
Tilaja	Suomen Terveysilma Oy Peter Schlauf Luutnantinpolku 7 A 00410 Helsinki	Taajari Oy Satu Rantilä Mäkelänrinteentie 26A 01830 Lepsämä
Tilaus	email 17.11.2006 / Peter Schlauf	
Yhteyshenkilö VTT:ssä	Erikoistutkija Keijo Kovanen PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4727 GSM 050 323 4789 Faksi 020 722 7027 Sähköposti: keijo.kovanen@vtt.fi	

Tehtävä **Velco-pyykinkuivausjärjestelmän toimivuus**

Taustatiedot Tehtävänä oli selvittää Velco-pyykinkuivausjärjestelmän (VELCO HT400) toimivuus kerrostalon pyykinkuivaushuoneessa. Lisäksi samassa tilassa mitattiin myös noin 20 vuotta käytössä olleen Peko-pyykinkuivausjärjestelmän (Junit TT4) toimivuus.

Tutkimuksen toteutus Kerrostalossa osoitteessa Sitratie 3 B, Helsinki, ylimmän kerroksen pyykinkuivaustilassa mitattiin tilassa noin 20 vuotta olleen pyykinkuivausjärjestelmän toimivuus. Sen jälkeen järjestelmä purettiin ja samaan tilaan rakennettiin tilalle uusi Velco-pyykinkuivausjärjestelmä ja mittaukset uusittiin.

Pyykinkuivaushuoneessa on koneellinen poistoilmanvaihto. Takaseinällä on kaksi poistoilmaventtiiliä ja ulkoseinällä yksi ulkoilmaventtiili. Ilmanvaihto toimi mittausten ajan talon normaalilla aikaohjauksella. Poistoilmanvaihtokone on toiminnassa täydellä teholla joka päivä klo 6.00 - 8.00, 10.00 - 13.00 ja 15.00 - 18.00 (huoltomiehen ilmoittamat ajat), muina aikoina ilmanvaihto on osateholla. Mittauksen aikana havaittiin, että kyseiset käyntiajat eivät täysin pitäneet paikkaansa. Kuivaushuoneen seinällä oleva vesikiertoinen lämmityspatteri pidettiin kiinni molemmissa mittauksissa.

Testipyykki, joka sisälsi lakanoita, pyyhkeitä, paitoja ja housuja, pestiin taloyhtiön koneella, kuva 1, pesuohjelmalla 40° (normaalipesu, pesun kesto 39 minuuttia). Molemmissa pyykinkuivausjärjestelmissä pyykki pestiin samalla tavoin ja pyykin laatu ja määrä olivat samoja. Lisäksi pyykki punnittiin aina ennen mittauksia, jolla varmistettiin, että lähtötilanne kuivaukselle oli sama kummassakin järjestelmässä.



Kuva 1. Testipyykki pestiin taloyhtiön koneella.

Pesun jälkeen pyykki ripustettiin kuivumaan naruille tasaisesti ja samalla lailla kummassakin järjestelmässä, kuva 2.



Kuva 2. Testipyykin kuivuminen käynnissä, taka-alalla Peko Junit-pyykinkuivain.

Kummassakin tapauksessa mitattiin järjestelmien kuluttamat sähkötehot, sisä- ja ulkolämpötilat sekä suhteelliset kosteudet. Lisäksi mitattiin puhallusilman lämpötilat sekä Velco-järjestelmässä kuivaimen meno- ja paluuveden lämpötila ja veden virtaus.

Peko Junitin mittaukset suoritettiin 16.11.2006, jolloin ulkolämpötila oli noin +2 °C ja suhteellinen kosteus 80 - 90 %. Velcon mittaukset suoritettiin 24.11.2006, jolloin ulkolämpötila oli noin +8 °C ja suhteellinen kosteus noin 90 %.

Pyykinkuivausjärjestelmien kuvaus

Peko Junit-pyykinkuivausjärjestelmä

Vanha järjestelmä koostui kuivaustilan lattialla olevasta Peko Junit-sähkökuivaimesta (tyyppi TT4), kuva 3, jonka kuivaustehoa tehostaa katossa oleva tuuletin (malli Esteri KP). Kuivaimen valmistajana on ollut Jäähdytyskone Oy.



Kuva 3. Pyykinkuivain Peko Junit TT4.

Huoltomiehen mukaan pyykinkuivain on ollut käytössä noin 20 vuotta. Laitetta on huollettu säännöllisesti, viimeisen kerran samana vuonna kuin tutkimus tehtiin.

Kuivaustilan seinässä olevasta säätimestä voidaan kuivain säätää aikakytkimellä käyntiin kerrallaan enintään 4 tunniksi. Pyykkinarut olivat yksinaruisia.

