitysparteri	Ulkolämpötila °C	Aika vuodesta h	Aika tunteina	1. T _{REG} °C	2. T _{REG} °C	3. T _{REG} °C	4. T _{REG} max °C	6. T _{REG} °C	5. T _{REG} °C	7. T _{REG} min °C	REG-η _p	REG-η _o	REG-η _o	REG-η _o stus	6. Polistoliman kusteus g/kg	5. Uimahallin kusteus g/kg	1. Ulkoliman kusteus g/kg RH=79%
Jlki: lämmitysparteri	-34	0,00057	5	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
Jlki: pöydäLTO	-33	0,00008	2	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
Jlki: LevyLTO	-32	0,00091	1	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-31	0,00171	7	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-30	0,00263	8	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-29	0,00377	10	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-28	0,00548	15	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-27	0,00753	18	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-26	0,00902	13	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-25	0,0121	27	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-24	0,01553	30	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-23	0,01975	37	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-22	0,02482	40	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-21	0,02911	42	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-20	0,03368	40	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-19	0,03984	54	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-18	0,04749	67	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,50
	-17	0,05731	86	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,60
	-16	0,06963	108	-15	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,70
Jlki: pöydäLTO	-15	0,0774	68	-6	-6	18	25	15,7	30	6,7	0,29	0,29	0,67	0,04	10,7	14,4	0,80
Jlki: LevyLTO	-14	0,08402	58	-6	-6	18	25	15,7	30	7,7	0,27	0,27	0,67	0,03	10,7	14,4	0,90
	-13	0,09064	58	-6	-6	18	25	15,7	30	8,7	0,24	0,24	0,67	0,03	10,7	14,4	1,00
	-12	0,0968	54	-6	-6	18	25	15,7	30	9,7	0,22	0,22	0,67	0,02	10,7	14,4	1,10
	-11	0,1045	67	-6	-6	18	25	15,7	30	10,7	0,19	0,19	0,67	0,02	10,7	14,4	1,20
	-10	0,1195	131	-6	-6	18	25	15,7	30	11,7	0,16	0,16	0,67	0,02	10,7	14,4	1,30
	-9	0,1332	120	-6	-6	18	25	15,7	30	12,7	0,12	0,12	0,67	0,02	10,7	14,4	1,4
	-8	0,1451	104	-6	-6	18	25	15,7	30	13,7	0,08	0,08	0,67	0,01	10,7	14,4	1,5
	-7	0,1596	127	-6	-6	18	25	15,7	30	14,7	0,04	0,04	0,67	0,01	10,7	14,4	1,6
Jlki: LevyLTO	-6	0,1771	153	18	18	18	25	15,7	30	15,7	0,00	0,00	0,67	0,00	10,7	14,4	1,8
	-5	0,199	192	18	18	18	25	15,7	30	16	0,00	0,00	0,67	0,00	10,8	14,4	2
	-4	0,2291	264	18,6	18,6	18,6	25	15,7	30	16,3	0,00	0,00	0,66	0,00	11	14,4	2,1
	-3	0,2629	296	18,8	18,8	18,8	25	15,7	30	16,6	0,00	0,00	0,66	0,00	11,2	14,4	2,3
	-2	0,291	246	19,1	19,1	19,1	25	15,7	30	17	0,00	0,00	0,66	0,00	11,3	14,4	2,5
	-1	0,3293	336	19,4	19,4	19,4	25	15,7	30	17,3	0,00	0,00	0,66	0,00	11,5	14,4	2,7
	0	0,3818	460	19,6	19,6	19,6	25	15,7	30	17,7	0,00	0,00	0,65	0,00	11,6	14,4	3
	1	0,4547	639	19,9	19,9	19,9	25	15,7	30	18	0,00	0,00	0,65	0,00	11,8	14,4	3,2
	2	0,5021	415	20,2	20,2	20,2	25	15,7	30	18,3	0,00	0,00	0,65	0,00	11,9	14,4	3,4
	3	0,5403	335	20,4	20,4	20,4	25	15,7	30	18,7	0,00	0,00	0,64	0,00	12,1	14,4	3,7
	4	0,5695	256	20,7	20,7	20,7	25	15,7	30	19	0,00	0,00	0,64	0,00	12,3	14,4	4
	5	0,5939	214	20,9	20,9	20,9	25	15,7	30	19,3	0,00	0,00	0,64	0,00	12,4	14,4	4,3
	6	0,6207	235	21,2	21,2	21,2	25	15,7	30	19,7	0,00	0,00	0,63	0,00	12,6	14,4	4,6
	7	0,6395	165	21,4	21,4	21,4	25	15,7	30	20	0,00	0,00	0,63	0,00	12,7	14,4	4,9
	8	0,6596	176	21,7	21,7	21,7	25	15,7	30	20,3	0,00	0,00	0,62	0,00	12,9	14,4	5,2
	9	0,6837	211	22	22	22	25	15,7	30	20,7	0,00	0,00	0,62	0,00	13	14,4	5,6
	10	0,7088	220	22,2	22,2	22,2	25	15,7	30	21	0,00	0,00	0,61	0,00	13,2	14,4	6
	11	0,7374	251	22,5	22,5	22,5	25	15,7	30	21,3	0,00	0,00	0,61	0,00	13,3	14,4	6,4
	12	0,7639	232	22,8	22,8	22,8	25	15,7	30	21,6	0,00	0,00	0,60	0,00	13,5	14,4	6,9
	13	0,7926	251	23,2	23,2	23,2	25	15,7	30	22	0,00	0,00	0,60	0,00	13,6	14,4	7,3
	14	0,8274	305	23,5	23,5	23,5	25	15,7	30	22,3	0,00	0,00	0,59	0,00	13,8	14,4	7,9
	15	0,8579	267	23,9	23,9	23,9	25	15,7	30	22,5	0,00	0,00	0,59	0,00	13,9	14,4	8,4
	16	0,8869	254	24,2	24,2	24,2	25	15,7	30	22,8	0,00	0,00	0,59	0,00	14	14,4	8,9
	17	0,9107	208	24,6	24,6	24,6	25	15,7	30	23,1	0,00	0,00	0,58	0,00	14,2	14,4	9,5
	18	0,9324	190	25,0	25,0	25,0	25	15,7	30	23,4	0,00	0,00	0,58	0,00	14,3	14,4	10,2
	19	0,949	145	25	25	25	25	15,7	30	24	0,00	0,00	0,55	0,00	14,4	14,4	10,8
	20	0,9635	127	25	25	25	25	15,7	30	25	0,00	0,00	0,50	0,00	14,4	14,4	11,6
	21	0,9752	102	25	25	25	25	15,7	30	26	0,00	0,00	0,44	0,00	14,4	14,4	12,3
	22	0,9839	76	25	25	25	25	15,7	30	27	0,00	0,00	0,38	0,00	14,4	14,4	13,1
	23	0,99	53	25	25	25	25	15,7	30	28	0,00	0,00	0,29	0,00	14,4	14,4	13,9
	24	0,9935	31	25	25	25	25	15,7	30	29	0,00	0,00	0,17	0,00	14,4	14,4	14,4
	25	0,9969	15	25	25	25	25	15,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
	26	0,9986	8	25	25	25	25	15,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
	27	0,9995	4	25	25	25	25	15,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
	28	1	4	25	25	25	25	15,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4

