

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**SAUNAN ENERGIANKULUTUS JA SIIHEN
VAIKUTTAVAT TEKIJÄT**

The energy consumption of sauna and related factors

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tutkijaopettaja, TkT Tero Tynjälä

Lappeenrannassa 21.1.2010

Lassi Karvonen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
1.1 Työn tausta	3
1.2 Saunan energiankulutus	3
1.3 Tavoitteet.....	4
2 LASKENTA	4
2.1 Esimerkkisauna.....	4
2.2 Lämpötilan ja lämmöntuntemuksen ero.....	5
2.3 Lämmitys.....	5
2.4 Saunavuorojen välinen aika	9
2.5 Saunominen.....	14
2.6 Laskennan johtopäätökset	17
3 MITTAUKSET	18
3.1 Mittausmenetelmät	19
3.2 Tulokset.....	19
3.3 Mittausten johtopäätökset	23
4 ENERGIANKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN.....	24
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	25
LÄHTEET.....	27

SYMBOLILUETTELO

A_j	Pinta-ala	[m ²]
c_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
E	Lämmitykseen kuluva energia	[kWh]
m	Massa	[kg]
P	Teho	[W]
q_m	Massavirta	[kg/s]
r	Veden höyrystymislämpö	[kJ/kg]
t	Saunan lämmitykseen kuluva aika	[s]
T	Lämpötila	[°C]
\bar{T}	Saunan keskimääräinen lämpötila	[°C]
T^*	Lämpötila vaipan ulkopuolella	[°C]
U_j	Lämmönläpäisykerroin	[W/m ² °C]
Δq_m	Massavirtojen erotus	[kg/s]
ΔP	Kiukaiden tehojen erotus	[W]
ΔT	Lämpötilojen erotus	[°C]
Φ	Lämpövuoto	[W]
alaindeksit		
1	tuloilma	
2	poistoilma	
i	ilma	
k	kiuas	
k ₁	pienempi kiuas	
k ₂	suurempi kiuas	
v	vesi	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

IKI-Kiuas Oy teetti Lappeenrannan teknilliseltä yliopistolta keväällä 2009 tutkimuksen, jossa selvitettiin miten sähkökiukaan kivimassa vaikuttaa saunan energiankulutukseen. IKI-Kiuas Oy kiinnostui asiasta saatuaan taloyhtiöiltä positiivista palautetta. Asiakkaiden sähkölasku oli pienentynyt, kun vanha kiuas vaihdettiin IKI-kiukaaseen. Tutkimuksella haluttiin selvittää voisiko pienentynyt energiankulutus johtua kiukaasta.

Saunan energiankulutusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin laskennan avulla, josta saatuja tuloksia vertailtiin IKI-Kiuas Oy:n kanssa tehtyjen käytännön mittausten tuloksiin. Tutkimuksessa keskityttiin taloyhtiöiden suuriin kiukaisiin ja saunoihin, koska IKI-Kiuas Oy aikoo jatkossa keskittyä erityisesti niiden valmistamiseen. Alkuperäinen tutkimus julkaistiin IKI-Kiuas Oy:n kotisivulla 3.7.2009 (IKI-Kiuas Oy 2009). Tässä työssä saunojen energiankulutusta tarkasteltiin alkuperäisessä IKI-Kiuas Oy:n tilaamaa tutkimuksesta laajemmin.

1.2 Saunan energiankulutus

Kiuas on ylivoimaisesti suuritehoisin sähkölaite kotitalouksissa (Työtehoseura 2010). Työtehoseuran arvion mukaan Suomen sähkösaunojen käytönaikainen energiankulutus tulee vuonna 2010 olemaan noin 1 TWh. Samassa lähteessä sähkökiukaiden energiankulutuksen arvioidaan lisääntyvän noin 2 % vuosittain myös tulevaisuudessa. Kasvu johtuu muun muassa asuntokohtaisten saunojen yleistymisestä uusissa asunnoissa ja puunkiukaiden vaihdosta sähköisiin. (Korhonen et al. 2002, 74–75.) Sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöt vuonna 2008 olivat 168g / kWh (Energiateollisuus Ry 2007). Edellä mainitulla arvolla laskettuna sähkökiukaiden sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästöt olisivat noin 168 000 tonnia vuodessa.

1.3 Tavoitteet

Tässä työssä tarkasteltiin sähkösaunan energiankulutusta ja siihen vaikuttavia eri tekijöitä. Lisäksi selvitetään missä määrin on mahdollista vähentää saunan energiankulutusta oikealla kiukaalla tai saunan käyttöä koskevilla valinnoilla.

2 LASKENTA

Tutkittaessa kiukaan energiankulutusta on syytä ensin selvittää, mistä eri tekijöistä se riippuu. Energiankulutuksen tarkastelu on jaettu kolmeen eri osaan: saunan lämmittämiseen, varsinaiseen saunomiseen ja saunavuorojen väliseen aikaan. Näissä energiankulutus riippuu osittain eri tekijöistä ja siksi niistä jokaista käsitellään erikseen. Laskennassa saatuja yhtälöitä sovelletaan teoreettiseen esimerkisaunaan, jotta yhtälöiden lisäksi saataisiin myös ymmärrettäviä lukuarvoja.

2.1 Esimerkkisauna

Laskennassa käytetty esimerkisauna kuvaa tyypillistä suomalaisen taloyhtiön yhteisösaunaa ja on mitoiltaan samansuuruinen kuin IKI-Kiuas Oy:n tuotekehitykseen käyttämät saunat. Samoissa saunoissa tehtiin myös tämän työn mittaukset, joten laskettuja ja mitattuja tuloksia on helppo verrata keskenään. Sauna on tilavuudeltaan 9 m^3 ja sen vaipan sisäpinta-ala A_j on 24 m^2 . Esimerkkisaunan ilma vaihtuu 4 kertaa tunnissa, eli ilmanvaihdon tilavuusvirta on $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. Ilman tiheyden ollessa noin $1,22 \text{ kg}/\text{m}^3$, ilmanvaihdon massavirta $q_{m,i}$ on siis $0,0122 \text{ kg}/\text{s}$.

Rakenteiden keskimääräinen lämmönläpäisykertoimenä U_j käytetään $0,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{°C}$. Lämmityksen aikana kivien lämpötila nousee $(T_k - T_l)$ 100 °C ja ilman lämpötila ΔT 50 °C . Ominaislämpökapasiteetit oletetaan vakioiksi ja ne ovat ilmalle $c_{p,i} = 1008 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ (Rinne 2002, 43) ja kiville $c_{p,k} = 800 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ (Incopera et al. 2006, 940). Esimerkkisaunan tietojen ja tässä työssä johdettujen yhtälöiden avulla lasketaan saunan energiankulutusta erilaisissa tilanteissa.

2.2 Lämpötilan ja lämmöntuntemuksen ero

Ilman laskentaa tai käytännön kokeitakin on selvää, että saunan lämpötila vaikuttaa energiankulutukseen. Saunan energiankulutus on sitä suurempi, mitä korkeampi on ilman lämpötila.