Velco-pyykinkuivausjärjestelmä

Uusi järjestelmä (VELCO HT400) koostuu kuivaustilan lattialla olevasta vesi-kiertoisesta Velco-kuivaimesta, kuva 4, jossa on sähköpuhallin, kierto-vesipumppu sekä katossa oleva poistoilmahuuhallin VELCO FF-12, kuva 5.

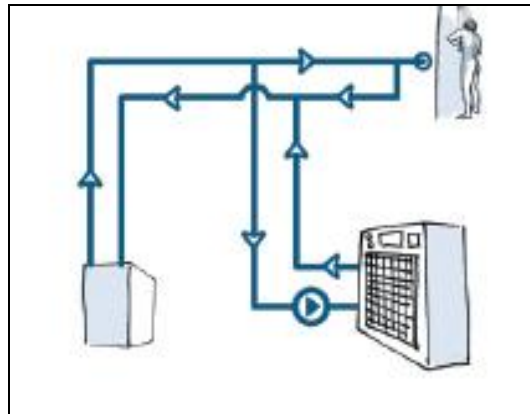


Kuva 4. Velco-pyykinkuivain.



Kuva 5. Velco-poistoilmapuhallin ja ulkoilmaventtiili sekä pyykin kuivausrakot kaksoisnarutuksella.

Kuivaimen tuleva vesiputki on haaroitettu lämpimän käyttöveden putkesta. Haaroitusputkessa on kiertovesipumppu, jolla säädelään vesivirtaamaa putkessa, kuva 6.



Kuva 6. Vedenkierron periaate. Kuva: www.liljengrens.se

Poistoilmapuhallin poistaa kuivaustilan kostean ilman ulos. Ulospuhallusyksikön alaosassa on ulkoilman lämpötilan mukaan toimiva termostaatti, joka säätelee tuloilma-aukon suuruutta. Velco-kuivaimen etupaneelista kytketään kuivain päälle. Puhallin sammuu automaattisesti, kun kuivaustilan ilman suhteellinen kosteus laskee 30 %:iin. Järjestelmään kuuluu myös kuvissa 4 ja 5 näkyvä pyykinripustusjärjestelmä, jossa pyykin kuivumista tehostetaan kaksoisnarutuksella. Narujen väli on noin 5-6 cm.

Mittaukset

Pyykin kuivumista tarkkailtiin punnitsemalla testipyykin paino ennen ja jälkeen pyykinpesun. Punnitus tehtiin myös pyykin kuivumisen jälkeen. Vastavat mittaukset tehtiin molemmille pyykinkuivausjärjestelmille.

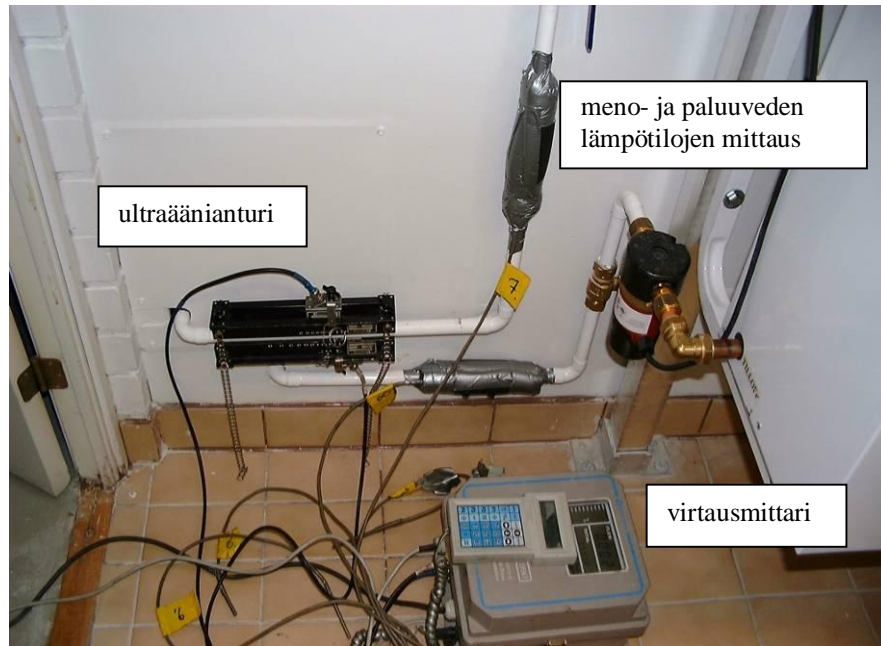
Ilmanvaihtomittaukset käsittivät tulo- ja poistoilmavirtojen mittaamisen. Ilmavirrat mitattiin anemometritorvella AM300 käyttäen Alnor GGA 26-mittaria. Mittausepävarmuuden arvioidaan olevan tuloilman mittauksessa $\pm 15\%$ ja poistoilman mittauksessa $\pm 8\%$.

Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin loggereilla TinyTalk ja PT-100, joiden mittausepävarmuuden arvioidaan olevan $\pm 0,3\text{ °C}$ ja $\pm 6\%$ -yksikköä, kuva 7.



Kuva 7. Lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden mittaaminen.

Energiamittaukset käsittivät vesikiertoisen Velco-pyykinkuivaimen lämpötehon määrittämisen vesivirran sekä meno- ja paluuvesien lämpötilojen avulla, kuva 8.



Kuva 8. Lämpötehon määrittäminen Velco-pyykinkuivaimessa.

Mitattujen suureiden avulla voitiin laskea lämpöteho, yhtälö 1.

$$\phi = c_p q_m (t_m - t_p), \quad (1)$$

jossa	ϕ on	lämpöteho [W]
	c_p	veden ominaislämpökapasiteetti = 4186 J/kg K
	q_m	veden massavirta [kg/s]
	t_m	menoveden lämpötila [°C]
	t_p	paluuv veden lämpötila [°C].

Lisäksi mitattiin pyykinkuivausjärjestelmien sähkötehoa. Peko Junit-järjestelmässä se sisälsi kuivaimen ja kattotuulettimen tehomittauksen, kuva 9. Velco-järjestelmässä se sisälsi kuivaimen puhaltimen, kiertovesipumpun ja katossa olevan poistoilmahuuhtimen tehomittauksen.



Kuva 9. Sähköteho mitattiin sähkökeskuksesta.

Sähkötehon mittausepävarmuuden arvioidaan olevan ± 6 W ja vesivirran $\pm 0,01$ dm³/s.

Kaikki edellä mainitut mittausepävarmuudet on ilmaistu 95 %:n luottamustasolla.

Tulokset

Havainnot pyykin kuivumisesta

Vanhassa pyykin kuivausjärjestelmässä pyykkiä kuivatettiin säätöyksiköstä kerrallaan asetettava maksimiaika eli 4 h. Kuivauksen loputtua pyykki olivat muuten liki kuivia, mutta useiden pyykkinarujen alta pyykki tuntuivat jonkin verran kosteilta.

Uudessa Velco-pyykin kuivausjärjestelmässä pyykkiä kuivatettiin 3,5 h. Kuivauksen loputtua pyykki olivat muuten kuivia, mutta yhden samettifarkut olivat jonkin verran kosteita.

Taulukkoon 1 on koottu tiedot pyykkien kuivumisesta.

Taulukko 1. Pyykin punnitukset. Molemmissa tapauksissa oli sama pyykki.

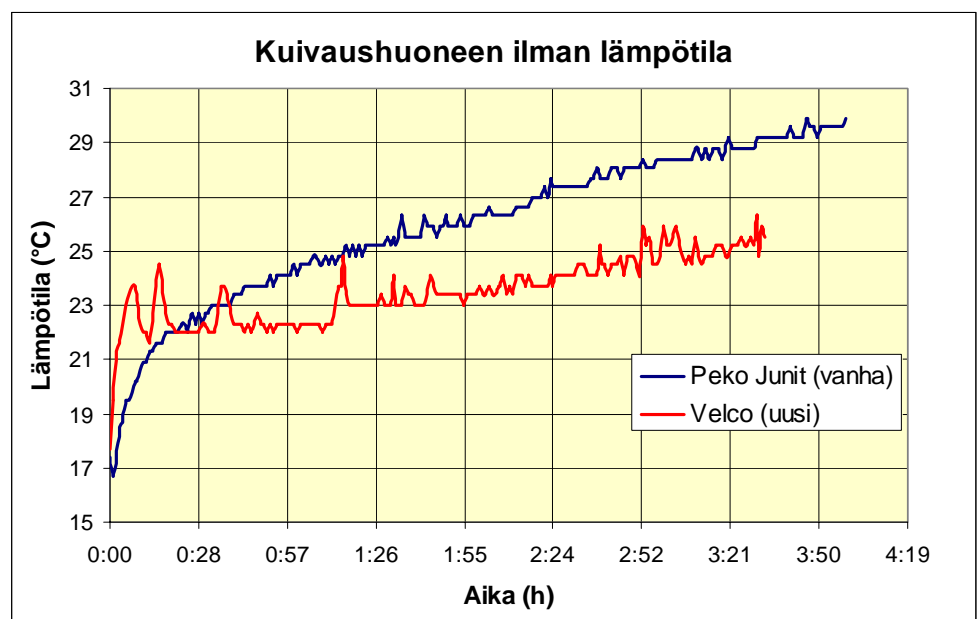
Pyykin kuivausjärjestelmä	Pyykin punnitus	Paino (kg)
Peko Junit (vanha)	Massa ennen pesua	7,8
	Massa pesun jälkeen	12,8
	Massa 4 h kuivauksen jälkeen	7,7
Velco (uusi)	Massa ennen pesua	7,8
	Massa pesun jälkeen	13,0
	Massa 3,5 h kuivauksen jälkeen	7,8