[Kirjoita teksti:]

LIITE 6/2

SÄÄDÖN 1 EXCEL-LASKELMAT

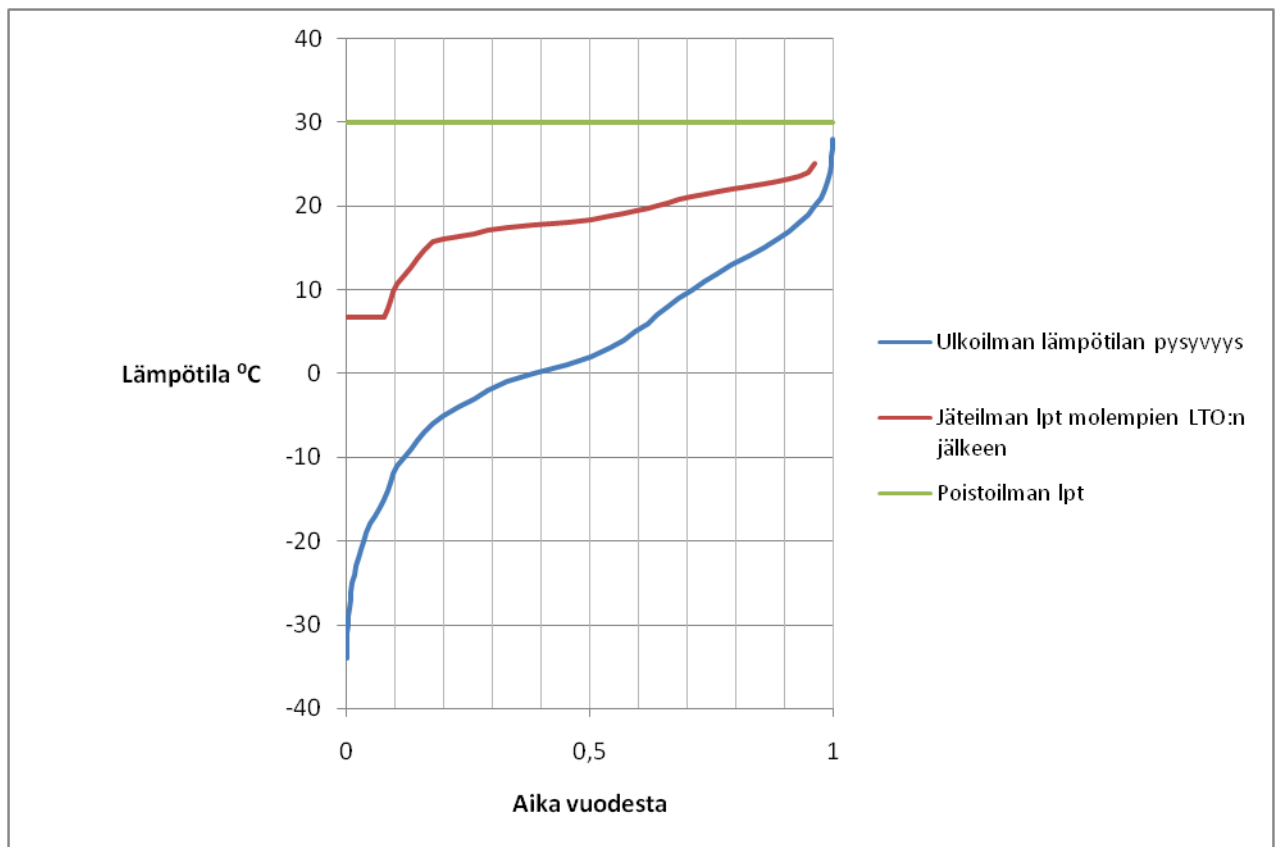
	4 Tuloilman kosteus g/kg	Tapahtuva kuivaus g/kg	Ilmavirta m ³ /s	Q _{air} kWh	Q _{ironw} kWh	Q _{ironw} kWh	Q _{air} kWh	Q _{air} kWh	Puhallinenergia kWh
tulolmaan takaisin siirtyvä kosteus g/kg									
0,41	0,91	3,70	3,7	423	200	534	156	1313	37
0,41	0,91	3,70	3,7	162	81	216	63	521	15
0,41	0,91	3,70	3,7	73	39	103	30	245	7
0,41	0,91	3,70	3,7	500	281	750	219	1749	52
0,41	0,91	3,70	3,7	539	323	862	251	1976	60
0,41	0,91	3,70	3,7	623	401	1068	312	2404	74
0,41	0,91	3,70	3,7	868	601	1602	467	3539	111
0,41	0,91	3,70	3,7	960	720	1921	560	4162	133
0,41	0,91	3,70	3,7	640	524	1396	407	2967	97
0,41	0,91	3,70	3,7	1203	1082	2886	842	6013	200
0,41	0,91	3,70	3,7	1205	1205	3214	937	6562	223
0,41	0,91	3,70	3,7	1318	1483	3954	1153	7909	275
0,41	0,91	3,70	3,7	1249	1606	4282	1249	8386	297
0,41	0,91	3,70	3,7	1122	1683	4488	1309	8603	312
0,41	0,91	3,70	3,7	892	1606	4282	1249	8029	297
0,41	0,91	3,70	3,7	962	2165	5772	1684	10582	401
0,41	0,91	3,70	3,7	896	2688	7168	2091	12843	498
0,40	1,00	3,70	3,7	772	3475	9268	2703	16219	644
0,40	1,10	3,70	3,8	488	4392	11711	3416	20006	813
0,42	1,22	3,70	3,8	2794	7451	2173	12418	517	441
0,32	1,22	3,70	3,8	2117	6352	1853	10322	441	441
0,24	1,24	3,70	3,8	1855	6361	1855	10072	442	442
0,19	1,29	3,70	3,8	1485	5941	1733	9160	413	413
0,18	1,38	3,70	3,8	1588	7477	2181	11216	519	519
0,17	1,47	3,70	3,9	2444	14666	4278	21388	1018	1018
0,14	1,54	3,70	3,9	1683	13468	3928	19080	935	935
0,11	1,61	3,70	3,9	980	11763	3431	16175	817	817
0,09	1,69	3,70	3,9	601	14424	4207	19232	1002	1002
0,00	1,80	3,70	4,0	17559	5121	22681	1219	1219	1219
0,00	2,00	3,60	4,0	21677	6233	27911	1551	1551	1551
0,00	2,10	3,40	4,1	29134	8250	37384	2149	2149	2149
0,00	2,30	3,20	4,1	32079	9123	41202	2462	2462	2462
0,00	2,50	3,10	4,2	26246	7339	33585	2073	2073	2073
