

Hovi Tuomas

# Talopesulan kuivaushuonejärjestelmän kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI, tuotantopainotteinen  
Insinöörityö  
2.5.2011

Tekijä(t) Otsikko	Tuomas Hovi Kuivaushuonejärjestelmän kehittäminen
Sivumäärä Aika	45 sivua + 2 liitettä 2.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaaja(t)	toimitusjohtaja Jorma Weckström yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tavoitteena on kehittää olemassaolevaan talopesulan pyykinkuivausjärjestelmään uusi lämmöntalteenottolaite. Laitteen tehtävänä on siirtää kuivaushuoneesta poistettavasta ilmasta lämpöä tuloilmaan.</p> <p>Lämmöntalteenoton parantamisella pyritään saamaan kuivausprosessin energiankulutusta pienemmäksi. Prosessin energiankulutus koostuu kierrätysilmakoneen tuottamasta lämpöenergiasta ja poistoilmapuhaltimen kuluttamasta sähköenergiasta.</p> <p>Tässä työssä järjestelmässä olevan sisäyksikön tilalle suunniteltiin uusi lämmöntalteenoton sisältävä sisäyksikkö. Laitteesta rakennettiin prototyyppi ja sen toimintaa testattiin rinnakkain vanhan olemassaolevan järjestelmän kanssa identtisissä demonstroititiloissa.</p> <p>Prototyyppi todettiin toimintakokeissa toimivaksi. Mitattu prosentuaalinen energiansäästö verrattuna vanhaan järjestelmään on 21 %. Lisäksi pyykin kuivuminen on yhtä nopeaa kuin vahassa järjestelmässä.</p> <p>Jatkossa prototyypin pohjalta suunnitellaan valmis tuote ja valmistetaan sitä pieni sarja. Valmista tuotetta testataan vielä referenssikohteissa todellisissa käyttöolosuhteissa ennen tuotteen myyntiin saattamista.</p>	
Avainsanat	kuivaushuone, lämmöntalteenotto, ilmanvaihto

Author(s) Title	Tuomas Hovi Development of drying room system
Number of Pages Date	45 pages + 2 appendices 2 May 2011
Degree	Building Services Engineering
Degree Programme	Bachelor of Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructor(s)	Jorma Weckström, Managing Director Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The target of this Bachelor's thesis was to develop a new heat recovery device for an old drying room system. The purpose of the device was to transfer heat from extract air to supply air.</p> <p>The energy consumption of the process consists of heat produced by a circulation heat device, and electricity used by an extract fan device. The amount of energy consumed in the drying process was to be reduced by adding a heat recovery system into the process.</p> <p>The final year project introduced a prototype indoor unit with a heat recovery system to replace the old indoor unit of the drying room system. The old drying room system and the new system with heat recovery were tested side by side in identical demonstration rooms.</p> <p>The prototype proved to be functional in the tests. The measured energy saving was 21 %. Furthermore, the laundry dried at the same rate as in old system.</p> <p>In the future, the finished product is to be completed and a small batch of devices is to be manufactured. The finished product is to be tested in real conditions before it is launched.</p>	
Keywords	heat recovery, ventilation, laundry drying room

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Talopesulat ja kuivaushuoneet	2
2.1	Kuivaushuonetyypit	2
2.1.1	Ilmanvaihtoon ja lämpöön perustuvat kuivaushuoneet	2
2.1.2	Kondenssikuivaukseen perustuvat kuivaushuoneet	3
2.2	Kuivaushuoneiden käyttöaste	6
3	Käytössä oleva järjestelmä	9
3.1	Puhallin	10
3.2	Ilmanohjauksyksikkö	11
3.3	Kierrätysilmalämmitin	13
3.4	Kaksoisnarujärjestelmä	15
4	Lämmöntalteenotto	16
5	Kehityskriteerit	18
6	Laitteen suunnittelu ja valmistus	19
7	Toimintakokeet	21
7.1	Työssä käytetyt mittalaitteet	26
7.2	Ilmamäärämittaukset	27
7.3	Tuloilmahyötysuhde	29
7.4	Poistoilmahyötysuhde	31
7.5	Energiankulutus	32
7.6	Pyykin kuivuminen	36
8	Toimintakokeiden tulokset	39
8.1	Lämmöntalteenoton hyötysuhde ja teho	39
8.2	Kuivausprosessissa käytetty energia ja energiansäästö	41
8.3	Pyykin kuivausteho	42
9	Kustannukset	43
9.1	Prototyypin kustannukset	43

9.2	Toimintakokeiden kustannukset	43
10	Yhteenveto	43
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. Mittaus suunnitelma	
	Liite 2. Weck-Term-esite	

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä esitellään Weck-Term-kuivaushuonejärjestelmään liitettävän lämmöntalteenottolaitteen kehittämistä, toimintakokeita sekä toimintakokeista saatuja tuloksia. Työ tehtiin Weckström Yhtiöt Oy:n palveluksessa, ja se liittyy jo olemassaolevan Weck-Term kuivaushuonejärjestelmän jatkokehitykseen.

Weck-Term-kuivaushuonejärjestelmä on tarkoitettu erityisesti taloyhtiöiden yhteiskäytössä oleviin kuivaushuoneisiin. Se on erityisesti suunniteltu kaukolämmitteisiin taloyhtiöihin, joissa on mahdollista käyttää pyykinkuivauksessa sähköä edullisempaa kaukolämpöä.

Järjestelmän toiminta perustuu tehokkaaseen ilmanvaihtoon, joka saa aikaan pyykin kuivumisen yhdessä lämpimän käyttöveden kiertoon liitetyn kierrätysilmakoneen kanssa. Ilmanvaihto kuitenkin poistaa kuivaushuoneesta lämmintä ilmaa, joka sisältää paljon lämpöenergiaa. Tämän energian hyödyntäminen kylmän tuloilman lämmittämiseen pienentää pyykinkuivauksen kokonaiskustannuksia.

Työssä painotetaan pääasiassa lämmöntalteenottolaitteen tuotekehitystä, suunnittelua ja tuotteen prototyypin toimintakokeita. Lisäksi työssä tutkitaan vanhoja jo käytössä olevia kuivaushuonejärjestelmiä ja niiden käyttöastetta.

## 2 Talopesulat ja kuivaushuoneet

Talopesulat ovat taloyhtiöiden asukkaiden yhteiskäytössä olevia pääasiassa pyykinpesuun ja kuivaukseen tarkoitettuja tiloja. Talopesula jakautuu yleensä kahteen eri tilaan, joista toinen on varsinainen pesutupa, johon on sijoitettu pesukoneet, mahdolliset vesipisteet, mahdolliset matonpesutelineet ja muut pesulalaitteet. Toinen tiloista on pyykinkuivaushuone, joka sisältää pyykinkuivausta varten kuivausnarut, kierrätysilmakoneen tai kondenssikuivaimen sekä vaihtelevan tasoisen ilmanvaihto-järjestelmän.

### 2.1 Kuivaushuonetyypit

Kuivaushuonetyypit jakaantuvat pääsääntöisesti kahteen tyyppiin, joiden toiminta perustuu joko ilmanvaihdon ja kierrätysilmalämmittimen avulla tapahtuvaan kuivaukseen, tai erillisen kondenssikuivaimen käyttöön. (1)

#### 2.1.1 Ilmanvaihtoon ja lämpöön perustuvat kuivaushuoneet

Ilmanvaihtoon ja lämpöön perustuvassa kuivaushuoneessa pyykin kuivuminen tapahtuu lämmön avulla. Kun kuivaushuoneen lämpötilaa nostetaan, pyykin pintaan muodostuneen rajakerroksen vesihöyryn osapaine kasvaa, ja tämä yhdessä liikkuvan ilman kanssa saa aikaan pyykin kuivumisen. Kosteaa ilmaa poistetaan huoneesta ja tilalle tuodaan kuivempaa ilmaa. Kuivaushuoneen lämmittäminen tapahtuu yleensä kierrätysilmalämmittimellä, joka on liitetty joko lämpimän käyttöveden kiertoon tai rakennuksen lämmitysverkostoon. Kuvassa 1 on esitetty tavanomainen vanhemman kerrostalon kuivaushuone, jonka ilmanvaihto on toteutettu korvausilmaventtiilillä ulkoseinästä, eikä tilassa ole yleispoistoa.



Kuva 1. Kuivaushuone.

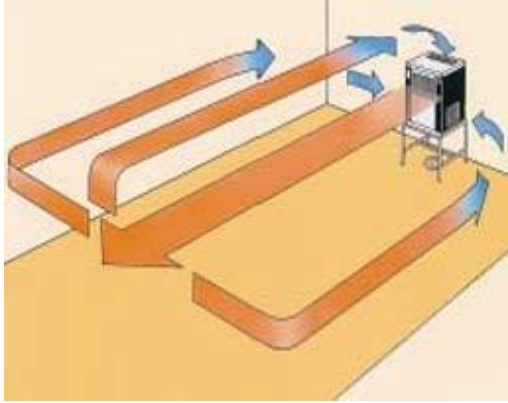
### 2.1.2 Kondenssikuivaukseen perustuvat kuivaushuoneet

Kondenssikuivaimen perustuvissa kuivaushuoneissa kuivaus tapahtuu lämpöpumppuperiaatteella. Kuivaushuoneeseen ripustetuista pyykeistä haihtuva kosteus sitoutuu kuivauskoneen puhaltamaan kuivaan ja lämpimään ilmaan. Näin syntynyt kostea lämmin ilma imetään takaisin kuivauskoneeseen, joka tiivistää kosteuden vedeksi. Kuiva ja kuivausprosessissa uudelleen lämminnyt ilma puhalletaan takaisin pyykkiin. Tämän tyyppisessä kuivausprosessissa voidaan hyödyntää ainoastaan sähköenergiaa.

(2)

Kuvassa 2 on esitetty kondenssikuivaimella varustetun kuivaushuoneen toimintaperiaate, ja kuvassa 3 on tavanomainen kuivaushuoneen kondenssikuivain. Kuvassa sinisen pölysuodattimen läpi kulkee kostea huoneilma, ja kuivattu ilma puhalletaan valkoisen säleikön kautta takaisin.



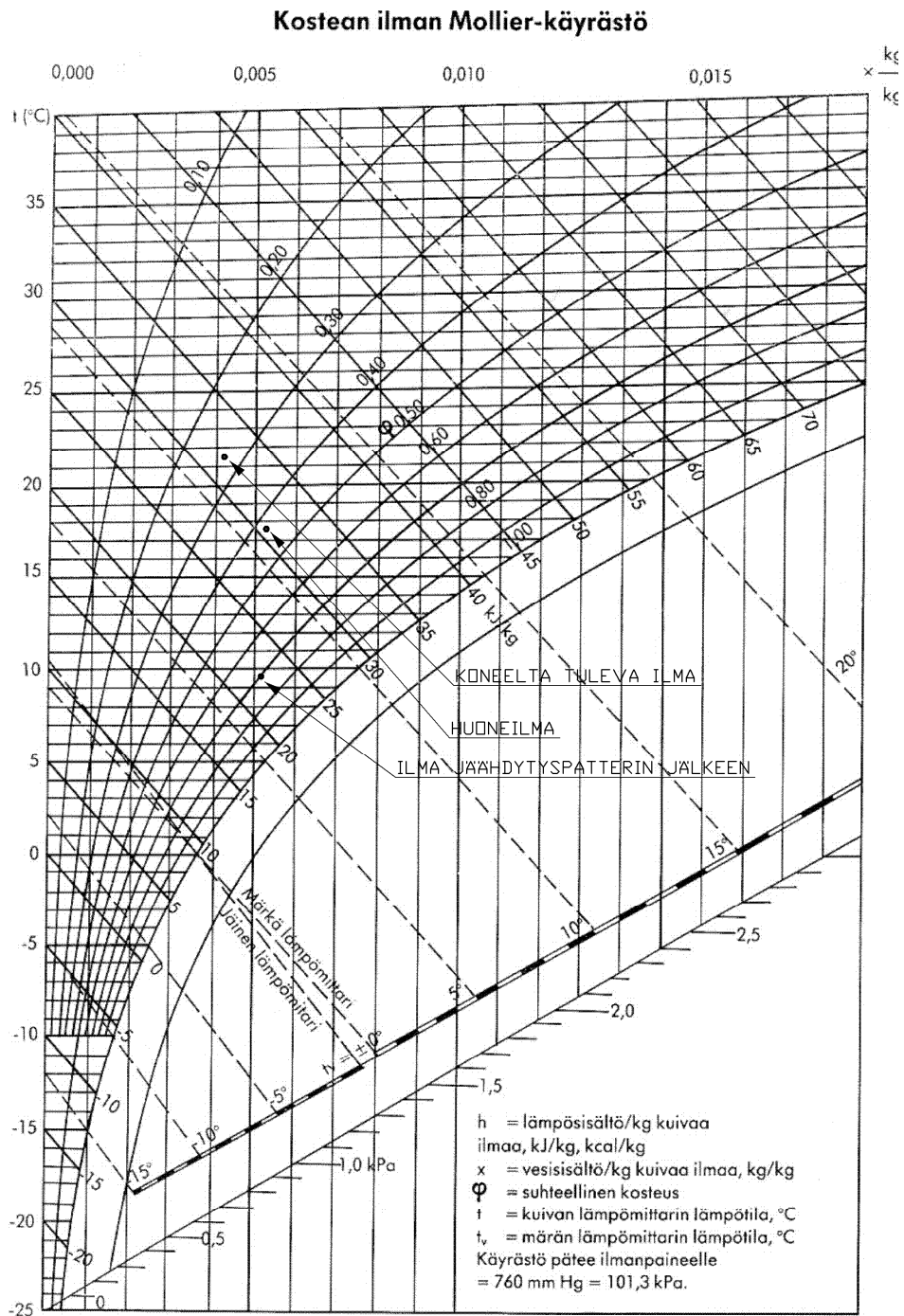


Kuva 2. Kondenssikuivaimella varustetun kuivaushuoneen toimintaperiaate. (2)



Kuva 3. Kondenssikuivain.