Saunojan kannalta lämpötilaa oleellisempi asia on kuitenkin lämmöntuntemus, joka riippuu myös muista tekijöistä, eikä pelkästään lämpötilasta. 100 °C-asteinen vesi tuntuu iholla aivan erilaiselta kuin 100 °C-asteinen ilma. Ihminen ei siis tunne varsinaista lämpötilaa vaan ihon ja ympäröivän fluidin välisen lämpövirran Φ (Incopera et al. 2006, 38–43). Lämpövirta pinta-alaa kohden Φ'' voidaan laskea yhtälöllä (1).

$$\Phi'' = h(T_s - \bar{T}) \quad (1)$$

$$h \quad \text{Konvektiolämmönsiirtokerroin} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$(T_s - \bar{T}) \quad \text{Pinnan ja fluidin keskimääräinen lämpötilaero [}^\circ C\text{]}$$

Yhtälössä oleva konvektiolämmönsiirtokerroin riippuu lämpötilasta, fluidista, sen virtausnopeudesta ja pinnan muodoista. Se on vedellä monikymmenkertainen ilmaan verrattuna ja siksi kuuma vesi tuntuu kuumemmalta kuin ilma samassa lämpötilassa. (Incopera et al. 2006, 38–43.) Kosteammassa saunassa voidaan saavuttaa yhtä hyvä lämmöntuntemus jo pienemmässä lämpötilassa, kuin kuivassa saunassa kuumemmassa lämpötilassa. Siten lämmöntuntemukseen vaikuttamalla voidaan säästää energiaa.

2.3 Lämmitys

Saunan lämmitykseen kuluva energia voidaan kuvata yhtälöllä (2), jossa otetaan huomioon merkittävimmät siihen vaikuttavat tekijät eli ilmanvaihdossa poistuva energia, vaipan läpi poistuva energia sekä ilman ja kivien lämmitykseen kuluva energia.

Ilmanvaihdossa ja vaipan läpi poistuva energiavirta riippuu saunan ominaisuuksista.

$$E = \int_0^t P dt = \int_0^t q_{m,i} c_{p,i} (T - T_1) dt + \int_0^t \Phi dt + m_i c_{p,i} (T_2 - T_1) + m_k c_{p,k} (T_k - T_1) \quad (2)$$

E	Saunan lämmittämiseen kuluva energia [kWh]
$\int_0^t q_{m,i} c_{p,i} (T - T_1) dt$	Ilmanvaihdossa poistuva energia [kWh]
$\int_0^t \Phi dt$	Vaipan läpi poistuva energia [kWh]
$m_i c_{p,i} (T_2 - T_1)$	Ilman lämmitykseen kuluva energia [kWh]
$m_k c_{p,k} (T_k - T_1)$	Kivien lämmitykseen kuluva energia [kWh]
$c_{p,i}$	Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]
$c_{p,k}$	Kivien ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]
m_i	Ilman massa [kg]
m_k	Kivien massa [kg]
$q_{m,i}$	Ilmanvaihdon massavirta [kg/s]
T	Poistoilman lämpötila [°C]
T_1	Ilman lämpötila ennen lämmitystä [°C]
T_2	Ilman keskimääräinen loppulämpötila [°C]
T_k	Kivien loppulämpötila [°C]

Saunan lämpötilan odotetaan kasvavan lineaarisesti. Kun yhtälöön (2) sijoitetaan saunan lämpötila ajan funktiona ja integroidaan, saadaan lämmitykseen kuluva energia laskettua yhtälöstä (3).

$$E = \left[\left(\frac{q_{m,i} c_{p,i}}{2} + \frac{\sum U_j A_j}{2} \right) + m_i c_{v,i} \right] \Delta T + m_k c_{v,k} (T_k - T_1) \quad (3)$$

U_j	Vaipan keskimääräinen lämmönläpäisykerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$]
A_j	Vaipan sisäpinta-ala [m^2]

Kun halutaan vertailla kahden eri kiukaan energiankulutuksien eroa samaa saunaa lämmitettäessä, voidaan erotus laskea yhtälöstä (4).

$$\Delta E = \left[\left(\frac{q_{m,i} c_{p,i}}{2} + \frac{\sum U_j A_j}{2} \right) \right] (t_{t2} - t_{t1}) \Delta T + (m_{k2} - m_{k1}) c_{p,k} (T_k - T_1) \quad (4)$$

m_{k1}	Pienemmän kiukaan kivimassa [kg]
m_{k2}	Suuremman kiukaan kivimassa [kg]
t_{t1}	Pienemmän kiukaan lämmitykseen kuluva aika [s]
t_{t2}	Suuremman kiukaan lämmitykseen kuluva aika [s]

Yhtälöstä (4) voidaan päätellä, miksi suuret kiukaat kuluttavat lämmitessään enemmän energiaa. Kiukaan kivien suurempi kivimassa ($m_{k2} > m_{k1}$) sitoo enemmän energiaa. Lisäksi suurempi kivimassa hidastaa saunan lämpenemistä ($t_{t2} > t_{t1}$) ja siten vaikuttaa epäsuorasti niihin tekijöihin, jotka riippuvat lämmitysajasta. Ilmanvaihdon massavirta oletetaan vakioksi, joten pitempänä aikana saunan läpi ehtii kulkea enemmän ilmaa ja siten myös ilmanvaihdon kautta poistuu enemmän energiaa. Saunasta poistuu myös seinien ja muiden rakenteiden läpi sitä enemmän lämpöä, mitä pitempään lämmitys kestää.

IKI-Kiuas Oy:n tutkimusta varten vertailtiin kahden erikokoisen kiukaan energiankulutuksia lämmityksen aikana esimerkkisaunassa yhtälön (4) avulla. Kiukaiden kivimassojen erotus on 100 kg ($m_{k2} - m_{k1}$) ja suuremmalla kiukaalla saunan lämmittämiseen kuluu yksi tunti eli 3600 sekuntia enemmän ($t_{k2} - t_{k1}$).

$$\Delta E = \left[\frac{0,0122 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1008 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}}{2} + \frac{0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \cdot 24 \text{m}^2}{2} \right] \cdot 3600 \text{s} \cdot 50^\circ\text{C}$$

$$+ 100 \text{kg} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 100^\circ\text{C} = 9541 \text{kJ}$$

Yhtälön mukaan esimerkkisaunan lämmittämiseen kuluu 100 kg suuremmalla kiukaalla yhteensä 9540 kJ eli noin 2,63 kWh enemmän energiaa. Tästä 2,2 kWh kuluu kiukaan suuremman kivimassan lämmitykseen $(m_{k2} - m_{k1})c_{p,k}(T_k - T_1)$. Kiviin varastoitunut energia ei poistu saunasta ympäristöön lämmityksessä, vaan se vähentää vastaavan määrän energiankulutusta saunomisen tai saunan kuivaamisen aikana. Loput 0,43 kWh menetetään ilmanvaihdon ja vaipan läpi kulkevan energiavirran mukana.

Kun kaikki kiukaiden kiviin varastoitunut energia saadaan käytettyä hyödyksi lämmityksen jälkeen, kummastakin saunasta poistuu yhtä paljon energiaa, jos 100 kg suuremmalla kiukaalla on lämmityksen jälkeisen käytön aikana 0.43 kWh:a pienempi sähkönkulutus.