0,00	2,70	2,90	4,3	35178	9657	44835	2874	2874	2874
0,00	3,00	2,80	4,4	47549	13100	60649	4043	4043	4043
0,00	3,20	2,60	4,5	64803	17487	82290	5715	5715	5715
0,00	3,40	2,50	4,6	41313	10896	52208	3783	3783	3783
0,00	3,70	2,30	4,7	32723	8651	41374	3134	3134	3134
0,00	4,00	2,10	4,8	24700	6360	31060	2465	2465	2465
0,00	4,30	2,00	5,0	20235	5218	25452	2121	2121	2121
0,00	4,60	1,80	5,1	21897	5474	27371	2401	2401	2401
0,00	4,90	1,70	5,3	15011	3753	18764	1737	1737	1737
0,00	5,20	1,50	5,4	15767	3798	19565	1918	1918	1918
0,00	5,60	1,40	5,7	18754	4328	23082	2404	2404	2404
0,00	6,00	1,20	6,0	19204	4407	23611	2623	2623	2623
0,00	6,40	1,10	6,3	21657	4708	26365	3139	3139	3139
0,00	6,90	0,90	6,7	20102	4095	24197	3102	3102	3102
0,00	7,30	0,80	7,1	21720	3833	25552	3549	3549	3549
0,00	7,90	0,60	7,7	26793	4230	31023	4700	4700	4700
0,00	8,40	0,50	8,4	23832	2946	26778	4463	4463	4463
0,00	8,90	0,40	9,1	20878	2037	22915	4243	4243	4243
0,00	9,50	0,20	10,2	15881	836	16716	3483	3483	3483
0,00	10,20	0,10	11,9	13336	0	13336	3175	3175	3175
0,00	10,8	0,00	13,9	8745		8745	2429	2429	2429
0,00	11,6	0,00	17,9	6365		6365	2122	2122	2122
0,00	12,3	0,00	23,9	4109		4109	1712	1712	1712
0,00	13,1	0,00	38,5	2291		2291	1273	1273	1273
0,00	13,9	0,00	100,2	1071		1071	893	893	893
0,00	14,8	0,00	-125,3	307		307	512	512	512
0,00	15,8	0,00	-35,8						
0,00									
0,00									
0,00									
0,00									

[Kirjoita teksti]

Etulämmityspatterin kuluttama energia	15	MWh
Pyörivän LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	40	MWh
Levy LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	824	MWh
Jälkilämmityspatterin kuluttama energia	197	MWh
Puhallinenergia *	95	MWh
Talteen saatu energia	864	MWh
Ostettava energia	306	MWh

Energian kulutus ilman lämmöntalteenottoja **1076 MWh**

Poistoilman vuosihyötysuhde 80,3 %



[Kirjoita teksti]