Ilmavirrat

Peko Junitia käytettäessä pyykinkuivaustilan poistoilmavirrat olivat 5 dm³/s osateholla ja 16 dm³/s täysteholla. Vastaavat tuloilmamäärät olivat 2 dm³/s ja 6 dm³/s. Käytettäessä Velco-pyykinkuivausjärjestelmää kuvassa 5 olevan poistoilmapuhaltimen tilavuusvirta oli noin 150 dm³/s. Tällöin korvausilmana tuli kuvassa 5 näkyvän ulkoilmaventtiilin kautta 9 dm³/s ja loput kuivaushuoneen oven alta käytävästä.

Ilman lämpötila ja kosteus

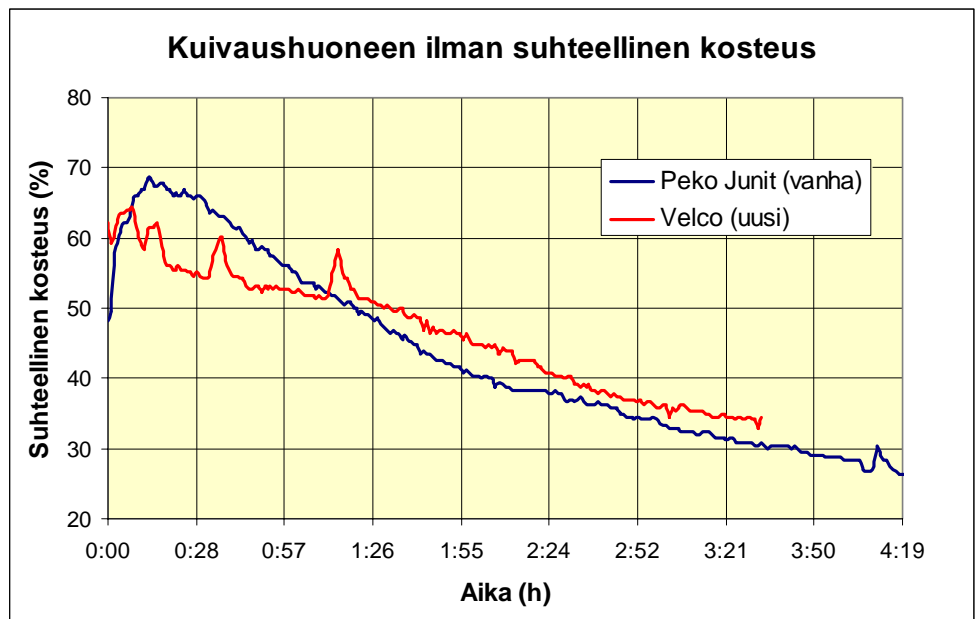
Kuvaan 10 on merkitty kuivaushuoneen ilman lämpötila pyykinkuivauksen aikana.



Kuva 10. Kuivaushuoneen ilman lämpötila kummassakin kuivausjärjestelmässä.

Kuvan 10 mukaan Peko Junit-järjestelmässä ilman lämpötila nousi jatkuvasti ollen kuivauksen lopussa noin 30 °C. Velco-järjestelmässä ilman lämpötila nousi alussa nopeasti lähes lopulliseen lämpötilaan 25 °C.

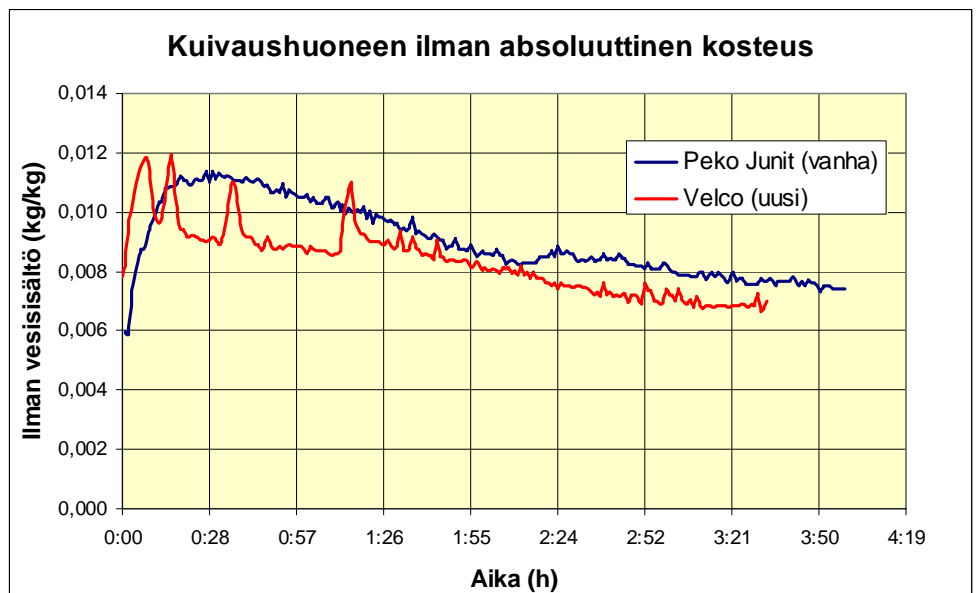
Kuvaan 11 on merkitty kuivaushuoneen ilman suhteellinen kosteus pyykinkuivauksen aikana.