Taulukossa 1 arvioidaan laajemmin miten kiukaan kivimassan kasvattaminen lisää energiankulutusta saunan lämmittämisen aikana. Taulukossa on myös eroteltu, mikä osa lisääntyvästä energiankulutuksesta poistuu ympäristöön. Kuten aikaisemminkin todettiin, vain ympäristöön poistuvalla energialla on merkitystä energiatalouden kannalta.

Taulukko 1. Kiukaan kivimassan lisäyksen vaikutus lämmitysaikaan ja energiankulutukseen lämmityksen aikana

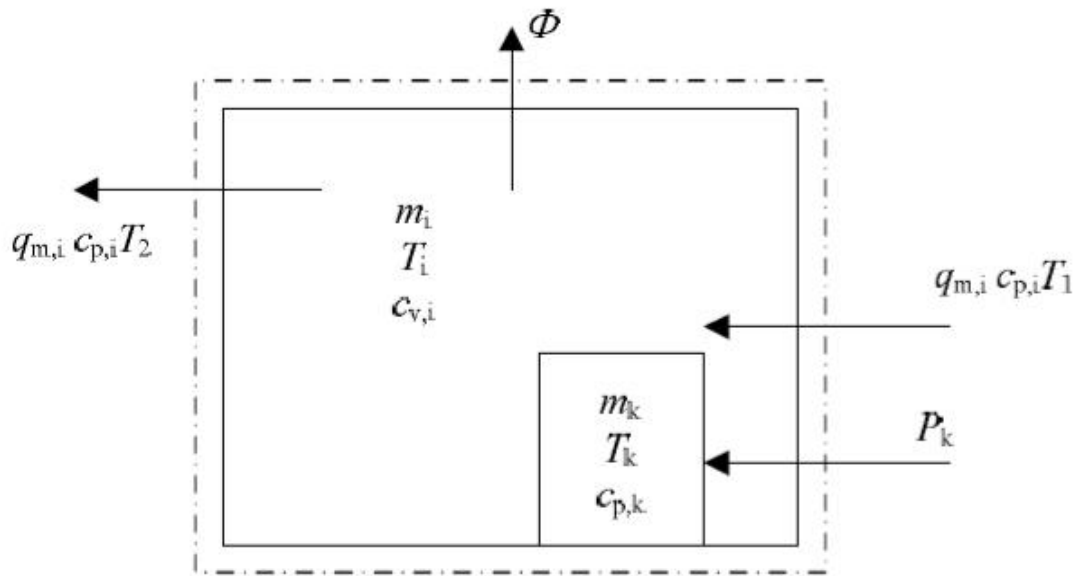
Kiukaan kivimassan lisäys ($m_{k2} - m_{m1}$) [kg]	Lämmitysajan piteneminen ($t_2 - t_1$) [h]	Lämmityksen energiankulutus kasvaa (ΔE) [kWh]	Energiankulutuksen kasvusta poistuu ympäristöön [kWh]
20	1/5	0,53	0,09
40	2/5	1,06	0,17
60	3/5	1,59	0,26
80	4/5	2,12	0,34
100	1	2,20	0,43

Taulukosta 1 nähdään, että pienen kivimassan lisäyksen vaikutus lämmityksen aikana ympäristöön poistuvan energian määrään on hyvin pieni.

2.4 Saunavuorojen välinen aika

Saunavuorojen välisellä ajalla tarkoitetaan tässä stationaarista tilaa, jossa sauna on vakiolämpötilassa, eikä kiukaalle kaadeta vettä. Energiankulutuksen sijaan lasketaan keskimääräinen teho, jonka oletetaan pysyvän koko ajan samana. Näin laskenta ei ole riippuvainen ajasta. Energiankulutus [kWh] saadaan kertomalla kiukaan keskimääräinen teho [kW] saunavuorojen välisellä ajalla tunneissa [h].

Saunavuorojen välisenä aikana kiukaan teho muodostuu ilmanvaihdon mukana poistuvasta energiavirrasta sekä seinien ja muun vaipan läpi poistuvasta lämpövuosta. Kiuas pitää saunan lämpötilan korkeana, vaikka lämpöä poistuu koko ajan ympäristöön. Tilannetta selventää kuvassa 1 esitetty tasepiirros.



Kuva 1: Taserajapiirros saunavuorojen välisestä ajasta

Saunan sisään tulevien ja siitä poistuvien energiavirtojen summa on 0, koska tilaan ei kerry energiaa eikä ainetta. Saunavuorojen välinen tilanne oletetaan siis stationaariseksi. Kun merkitään tasetilavuuteen tulevia virtoja positiivisina ja poistuvia negatiivisina saadaan energiatase kirjoitettua yhtälöksi (4). Höyrystyvän veden massavirta oletetaan saunavuorojen välisenä aikana nolllaksi

$$P_k + q_{m,i} c_{p,i} T_1 - q_{m,i} c_{p,i} T_2 - \Phi = 0 \quad (5)$$

P_k	Kiukaan keskimääräinen teho [W]
Φ	Saunan vaipan läpi ympäristöön siirtyvä lämpövuoto [W]
$q_{m,i} c_{p,i} T_1$	Tuloilman energiavirta [W]
$q_{m,i} c_{p,i} T_2$	Poistoilman energiavirta [W]

Yhtälöstä (5) saadaan johdettua yhtälö (6), jonka mukaan kiukaan keskimääräinen teho P on yhtä suuri kuin ilmanvaihdon mukana poistuvan energiavirran $q_{m,i} c_{p,i} (T_2 - T_1)$ ja vaipan läpi poistuvan lämpövuon Φ summa. Todellisuudessa kiukaan teho ei ole tasainen, vaan vaihtelee termostaatin säätöjen mukaisesti. Laskennassa käytetty teho sen sijaan on ajan suhteen keskiarvo. Nimellisteholtaan esimerkiksi 8 kW:n kiukaan

keskimääräinen teho on huomattavasti nimellistehoa pienempi, koska vastukset ovat osan ajasta pois päältä. Samoin laskennassa käytettävät lämpötilat ovat keskiarvoja, joiden oletetaan pysyvän koko jakson ajan samana.

$$P_k = \Phi + q_{m,i} c_{p,i} (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Vaipan läpi johtuva lämpövuoto voidaan laskea yhtälöllä (7).

$$\Phi = \sum U_j A_j (\bar{T} - T^*) \quad (7)$$

Yhtälö (7) sijoitetaan yhtälöön (6), jolloin saadaan alla oleva yhtälö (8). Myös poistuvan ilman lämpötilaksi oletetaan saunan keskimääräinen lämpötila. Käytännössä näin ei aina ole, mutta oletus ei aiheuta virhettä myöhemmin kiukaiden keskimääräisiä tehoja vertailtaessa, koska silloin tarvitaan ainoastaan saunojen lämpötilojen ero, joka on suunnilleen sama riippumatta siitä käytetäänkö keskimääräisiä lämpötiloja vai lämpötiloja jossa ilma poistuu saunasta.

$$P_k = \sum U_j A_j (\bar{T} - T_1) + q_{m,i} c_{p,i} (\bar{T} - T_1) \quad (8)$$