LIITE 7/1

SÄÄDÖN 2 EXCEL-LASKELMAT

Ulkolämpötila °C	Aika vuodesta h	Aika tunteina	1. T _{ip} °C	2. T _{reg} °C	3. T _{reg} °C	4. T _{hubmax} °C	6. T _{p,REG} °C	5. T _{p,REG} °C	7. T _{reg,huo} °C	REG η _p	REG η _p	REK η _p	REG η _{ostorus}	6. Poistollman kosteus g/Kg	5. Uimahallin kosteus g/Kg	1. Ukkollman kosteus g/Kg RH=79%
-34	0,00057	5	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-33	0,00008	1	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-32	0,00091	2	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-31	0,00171	7	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-30	0,00263	8	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-29	0,00377	10	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-28	0,00548	15	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-27	0,00753	18	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-26	0,00902	13	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-25	0,0121	27	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-24	0,01553	30	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-23	0,01975	37	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-22	0,02432	40	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-21	0,02911	42	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-20	0,03368	40	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-19	0,03984	54	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-18	0,04749	67	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-17	0,05731	86	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-16	0,05963	108	-15	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,46	0,46	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-15	0,0774	68	0	0	19,6	25	17,7	30	2,7	0,44	0,44	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-14	0,08402	58	0	0	19,6	25	17,7	30	3,7	0,44	0,44	0,55	0,18	11,6	14,4	14,4
-13	0,09064	58	0	0	19,6	25	17,7	30	4,7	0,42	0,42	0,55	0,17	11,6	14,4	14,4
-12	0,0968	54	0	0	19,6	25	17,7	30	5,7	0,40	0,40	0,55	0,16	11,6	14,4	14,4
-11	0,1045	67	0	0	19,6	25	17,7	30	6,7	0,38	0,38	0,55	0,15	11,6	14,4	14,4
-10	0,1195	131	0	0	19,6	25	17,7	30	7,7	0,36	0,36	0,55	0,14	11,6	14,4	14,4
-9	0,1332	120	0	0	19,6	25	17,7	30	8,7	0,34	0,34	0,55	0,13	11,6	14,4	14,4
-8	0,1451	104	0	0	19,6	25	17,7	30	9,7	0,31	0,31	0,55	0,12	11,6	14,4	14,4
-7	0,1596	127	0	0	19,6	25	17,7	30	10,7	0,28	0,28	0,55	0,11	11,6	14,4	14,4
-6	0,1771	153	0	0	19,6	25	17,7	30	11,7	0,25	0,25	0,55	0,10	11,6	14,4	14,4
-5	0,199	192	0	0	19,6	25	17,7	30	12,7	0,22	0,22	0,55	0,09	11,6	14,4	14,4
-4	0,2291	264	0	0	19,6	25	17,7	30	13,7	0,18	0,18	0,55	0,07	11,6	14,4	14,4
-3	0,2629	296	0	0	19,6	25	17,7	30	14,7	0,14	0,14	0,55	0,06	11,6	14,4	14,4
-2	0,291	246	0	0	19,6	25	17,7	30	15,7	0,10	0,10	0,55	0,04	11,6	14,4	14,4
-1	0,3293	336	0	0	19,6	25	17,7	30	16,7	0,05	0,05	0,55	0,02	11,6	14,4	14,4
0	0,3818	460	0	0	19,6	25	17,7	30	17,7	0,00	0,00	0,55	0,00	11,6	14,4	14,4
1	0,4547	639	19,9	25	19,9	25	17,7	30	18	0,00	0,00	0,55	0,00	11,8	14,4	14,4
2	0,5021	415	20,2	25	20,2	25	17,7	30	18,3	0,00	0,00	0,55	0,00	11,9	14,4	14,4
3	0,5403	335	20,4	25	18,7	25	17,7	30	18,7	0,00	0,00	0,64	0,00	12,1	14,4	14,4
4	0,5695	256	20,7	25	20,7	25	17,7	30	19	0,00	0,00	0,64	0,00	12,3	14,4	14,4
5	0,5939	214	20,9	25	20,9	25	17,7	30	19,3	0,00	0,00	0,64	0,00	12,4	14,4	14,4
6	0,6207	235	21,2	25	19,7	25	17,7	30	19,7	0,00	0,00	0,63	0,00	12,6	14,4	14,4
7	0,6395	165	21,4	25	21,4	25	17,7	30	20	0,00	0,00	0,63	0,00	12,7	14,4	14,4
8	0,6596	176	21,7	25	21,7	25	17,7	30	20,3	0,00	0,00	0,62	0,00	12,9	14,4	14,4
9	0,6837	211	22	25	22	25	17,7	30	20,7	0,00	0,00	0,62	0,00	13	14,4	14,4
10	0,7088	220	22,2	25	22,2	25	17,7	30	21	0,00	0,00	0,61	0,00	13,2	14,4	14,4
11	0,7374	251	22,5	25	22,5	25	17,7	30	21,3	0,00	0,00	0,61	0,00	13,3	14,4	14,4
12	0,7639	232	22,8	25	22,8	25	17,7	30	21,6	0,00	0,00	0,60	0,00	13,5	14,4	14,4
13	0,7926	251	23,2	25	23,2	25	17,7	30	22	0,00	0,00	0,60	0,00	13,6	14,4	14,4
14	0,8274	305	23,5	25	23,5	25	17,7	30	22,3	0,00	0,00	0,59	0,00	13,8	14,4	14,4
15	0,8579	267	23,9	25	23,9	25	17,7	30	22,5	0,00	0,00	0,59	0,00	13,9	14,4	14,4
16	0,8869	254	24,2	25	24,2	25	17,7	30	22,8	0,00	0,00	0,59	0,00	14	14,4	14,4
17	0,9107	208	24,6	25	24,6	25	17,7	30	23,1	0,00	0,00	0,58	0,00	14,2	14,4	14,4
18	0,9324	190	25,0	25	25,0	25	17,7	30	23,4	0,00	0,00	0,58	0,00	14,3	14,4	14,4
19	0,949	145	25	25	25	25	17,7	30	24	0,00	0,00	0,55	0,00	14,4	14,4	14,4
20	0,9635	127	25	25	25	25	17,7	30	25	0,00	0,00	0,50	0,00	14,4	14,4	14,4
21	0,9752	102	25	25	25	25	17,7	30	26	0,00	0,00	0,44	0,00	14,4	14,4	14,4
22	0,9839	76	25	25	25	25	17,7	30	27	0,00	0,00	0,38	0,00	14,4	14,4	14,4
23	0,99	53	25	25	25	25	17,7	30	28	0,00	0,00	0,29	0,00	14,4	14,4	14,4
24	0,9935	31	25	25	25	25	17,7	30	29	0,00	0,00	0,17	0,00	14,4	14,4	14,4
25	0,9969	30	25	25	25	25	17,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
26	0,9986	15	25	25	25	25	17,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
27	0,9995	8	25	25	25	25	17,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4
28	1	4	25	25	25	25	17,7	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	14,4