Kuvassa 3 olevaa kondenssikuivainta käytettiin myös havainnollistamaan kondenssikuivaimen toimintaa. Toiminnan havainnollistamiseksi mitattiin lämpötilat ja kosteudet kondenssikuivausprosessissa. Lämpötila ja kosteus mitattiin huoneesta, koneen sisältä jäähdytyspatterin jälkeen ja koneen ulospuhallusilmasta. Mitatut arvot on esitetty Mollier-käyrästä sijoitettuna kuvassa 4.



Kuva 4. Kondenssikuivaimen lämpötilat ja kosteudet.

## 2.2 Kuivaushuoneiden käyttöaste

Työssä tutkittiin käytössä olevien Weck-Term-järjestelmien käyttöastetta talopesuloissa olevien varauslistojen avulla. Lisäksi haluttiin tutkia muutamien jo käytössä olevien kohteiden poisto- ja tuloilmavirtoja. Kohteet, joista varauslistojen tiedot kerättiin ja ilmavirrat mitattiin, ovat

- As Oy Koivikkotie 5, Koivikkotie 5, Helsinki
- As Oy Koivikkotie 45, Koivikkotie 45, Helsinki
- As Oy Raappavuorenrinne, Raappavuorenrinne 1, Vantaa.

Taulukossa 1 on esitetty mitattuja tulo- poisto- ja yleispoistoilmavirtoja. Ilmavirrat mitattiin TSI-ilmanvaihtomittarilla ja torvianemometrillä. Vuotoilmavirta on laskettu vähentämällä tuloilmavirta poistoilmavirrasta. Kuvassa 5 on esitetty Koivikkotie 5:ssä sijaitseva kuivaushuone. Kuvassa nähdään kierrätysilmalämmitin ja ilmanvaihdon sekoitusyksikkö.

Taulukko 1. Ilmavirtamittaukset.

Kohde	Tuloilmavirta (l/s)	Poistoilmavirta (l/s)	Vuotoilmavirta (l/s)	Yleispoisto (l/s)
Raappavuorenrinne 1, VANTAA / 2kpl puhaltimia kuivaushuoneessa	364	656	370	78
Koivikkotie 5, HELSINKI	57	293	277	0
Koivikkotie 45, HELSINKI	74	310	252	16

Kuivaushuoneiden käyttöastetta tutkittiin vanhojen varauslistojen avulla. Raappavuorenrinteeltä ei vanhoja varauslistoja löytynyt. Taulukossa 2 on esitetty Koivikkotie 5:n marraskuun 2010 varauslista. Kuukausittaiset vaihtelut kyseisessä pesulassa olivat melko suuria. Taulukossa x merkitsee varausta kyseiselle ajankohdalle. Lisäksi havaittiin suuria pesuloiden välisiä eroja käyttöasteessa. Koivikkotie 45:n varaustaulussa (kuva 6) oli varauksia ainoastaan kahdelle päivälle kuukaudessa. Kuvassa 6 on esitetty Koivikkotie 45:n varausjärjestelmä, joka perustuu numeroituihin lukkopesiin. Oman lukkopesän saa lunastaa huoltoyhtiöltä kuukausimaksua vastaan.

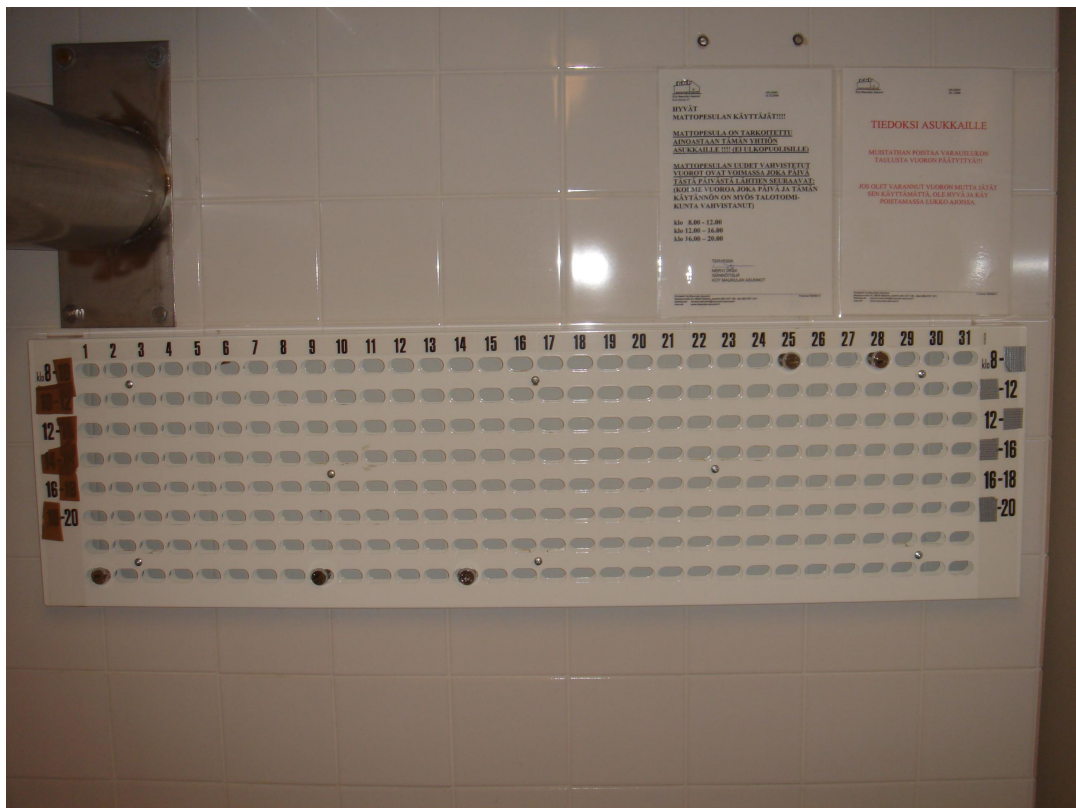
Taulukko 2. Koivikkotie 5:n varauslista.

<b>Marraskuu 2010</b>		
<b>Pvä</b>	<b>Klo 8-14</b>	<b>Klo 14- 20</b>
1		x
2		
3		
4		
5		
6		x
7		
8		x
9	x	x
10	x	x
11		x
12	x	x
13	x	x
14	x	
15	x	x
16		
17	x	x
18		
19		
20	x	x
21	x	x
22		x
23		
24		
25		
26		x
27		
28		
29		x
30		
31		

Taulukosta laskettu pesulan kokonaiskäyttötuntimäärä kuukaudessa on 144 tuntia. Käyttökertoja kuukauden aikana on 23 kpl. Jos jokaisella pyykinpesukerralla käytetään kuivaushuonetta, muodostuu kuivaushuoneen käyttötunneiksi 3 tunnin kuivausprosessin kestolla 69 tuntia.



Kuva 5. Koivikkotie 5:n kuivaushuone.



Kuva 6. Koivikkotie 45:n varausjärjestelmä.

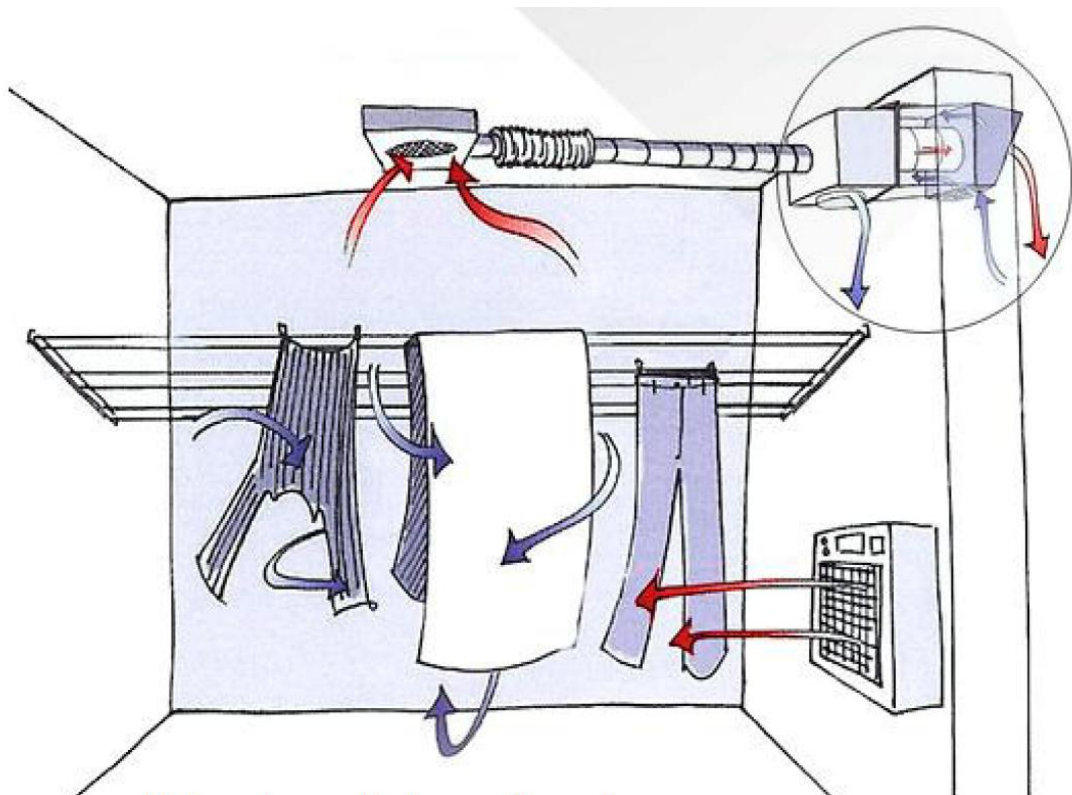
### 3 Käytössä oleva järjestelmä

Weck-Term-kuivaushuonejärjestelmä on tarkoitettu pääasiassa kaukolämmitteisten taloyhtiöiden yhteiskäytössä oleviin pyykinpesutiloihin. Järjestelmän pyykinpuhdistus- ja kuivausaika on selvästi lyhyempi, ja järjestelmä kuluttaa vähemmän energiaa kuin kilpailevat järjestelmät. (3)

Weck-Term-järjestelmän komponentit ovat

- kierrätysilmakone
- poistoilmapuhallin
- ilmanohjausyksikkö
- kaksoisnarujärjestelmä.

Järjestelmä on komponenteiltaan identtinen VELCO-kuivaushuonejärjestelmän kanssa, ja sen komponentit valmistaa ruotsalainen Oy Liljengrens AB. Kuvassa 7 nähdään komponenttien sijoittelu kuivaushuoneessa. Järjestelmän toiminta on esitetty tarkemmin liitteessä 2.



Kuva 7. Kuivaushuoneen komponenttien sijoittelu Weck-Term-järjestelmässä.

### 3.1 Puhallin

Järjestelmään liittyvän poistopuhaltimen tehtävänä on vaihtaa kuivaushuoneen ilmaa, ja poistaa pyykinkuivauksessa syntyvää kosteutta. Puhallin sijoitetaan kuivaushuoneen kattoon kuvan 7 osoittamalla tavalla. Puhallin käynnistyy automaattisesti kuivaushuoneen lämpötilan noustessa noin 25 °C:seen. Puhaltimen valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot on esitetty taulukossa 3. Kuvassa 8 on esitetty poistoilmapuhallin asennettuna kuivaushuoneeseen. Poistopuhaltimen valmistaja on ruotsalainen Oy Liljengrens AB. (4)



Kuva 8. Poistoilmapuhallin.

Taulukko 3. Poistoilmapuhaltimen tekniset tiedot. (4)

<b>Poistoilmapuhaltimen tekniset tiedot</b>
Tyyppi HT-FF 12
Käyttöjännite 230 V / 50 Hz
Teho 140 W
Ilmavirta 600 m <sup>3</sup> / h
Minimi-ilmavirta 400 m <sup>3</sup> / h
Poistokanava 125 mm
CE-merkitty
EMC-suojattu

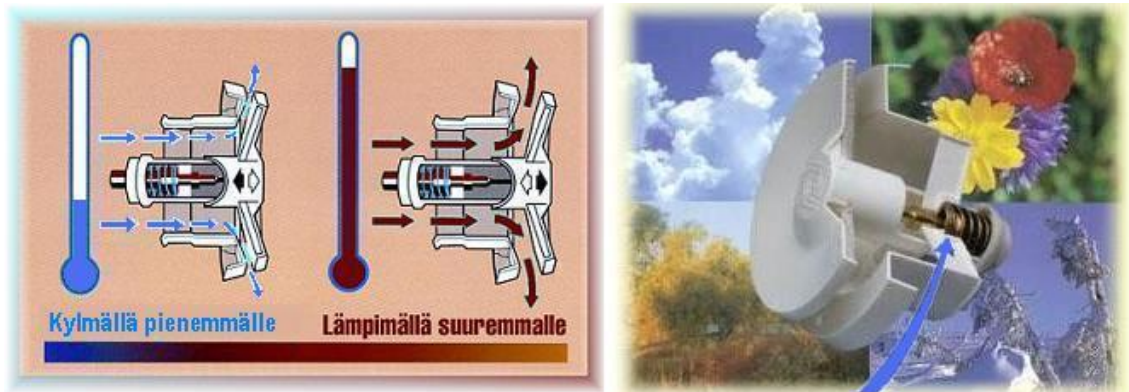
### 3.2 Ilmanohjausyksikkö

Järjestelmässä oleva ilmanohjausyksikkö on esitetty kuvassa 9. Se koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä. Kuvassa näkyvä sisäyksikkö on valkoinen ja ulkoyksikkö harmaa. Kuvassa 11 on esitetty ulkoyksikkö asennettuna. Sisäyksikön tehtävänä on ohjata ulkoa tulevaa korvausilmaa sisälämpötilan mukaan luvussa 3 olevan kuvan 7 osittamalla tavalla. Sisään tulevan ilman määrään vaikuttaa poistoilman lämpötila. Sisäyksikkö on varustettu kuvassa 10 olevalla VELCO-venttiilillä, joka säätelee sisään tulevan ilman määrää poistoilman lämpötilan mukaan. Lämmin ulos puhallettava ilma lämmittää venttiilin päässä olevaa bi-metallitermostaattia, joka lämpötilan noustessa avaa venttiiliä. Ilmanohjausyksikössä olevan VELCO-venttiilin toimintaa on havainnollistettu kuvassa 10. (5)





Kuva 9. Ilmanohjausyksikkö.