Kuva 11. Kuivaushuoneen ilman suhteellinen kosteus kummassakin kuivausjärjestelmässä.

Kuvan 11 mukaan Peko Junit-järjestelmässä ilman suhteellinen kosteus ensin nousi lähes 70 %:iin, josta se tasaisesti laski alle 30 %:iin. Velco-järjestelmässä suhteellinen kosteus alkoi heti alussa laskea noin 60 %:sta alaspäin.

Kuvaan 12 on merkitty kuivaushuoneen ilman absoluuttinen kosteus pyykin-kuivauksen aikana.

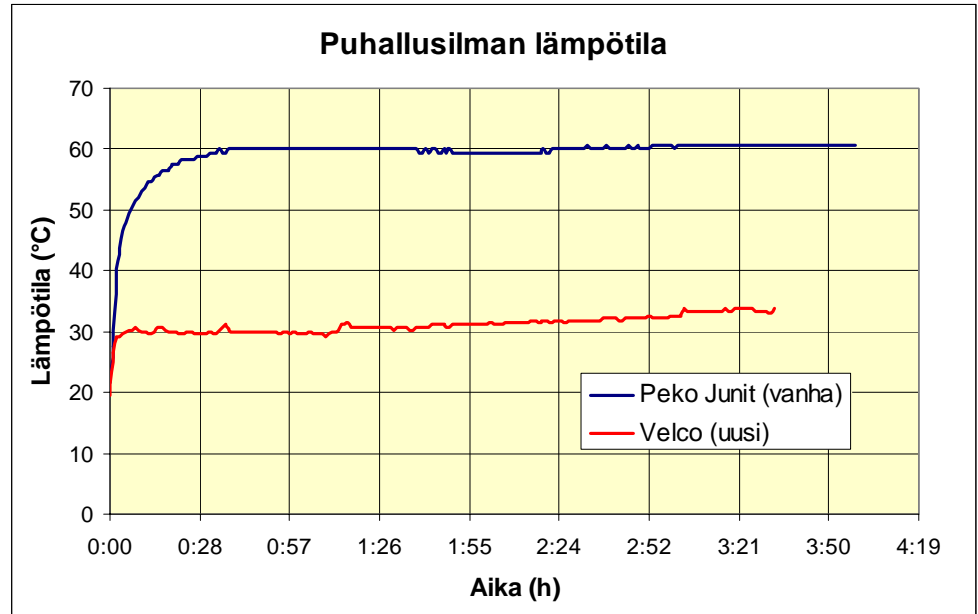


Kuva 12. Kuivaushuoneen ilman absoluuttinen kosteus kummassakin kuivausjärjestelmässä.

Kuvan 12 mukaan kuivaushuoneen vesisisältö kokeen alussa oli Velcon tapauksessa suurempi kuin Peko Junitin tapauksessa. Noin 15 minuutin päästä kui-

vauksen aloittamisesta huoneen vesisisältö oli Velcon tapauksessa laskenut alle Peko Junitin tapauksen ja pysyi pienempänä koko kuivauksen ajan.

Kuvaan 13 on merkitty puhallusilman lämpötila kuivauksen aikana.



Kuva 13. Puhallusilman lämpötila kummassakin kuivausjärjestelmässä.

Kuvan 13 mukaan Peko Junit-järjestelmässä puhallusilman lämpötila on selvästi korkeampi (60 °C) kuin Velco-järjestelmässä (30 – 35 °C).

Energian kulutus

Kuivauksen aikana kuluva teho koostuu veden höyrystämiseen kuluvasta tehosta ja korvausilman lämmittämiseen ulkolämpötilasta sisälämpötilaan kuluvasta tehosta.

Höyrystysteho voidaan laskea yhtälöstä

$$\phi(\text{höyry}) = \frac{m \cdot h}{T}, \quad (2)$$

jossa $\phi(\text{höyry})$ on lämpöteho, joka kuluu veden höyrystymiseen [kW]
 m pyykistä kuivuvan veden massa [kg]
 h veden ominaishöyrystymislämpö [kJ/kg]
 T kuivumisaika [s].