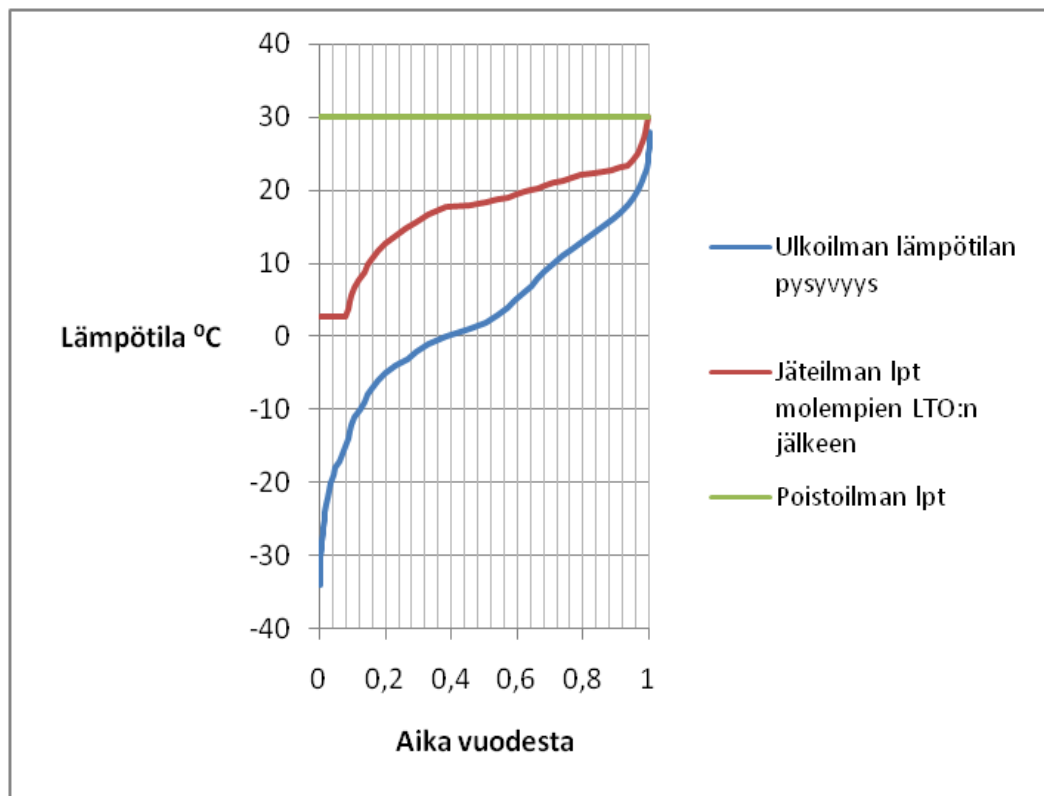
[Kirjoita teksti]