Yhtälö (8) kuvaa kiukaan käyttämään tehoon vaikuttavia tekijöitä. Tehoon vaikuttavat seinien, katon, lattian, oven ja ikkunoiden pinta-alat A_j ja lämmönläpäisykerroin U_j , vaihtuvan ilman massavirta $q_{m,i}$ ja sen ominaislämpökapasiteetti, saunassa oleva keskimääräinen lämpötila \bar{T} , tuloilman lämpötila T_1 ja T^* , joka kuvaa lämpötilaa vaipan eri pintojen ulkopuolella. Kyseinen lämpötila ei välttämättä ole sama eri pintojen ulkopuolella. Esimerkiksi ikkunan T^* voi olla ulkoilman lämpötila ja oven T^* kylpyhuoneen lämpötila. T^* eri pinnoille on tiedettävä, mikäli halutaan laskea tarkasti kiukaan tarvitsema teho, mutta kiukaiden tehojen erotusta ΔP laskettaessa ne pyöristyvät yhtälöistä pois, eikä niitä siis tarvitse tietää. Vertailtaessa kahden eri kiukaan keskimääräisiä tehoja samassa saunassa ΔP , on saunan keskimääräinen lämpötila \bar{T} ainoa kiukaasta ja sen käytöstä riippuva muuttuja. Muut tehoon vaikuttavat tekijät riippuvat pelkästään saunasta ja ulkoisista tekijöistä, joten ne oletetaan vakioiksi.

Kahden kiukaan tehonkulutuksien ero saadaan yhtälöllä (9).

$$\Delta P_k = (\sum U_j A_j + q_{m,i} c_{p,i}) \Delta T \quad (9)$$

Yhtälöstä (9) voidaan päätellä, että saunan lämpötilan pienentäminen pienentää tarvittavaa tehoa. Suuressa kiukaassa on suurempi kivien pinta-ala ja massa. Suureen kivimassaan varastoituneen lämmön ansiosta kiukaasta saadaan suurempi hetkellinen lämpöteho, vaikka vastukset olisivat saman tehoisia. Lisäksi kivien suurempi pinta-ala tehostaa höyrystymistä. Täten suurella kiukaalla saadaan kostea löyly jo pienemmässä lämpötilassa, kuin pienen kivimassan sisältävillä kiukailla. Käytännössä tämä näkyy niin, että pienissä kiukaissa kivet jäähtyvät nopeasti löylynheiton aikana ja vesi valuu kiukaan läpi viemäriin. Suurissa kiukaissa samaa ongelmaa ei ole.

Kiukaalla höyrystyvä vesi siirtää erittäin tehokkaasti lämpöä ihmisen iholle, joten tavallista kosteammassa saunassa lämpötilaa voidaan pitää alhaisempana ja silti saavuttaa yhtä hyvä lämmöntuntemus kuin kuivemmassa saunassa korkeammassa lämpötilassa. Tällöin myös tarvittava sähköteho on pienempi ja energiaa säästyy. Pienemmästä lämpötilasta johtuva energiansäästö lasketaan samassa esimerkisaunassa, jota käytettiin aikaisemmin lämmityksen aikaisia energiankulutuksia vertaillen. Tarvittava teho pienenee 17,1 W/°C lämpötilan laskiessa. Taulukossa 2 esitetään tarvittavan tehon muutos erilaisilla lämpötilan muutoksilla.

Taulukko 2. Saunan lämpötilan laskun vaikutus saunan energiankulutukseen

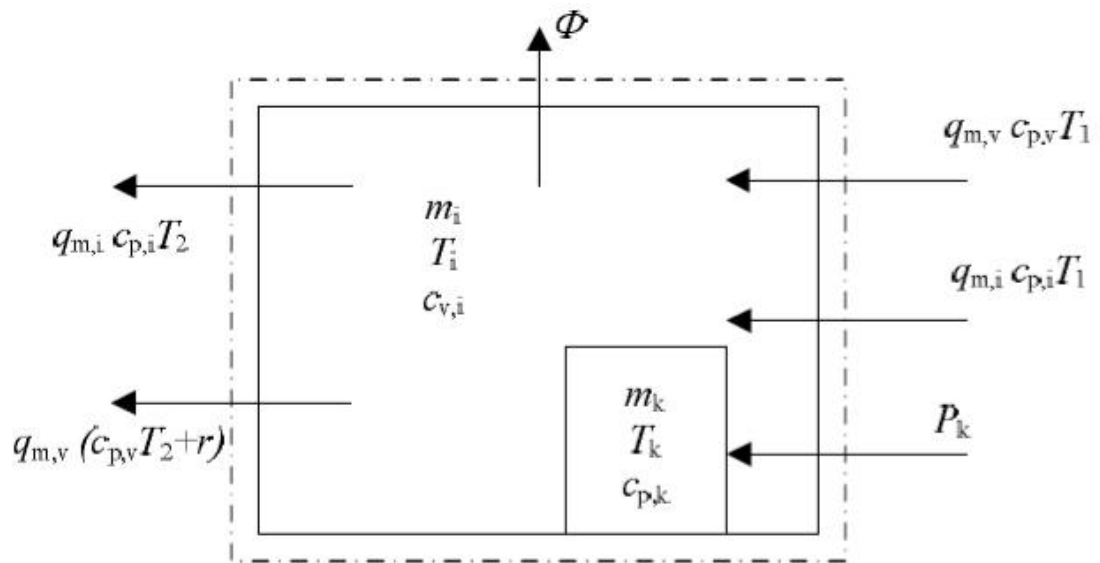
Saunan lämpötilaa laskee [°C]	Tarvittava teho pienenee [kW]	Energiankulutus tunnin aikana pienenee [kWh]	kahden tunnin aikana [kWh]	kolmen tunnin aikana [kWh]
1	0,017	0,017	0,034	0,051
2	0,034	0,034	0,068	0,102
3	0,051	0,051	0,102	0,153
5	0,086	0,086	0,172	0,258
10	0,171	0,171	0,342	0,513
15	0,257	0,257	0,514	0,771
20	0,342	0,342	0,684	1,026
25	0,458	0,458	0,916	1,374

Suurten kiukaiden mainostetaan tarvitsevan 10 °C pienemmän lämpötilan saman lämmöntuntemuksen aikaansaamiseksi, tällöin tarvittava teho pienenee siis 171 W. Suurella kiukaalla lämmityksen aikana saunasta poistuva 0,43 kWh:n energiavirta säästettäisiin siis näissä olosuhteissa noin 2½ tunnissa. Tämän jälkeen suuren kivimäärän sisältävällä IKI-Kiukaalla ja tavallisella kiukaalla saunasta olisi poistunut yhtä suuri määrä energiaa ympäristöön. Saunan ollessa pidempään käytössä, suurella kiukaalla olisi pienemmän lämpötilan ansiosta pienempi energiankulutus.

Lämpötilaa laskemalla saatu energiansäästö riippuu lämpötilan lisäksi saunan vaipan pinta-aloista A_j ja lämmönläpäisyarvoista U_j , sekä ilmanvaihdon massavirrasta $q_{m,i}$. Lämpötilaa pienentämällä saavutettavissa oleva säästö on sitä suurempi, mitä suurempia ovat kyseiset arvot. Lämpötilaa alentamalla saadaan siis suurimmat säästöt suurissa saunoissa, joissa on tehokas ilmanvaihto. Tämänlaisia saunoja on esimerkiksi taloyhtiöissä ja kylpylöissä.