Kuva 10. VELCO-venttiilin toiminta. (6)



Kuva 11. Ulkoyksikkö.

### 3.3 Kierrätysilmalämmitin

Järjestelmässä olevan kierrätysilmalämmittimen tehtävänä on nostaa huoneilman lämpötilaa, mikä edesauttaa pyykin kuivumista. Kierrätysilmalämmitin liitetään rakennuksen lämpimän käyttöveden putkistoon. Se sisältää koko järjestelmän sähköiset ohjaukset, joita ovat ajastin, termostaatti, magneettiventtiili ja kiertovesipumppu. Kierrätysilma-lämmittimessä olevasta käynnistuspainikkeesta käynnistetään kuivausprosessi ennalta määritellyksi ajaksi. (7)

Kierrätysilmakoneen valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot on esitetty taulukossa 4. Kuvassa 12 on esitetty kierrätysilmakone asennettuna kuivaushuoneeseen.



Kuva 12. Kierrätysilmalämmitin.

Taulukko 4. Kierrätysilmalämmittimen tekniset tiedot. (6)

<b>Kierrätysilmakone</b>	
Tyyppi	HT-400V
Käyttöjännite	230 V AC
Kiertovesipumppu	80 W / 0,11l/s / 7,5 kPa
Venttiili	Sulkuventtiili 5 W
Lämmityspatteri	5 kW 55 °C:n lämpötilassa
Vesivirta	0,09 l/s
Lämmityspatterin painehäviö	5 kPa

Painettaessa kierrätysilmakoneessa olevaa käynnistuspainiketta ajastin käynnistää kierrätysilmakoneen valituksi ajaksi. Samalla käynnistyy kiertovesipumppu, ja moottori-venttiili aukeaa. Kierrätysilmakoneessa oleva termostaatti ohjaa poistoilmapuhaltimen käyntiin, kun huonelämpötila on saavuttanut +25°C. Käyntiaika on säädettävissä vain koneen sisällä olevasta ajastimesta, joten käyttäjä ei voi muokata käyntiaikaa. Prosessin normaali käyntiaika on kolme tuntia.

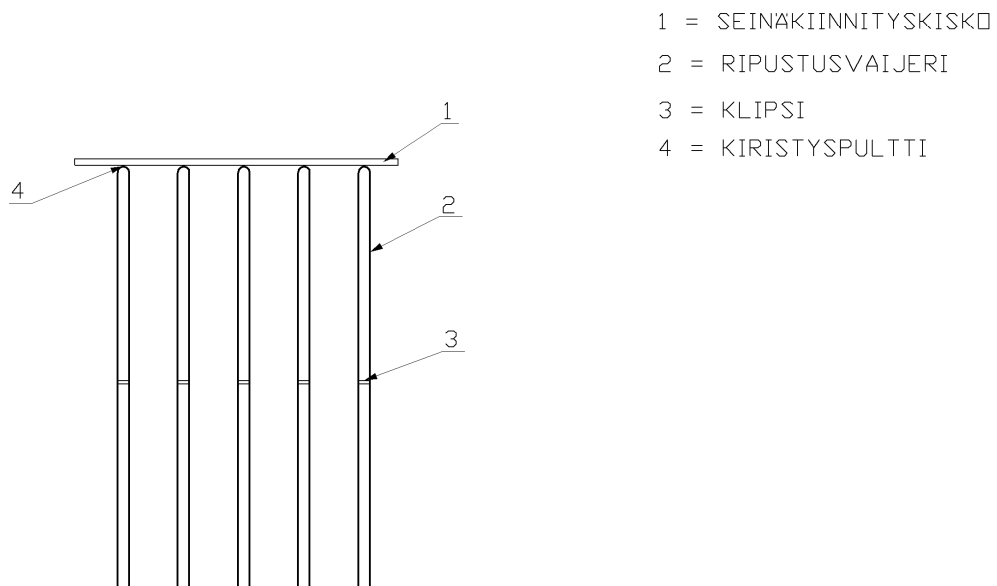
### 3.4 Kaksoisnarujärjestelmä

Kaksoisnarulla varustettu ripustusjärjestelmä tehostaa pyykin kuivumista kuivaushuoneessa. Kaksoisnarujärjestelmän teho perustuu kosteutta luovuttavan pinta-alan kasvuun, sillä kaksi vierekkäin olevaa narua pitävät pyykin sisäpinnat toisistaan erillä. Kuvassa 13 on esitetty kaksoisnarujärjestelmä asennettuna kuivaushuoneeseen.



Kuva 13. Kaksoisnarujärjestelmä.

Kaksoisnarujärjestelmän komponentteja ovat seinäteline, ripustusvaijerit, vaijerikiristimet ja vaijeriklipsit. Seinäteline asennetaan molempiin päihin kuivaushuonetta. Muovitetut ripustusvaijerit kulkevat seinätelineessä olevien vaijerikiristimien läpi mahdollistaen vaijereiden helpon kiristyksen huollon yhteydessä. Vaijeriklipsien tehtävänä on pitää vierekkäiset narut erillään myös ripustettaessa raskaampaa pyykkiä kuten mattoja. Kuvassa 14 on esitetty kaksoisnarujärjestelmän komponentit.



Kuva 14. Kaksoisnarujärjestelmän komponentit.

#### 4 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotolla hukkaan menevää lämpöenergiaa pyritään ottamaan talteen. Poistoilman lämpösisällöstä on mahdollista ottaa talteen huomattava määrä lämmönsiirtimen avulla. Lämmönsiirto tehostuu huomattavasti, kun lämpötilaero luovuttavan ja vastaanottavan virran välillä kasvaa. (8)

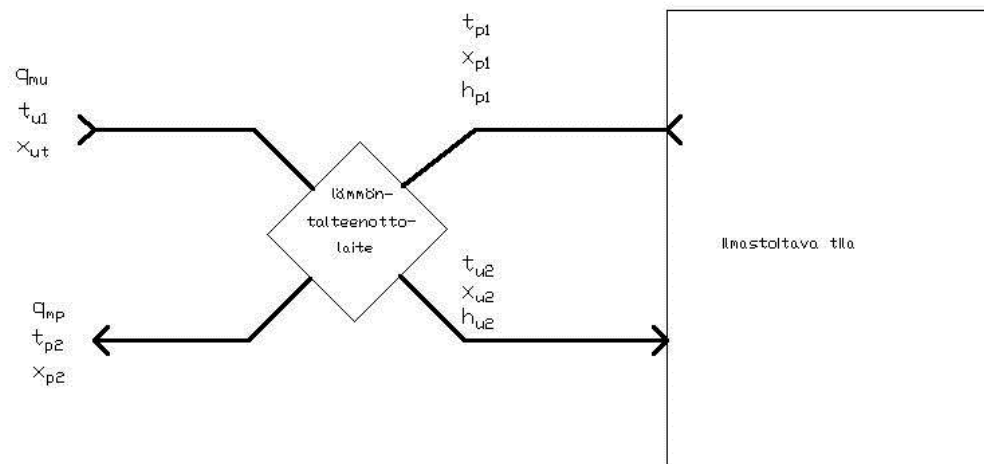
Lämmöntalteenottolaitteet jakautuvat kahteen eri tyyppiin: rekuperatiivisiin ja regeneratiivisiin. Rekuperatiivisessa lämmönsiirto suoraan ilmavirtoja erottavan levyn lävitse. Regeneratiivisessa lämmönsiirtimessä energiaa varastoidaan aineeseen, joka lämpenee ja jäähtyy ilmavirrassa. (9)

Lämmöntalteenottolaitteina ilmanvaihdossa käytetään levylämmönsiirrintä, neste-kiertoista lämmönsiirrintä ja pyörivää lämmönsiirrintä. Näistä pyörivä lämmönsiirrin on hyötysuhteeltaan paras, ja nestekierto on heikoin. Lämmöntalteenoton valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat ilmanvaihtokoneiden sijoittelu, käyttötarkoitus ja kustannustehokkuus. (9)

Rekuperatiivisista lämmönsiirtimistä lämpötekniisesti paras lämmönsiirityyppi on vastavirtalämmönsiirrin. Ilmanvaihtopuolella yleisin lämmönsiirintyyppi on käytännön syistä kuitenkin ristivirtalämmönsiirrin. (8)

Tarkasteltaessa lämmöntalteenoton toimintaa on hyötysuhde tärkeä tekijä. Hyötysuhteen avulla voidaan tarkastella lämmöntalteenoton toimivuutta ja energiatehokkuutta. (8)

Lämmöntalteenoton hyötysuhteen määrittelyyn liittyvät merkinnät on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Lämmöntalteenoton hyötysuhteen määrittämiseen liittyviä merkintöjä.

## 5 Kehityskriteerit

Olemassa olevaa kuivaushuonejärjestelmää aikaisemmin asennettaessa oli laitteistoa tilanneilta asiakkailta tullut useasti kysymyksiä järjestelmän toiminnasta. Epäilyksen aiheena on monesti ollut juuri kylmän ilman ottaminen sisään korvausilmaventtiin kautta, ja poistoilman johtaminen suoraan lämpimänä ulos. Poistoilma sisältää selvästi potentiaalista energiaa tuloilman lämmittämiseen, ja tästä syntyi idea ottaa talteen lämpimän poistoilman sisältämää energiaa. Energian talteen ottaminen mahdollistaa suuremman ulkoilmavirran tai pienemmän lämmöntarpeen samalla ulkoilmavirralla.

Näistä lähtökohdista lähdettiin suunnittelemaan prototyyppiä, jolla voitaisiin suorittaa toimintakokeita ja tutkia, onko järjestelmän tehostaminen mahdollista.

Työtä teettävän yrityksen toimesta laitteen kehitykselle annettiin tiettyjä kriteereitä. Tärkeimmät kriteerit ovat,

- yksinkertainen rakenne
- mahdollisimman pieni fyysinen koko
- edullinen hankintahinta
- helppo huollettavuus.

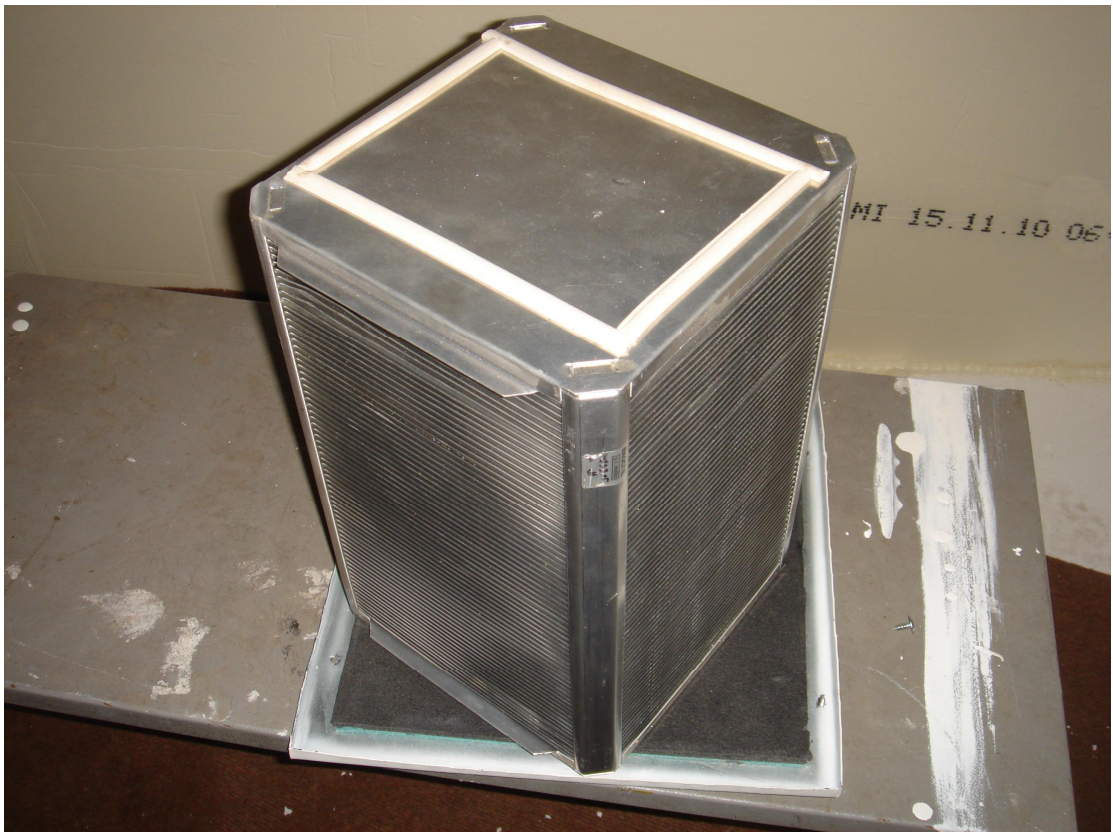
Lähtökohtaisesti suunnittelussa painotettiin kustannustehokkuutta. Kehitettävä laite ei saisi lisätä tuntuvasti koko järjestelmän hankintahintaa, jotta järjestelmän hinta pysyisi kilpailukykyisenä. Kustannusten pitäminen alhaalla johtaa yleensä automaattisesti yksinkertaiseen rakenteeseen. Yksinkertainen rakenne, jossa ei ole liikkuvia osia, on pitkäikäinen ja yksinkertainen huoltaa. Lisäksi yksinkertainen rakenne lisää laitteen käyttöikä.