tuotilinaan takaisin siirryvä kusteus g/kg	4. Tuotilinnan kusteus g/kg	Tapahtuva kuivaus g/kg	Ilmavirta m ³ /s	Q _{UP} kWh	Q _{TROUPE} kWh	Q _{TROUPEW} kWh	Q _{UP} kWh	Q _{UP} kWh	Puhallinenergia kWh
2,00	2,50	2,80	4,21	479	378	494	136	1488	42
2,00	2,50	2,80	4,21	183	153	200	55	590	17
2,00	2,50	2,80	4,21	83	73	95	26	278	8
2,00	2,50	2,80	4,21	567	531	694	191	1983	59
2,00	2,50	2,80	4,21	611	611	798	220	2240	68
2,00	2,50	2,80	4,21	706	757	989	272	2725	84
2,00	2,50	2,80	4,21	984	1135	1483	409	4011	126
2,00	2,50	2,80	4,21	1089	1361	1778	490	4718	151
2,00	2,50	2,80	4,21	725	989	1293	356	3363	110
2,00	2,50	2,80	4,21	1363	2045	2672	736	6816	227
2,00	2,50	2,80	4,21	1366	2277	2975	820	7439	253
2,00	2,50	2,80	4,21	1494	2802	3661	1009	8965	311
2,00	2,50	2,80	4,21	1416	3034	3964	1092	9507	337
2,00	2,50	2,80	4,21	1272	3180	4155	1145	9752	353
2,00	2,50	2,80	4,21	1011	3034	3964	1092	9102	337
2,00	2,50	2,80	4,21	1091	4090	5344	1472	11996	454
2,00	2,50	2,80	4,21	1016	5079	6636	1828	14559	564
1,98	2,58	2,80	4,24	875	6565	8578	2363	18381	729
1,96	2,66	2,80	4,27	553	8293	10837	2986	22669	921
1,98	2,78	2,80	4,31	5284	6905	1902	14092	587	587
1,89	2,79	2,80	4,32	4205	5887	1622	11715	501	501
1,80	2,80	2,80	4,32	3907	5890	1623	11419	501	501
1,70	2,80	2,80	4,32	3356	5481	1510	10348	466	466
1,59	2,79	2,80	4,32	3845	6850	1887	12582	583	583
1,49	2,79	2,80	4,32	6804	13337	3674	23815	1134	1134
1,38	2,78	2,80	4,31	5587	12168	3352	21108	1035	1035
1,26	2,76	2,80	4,30	4307	10553	2908	17768	897	897
1,13	2,73	2,80	4,30	4583	12833	3536	20951	1091	1091
0,99	2,79	2,80	4,32	4765	15566	4289	24620	1324	1324
0,85	2,85	2,80	4,34	4992	19570	5392	29954	1664	1664
0,70	2,80	2,80	4,32	5468	26792	7382	39642	2278	2278
0,54	2,84	2,80	4,33	4620	30186	8317	43123	2567	2567
0,37	2,87	2,80	4,35	2568	25162	6932	34662	2140	2140
0,19	2,89	2,80	4,35	1753	34357	9466	45576	2922	2922
0,00	3,00	2,80	4,40	47549	13100	60649		4043	4043
0,00	2,60	2,60	4,47	64803	17487	82290		5715	5715
0,00	3,40	2,50	4,56	41313	10896	52208		3783	3783
0,00	3,70	2,30	4,68	32723	8651	41374		3134	3134
0,00	4,00	2,10	4,82	24700	6360	31060		2465	2465
0,00	4,30	2,00	4,96	20235	5218	25452		2121	2121
0,00	4,60	1,80	5,11	21897	5474	27371		2401	2401
0,00	4,90	1,70	5,27	15011	3753	18764		1737	1737
0,00	5,20	1,50	5,45	15767	3798	19565		1918	1918
0,00	5,60	1,40	5,69	18754	4328	23082		2404	2404
0,00	6,00	1,20	5,97	19204	4407	23611		2623	2623
0,00	6,40	1,10	6,26	21657	4708	26365		3139	3139
0,00	6,90	0,90	6,68	20102	4095	24197		3102	3102
0,00	7,30	0,80	7,06	21720	3833	25552		3549	3549
0,00	7,90	0,60	7,71	26793	4230	31023		4700	4700
0,00	8,40	0,50	8,35	23832	2946	26778		4463	4463
0,00	8,90	0,40	9,11	20878	2037	22915		4243	4243
0,00	9,50	0,20	10,23	15881	836	16716		3483	3483
0,00	10,20	0,10	11,93	13336	0	13336		3175	3175
0,00	10,8	0,00	13,92	8745		8745		2429	2429
0,00	11,6	0,00	17,90	6365		6365		2122	2122
0,00	12,3	0,00	23,86	4109		4109		1712	1712
0,00	13,1	0,00	38,55	2291		2291		1273	1273
0,00	13,9	0,00	100,22	1071		1071		893	893
0,00	14,8	0,00	-125,28	307		307		512	512
0,00	15,8	0,00	-35,79					498	498
0,00	0,00	0,00							
0,00	0,00	0,00							
0,00	0,00	0,00							
0,00	0,00	0,00							

Etulämmityspatterin kuluttama energia	17	MWh
Pyörivän LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	112	MWh
Levy LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	801	MWh
Jälkilämmityspatterin kuluttama energia	187	MWh
Puhallinenergia *	96	MWh
Talteenosaatu energia	914	MWh
Ostettava energia	300	MWh