2.5 Saunominen

Saunomisella tarkoitetaan tässä kappaleessa sitä ajanjaksoa, joka alkaa kun kiukaalle aletaan heittää löylyä ja loppuu siihen, kun saunan ja kiukaan lämpötilat ovat palautuneet samaan, joita ne olivat ennen saunomista. Saunomisen aikana kiukaan tarvitsema teho koostuu kaikista niistä tekijöistä kuin saunavuorojen välissäkin, mutta myös kiukaalle heitetyllä vedellä on merkitystä. Veden höyrystymislämpö on korkea, joten jo pieni määrä kiukaalle heitettyä vettä kuluttaa höyrystyessään suuren määrän energiaa ja siten aiheuttaa kiukaan suuren tehonkulutuksen. Yhtälössä (10) otetaan huomioon vain se vesi, joka höyrystyy saunassa ja poistuu höyrinä ilmanvaihdon mukana. Höyrystymättä jäävällä vedellä, tai vedellä joka höyrystyy, mutta tiivistyy takaisin vedeksi saunan sisällä, ei oleteta olevan merkitystä. Viemäriin valuvaa vettä ei huomioida, vaikka se lämpeneekin saunassa, koska sen merkitys on niin pieni. Tilannetta selventää kuvassa 2 esitetty tasepiirros.



Kuva 2: Taserajakuva saunomisen aikaisesta tilanteesta.

$$P_k + q_{m,i} c_{p,i} T_1 + q_{m,v} c_{p,v} T_{v1} - q_{m,v} (c_{p,v} T_{v2} + r) - q_{m,i} c_{p,i} T_2 - \Phi = 0 \quad (10)$$

$$q_{m,i} c_{p,i} T_1 \quad \text{Tuloilman energiavirta [W]}$$

$$q_{m,i} c_{p,i} T_2 \quad \text{Poistoilman energiavirta [W]}$$

$q_{m,v}c_{p,v}T_{v1}$	Kiukaalle heitettävä veden energiavirta [W]
$q_{m,v}(c_{p,v}T_{v2} + r)$	Ilmanvaihdon mukana ympäristöön poistuvan höyrystyneen veden energiavirta [W]
Φ	Saunan vaipan läpi ympäristöön siirtyvä lämpövuoto [W]
$c_{p,v}$	Veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]
$q_{m,v}$	Veden massavirta [kg/s]
r	Veden höyrystymislämpö [kJ/kg]
T_{v1}	Veden alkulämpötila [°C]
T_{v2}	Veden loppulämpötila [°C]

Yhtälöstä (10) voidaan erotella veden lämmittämiseen ja höyrystymiseen tarvittava teho omaksi yhtälöksi (11).

$$P_h = q_{m,v}[c_{p,v}(T_2 - T_1) + r] \quad (11)$$

Veden lämpötilannousun merkitys höyrystymislämpöön verrattuna on hyvin pieni ja siten yhtälö voidaan supistaa yhtälöksi (12).

$$P_h = q_{m,v}r \quad (12)$$

Höyrystymislämmön merkittävän vaikutuksen energiankulutuksessa voi todistaa käytännön esimerkillä: Kiukaalle kaadetaan 1 dl (eli 0,1kg) 50 °C-asteista vettä minuutin välein. Höyrystyvän veden massavirta on tällöin:

$$q_{m,v} = \frac{0,1\text{kg}}{60\text{s}} = 0,00167 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Seuraavaksi lasketaan erikseen vesivirran lämmittämiseen ja veden höyrystymiseen vaadittava teho. Veden höyrystymislämpönä on käytetty 2260 kJ/kg ja ominaislämpökapasiteettina 4,19 kJ/kg°C (Incropera et al. 2007, 949).

$$q_{m,v}c_{p,v}(T_{v2} - T_{v1}) = 0,00167 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (100^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) \approx 0,35 \text{ kW}$$

$$q_{m,v}r = 0,00167 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 3,77 \text{ kW}$$

Tuloksia voidaan siis tulkita niin, että pelkästään yhden desilitran höyrystäminen minuutin välein lisää kiukaan keskimääräistä tehonkulutusta 3,77 kW. Eli siis 15 minuutin sanomisen aikana pelkästään veden höyrystyminen kuluttaa 0,94 kWh sähköä. Vastaavana aikana veden lämmitys höyrystymislämpötilaan lisää sähkönkulutusta vain 0,09 kWh. Veden höyrystymisen ollessa näin paljon veden lämmitystä merkittävämpi tekijä energiankulutuksen kannalta, voidaan kiukaiden energiankulutuksia vertailtaessa veden lämpenemiseen kuluva energia unohtaa tilanteen selventämiseksi. Tällöin kiukaan keskimääräinen teho P_k saadaan yhtälöstä (13) ja kahden kiukaan tehonkulutuksien ero ΔP_k yhtälöstä (14).

$$P_k = \sum U_j A_j (\bar{T} - T_1) + q_{m,i} c_{p,i} (\bar{T} - T_1) + q_{m,v} r \quad (13)$$

$$\Delta P_k = \left(\sum U_j A_j + q_{m,i} c_{p,i} \right) \Delta T + r \Delta q_{m,v} \quad (14)$$

$$\Delta q_{m,v} \quad \text{Veden massavirtojen erotus [kg/s]}$$

Yhtälöstä (14) voidaan päätellä, että kiukaiden tehonkulutuksien mahdolliset erot riippuvat kaikista samoista tekijöistä kuin saunavuorojen välissäkin. Pienemmän lämpötilan ylläpitämiseen vaaditaan pienempi teho ja tehojen erotus on sitä suurempi, mitä suurempia ovat vaipan pintojen pinta-alat A_j , lämmönläpäisykertoimet U_j ja vaihtuvan ilman massavirta $q_{m,i}$. Toisin kuin saunavuorojen välissä, höyrystyvä vesi lisää tarvittavaa tehoa. Osittain tästä syystä kiukaiden energiankulutus onkin saunomisen aikana suurempi kuin saunavuorojen välissä.

Mikäli vedenkulutus on sama eri kiukailla, se ei tietenkään aiheuta mitään eroa energiankulutuksessa. Toisaalta kiukaalle heitetty vesi höyrystyy paremmin suuren kivimassan omaavissa kiukaissa. Tällöin suurella kiukaalla saattaa olla jopa pieniä kiukaita suurempi energiankulutus, vaikka tarvittava lämpötila olisikin pienempi.