## 6 Laitteen suunnittelu ja valmistus

Kyseisen laitteen kehittämisessä ei niinkään vaadittu täysin uusien teknisten ratkaisuiden kehittämistä, vaan jo olemassa olevien komponenttien ja tunnettujen tekniikoiden uudelleensovellusta.

Laitteen suunnittelu aloitettiin luvussa 4 esiteltyjen kehityskriteereiden pohjalta. Suunnittelun alussa vertailtiin erityyppisiä lämmöntalteenottotapoja. Edullisimmaksi ja helpohoitoisemmaksi osoittautui levylämmönsiirrin. Koska levylämmönsiirtimiä käytettäviä laitteita on markkinoilla runsaasti, päädyttiin hankkimaan valmis levylämmönsiirrinkenno. Jotta laitteen koko saataisiin pidettyä mahdollisimman pienenä, piti myös lämmönsiirtokennon olla mahdollisimman pieni. Suunnittelun alussa tutkittiin eri valmistajien levylämmönsiirtimiä, ja prototyyppiin valittiin kooltaan 200 mm x 200 mm x 300 mm levylämmönsiirrin.

Levylämmönsiirrin hankittiin Swegon Oy:n tuotevalikoimasta, ja se on käytössä Swegon Oy:n pienemmissä LTO-koneissa. Valittu levylämmönsiirrin on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Levylämmönsiirrin.



Kun lämmönsiirrin oli valittu, päästiin suunnittelemaan itse laitetta. Laitteen prototyypin runko suunniteltiin lämmöntalteenottokennon mukaan. Kotelo valmistettiin 0,8 mm:n paksuisesta sinkitystä teräslevystä. Kotelon yhdestä sivusta tehtiin avattava, joka mahdollistaa laitteen huoltamisen ja toimintakokeet. Laite eristettiin sisäpuolelta 19 mm:n solukumieristeellä, jotta kondensointi ja lämpövuodot saatiin ehkäistyä. Tässä vaiheessa tarkoitus oli valmistaa prototyyppi toimintakokeita varten, joten osa laitteen suunnittelusta tehtiin valmistusprosessin aikana. Kuvassa 17 on esitetty lämmönsiirtimen irrotus laitteesta ja kuvassa 18 prototyypin lämpöeristys ja siirtimen asennuskiskot.



Kuva 17. LTO-kennon irrotus laitteesta.

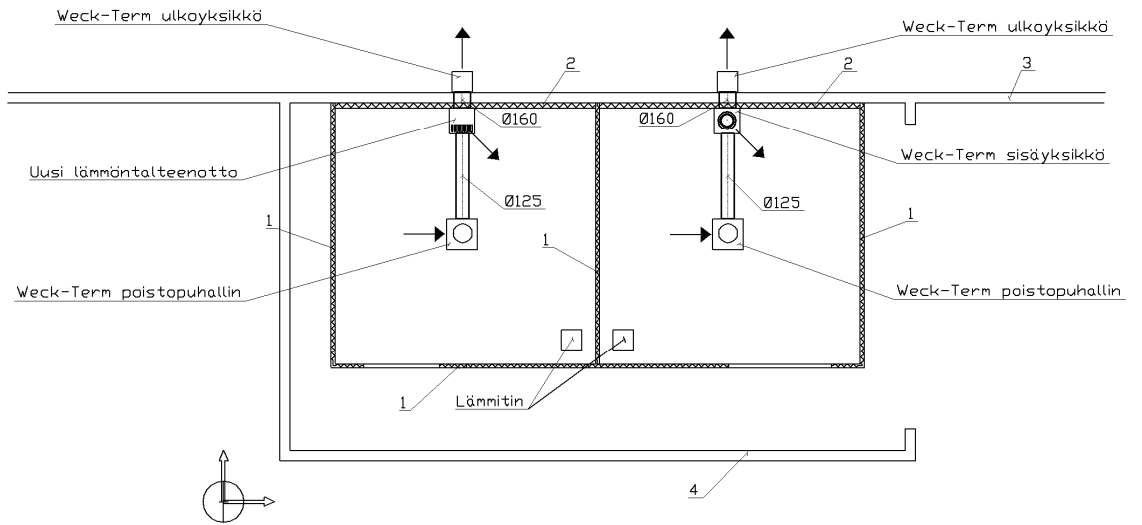


Kuva 18. LTO-laite sisältä.

## 7 Toimintakokeet

Laitteen toimintakokeet suoritettiin helmi-maaliskuussa 2011 Vihdin Nummelassa sijaitsevassa varastohallissa. Toimintakokeissa tarkoituksena oli selvittää uuden lämmöntalteenotolla varustetun järjestelmän toimintaa, tarkastella mahdollista energiansäästöä sekä vertailla uuden ja vanhan järjestelmän toimintaa ja tehokkuutta. Varastohallissa sijaitsevaan maalaamoon rakennettiin identtiset noin  $7 \text{ m}^2$ :n demonstrointitilat, sillä järjestelmien vertailuun sopivia identtisiä valmiita tiloja ei ollut tarjolla. Toiseen tiloista sijoitettiin jo olemassaoleva kuivaushuonejärjestelmä, ja toiseen tutkittavalla lämmöntalteenottolaitteella varustettu järjestelmä.

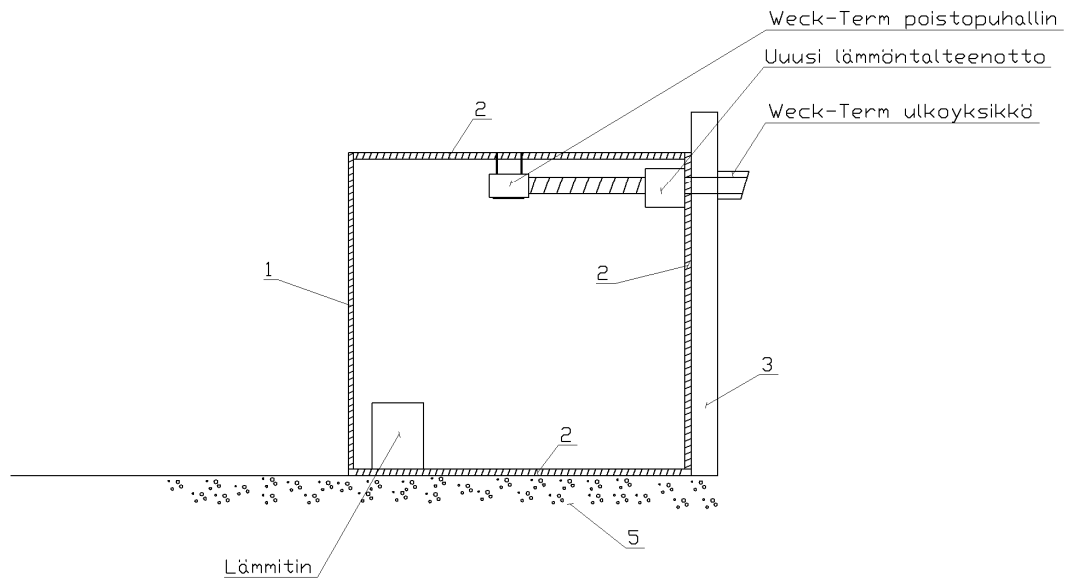
Koska ulkoilman lämpötila vaikuttaa ratkaisevasti järjestelmän toimintaan, piti toimintakokeet suorittaa samanaikaisesti kahden vertailtavan järjestelmän välillä. Kuvassa 19 on esitetty demonstrointitilojen pohjapiirros, josta selviää myös laitteiden sijoittelu tiloissa.



- 1 = SPU ANSELMI 40 mm (0,027 W/mK)
- 2 = EPS 120 50 mm RÖUTA (0,036 W/mK)
- 3 = RAKENNUKSEN ULKOSEINÄ
- 4 = TILAN VÄLISEINÄ
- 5 = RAKENNUKSEN MAANVARAINEN BETONILATTIA

Kuva 19. Demonstrointitilojen pohjapiirros.

Kuvassa 20 on esitetty leikkauspiirros demonstrointitilasta. Kuvassa on esitetty olemassa olevan järjestelmän laitteiden sijoittelu.



- 1 = SPU ANSELM I 40 mm ( $0,027 \text{ W/mK}$ )
- 2 = EPS 120 50 mm RÖUTA ( $0,036 \text{ W/mK}$ )
- 3 = RAKENNUKSEN ULKOSEINÄ
- 4 = TILAN VÄLISEINÄ
- 5 = RAKENNUKSEN MAANVARAINEN BETONILATTIA

Kuva 20. Demonstrointitilojen leikkauspiirustus.

Tilat rakennettiin kuvassa 19 esitetystä materiaaleista. Materiaalien valintaan vaikuttivat helppo asennettavuus ja alhaiset kustannukset. Lisäksi hyvin eristävät materiaalit minimoivat tilan johtumislämpöhäviöt, ja lähes kaikki lämmitysenergia kuluu ilman lämmittämiseen. Lämmittiminä tiloissa käytettiin identtisiä 3 kW:n sähkölämmittimiä, sillä vesikiertoisten lämmittimien käyttö ei tiloissa ollut järkevää. Sähkölämmittimien energiankulutuksen määrittäminen on myös helpompaa nykyisin helposti saatavilla olevien energiamittareiden ansiosta. Kuvassa 21 on esitetty olemassa oleva Weck-Term-järjestelmä asennettuna demonstrointitilaan. Kuvassa 22 on esitetty lämmöntalteenottolaitteen prototyyppi asennettuna demonstrointitilaan.



Kuva 21. Vanha järjestelmä asennettuna demonstrointitilaan.



Kuva 22. Lämmöntalteenotto asennettuna demonstrointitilaan

Ennen toimintakokeiden aloitusta tehtiin mittaussuunnitelma, johon kirjattiin haluttuja mittauksia ja suoritustapoja. Tärkeimpinä mittauksina voidaan pitää seuraavia:

- poistoilmavirta
- korvausilmavirta
- lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet
- pyykin kuivuminen ja suhteellinen ilmankosteus
- pyykin kuivaukseen käytetty lämmitysenergia.

Mittaukset tehtiin rinnakkain molempiin järjestelmiin, jotta myöhemmin saataisiin kai-kista tuloksista tarvittaessa vertailu. Ennen mittauksien aloitusta ei vielä ollut selvää, mitä kaikkia prosesseja tässä työssä tullaan esittelemään, joten päätettiin mitata kaikki vähänkin tärkeältä tuntuvat suureet. Kuvassa 23 on esitetty demonstrointitilojen läm-mitykseen käytetty kierrätysilmalämmitin. Täydellinen mittaussuunnitelma on esitetty tämän työn liitteessä 1.



Kuva 23. Tilojen lämmityksessä käytetty kierrätysilmalämmitin.

## 7.1 Työssä käytetyt mittalaitteet

Toimintakokeiden suorittamiseen tarvittiin seuraavat mittalaitteet:

- ilmavirtamittari TSI VELOCICALC Plus varustettuna kuumalanka-anemometrillä, mittatarkkuus  $\pm 3\%$  (10)
- torvianemometri
- sähköenergian kulutusmittari ( $\pm 2\%$ )
- datalogger EL-USB-2, suhteellinen kosteus ja lämpötila. Mittatarkkuus  $\pm 3\%$  Rh ja  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (11)
- datalogger EL-USB-1, lämpötila. Mittatarkkuus  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (11)
- infrapunalämpömittari Biltema
- digitaalivaaka pyykin punnitsemista varten, tarkkuus 20 g.

Kaikista mittalaitteista ei mittatarkkuustietoja ollut saatavilla. Kuvassa 24 on esitetty muutamia työssä käytettyjä mittalaitteita.



Kuva 24. Työssä käytettyjä mittalaitteita.

## 7.2 Ilmamäärämittaukset

Laitteistojen tulo- ja poistoilmavirtojen määrittäminen tapahtui ilmamäärämittaria ja torvianemometriä apuna käyttäen (kuva 25). Mittarina toimi TSI:n valmistama VELO-CICALC Plus, varustettuna kuumalanka-anemometrillä. Ilmavirtojen mittauksessa apuna toimi anemometritorvi, sillä laitteen rakenteesta johtuen mittausten suoritus oli sen avulla helpointa. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ilmavirrat tiloissa.