Energian kulutus ilman lämmöntalteenottoja **1117 MWh**

Poistoilman vuosihyötysuhde 81,8 %



SÄÄDÖN 3 EXCEL-LASKELMAT

LIITE 8/1

	Ulkolämpötila °C	Alka vuodesta	Alka tunteina	1. T _{ip} °C	2. T _{REG} °C	3. T _{REG} °C	4. T _{max} °C	6. T _{REG} °C	5. T _{REG} °C	7. T _{REG} °C	REG n _p	REG n _p	REG n _p	REG n _{ostuus}	6. Poistoliman kustaus €/kg	5. Uimahallin kustaus €/kg	1. Ulkolliman kustaus €/kg RH=75%
Jkl: Bimittipatterit jkl: pöyhäliä LTO	-34	0,00057	5	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-33	0,0008	2	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-32	0,00091	1	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-31	0,00171	7	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-30	0,00263	8	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-29	0,00377	10	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-28	0,00548	15	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-27	0,00753	18	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-26	0,00902	13	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
	-25	0,0121	27	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50
-24	0,01553	30	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-23	0,01975	37	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-22	0,02432	40	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-21	0,02911	42	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-20	0,03368	40	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-19	0,03984	54	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-18	0,04749	67	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-17	0,05731	86	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-16	0,06963	108	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-15	0,0774	68	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-14	0,08402	58	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	0,50	
-13	0,09064	58	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	1,00	
-12	0,0968	54	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	1,00	
-11	0,1045	67	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	1,20	
-10	0,1195	131	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	1,30	
-9	0,1332	120	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,75	0,75	0,59	0,72	13,8	14,4	1,4	
-8	0,1451	104	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	-1,1	0,74	0,74	0,59	0,71	13,8	14,4	1,4	
-7	0,1596	127	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	0,9	0,73	0,73	0,59	0,7	13,8	14,4	1,5	
-6	0,1771	153	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	1,9	0,72	0,72	0,59	0,68	13,8	14,4	1,6	
-5	0,199	192	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	2,9	0,71	0,71	0,59	0,65	13,8	14,4	1,8	
-4	0,2291	264	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	3,9	0,70	0,70	0,59	0,55	13,8	14,4	2	
-3	0,2629	296	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	4,9	0,69	0,69	0,59	0,5	13,8	14,4	2,3	
-2	0,291	246	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	5,9	0,68	0,68	0,59	0,45	13,8	14,4	2,5	
-1	0,3293	336	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	6,9	0,66	0,66	0,59	0,42	13,8	14,4	2,7	
0	0,3818	460	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	7,9	0,65	0,65	0,59	0,41	13,8	14,4	3	
1	0,4547	639	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	8,9	0,63	0,63	0,59	0,39	13,8	14,4	3,2	
2	0,5021	415	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	9,9	0,61	0,61	0,59	0,36	13,8	14,4	3,4	
3	0,5403	335	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	10,9	0,59	0,59	0,59	0,33	13,8	14,4	3,7	
4	0,5695	256	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	11,9	0,57	0,57	0,59	0,3	13,8	14,4	4	
5	0,5939	214	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	12,9	0,55	0,55	0,59	0,29	13,8	14,4	4,3	
6	0,6207	235	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	13,9	0,52	0,52	0,59	0,23	13,8	14,4	4,6	
7	0,6395	165	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	14,9	0,49	0,49	0,59	0,2	13,8	14,4	4,9	
8	0,6596	176	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	15,9	0,45	0,45	0,59	0,18	13,8	14,4	5,2	
9	0,6837	211	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	16,9	0,41	0,41	0,59	0,14	13,8	14,4	5,6	
10	0,7088	220	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	17,9	0,36	0,36	0,59	0,08	13,8	14,4	6	
11	0,7374	251	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	18,9	0,31	0,31	0,59	0,05	13,8	14,4	6,4	
12	0,7639	232	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	19,9	0,24	0,24	0,59	0,03	13,8	14,4	6,9	
13	0,7926	251	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	20,9	0,16	0,16	0,59	0,02	13,8	14,4	7,3	
14	0,8274	305	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	21,9	0,06	0,06	0,59	0,01	13,8	14,4	7,9	
15	0,8579	267	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	22,5	0,00	0,00	0,59	0,00	13,8	14,4	8,4	
16	0,8869	254	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	22,8	0,00	0,00	0,59	0,00	14	14,4	8,9	
17	0,9107	208	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	23,1	0,00	0,00	0,59	0,00	14,2	14,4	9,5	
18	0,9324	190	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	23,4	0,00	0,00	0,58	0,00	14,3	14,4	10,1	
19	0,949	145	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	24	0,00	0,00	0,55	0,00	14,4	14,4	10,8	
20	0,9635	127	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	25	0,00	0,00	0,50	0,00	14,4	14,4	11,6	
21	0,9752	102	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	26	0,00	0,00	0,44	0,00	14,4	14,4	12,3	
22	0,9839	76	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	27	0,00	0,00	0,38	0,00	14,4	14,4	13,1	
23	0,99	53	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	28	0,00	0,00	0,29	0,00	14,4	14,4	13,9	
24	0,9935	31	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	29	0,00	0,00	0,17	0,00	14,4	14,4	14,8	
25	0,9969	30	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	15,8	
26	0,9986	15	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	15,8	
27	0,9995	8	-9	14,5	23,6	25	22,4	30	30	0,00	0,00	0,00	0,00	14,4	14,4	15,8	