Kiuasta vaihdettaessa osalla käyttäjistä saattaa höyrystyvän veden määrä kasvaa huomaamatta, koska vesi ei vanhan mallin mukaan valu kiukaan läpi lattialle. Kiukaalle siis heitetään sama määrä vettä kuin ennenkin, mutta suurempi osa siitä höyrystyy. Esimerkkisaunan olosuhteissa energiantarve tunnissa 10 °C pienemmällä lämpötilalla on 0,17 kWh:a pienempi, samalla tavalla kuin saunavuorojen välisenäkin aikana, mikäli höyrystyvän veden määrä ei muutu lainkaan. Yhtälöstä (15) voidaan johtaa yhtälö (16) jolla voidaan laskea, kuinka paljon höyrystyvän veden massavirta saa korkeintaan lisääntyä, jotta pienemmällä lämpötilalla saatu energiansäästö ei häviä.

$$\Delta P \geq r \Delta q_{m,v} \quad (15)$$

$$\Delta q_{m,v} \leq \frac{\Delta P}{r} = \frac{0,17 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 7,52 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (16)$$

Höyrystyvän veden massavirta saa kasvaa korkeintaan $7,52 \cdot 10^{-5}$ kg/s, eli siis noin 2,7 desilitraa tunnissa. Näin pieni kasvu on hyvinkin todennäköinen, joten kiukaan kivimassan kasvattamisella ja sillä tavoin tarvittavan lämpötilan pienentämisellä on hyvin pieni säästöpotentiaali saunomisen aikana.

2.6 Laskennan johtopäätökset

Suurin osa laskennassa huomioituista tekijöistä vaikutti kulutukseen lämmityksen, saunomisen ja saunavuorojen välisenä aikana samalla tavalla. Tärkeimmät tekijät olivat saunan koko, eristys, ilmanvaihto, saunan lämpötila ja kiukaalle heitetyn veden määrä. Eristystä lukuun ottamatta kaikkien tulisi olla mahdollisimman pieniä energiataloudellisesti ajatellen.

Kiukaan kivimassa ei vaikuta saunan energiankulutukseen kaikkina aikoina, kuten muut tekijät. Kivien massan suurentaminen kasvattaa lämmitykseen kuluvaan aikaan ja siten lisää myös lämmityksen energiankulutusta. Toisaalta kivimassan suurentaminen vähentää energiankulutusta saunan varsinaisen käytön aikana, mikäli oletetaan että suurempi kivimassa tehostaa veden höyrystymistä ja siten saa jo pienemmällä lämpötilalla aikaan yhtä hyvän lämmöntuntemuksen, kuin pienempi kiuas suuremmalla lämpötilalla.

3 MITTAUKSET

Teoreettisilla laskelmilla ei voida täysin korvata käytännön mittauksia. Siksi laskelmien tukemiseksi tehtiin käytännön mittauksia 18 ja 19.5.2009 Tehtaankatu 13. saunatiloissa Helsingissä. Taloyhtiössä on kaksi identtistä saunaa, jotka vastaavat mitoiltaan teoreettisissa laskelmissa käytettyä esimerkkisaunaa. Kummankin saunan sisämitat ovat 2·2·2,1 [m] ja oviaukkojen sisennysten mitat 0,8·2,1·0,3 [m]. Saunojen tilavuudet olivat siis noin 9 m³. Saunoissa oli taloyhtiön asukkaiden käytössä 'IKI Sähkö 7,5 kW' –kiukaat, joita ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa käytetty. Mittauksia varten yhteen saunaan tuotiin käyttämätön 7,5 kW IKI-Kiuas ja toiseen Helon 8 kW:n sähkökiuas, joka oli myös käyttämätön. Vertailukiuas on nimellisteholtaan 8 kW, koska IKI-kiukaan lisäksi ei myynnissä ole toista 7,5 kW:n kiuasta. Nimellistehon erolla ei kuitenkaan pitäisi olla suurta merkitystä, koska tutkimuksessa vertailtiin keskimääräisiä tehoja. Suuremmat vastukset ovat vähemmän aikaa päällä, mikäli energiankulutus on sama.

Kiukaiden kivet olivat Sauna Graniittia, kivilaatu Oliviini diapaasi alle 10 cm. Kummassakin kiukaassa käytettiin samoja kiviä, joita IKI-Kiuas Oy oli käyttänyt myös aikaisemmissa tuotekehitykseen liittyvissä tutkimuksissaan. Kiukaiden kivet olivat keskenään samanikäisiä ja yhtä paljon käytettyjä. IKI-kiukaaseen pantiin kiviä noin 130 kg ja Helon vertailukiukaaseen noin 30 kg. Kiukaiden kivimassojen ero oli siis sama 100 kg, jota käytettiin laskennassa. Merkittävä ero teoreettisten laskelmien ja mittausten välillä on se, että laskelmissa käsitellään saunan lämpötilan ylläpitämiseen ja veden höyrystymiseen tarvittavaa energiaa, kun taas mittauksissa mitattiin sähkönkulutusta.

Tarvittava energia on sähkönkulutuksen ja kivistä vapautuvan energian summa.

3.1 Mittausmenetelmät

Mittauksissa mitattiin kummankin saunan energiankulutusta Hager ec 310 kWh -mittareilla, joita oli yksi kummallekin kiukaalle. Saunojen lämpötiloja mitattiin kahdeksalla One wire viewer -lämpötilamittarilla, joita oli neljä kummassakin saunassa. Mittarit oli sijoitettu niin, että kummankin saunan ylälauteen ulkoreunalla oli mittari kummassakin reunassa noin 15 senttimetrin etäisyydellä seinästä. Kolmannet mittarit olivat katon oikeassa takakulmassa sijaitsevilla poistoilmaventtiileissä ja neljännet keskellä saunojen takaseiniä selkänojien päällä. Neljän eri lämpötilan avulla laskettiin saunojen yläosien keskilämpötilat, joita käytettiin laskennassa. Saunojen yläosien lämpötilojen oletettiin antavan paras kuva saunojaan vaikuttavista lämpötiloista. Lisäksi mittauksissa käytettiin Vaisala HMI 41 -ilmankosteusmittaria ja CompuFlow Thermoanemometer Model 8585 -virtausnopeusmittaria, joilla todistettiin saunojen olevan mahdollisimman samankaltaisia. Mittauksilla haluttiin vertailla kiukaiden energiankulutuksia lämmityksessä ja käytön aikana eri lämpötiloilla.

Saunomisen simuloinnissa käytettiin kahta löylykauhaa, joiden kummankin tilavuuden todettiin olevan noin 3 dl desimitan avulla. Saunomisen aikana kiukaille heitettiin vettä 3 dl kerralla, 2 minuutin 35 sekunnin välein. Erikoinen löylynheittoväli valittiin, koska lämpömittarien mittausväli oli tasan 1 minuutti. Löylynheittoaajuus ei saa olla mittaustaajuudella jaollinen, koska se heikentäisi mittausten tarkkuutta. Vesi kaadettiin hitaasti joka puolelle kiviä, jotta mahdollisimman pieni osa valuisi kiukaan läpi. Löylyä heitettiin jokaisen saunavuoron aikana kahdeksan kertaa. Ensimmäisen ja viimeisen löylynheiton välinen aika oli siis noin 18 minuuttia

3.2 Tulokset

Kiukaiden asennusten yhteydessä niiden virrankulutus mitattiin, niiden tarkkojen tehojen selvittämiseksi. Helon virrankulutus oli 11,4 A, joten sen sähköteho oli 7,8 kW. IKI-Kiukaan virrankulutus vastaavasti oli 10,7 A ja teho 7,4kW. Kummankin kiukaan

teho erosi siis hieman ilmoitetusta. Saunoista mitattiin ennen kiukaiden käynnistämistä lämpötilat, suhteelliset ilmankosteudet ja virtausnopeus poistoilmaventtiilin suulla, jotta tiedettäisiin eroavatko saunat toisistaan merkittävästi. Kyseiset suureet mitattiin kolmeen kertaan muutaman minuutin välein. Saunojen lämpötilat olivat ennen saunomista noin 23 °C ja suhteelliset ilmankosteudet noin 30 % keskeltä saunaa mitattuna. Virtausnopeudet mitattiin kummankin saunan poistoilmaventtiilistä, kohdasta jossa venttiilin halkaisija oli 10 cm. Virtausnopeus oli kummassakin venttiilissä noin 1,0 m/s. Vertailtavat saunat olivat siis samanlaisia myös näiden ominaisuuksien suhteen ja siksi niistä saatuja mittaustuloksia voidaan helposti vertailla keskenään.