Tila	Poistoilmavirta (l/s)	Tuloilmavirta (l/s)	Vuotoilmavirta (l/s)
Uusi järjestelmä	347	108	229
Vanha järjestelmä	379	126	253

Koska rakenteet eivät ole koskaan tiiviit, syntyy tämäntyyppisissä järjestelmissä aina vuotoja. Vuotoilmavirta rakenteiden läpi on laskettu poistoilmavirran ja tuloilmavirran välisestä erotuksesta. Tutkittavissa tiloissa suurin osa vuotoilmasta tulee vuotavasta ovesta. Poistoilmavirtojen ero selittyy uudessa järjestelmässä olevan lämmöntalteenottokennon painehäviöllä. Vanhassa järjestelmässä puhaltimen jälkeen ainoa painehäviöitä aiheuttava tekijä on sekoitusosassa oleva perhospelti.

Kuten luvusta 2.2 voidaan todeta, myös tutkituissa kuivaushuoneissa korvausilma tulee suurimmaksi osaksi muualta kuin sekoitusosasta. Tämä ei kuitenkaan ole ideaali tilanne, vaan kuivaushuoneesta tulisi tehdä mahdollisimman tiivis. Myös VTT:n tekemässä vertailuraportissa poistoilmamäärän ollessa  $150 \text{ dm}^3/\text{s}$ , oli tuloilmavirta venttiilin kautta vain  $9 \text{ dm}^3/\text{s}$ . (12)

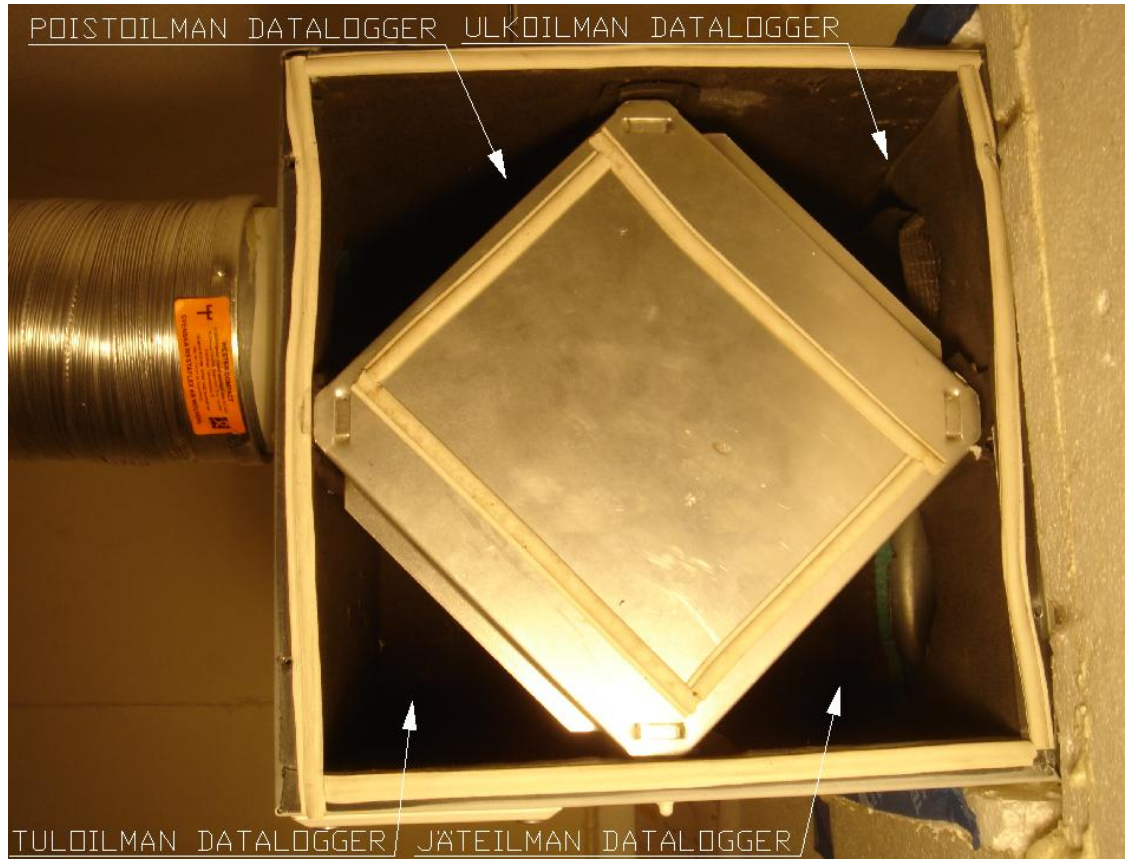




Kuva 25. Poistopuhaltimen ilmamäärän mittaus.

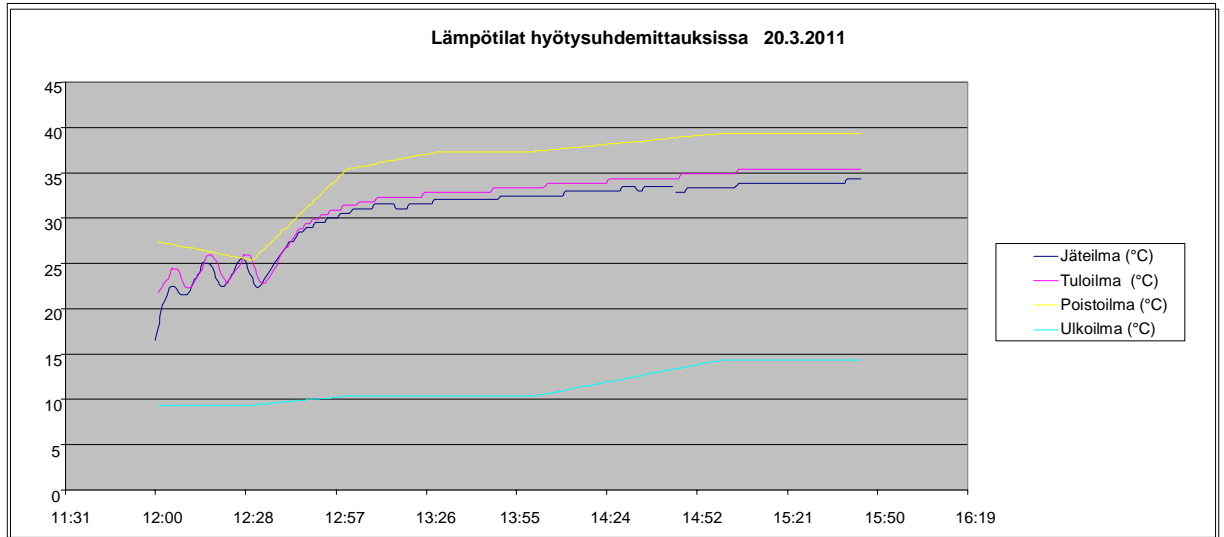
### 7.3 Tuloilmahyötysuhde

Lämmöntalteenottolaitteen tuloilmahyötysuhde mitattiin mittaussuunnitelman mukaisella tavalla. Tutkittavaan lämmöntalteenottolaitteeseen sijoitettiin mittauksia varten dataloggerit kuvan 26 osoittamiin paikkoihin. Dataloggerit sijoitettiin niin, että ne eivät koskettaneet suoraan lämmönvaihtimen pintaa, vaan ne mittasivat ilman lämpötilaa eri puolilla lämmönvaihdinta.



Kuva 26. Dataloggerien sijoitus lämmöntalteenottolaitteessa.

Laitteen tuloilmahyötysuhde ei ole erisuuruisten ilmavirtojen vuoksi tutkittavassa järjestelmässä ratkaiseva tekijä, vaan parempi on tarkastella poistoilmahyötysuhdetta. Kuvassa 27 on esitetty prosessista mitatut lämpötilat. Kuvasta on syytä tarkastella ainoastaan osuutta, joka on tasaantunut prosessin käynnistymisen jälkeen. (9)



Kuva 27. Prosessin lämpötiloja eri puolilla lämmönsiirrintä.

Laskentaa varten dataloggerin tuloksista laskettiin keskiarvot. Koska haluttiin tarkastella vain prosessin tasaantunutta osuutta, ei keskiarvolaskennassa ole huomioitu prosessin alun mittaustuloksia. Taulukossa 6 on esitetty vakaan prosessin keskiarvot mittaustuloksista.

Taulukko 6. Tuloilmahyötysuhdemittauksessa saadut arvot.

Tuloilmahyötysuhde	°C	RH (%)
Tuloilma	36	8
Poistoilma	40	6,1
Ulkoilma	15	

Ulkoilman lämpötila mittaushetkellä oli  $+1^{\circ}\text{C}$ , ja taulukossa esitetty ulkoilman lämpötila on mitattu ennen lämmönsiirrintä kuvan x mukaisesti.

Mittausjakson aikana mitatuista tuloksista laskettiin keskiarvot, joiden avulla voidaan määrittää tuloilmahyötysuhde kaavan 1 [2, s. 286] avulla.

$$\eta_{tu} = \frac{t_{u2} - t_{u1}}{t_{p1} - t_{u1}} \quad (\text{kaava 1})$$

Kaavassa  $\eta_{tu}$  on tuloilman lämpötilahyötysuhde,  $t_{u1}$  on ulkoilma lämpötila,  $t_{u2}$  on tuloilman lämpötila ja  $t_{p1}$  on poistoilman lämpötila

Mittaustulosten taulukosta 6 voimme ottaa laskentaan vaaditut arvot, ja sijoittaa ne kaavaan 1.

$$\eta_{tu} = \frac{36^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}}{40^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}} = 0,84$$

#### 7.4 Poistoilmahyötysuhde

Poistoilmahyötysuhteen määrittäminen oli tärkein mittaus tässä työssä. Poistoilmasta talteen otettava energia siirtyy suoraan takaisin tilan lämmitykseen.

Lämmöntalteenottolaitteen tuloilmahyötysuhde mitattiin mittaussuunnitelman mukaisella tavalla. Mitatut arvot saatiin samanaikaisesti tuloilmahyötysuhteen määrittämiseen käytettyjen tulosten kanssa, joten laskentaan vaadittavat arvot ovat samat kuin tuloilmahyötysuhteen määrittämisessä käytetyt arvot. Taulukossa 7 on esitetty keskiarvot mittaustuloksista.

Taulukko 7. Poistoilmahyötysuhtemittauksissa saadut arvot.

Poistoilmahyötysuhde	°C	rh (%)
Poistoilma	40	6,1
Jäteilma	34,5	7,6
Ulkoilma	15	

Ulkoilman lämpötila mittaushetkellä oli + 1 °C , ja taulukossa esitetty ulkoilman lämpötila on mitattu ennen lämmönsiirintä kuvan 26 mukaisesti.

Mittausjakson aikana mitatuista tuloksista laskettiin keskiarvot, joiden avulla voidaan määrittää tuloilmahyötysuhde kaavan 2 [2, s. 286] avulla.

$$\eta_{tp} = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{t_{p1} - t_{u1}} \quad (\text{kaava 2})$$

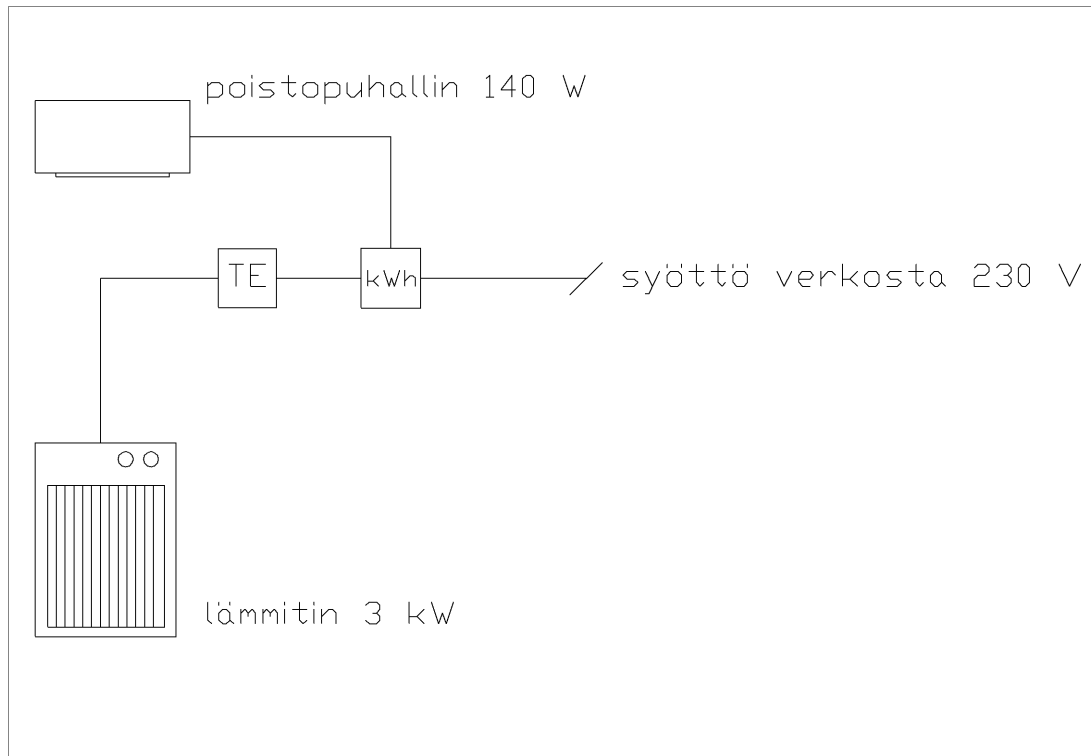
Kaavassa  $\eta_{tp}$  on poistoilman lämpötilahyötysuhde,  $t_{u1}$  on ulkoilma lämpötila,  $t_{p2}$  on jäteilman lämpötila ja  $t_{p1}$  on poistoilman lämpötila