Korvausilman lämmittämiseen kuluva teho voidaan laskea yhtälöstä

$$\phi(\text{ilma}) = c_p \cdot \rho \cdot q(\text{poisto}) \cdot [t(\text{sisä}) - t(\text{ulko})], \quad (3)$$

jossa	$\phi(\text{ilma})$ on	lämpöteho [W]
	c_p	ilman ominaislämpökapasiteetti = 1 kJ/kg K
	ρ	ilman tiheys = 1,2 kg/m ³
	$q(\text{poisto})$	poistoilmavirta [dm ³ /s]
	$t(\text{sisä})$	sisäilman lämpötila [°C]
	$t(\text{ulko})$	ulkoilman lämpötila [°C].

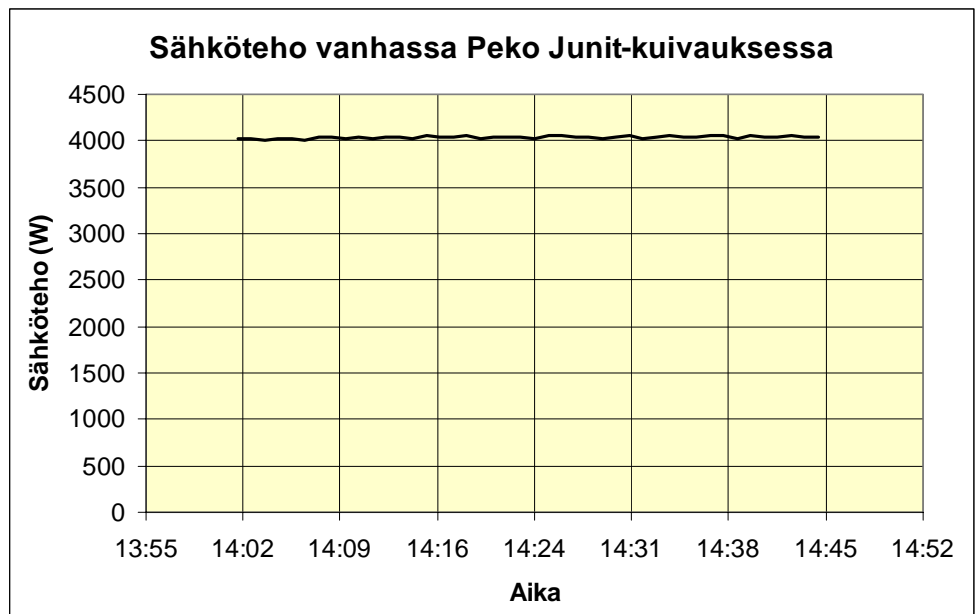
Vanha pyykinkuivausjärjestelmä (Peko Junit)

Höyrystysteho voidaan laskea yhtälön 2 avulla ja sijoittamalla arvot $m = 5,1$ kg, $h = 2438$ kJ/kg (kuivumisaikaisessa keskilämpötilassa 26,5 °C) ja $T = 4$ h saadaan $\phi(\text{höyry}) = 863$ W.

Korvausilman lämmittämiseen kuluva teho voidaan laskea yhtälön 3 ja sijoittamalla arvot $q(\text{poisto}) = 16$ dm³/s, $T(\text{sisä}) = 26,5$ °C (kuivausajan keskiarvo) ja $T(\text{ulko}) = 2$ °C saadaan $\phi(\text{ilma}) = 470$ W.

Kuivauksen aikana kuluva teho on siis yhteensä 863 W + 470 W = 1333 W.

Kuvaan 14 on merkitty Peko Junit-pyykinkuivausjärjestelmän sähköteho kuivauksen aikana.



Kuva 14. Peko Junit-kuivaimen ja kattopuhaltimen sähköteho kuivauksen aikana.

Kuvan 14 mukaan Peko Junit-kuivaimen sähköteho oli koko kuivauksen ajan noin 4 kW. Tämä sisältää sekä puhaltimen että kattotuulettimen sähkötehon.

Valmistajan mukaan sähkötehon pitäisi katkoa, joten laite nähtävästi toimi virheellisesti sähkötehon syötön suhteen. Mitattu teho oli selvästi suurempi kuin pyykin kuivaamiseen kulunut teho. Mittaus kesti 4 tuntia, jolloin energian kulutus oli noin 16 kWh. Jos oletetaan, että sähkön verollinen kokonaishinta olisi 8,9 c/kWh (Helsingin Energia), maksaisi kyseinen pyykin kuivaus noin 1,424 €

Uusi pyykin kuivausjärjestelmä (Velco)