Kioto teksti

SÄÄDÖN 3 EXCEL-LASKELMAT

LIITE 8/2

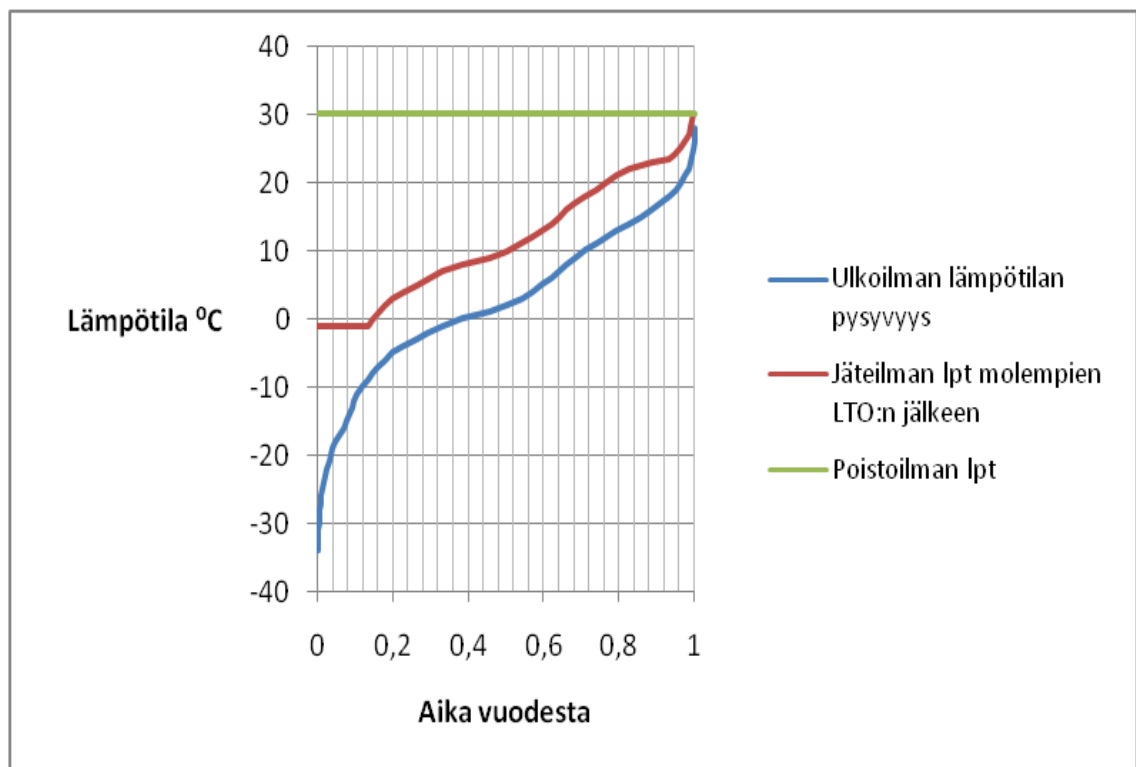
tuloilmaan takaisin siirtyvä kosteus g/kg	4. Tuloilman kosteus g/kg	Tapahtuva kuivaus g/kg	Ilmavirta m ³ /s	Q _{tip} kWh	Q _{työvä} kWh	Q _{rotorivä} kWh	Q _{tip} kWh	Q _{no} kWh	Puhallinenergia kWh
9,58	10,08	0,60	11,6	1736	1632	632	97	4097	116
9,58	10,08	0,60	11,6	672	658	255	39	1625	47
9,58	10,08	0,60	11,6	308	315	122	19	764	22
9,58	10,08	0,60	11,6	2144	2290	887	136	5458	162
9,58	10,08	0,60	11,6	2354	2634	1020	157	6164	187
9,58	10,08	0,60	11,6	2778	3264	1264	194	7500	231
9,58	10,08	0,60	11,6	3958	4896	1896	292	11041	347
9,58	10,08	0,60	11,6	4495	5869	2273	350	12987	416
9,58	10,08	0,60	11,6	3086	4266	1652	254	9258	303
9,58	10,08	0,60	11,6	6004	8818	3415	525	18761	625
9,58	10,08	0,60	11,6	6268	9820	3803	585	20475	696
9,58	10,08	0,60	11,6	7198	12082	4678	720	24677	857
9,58	10,08	0,60	11,6	7238	13084	5066	779	26167	928
9,58	10,08	0,60	11,6	7003	13713	5310	817	26843	973
9,58	10,08	0,60	11,6	6124	13084	5066	779	25054	928
9,58	10,08	0,60	11,6	7505	17636	6829	1051	33020	1251
9,58	10,08	0,60	11,6	8388	21901	8481	1305	40075	1553
9,50	10,10	0,60	11,7	9633	28297	10958	1686	50574	2007
9,43	10,13	0,60	11,7	10644	35734	13837	2129	62344	2534
9,36	10,16	0,60	11,8	5792	22686	8785	1351	38614	1609
9,29	10,19	0,60	11,9	4140	19456	7534	1159	32290	1380
9,22	10,22	0,60	12,0	3334	19587	7585	1167	31672	1389
9,14	10,24	0,60	12,1	2342	18348	7105	1093	28889	1301
9,07	10,27	0,60	12,1	1965	23091	8942	1376	35374	1638
9,00	10,30	0,60	12,2	1927	45290	17538	2698	67453	3212
8,93	10,33	0,60	12,3	41649	16128	2481	281	60259	2954
8,73	10,23	0,60	12,0	33848	13690	2106	2106	49644	2507
8,54	10,14	0,60	11,8	38550	16316	2510	2510	57377	2988
8,16	9,96	0,60	11,3	42563	18894	2907	64364	3460	3460
7,67	9,67	0,60	10,6	47560	22195	3415	73170	4065	4065
6,44	8,54	0,60	8,5	50015	24602	3785	78401	4506	4506
5,75	8,05	0,60	7,9	49069	25516	3926	78511	4673	4673
5,09	7,59	0,60	7,4	35839	19766	3041	58645	3620	3620
4,66	7,36	0,60	7,1	44433	26087	4013	74533	4778	4778
4,43	7,43	0,60	7,2	57517	36097	5553	99167	6611	6611
4,13	7,33	0,60	7,1	73369	49456	7609	130434	9058	9058
3,74	7,14	0,60	6,9	43015	31315	4818	79147	5735	5735
3,33	7,03	0,60	6,8	31412	24857	3824	60093	4552	4552
2,94	6,94	0,60	6,7	21650	18763	2887	43300	3437	3437
2,76	7,06	0,60	6,8	16625	15925	2450	34999	2917	2917
2,12	6,72	0,60	6,5	15617	16719	2572	34908	3062	3062
1,78	6,68	0,60	6,5	9621	11674	1796	23091	2138	2138
1,55	6,75	0,60	6,5	8994	12592	1937	23523	2306	2306
1,15	6,75	0,60	6,5	9125	15098	2323	26545	2765	2765
0,62	6,62	0,60	6,4	7652	15473	2381	25506	2834	2834
0,37	6,77	0,60	6,6	6911	17968	2764	27644	3291	3291
0,21	7,11	0,60	6,9	4785	17418	2680	24883	3190	3190
0,13	7,43	0,60	7,2	3254	19739	3037	26029	3615	3615
0,06	7,96	0,60	7,8	1423	25900	3985	31307	4744	4744
0,00	8,40	0,50	8,4	23698	3079	26778	4463	4463	4463
0,00	8,90	0,40	9,1	21031	1884	22915	4243	4243	4243
0,00	9,50	0,20	10,2	16027	690	16716	3483	3483	3483
0,00	10,20	0,10	11,9	13336	0	13336	3175	3175	3175
0,00	10,8	0,00	13,9	8745	0	8745	2429	2429	2429
0,00	11,6	0,00	17,9	6365	0	6365	2122	2122	2122
0,00	12,3	0,00	23,9	4109	0	4109	1712	1712	1712
0,00	13,1	0,00	38,5	2291	0	2291	1273	1273	1273
0,00	13,9	0,00	100,2	1071	0	1071	893	893	893
0,00	14,8	0,00	-125,3	307	0	307	512	512	512
0,00	15,8	0,00	-35,8				498	498	498
0,00	0,00	0,00	0,00						

[Kirjoita teksti]

Etulämmityspatterin kuluttama energia	117 MWh
Pyörivän LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	1043 MWh
Levy LTO:n tuloilmaan siirtämä energia	744 MWh
Jälkilämmityspatterin kuluttama energia	105 MWh
Puhallinenergia *	143 MWh
Talteen saatu energia	1787 MWh
Ostettava energia	366 MWh

Energian kulutus ilman lämmöntalteenottoja **2009** MWh

Poistoilman vuosihyötysuhde 88,9 %



[Kirjoita teksti]