Mittaustulosten taulukosta 7 otetaan laskentaan vaaditut arvot, ja sijoittaa ne kaavaan 2.

$$\eta_{tp} = \frac{40^{\circ}\text{C} - 34,5^{\circ}\text{C}}{40^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}} = 0,22$$

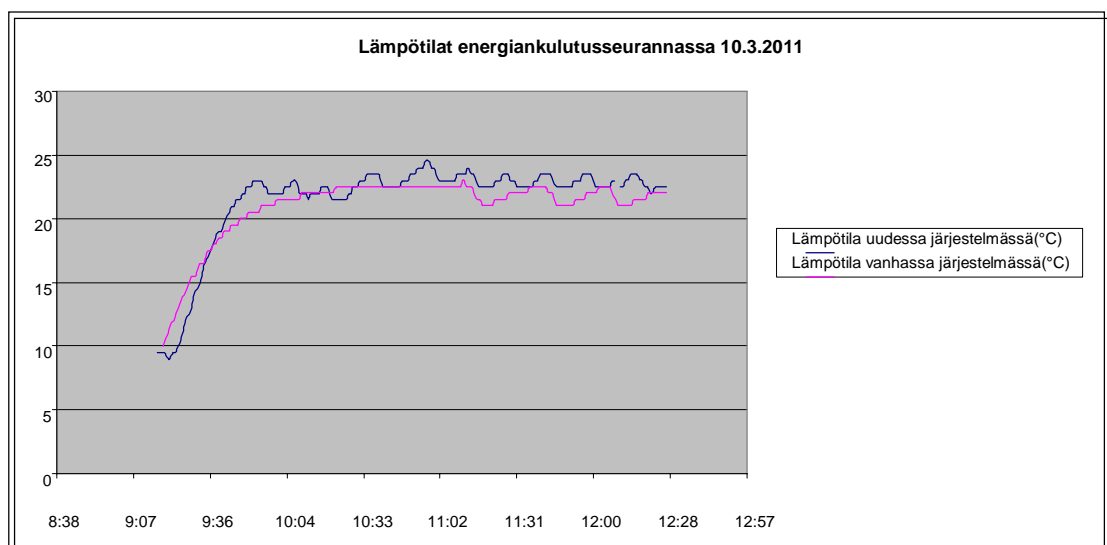
## 7.5 Energiankulutus

Energiankulutusta demonstroitiiin molemmissa tiloissa 3,5 h kestäväen mittausjakson aikana. Mittauksissa apuna käytettiin energiankulutusmittareita (kuva 30), jotka mittasivat prosessin sähköenergiankulutusta. Kuivaushuoneiden lämpötilaa ohjattiin huoneisiin sijoitetuilla termostaateilla, jotka asetettiin 25 °C lämpötilaan. Kuvassa 28 on esitetty laitteistoon liittyvien komponenttien kytkennät. Poistoilmapuhaltimen energiankulutus otettiin mukaan kokonaisenergiankulutukseen, koska lämmöntalteenottolaitteessa lämmönsiirrin aiheuttaa painehäviöitä ja sähkönkulutus lisääntyy.



Kuva 28. Laitteiston sähkökytkennät.

Prosessin lämpötiloja seurattiin tiloihin sijoitettujen dataloggereiden avulla. Tällöin voitiin seurata hyvin termostaatin toimintaa, sekä seurata huoneen lämpötilan kehitystä. Prosessin lämpötilat seurantajaksolla on esitetty kuvassa 29. Ulkolämpötila mittausaikana oli  $+1^{\circ}\text{C}$ .



Kuva 29. Prosessin lämpötilat.

Kun prosessi oli päättynyt, voitiin energiamittareista todeta molempien prosessien energiankulutus. Uuden lämmöntalteenotolla varustetun järjestelmän kokonaisenergiankulutus kolmen tunnin prosessin aikana oli 7,5 kWh ja vanhalla järjestelmällä 9,5 kWh. Tämä kokonaisenergiankulutus sisältää puhaltimien sähköenergiankulutuksen.

Puhaltimien energiankulutus voidaan määrittää puhaltimien ottamasta todellisesta sähkötehosta, joka luettiin energiankulutusmittarista. Puhaltimien ottotehoksi mitattiin vanhan järjestelmän osalta 138 W ja uuden järjestelmän osalta 149 W. Puhaltimien kokonaisenergiankulutus saadaan määritettyä kaavasta 3.

$$W_{\text{puhallin}} = P_{\text{puhallin}} * t_{\text{prosessi}} \quad (\text{kaava 3})$$

jossa  $W_{\text{puhallin}}$  on puhaltimen kokonaisenergiankulutus prosessin aikana,  $P_{\text{puhallin}}$  on puhaltimen mitattu sähköteho ja  $t_{\text{prosessi}}$  on prosessin kesto aika tunteina.

Vanhan järjestelmän puhaltimen kokonaisenergiankulutus prosessin aikana on

$$W_{\text{puhallin, vanha}} = 0,138 \text{ kW} * 3,5 \text{ h} = 0,483 \text{ kWh}$$

Uuden järjestelmän puhaltimen kokonaisenergiankulutus prosessin aikana on

$$W_{\text{puhallin, uusi}} = 0,149 \text{ kW} * 3,5 \text{ h} = 0,522 \text{ kWh}$$

Prosentuaalinen puhaltimen lisääntynyt energiankulutus prosessin aikana voidaan laskea kaavalla 4.

$$\left(1 - \frac{W_{\text{puhallin, vanha}}}{W_{\text{puhallin, uusi}}}\right) * 100 \quad (\text{kaava 4})$$

$$\left(1 - \frac{0,483 \text{ kWh}}{0,522 \text{ kWh}}\right) * 100 = 7,5\%$$

Lämpötilaseurantaa esittävästä kuvasta 29 voidaan nähdä, kuinka lämmöntalteenotolla varustetussa järjestelmässä huonetermostaatti alkaa ohjata lämmitintä melko nopeasti prosessin käynnistymisen jälkeen. Vanhassa järjestelmässä taas lämmitin toimii täydellä teholla melko kauan ennen kuin termostaatti alkaa säätämään lämmitystehoa. Uudessa järjestelmässä saatava energiansäästö saadaan määritettyä kaavan 5 avulla.

$$Q_{\text{säästö}} = (Q_{\text{vanha,kok}} - W_{\text{puhallin,vanha}}) - (Q_{\text{uusi,kok}} - W_{\text{puhallin,uusi}}) \quad (\text{kaava 5})$$

jossa  $Q_{\text{säästö}}$  on uuden järjestelmän säästämä lämmitysenergia,  $Q_{\text{uusi,kok}}$  on uuden järjestelmän kuluttama kokonaisenergia prosessin aikana,  $Q_{\text{vanha,kok}}$  on vanhan prosessin kuluttama kokonaisenergia prosessin aikana.

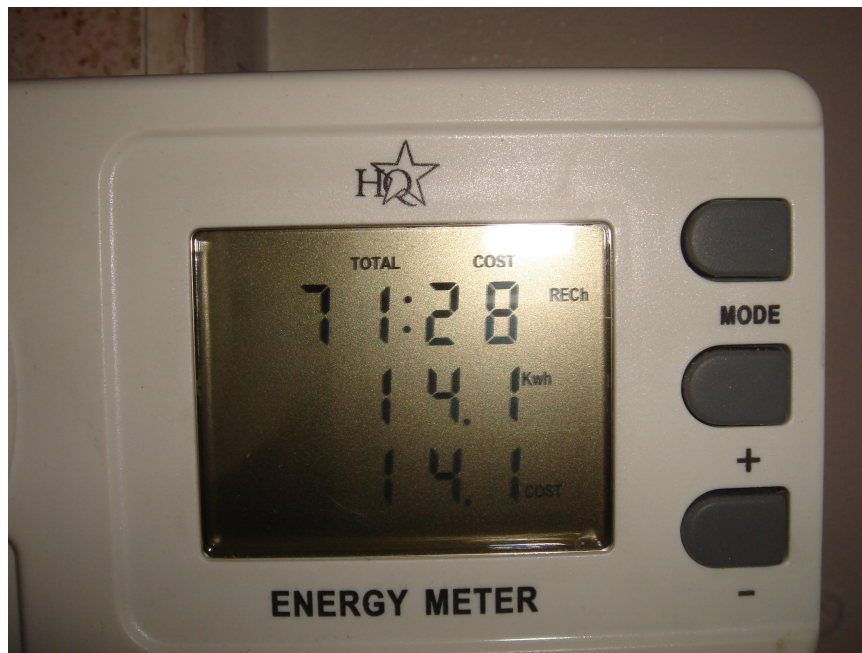
$$Q_{\text{säästö}} = (9,5kWh - 0,483kWh) - (7,5kWh - 0,522kWh) = 2,04kWh$$

Prosentuaalinen lämmitysenergian säästö prosessin aikana voidaan laskea kaavalla 6.

$$\left(1 - \frac{(Q_{\text{uusi,kok}} - W_{\text{puhallin,uusi}})}{(Q_{\text{vanha,kok}} - W_{\text{puhallin,vanha}})}\right) * 100 \quad (\text{kaava 6})$$

$$\left(1 - \frac{(7,5kWh - 0,522kWh)}{(9,5kWh - 0,483kWh)}\right) * 100 = 23 \%$$





Kuva 30. Energiamittarin näyttö.

#### 7.6 Pyykin kuivuminen

Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää pyykin kuivumista molemmissa järjestelmissä. Kuivausprosessin tehon tarkastelu on tärkeää, sillä jos uudessa järjestelmässä kuivaus-teho heikkenee, prosessi pitkittyy ja saatava säästö pienenee. Kuivumista vertailtiin kahdella tavalla, punnitsemalla pyykin luovuttama vesimäärä, ja mittaamalla kuivausti-lojen suhteellista kosteutta kuivausprosessin aikana. Pyykinä demonstrointitiloissa käytettiin identtisiä pyyhkeitä (kuva 31), jotka saatiin lahjoituksena mittauksia varten.



Kuva 31. Pyykit ripustettuna kuivaustelineeseen.

Pyykin kuivausprosessin aikana luovuttama vesimäärä saatiin punnitsemalla pyykin paino ennen ja jälkeen kuivausprosessia (kuva 32). Pyykkiä kuivattiin molemmissa tiloissa samanaikaisesti 3,5 h:n ajan. Taulukossa 8 on esitetty pyykin paino mittausten eri vaiheissa.

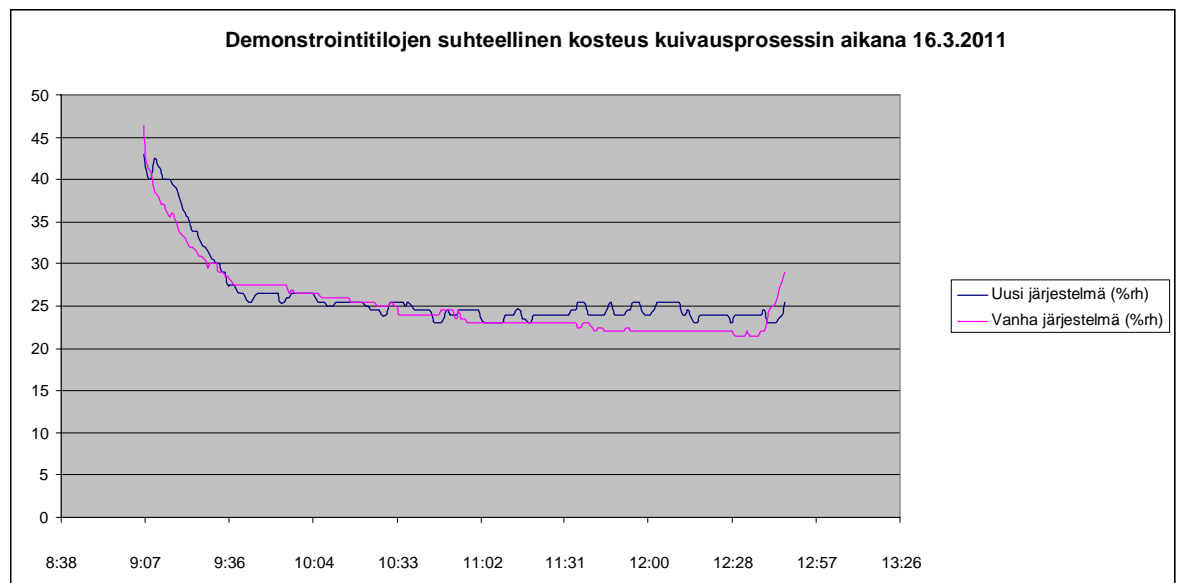
Taulukko 8. Pyykin paino kuivausprosessin eri vaiheissa.