Kiukaiden energiankulutuksia mitattiin tiistaina 19.5.2009. Kummankin saunan lämpötila ennen lämmitystä oli noin 23 °C. Saunoja lämmitettiin kunnes keskimääräinen lämpötila oli IKI - kiukaan saunassa noin 63 °C ja vertailusaunalla noin 70 °C. Kyseisissä lämpötiloissa kummatkin kiukaat ovat valmistajien ilmoittamien suosituslämpötiloissa. Kyseiset lämpötilat oletettiin kummallekin kiukaalle tyypilliseksi saunomislämpötilaksi. Näissä keskimääräisissä lämpötiloissa poistoilman lämpötilat olivat vertailusaunassa 85 °C ja IKI-kiukaan saunassa 74 °C. Lämpötila ylälauteen korkeudella oli kummassakin saunassa noin 55 °C. Suuremman kiukaan hitaammalla lämmityksellä saatiin siis saunaan aluksi hieman tasaisempi lämpötilajakauma. Lämpötilaerot tasoittuivat myöhemmin saunomisen aikana, eikä sillä oleteta olevan merkitystä energiatalouden kannalta. Ilmanvaihtoa ei suljettu lämmityksen ajaksi.

Lämmityksen aikana IKI-kiuas käytti 10,8 kWh ja vertailukiuas 8,4 kWh sähköä. Ero lämmityksen aikana oli siis 2,4 kWh pienemmän kiukaan eduksi. Mikäli laskelmat pitävät paikkansa, IKI-kiukaan 100 kg:a suurempi kivimassa selittää noin 2,2 kWh energiankulutuksien erosta. Kuten jo aikaisemmin todettiin, kiviin varastoitunut energia voidaan saada myöhemmin hyödyksi saunan käytön tai kuivaamisen aikana. Tällöin IKI-kiukaalla menetettiin vain noin 0,2 kWh:a enemmän energiaa ilmanvaihdon ja vaipan läpi poistuvan energiavirran mukana ympäristöön. Aikaa saunan lämmitykseen kului vertailukiukaalla 1h 38 min ja IKI - kiukaalla 2h 23 min. Lämmityksen osalta mittausten tulokset olivat siis samaa kokoluokkaa kuin teoreettisten laskelmien tulokset.

Saunavuorojen välisenä aikana kiukaiden keskimääräiset tehot olivat IKI - kiukaalla 2,7 kW ja Helolla 3,0 kW. IKI - kiukaalla oli siis 0,3 kW pienempi teho, sen saunan keskimääräisen lämpötilan ollessa noin 7 °C pienempi. Lämpötilan lasku pienensi kiukaalta vaadittavaa tehoa siis noin 0,04 kW/°C eli hieman enemmän kuin laskelmissa arvioitiin. Mittausten tulokset ovat kuitenkin niin lähellä teoreettisten laskelmien tuloksia, että oletetaan mitattujen sähkönkulutusten kuvaavan saunojen kokonaisenergiankulutuksia. Lämmityksessä IKI-kiukaan suurempaan kivimassaan varastoitunutta energiaa ei siis siirtynyt merkittävästi ilmaan saunavuorojen välisenä aikana. Siispä näissä olosuhteissa IKI-kiukaalla olisi säästetty lämmityksessä saunasta ympäristöön poistuva 0,2 kWh:n energiavirta alle tunnissa.

Tiistain aikana kummallakin saunalla saunottiin kolme kertaa. Saunojen keskimääräiset lämpötilat olivat saunavuorojen aikana IKI-Kiukaalla 68 °C, 62 °C sekä 59 °C ja vertailukiukaalla 73 °C, 64 °C ja 53 °C. Vertailusaunan sähkönkulutus oli kahden ensimmäisen saunavuoron aikana 2,2 kWh ja viimeisessä 2,1 kWh. Sähkönkulutus on mitattu ensimmäisen ja viimeisen löylynheiton väliltä, eli noin 18 minuutin ajalta. Vertailukiukaan keskimääräinen teho oli saunomisen aikana siis noin 7,3 kW, mikä on melko lähellä kiukaan nimellistehoa. Vastaavissa löylyvuoroissa IKI-kiuas kulutti sähköä 0,3 kWh, 0,7 kWh ja 0 kWh. Viimeisessä saunavuorossa kiukaan vastukset eivät siis olleet lainkaan päällä. Viimeisen saunavuoron aikana vertailusaunassa oli IKI-kiukaan saunaa pienempi lämpötila. Teoreettisten laskelmien mukaan vertailusaunassa olisi tällöin pitänyt olla myös pienempi energiankulutus. Samoin keskimääräisen saunavuoron aikana energiankulutuksien olisi pitänyt olla suurin piirtein samat. Lisäksi kaikkien saunavuorojen aikana vertailukiukaan läpi valui merkittävä osa sille kaadetusta vedestä, kun taas IKI-kiuas höyrysti lähes kaiken, joten myös veden höyrystyminen kulutti IKI-kiukaalla enemmän energiaa kuin vertailukiukaalla. Saunat eivät siis olleet stationarisessa tilassa, vaan voidaan olettaa, että IKI-kiukaan pienempi sähkönkulutus johtui sen suurempaan kivimassaan varastoituneesta energiasta. Tulos siis vahvistaa sen olettamuksen, että lämmityksessä kiviin varastoitunut energia saadaan hyvin hyödynnettyä saunomisen aikana.

4.3 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa käytettiin IKI-kiukaalla noin 10 °C pienempiä lämpötiloja kuin vertailukiukaalla. Kyseinen lämpötilaero valittiin eri valmistajien ilmoittamien saunomislämpötilojen perusteella. Mukava saunomislämpötila kuitenkin riippuu täysin mielipiteestä. Tieteellisesti on vaikea todeta, kuinka paljon ilmankosteus vaikuttaa lämmöntuntemukseen saunassa. Energiankulutusta tarkastellessa ei ole kuitenkaan oleellista, saadaanko kosteammassa saunassa todellisuudessa täysin sama lämmöntuntemus, kuin kuivassa saunassa 10 °C korkeammalla lämpötilalla. Energiaa säästyy vaikka ihmiset alentaisivat saunomislämpötilaa pelkän mielikuvan takia.