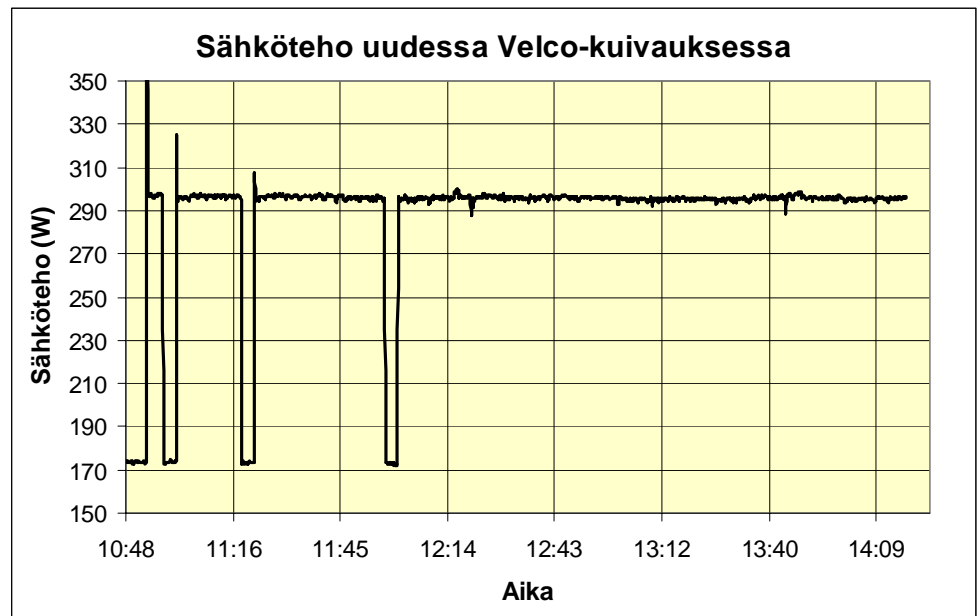
Kuivauksen aikana kuluva teho koostuu veden höyrystämiseen kuluvasta tehosta ja korvausilman lämmittämiseen ulkolämpötilasta sisälämpötilaan kuluvasta tehosta.

Höyrystysteho voidaan laskea yhtälön 2 avulla ja sijoittamalla arvot $m = 5,2$ kg, $h = 2444$ kJ/kg (kuivumisaikaisessa keskilämpötilassa 24 °C) ja $T = 3,5$ h saadaan $\phi(\text{höyry}) = 1009$ W.

Korvausilman lämmittämiseen kuluva teho voidaan laskea yhtälön 3 ja sijoittamalla arvot $q(\text{poisto}) = 150$ dm³/s, $T(\text{sisä}) = 24$ °C (kuivausajan keskiarvo) ja $T(\text{ulko}) = 8$ °C saadaan $\phi(\text{ilma}) = 2880$ W.

Kuivauksen aikana kuluva teho on siis yhteensä 1009 W + 2880 W = 3889 W.

Kuvaan 15 on merkitty Velco-pyykin kuivausjärjestelmän sähköteho kuivauksen aikana.

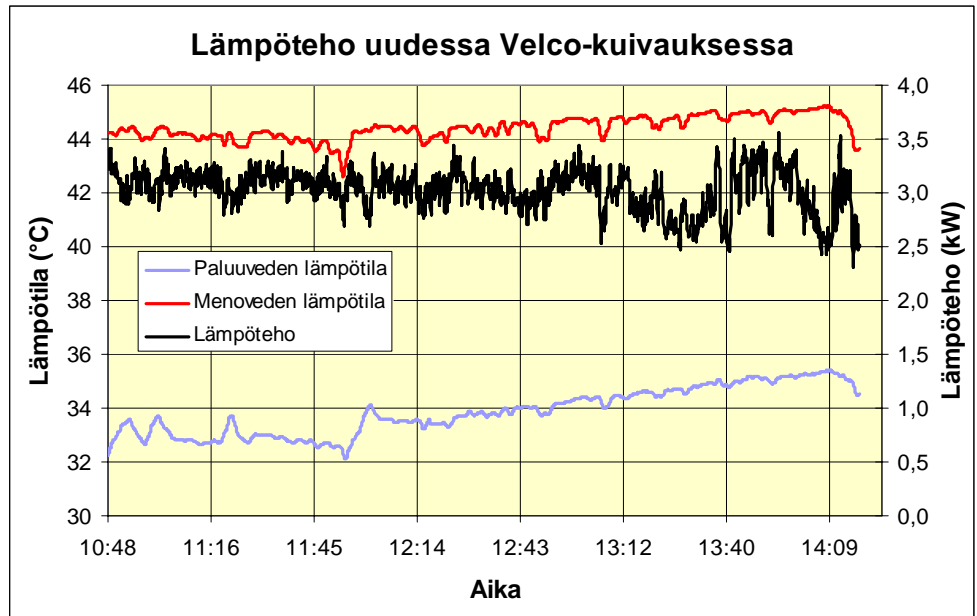


Kuva 15. Velco-kuivaimen ja poistopuhaltimen sähköteho kuivauksen aikana.