Pyykin paino prosessin eri vaiheissa		
	Uusi järjestelmä	Vanha Järjestelmä
Paino kuivana (kg)	1,74	1,76
Paino kosteana (kg)	4,68	4,7
Paino kuivausprosessin jälkeen (kg)	2,84	2,9

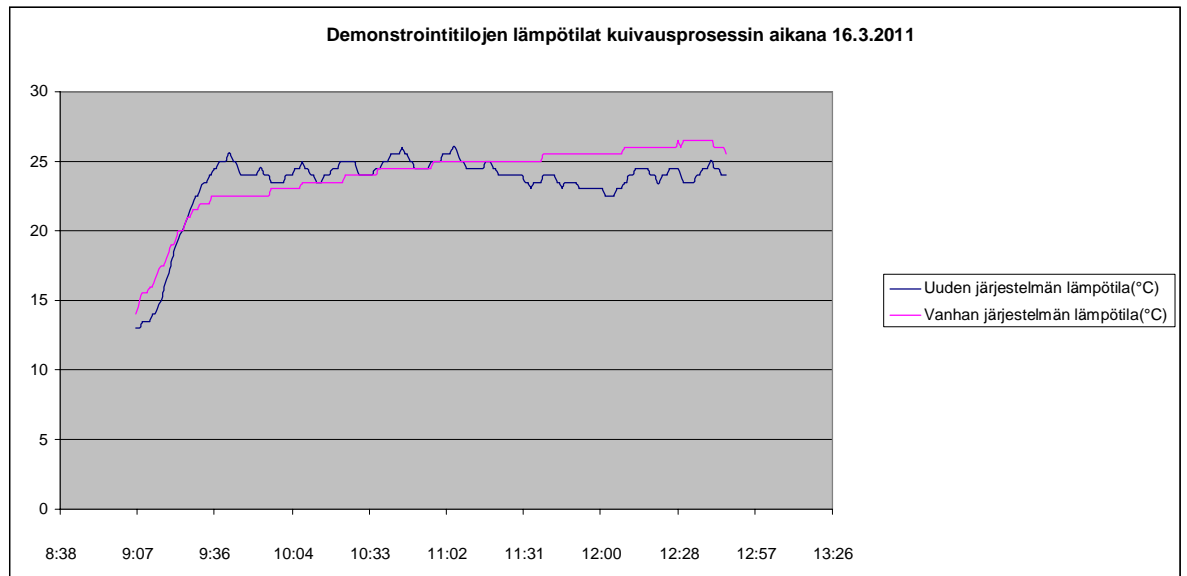


Kuva 32. Pyykin punnitseminen.

Suhteellista kosteutta ja kuivaushuoneen lämpötilaa tarkkailtiin prosessin aikana dataloggerien avulla. Kuivaushuoneiden suhteellisen kosteuden kehitys on esitetty kuvassa 33 ja lämpötila kuvassa 34.



Kuva 33. Suhteellinen kosteus prosessin aikana.



Kuva 34. Lämpötila prosessin aikana.

## 8 Toimintakokeiden tulokset

Toimintakokeiden tarkoituksena oli selvittää, onko lämmöntalteenoton hyödyntäminen mahdollista ja kannattaako tuotetta jatkokehittää valmiiksi myyntiartikkeliksi. Toimintakokeista saatiin pääasiassa positiivisia tuloksia, joista tärkeimpiä ovat,

- pyykinkuivausteho ei heikkene
- kehitetty laite ottaa lämpöä talteen
- kuivausprosessiin käytetty energia pienenee.

### 8.1 Lämmöntalteenoton hyötysuhde ja teho

Mittauksista laskettu poistoilmahyötysuhde 0,22 ei vastaa normaalin levylämmönsiirtimen hyötysuhdetta. Koska kyseisen laitteen poisto- ja tuloilmavirtojen suhde on noin 3:1, on hyvä tarkastella myös lämmönsiirtotehoa. Poistoilmasta saatu lämmönsiirtoteho voidaan laskea kaavan 7 avulla.

$$\phi = q_{vi} \rho_i c_{pi} (t_{p1} - t_{p2})$$

(kaava 7)

jossa  $\phi$  on mittaushetkellä saatu teho,  $q_{vi}$  on mitattu poistoilmavirta,  $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti  $1 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $\rho_i$  on ilman tiheys  $1,2 \frac{kg}{m^3}$ ,  $t_{p2}$  on jäteilman lämpötila ja  $t_{p1}$  on poistoilman lämpötila.

Kun mittauksista saadut lämpötilaero ja poistoilmavirta sijoitetaan kaavaan, saadaan laskettua keskimääräinen lämpöteho prosessin aikana.

$$\phi = 0,347 \frac{m^3}{s} 1,2 \frac{kg}{m^3} 1 \frac{kJ}{kgK} (40^\circ C - 34,5^\circ C) = 2,29 kW$$

Tulosten tarkastelun kannalta on myös hyvä vertailla tuloilman lämpötehoa. Tuloilman lämpöteho saadaan laskettua kaavan 8 avulla.

$$\phi = q_{vi} \rho_i c_{ii} (t_{u2} - t_{u1}) \quad (\text{kaava 8})$$

jossa  $\phi$  on mittaushetkellä saatu teho,  $q_{vi}$  on mitattu tuloilmavirta,  $c_{ii}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti  $1 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $\rho_i$  on ilman tiheys  $1,2 \frac{kg}{m^3}$ ,  $t_{u1}$  on ulkoilman lämpötila ja  $t_{u2}$  on tuloilman lämpötila.

Kun mittauksista saadut lämpötilaero ja poistoilmavirta sijoitetaan kaavaan, saadaan laskettua keskimääräinen lämpöteho prosessin aikana.

$$\phi = 0,108 \frac{m^3}{s} 1,2 \frac{kg}{m^3} 1 \frac{kJ}{kgK} (36^\circ C - 15^\circ C) = 2,72 kW$$

Tuloilmavirtaan siirtynyt lämpöteho on suurempi kuin poistoilmavirrasta saatu. Tämä selittyy mittausvirheillä, sekoitusyksikössä ja lämmöntalteenottolaitteen rungossa tapahtuvalla lämmönsiirtymisellä sekä mahdollisilla vuotoilla poistoilmasta tuloilmaan. Ulkoilmaan siirtyy lämpötehoa jo ennen lämmönsiirintä. Tämä voidaan todeta jo mitaustuloksista, jossa tuloilma ennen lämmönsiirintä on  $+15^\circ C$ .

## 8.2 Kuivausprosessissa käytetty energia ja energiansäästö

Toimintakokeissa havaittiin, että kehitetty laitteisto säästää energiaa. Mittauksissa todettiin lämmöntalteenotolla varustetun laitteiston kuluttavan noin 20 % vähemmän energiaa. Mittaukset suoritettiin kuitenkin ulkolämpötilan ollessa hieman yli nollan yläpuolella. Kuten aikaisemmin todettiin, lämmönsiirtimen teho kasvaa lämpötilaeron kasvaessa. (8)

Tästä johtuen suhteellinen energiankulutus siis pienenee ulkolämpötilan laskiessa. Mitä matalampi ulkolämpötila, sitä enemmän vanha järjestelmä kuluttaa. Tämä todettiin myös toimintakokeiden suoritusten aikana, sillä toimintakokeiden alussa ulkolämpötila pysytteli pitkään alhaisena.

Säästettyä energiaa voidaan tarkastella myös vuosittaisena kokonaissäästönä. Tarkastelussa käytetään apuna luvussa 2.2 mittattuja ilmavirtoja ja käyttöaikoja Koivikkotie 5:n osalta.

Kuivaushuoneen vuotuista käyttömäärää voidaan arvioida esitetyn taulukon 2 avulla. Taulukosta käy ilmi yhden kuukauden pesulan käyttötuntimäärä, jota voidaan käyttää koko vuoden käyttöasteen arviointiin. Kaavan 9 avulla saadaan laskettua vuosittainen käyttötuntimäärä.

$$T_a = T_k * 12 \frac{kk}{a} \quad (\text{kaava 9})$$

jossa  $T_a$  on vuosittainen käyttötuntimäärä ja  $T_k$  on kuukausittainen käyttötuntimäärä.

$$T_a = 69h * 12 \frac{kk}{a} = 828h/a$$

Kuivaushuoneen vuosittaista energiankulutusta voidaan nyt arvioida vuoden keskilämpötilan ja tunnettujen käyttötuntimäärien osalta. Tämänhetkinen tuloilman lämmittämiseen kuluva energia Koivikkotie 5:ssä saadaan laskettua kaavasta 10.

$$Q_v = q_{vi} \rho_i c_{ti} (t_{sisä} - t_{vuod.kesk}) * 828h/a \quad (\text{kaava 10})$$

jossa  $Q_v$  on vuotuinen energiankulutus,  $q_{vi}$  on mitattu tuloilmavirta (taulukko 1),  $c_{ti}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti  $1 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $\rho_i$  on ilman tiheys  $1,2 \frac{kg}{m^3}$ ,  $t_{sisä}$  on sisäilman lämpötila kuivausprosessissa (+25°C) ja  $t_{vuod.kesk}$  on vuoden keskilämpötila (+5 °C) säävyöhykkeellä I. (13)

$$Q_v = 0,057 \frac{m^3}{s} 1,2 \frac{kg}{m^3} 1 \frac{kJ}{kgK} (25^\circ C - 5^\circ C) * 828h/a = 1133kWh/a$$

Luvussa 7.5 laskettua prosentuaalista energiansäästöä voidaan käyttää laskettaessa Koivikkotie 5:ssä saatavaa energiansäästöä. Vuotuinen energiansäästö saadaan laskettua kaavalla 11.

$$Q_{säästö} = Q_v * 23\% \quad (\text{kaava11})$$

$$Q_{säästö} = 1133kWh/a * 23\% = 261kWh/a$$

### 8.3 Pyykin kuivausteho

Toimintakokeissa havaittiin pyykinkuivaustehon pysyvän ennallaan tai jopa hieman parantuvan. Vaikka tulo- ja poistoilmavirrat ovat pienemmät kuin vanhalla järjestelmällä, ei kuivausteho heikkene. Tähän vaikuttavat tasaisempi lämpötila sekä prosessissa nopeammin saavutettu haluttu lämpötila. Pyykin kuivumisajan pysyminen ennallaan pitää prosessin samanpituisena, joten pitemmästä kuivausajasta syntyvää lisääntyntä energiankulutusta ei synny.

## 9 Kustannukset

Työn kustannukset jakaantuvat prototyypin valmistuskustannuksiin ja toimintakokeiden kustannuksiin.

Prototyypin kokonaiskustannuksia arvioidaan vain materiaalien osalta. Valmiin laitteen valmistukseen liittyviä kustannuksia on prototyyppiasteella vaikea arvioida, mutta jo olemassaolevista tiedoista voidaan esittää hieman arvioita valmiin laitteen mahdollisesta hankintahinnasta.

### 9.1 Prototyypin kustannukset

Prototyypin materiaalien kustannukset on esitetty taulukossa 9. Materiaalikustannusten pohjalta voidaan tehdä alustavia arvioita tulevan laitteen materiaalikustannuksista, sillä perusrakenne on jo tiedossa.

Taulukko 9. Prototyypin materiaalikustannukset

<b>Materiaali</b>	<b>Määrä</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Hinta / yksikkö</b>	<b>Kokonaishinta €</b>
Teräslevy	1,1	$m^2$	18,9	20,79
Säleikkö	1	kpl	12,9	12,9
Liitoskaulus	2	kpl	4,9	9,8
Lämmönsiirrin	1	kpl	121	121
Z-profiili	1,2	m	7,9	9,48
Eriste	1	$m^2$	4,6	4,6
Pientarvike	1	kpl	20	20
			<b>Yhteensä</b>	<b>198,57</b>

### 9.2 Toimintakokeiden kustannukset

Työkustannuksia syntyi demonstrointitilan rakennuksesta ja käytöstä. Käytöstä aiheutuvia kustannuksia olivat pääasiassa energiakustannukset ja tilan vuokratkustannukset. Demonstrointitilojen rakennuksesta aiheutui työkustannuksia ja materiaalikustannuksia.

## 10 Yhteenveto



Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa prototyyppi kuivaushuonejärjestelmään liitettävästä lämmöntalteenottolaitteesta. Laitteen toimintaa tutkittiin rinnakkain vanhan olemassaolevan järjestelmän kanssa.

Työssä suunniteltu prototyyppi todettiin toimivaksi, ja se täyttää suunnittelussa esitetyt kriteerit kokonsa, huollettavuutensa ja yksinkertaisen rakenteensa osalta. Prototyyppi ottaa poistoilmasta lämpöä talteen, ja säästää kokonaisenergiaa prosessin aikana noin 21 prosenttia, ja pyykin kuivumisaika ei muutu vanhaan järjestelmään verrattuna.

Tulevaisuudessa voidaan laitteen jatkokehitystä ryhtyä suunnittelemaan. Valmistuskustannusten tarkka arviointi ja vertailu olemassa olevaan järjestelmään on kuitenkin suoritettava ennen kehitystyön jatkamista. Alustavasti arvioituna laitteen valmistuskustannukset kuitenkin pysyvät kohtuullisina, eikä järjestelmän kokonaishinta nouse merkittävästi.

Alustavana suunnitelmana on teettää valmiin tuotteen valmistukseen tarvittavat mittakuvat, materiaalien tyypit ja materiaaliluettelot konesuunnittelijalla. Tämän jälkeen kilpailutetaan peltisepäniikkeitä laitteen valmistukseen liittyen. Suunnitelmana olisi tehdä pieni sarja valmiita laitteita, joita voitaisiin myydä ensin referenssikohteisiin. Valmiin laitteen toimintaa on vielä syytä tarkkailla referenssikohteissa esimerkiksi huoltoon ja materiaalien kestävyteen liittyen.

Jatkokehitystä varten koneeseen lämmöntalteenottolaitteeseen tulee suunnitella tulo- ja poistoilman sulkupellit. Joissakin kuivaushuoneissa yleispoistot aiheuttavat korvausilman kulkeutumisen lämmöntalteenottolaitteen kautta prosessin ollessa pysähdyksissä. Tämä aiheuttaa ylimääräistä energiankulutusta.

Lähteet

- 1 Kuivaushuone. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/ Kuivaushuone](http://fi.wikipedia.org/wiki/Kuivaushuone)>. Luettu 22.3.2011.
- 2 Pyykinkuivaushuone. Verkkodokumentti. Talopesulat Oy. <<http://www.talpet.fi/index.asp?page=73&menu1=3>>. Luettu 3.3.2011.
- 3 RT-kortti RT X75-37420. Rakennustieto Oy, 2007.
- 4 Tekniset tiedot. Verkkodokumentti. Liljengrens AB. <[http://www.liljengrens.se/site/se/pages/technical-data\\_9](http://www.liljengrens.se/site/se/pages/technical-data_9)>. Luettu 8.3.2011.
- 5 Tuotetiedot. Verkkodokumentti. Liljengrens AB. <<http://www.liljengrens.se/site/se/pages/air-exchangers>>. Luettu 14.3.2011.
- 6 Velco-venttiilin toiminta. Verkkodokumentti. Terveysilma Oy. <[http://www.terveysilma.fi/index.php?browser\\_id=29](http://www.terveysilma.fi/index.php?browser_id=29)>. Luettu 24.4.2011.
- 7 Tekniset tiedot. Verkkodokumentti. Liljengrens AB. <[http://www.liljengrens.se/site/se/pages/technical-data\\_8](http://www.liljengrens.se/site/se/pages/technical-data_8)>. Luettu 10.3.2011.
- 8 Halminen E, Kuvaja O, Köttö R. Ilmastointitekniikka. Helsinki, Rakennalan Kustantajat RAK, Kustantajat Sarmala Oy, 1994.
- 9 Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski, SOLVER palvelut Oy, 2008.
- 10 TSI Operation and Service Manual. St. Paul USA, TSI Incorporated, 1996.
- 11 EL-USB-2 Datasheet. Salisbury UK, Lascar Electronics, 2010.
- 12 Tutkimusselostus NRO VTT-S-00561-07. VTT, 2006.
- 13 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmittehtarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö, 2007.

## Mittaussuunnitelma

Weck-Term-järjestelmän parannus

14.2.2011

Tuomas Hovi

Tässä suunnitelmassa esitetään järjestelmän parantamiseen liittyvien toimintakokeiden suorittamisen aikana tehtävät mittaukset. Mitattauksia varten on rakennettu kaksi testi-tilaa, joista toiseen on asennettu käytössä oleva kuivaushuonejärjestelmä, ja toiseen tutkittava järjestelmä lämmöntalteenotolla. Tilojen lämmönkehittimän käytetään sähköisiä 3 kW:n tehoisia lämpöpuhaltimia.

Mittaukset:

- tuloilman lämpötilahyötysuhde
- poistoilman lämpötilahyötysuhde
- lämpötilan kehittyminen tilojen välillä maksimilämmitysteholla
- pyykin kuivauksen tutkiminen tilojen välillä
- ilmavirrat molemmista koetiloista
- lämmitysenergian kulutus kuivausprosessin aikana

## Tuloilman lämpötilahyötysuhde

Tässä mittauksessa mitataan tutkittavan lämmöntalteenottolaitteen prototyypin tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Lämmöntalteenottolaitteen sisälle asetetaan 3 kpl dataloggereita. Mitattavat suureet ovat,

- tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen
- poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa
- ulkoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa.

Dataloggerit sijoitetaan niin, että ne eivät ole suorassa kosketuksessa lämmönsiirtimen kanssa. Kuivaushuonetta lämmitetään täydellä 3 kW:n lämmitysteholla.

Mittauksen kesto 3 h.

## Poistoilman lämpötilahyötysuhde

Tässä mittauksessa mitataan tutkittavan lämmöntalteenottolaitteen prototyypin poistoilman lämpötilahyötysuhdetta. Lämmöntalteenottolaitteen sisälle asetetaan 3 kpl dataloggereita. Mitattavat suureet ovat,

- ulkoilman lämpötila
- poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa
- poistoilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen

Dataloggerit sijoitetaan niin, että ne eivät ole suorassa kosketuksessa lämmönsiirtimen kanssa. Kuivaushuonetta lämmitetään täydellä 3 kW lämmitysteholla.

Mittauksen kesto 3 h.

## Lämpötilan kehittyminen tilojen välillä maksimilämmitysteholla

Tässä mittauksessa mitataan huonelämpötiloja, jotka saavutetaan vertailtavissa kuivaushuoneissa. Molempiin tiloihin asetetaan dataloggeri, jolla mitataan kuivaushuoneen lämpötilaa. Lämmityspuhallin asetetaan molemmissa tiloissa täydelle 3 kW:n lämmitysteholle. Mitatuista tuloksista nähdään huonelämpötilan kehitys molemmissa tiloissa. Mittaus suoritetaan samanaikaisesti molemmissa tiloissa, jotta ulkoilman lämpötilavaihtelut saadaan minimoitua.

Mittauksen kesto 2 h.

## Pyykin kuivauksen tutkiminen tilojen välillä

Tässä mittauksessa asetetaan molempiin tiloihin sama määrä kostaa pyykkiä. Pyykki punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen. Molempiin tiloihin sijoitetaan datalogger, joka tarkkailee huoneilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Tässä mittauksessa voidaan tutkia kuivaushuoneen kuivaustehoa molempien järjestelmien välillä.

Mittauksen kesto 3 h.

## Ilmavirrat molemmista koetiloista

Tässä mittauksessa mitataan tarvittavat tulo- ja poistoilmavirrat molemmista koetiloista. Mittauksessa käytetään TSI:n valmistamaa paine-eromittaria ja torvianemometriä. Mitattuja suureita voidaan käyttää myöhemmin kaikkiin laskelmiin. Nämä suureet pysyvät aina vakioina.

## Lämmitysenergian kulutus kuivausprosessin aikana

Tässä mittauksessa mitataan lämmitysenergian kulutusta kuivausprosessin aikana. Kun lämpötilojen kehittyminen tilojen välillä on mitattu, voidaan tarkastella saavutettuja lämpötiloja. Tämän avulla voidaan lämmityspuhaltimien termostaatit asetella niin, että molemmissa tiloissa saavutetaan sama lämpötila. Lämmityspuhaltimien energiankulutusta tarkkaillaan mittausjakson aikana energiankulutusmittareilla.

Mittauksen kesto 2 h.

Weck-Term esite

**Weckström  
Yhtiöt Oy** LVISA / Rakennustyöt

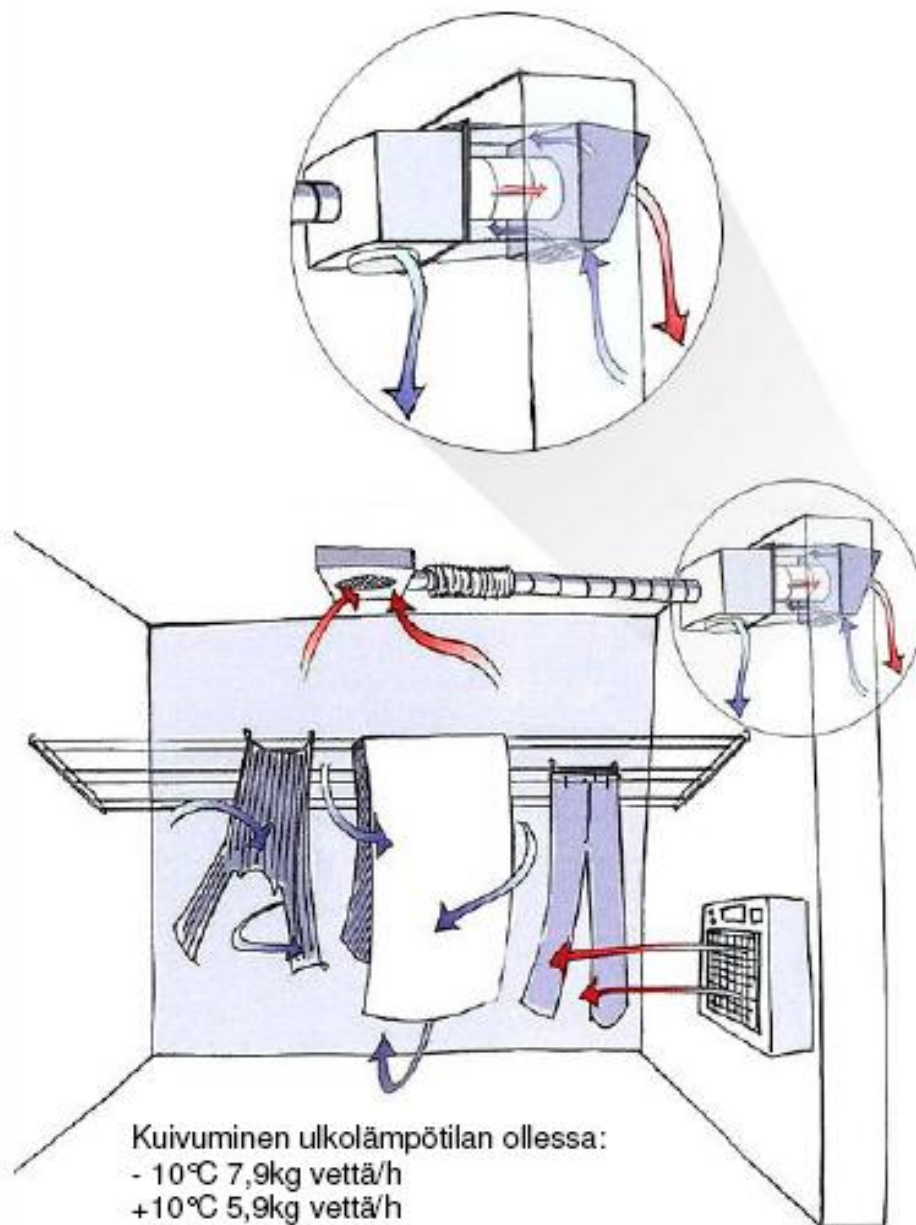
## WECK-TERM KUIVAUSHUONEET



Kalkkimäentie 2  
03100 Nummela  
GSM-040 771 8374  
FAX-09-222 2688  
[www.w-yhtiot.fi](http://www.w-yhtiot.fi)

# Weckström Yhtiöt Oy

LVISA / Rakennustyöt



Kuivuminen ulkolämpötilan ollessa:  
- 10°C 7,9kg vettä/h  
+10°C 5,9kg vettä/h  
+20°C 3,7kg vettä/h



## JÄRJESTELMÄN TOIMINTA

- ❖ Puhaltimen ohjaus on toteutettu sisäisellä ajastimella.
- ❖ Puhallin pysähtyy automaattisesti tilan kuivuttua.
- ❖ Lämpövastukset lämmittävät puhallusilman enintään 35 asteeseen.
- ❖ Tilan lämpötilan noustessa noin 25 asteeseen, käynnistyy kosteudenpoistopuhallin ja poistaa kostean ilman tilasta.
- ❖ Korvausilma tilaan saadaan ilmanohjausyksikköön asennetun Velcoventtiilin kautta.

## ILMANOHJAUSYKSIKKÖ

- ❖ Koostuu sisä- ja ulko-osasta.
- ❖ Sisäosassa on itsesäätyvä korvausilmaventtiili.
- ❖ Kosteaa ilmaa poistuu sisäkanavaa pitkin ja raikas ilma tilaan saadaan sisäosan termostaattisesti ohjatun korvausilmaventtiilin kautta.

## PYYKINRIPUSTUSJÄRJESTELMÄ

- ❖ Muovipäällysteiset kaksoisvaijerinarut kiinnitetään alumiiniprofiiliin ja pingotetaan tiukaksi.
- ❖ Kaksoisvaijerinarujen ansiosta pyykki kuivuvat ilmastavasti ja nopeasti.

KUIVAUSPUHALLIN



KOSTEUDENPOISTOPUHALLIN

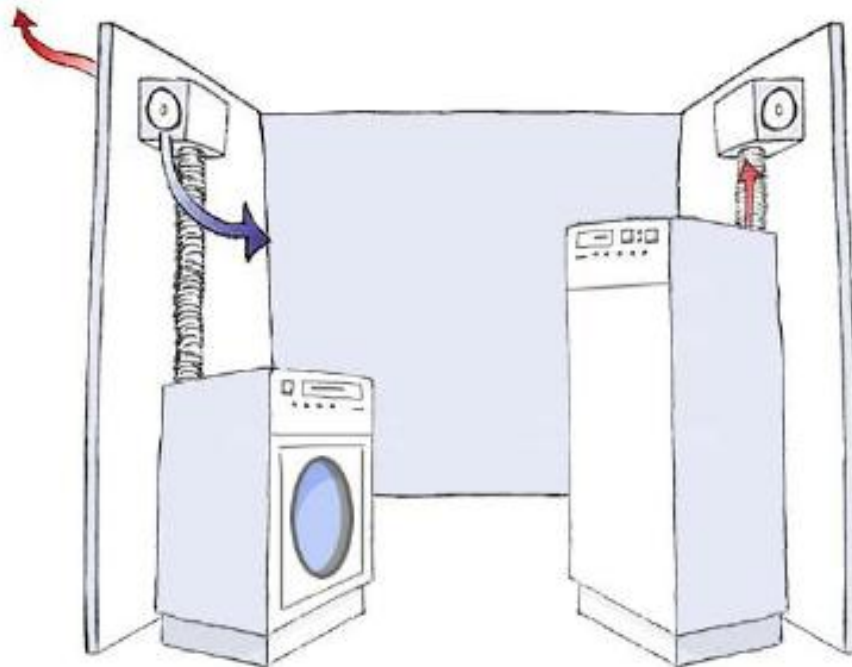


ILMANOHJAUSYKSIKKÖ



PYYKINRIPUSTUSJÄRJESTELMÄ





Kuivausrumpu

Kuivauskaappi

**Weckström  
Yhtiöt Oy** LVISA / Rakennustyöt