Kuvan 15 mukaan Velco-pyykin kuivausjärjestelmän sähköteho oli kuivauksen ajan keskimäärin noin 286 W. Tämä sisältää puhaltimen, kiertovesipumpun ja poistopuhaltimen sähkötehon. Kuivaus kesti 3,5 tuntia, jolloin sähköenergian kulutus oli noin 1 kWh. Jos oletetaan, että sähkön verollinen kokonaishinta oli-

si 8,9 c/kWh (Helsingin Energia), maksaisi kyseinen pyykinkuivaus sähkön osalta noin 0,089 €

Kuvaan 16 on merkitty lämpimästä käyttövedestä saatu lämpöteho sekä vastaavat meno- ja paluuviesien lämpötilat. Vesivirtaus oli kuivauksen aikana keskimäärin 0,069 dm³/s.



Kuva 16. Velco-järjestelmän lämpöteho kuivauksen aikana.

Kuvan 16 mukaan kuivaimen menevän veden lämpötilan keskiarvo oli 44,4 °C ja paluuvien 33,8 °C. Velco-kuivaimen valmistajan mukaan suunniteltuna menoveden lämpötilana pidetään 55 °C. Mittauksissa siitä jäätettiin mm. runsaiden lämpöhäviöiden takia yli 10 °C, joten kuivainta ei voitu tutkia suositelluilla veden lämpötiloilla.

Vesivirrasta sekä meno- ja paluuvien lämpötiloista laskettu teho oli keskimäärin noin 3,0 kW. Edellä laskettu tehon kulutus oli 3,889 kW, joten 889 W lämmitetään muulla tavalla. Tämä tarkoittaa sitä, että oven alta käytävästä tulevaa ilmaa on lämmitetty vesipattereilla. Kuivaus kesti 3,5 h, jolloin lämpöenergiaa kului 13,6 kWh. Jos oletetaan, että kaukolämmön energian verollinen hinta olisi 34,9 €/MWh (Helsingin Energia), maksaisi pyykinkuivaus kaukolämmön osalta noin 0,475 €

Velco-pyykinkuivausjärjestelmää käytettäessä pyykin kuivaus maksoi siis yhteensä 0,564 €

Johtopäätökset

Uudella Velco-pyykinkuivausjärjestelmällä kuivaushuoneen ilma tuntui aistinvaraisesti raikkaalta pyykin kuivauksen jälkeen. Tämä johtui siitä, että kuivaushuoneen ilmassa oleva kosteus poistui ulos tehokkaasti ja ettei ilman lämpötila noussut yli 25 °C:een.

Uudella Velco-pyykinkuivausjärjestelmällä kuivauksen aikainen energiankulutus oli noin 2,4 kWh vähemmän kuin noin 20 vuotta vanhalla, virheellisesti toimivalla Peko Junit-pyykinkuivaimella. Lisäksi Velco-järjestelmän energia on pääasiassa peräisin talon lämpimästä käyttövedestä, kun taas Peko Junit-kuivaimen energia on sähköllä tuotettua kalliimpaa energiaa.

Vertailua hankaloitti kaksi seikkaa:

1. Pyykinripustusjärjestelmät eivät olleet samanlaisia. Tällä voi olla suuri vaikutus saatuihin kuivumisaikoihin ja sitä kautta mittaustuloksiin. Velco-järjestelmässä oli kaksoisnarutus, kun taas vanhassa Peko Junit-järjestelmässä oli tässä tapauksessa yksinaruinen ripustusjärjestelmä.
2. Koska kuivaushuone sijaitsi kerrostalon ullakkotilassa, oli lämpimän käyttöveden lämpötila kuivaushuoneen kohdalla vain noin 44 °C, kun se valmistajan suosituksen mukaan saisi olla jopa 55 °C. Tämä voisi jopa kaksinkertaistaa kuivaimen lämpötehon ja sitä kautta lyhentää kuivumisaikaa merkittävästi.

Lyhyempi pyykinkuivausaika merkitsee sitä, että useampi asukas ehtii päivän aikana käyttää kuivaushuonetta ja lisäksi, mikä on asukkaalle ensiarvoisen tärkeää, asukas voi halutessaan odotella paikan päällä pyykin kuivumista, jolloin pelko pyykkien varastamisesta vähenee. Tämän tiedostaminen entisestään lisää kuivaushuoneen käyttöä.

Espoo, 21.6.2007

Miimu Airaksinen
Erikoistutkija, tiiminvetäjä

Keijo Kovanen
Erikoistutkija

JAKELU

Tilaaaja
VTT/Arkisto

Alkuperäinen
Alkuperäinen