Laskennan esimerkkisaunan ja mittausten saunan välillä pitäisikin olla hieman eroa. Poistoilmaventtiileistä mitattu virtausnopeus osoittaa, että ilma vaihtui mittausten saunoissa noin kolme kertaa tunnissa, kun taas esimerkkisaunan ilma sen sijaan vaihtui neljä kertaa tunnissa. Siksi myös saunasta ilmanvaihdon mukana ympäristöön poistuva energiavirta on mittausten saunoissa pienempi kuin laskennan esimerkkisaunassa.

Esimerkkisaunan lasketut arvot ja mittauksissa saadut arvot olivat kuitenkin niin lähellä toisiaan, että teoreettisten laskelmien voidaan olettaa olevan oikeansuuntaisia. Lämpömittarit näyttivät kaikki samaa arvoa pitkän aikaa ennen kuin saunoja alettiin lämmittää ja myös saunojen jäädyttämisen jälkeen. Voidaan siis olettaa, että mikäli lämpötilamittarien näyttämät arvot heittävätkä todellisista lämpötiloista, niissä kaikissa on samaa kokoluokkaa oleva virhe. Tällöin virheellä ei pitäisi olla suurta merkitystä saunojen lämpötilaeroja laskettaessa. Mitattaessa suhteellista ilmankosteutta ja ilman virtausnopeutta, käytettiin kummassakin saunassa samaa mittaria. Tällöin myös niiden tuloksissa mittarin epätarkkuuden merkitys on pieni, koska oleellista on saunojen välinen ero eivätkä tarkat arvot.

3.3 Mittausten johtopäätökset

Erikokoisten kiukaiden erot olivat niin suuria, että mittaustuloksiin voidaan suuntaantavasti luottaa. Mitään lukuarvoja, kuten tarkkaa aikaa jolloin IKI-kiuas alkaa säästää energiaa vähän kiviä sisältävään kiukaaseen nähden, ei kuitenkaan voida ottaa kirjaimellisesti. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että laskentaan perustuvat arviot olivat oikeansuuntaisia ja että suurella kiukaalla on mahdollista säästää energiaa vähän kiviä sisältävään kiukaaseen verrattuna, koska suuren kivimassan ansiosta vesi höyrystyy tehokkaasti pienemmässä lämpötilassa kuin pienellä kiukaalla. Pienemmän lämpötilan ylläpitämiseen kiukaalta vaaditaan pienempi teho ja siksi energiaa säästyy varsinkin saunavuorojen välisenä aikana.

Mittausten tulokset myös tukevat teoreettisia laskelmia, joiden mukaan suurella kiukaalla saunan lämmittämiseen kuluu enemmän energiaa, kuin vähän kiviä sisältävällä kiukaalla. Suurempi energiankulutus lämmityksen aikana johtuu suurelta osin suurempaan kivimassan sitoutuneesta energiasta, joka saadaan hyödynnettyä myöhemmin saunan käytön aikana, eikä sitä siksi menetä ympäristöön. Suuremmasta energiankulutuksesta vain murto-osa poistuu ympäristöön.

IKI-kiukaalla säästetään kilpailijoiden pieniin kiukaisiin verrattuna energiaa silloin, kun käytönaikaisten energiankulutuksien ero on suuremman kiukaan eduksi suurempi, kuin lämmityksen aikana energiankulutuksien ero pienemmän kiukaan eduksi. Energiansäästö saunan käytön aikana riippuu saunan ominaisuuksista ja siitä kuinka pitkään saunat ovat lämmityksen jälkeen käytössä. Mittaustulokset osoittavat, että ainakin taloyhtiöiden saunoissa, joissa saunotaan useita tunteja päivässä, suurella kiukaalla voi olla pienempi energiankulutus. Laskennassa käytetty esimerkkisauna kuvasi tavallista kerrostalon yhteisösaunaa ja siinä energiaa säästettiin jo alle kolmen tunnin päivittäisellä käytöllä. Päivittäiseen käyttöön kuuluvat saunavuorot ja niiden välinen aika.

4 ENERGIANKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Laskennassa kuvattiin saunan energiankulutusta lämmityksen aikana yhtälöllä (3), sekä tehonkulutusta saunavuorojen välisenä aikana yhtälöllä (8) ja sanomisen aikana yhtälöllä (13). Kyseiset yhtälöt esitetään uudestaan alla.

$$E = \left[\left(\frac{q_{m,i} c_{p,i}}{2} + \frac{\sum U_j A_j}{2} \right) + m_i c_{v,i} \right] \Delta T + m_k c_{v,k} (T_k - T_1) \quad (3)$$

$$P_k = \sum U_j A_j (\bar{T} - T_1) + q_{m,i} c_{p,i} (\bar{T} - T_1) \quad (8)$$

$$P_k = \sum U_j A_j (\bar{T} - T_1) + q_{m,i} c_{p,i} (\bar{T} - T_1) + q_{m,v} r \quad (13)$$

Kyseisissä yhtälöissä on monia yhteisiä tekijöitä, kuten saunan tuloilman lämpötila T_1 . Tuloilman lämpötilan nostaminen ja toisaalta poistoilman lämpötilan laskeminen vähentäisivät kiukaan energiankulutusta, mutta mikäli tuloilman lämmittäminen kuluttaisi vastaavan määrän energiaa jossain muualla, energiankulutus ei laajemmassa mittakaavassa vähenisi. Lämmöntalteenottoa saunan poistoilmasta vaikeuttaa suuri ilmakeuhuus, joka altistaa lämmöntalteenottolaitteen likaantumiselle ja jäätymiselle. Saunan poisto- ja tuloilman suuri lämpötilaero kuitenkin tekevät lämmöntalteenotosta mahdollisen ratkaisun energiansäästöön varsinkin suurissa saunoissa ja tiloissa, joissa saunoja on useita. Lämmöntalteenotto on taloudellisempaa suurilla ilmavirroilla.

Saunan vaipan pinta-ala A_j , lämmönläpäisykerroin U_j ja ilmanvaihdon massavirta $q_{m,i}$ vaikuttavat energiankulutukseen koko sen käytön aikana. Kaikkien kolmen pienentäminen pienentäisi myös energiankulutusta. Vaipan sisäpinta-alan pienentäminen olisi yleensä hankalaa ilman tilavuuden pienentämistä. Tilavuuden vähentämiseen taas ainoa mahdollisuus on saunan sopivan pieni mitoitus. Yleensä tämä tapa ei kuitenkaan tule kysymykseen, koska sauna on mitoitettu saunojen määrän mukaan. Lämmönläpäisykerroimen pienentäminen eli käytännössä eristyksen parantaminen taas olisi potentiaalinen säästömahdollisuus. Eristys paranisi esimerkiksi vaihtamalla

lasiovista puisiin oviin ja välttämällä turhia ikkunoita ja lasiseiniä. Ilmanvaihdon vähentäminen onnistuisi varsinkin saunan lämmityksen aikana. Omakotitaloissa näin usein onkin, mutta taloyhtiöissä saunan ilmanvaihto toimii monesti vakioteholla myös lämmityksen ajan.

Energiankulutukseen vaikuttavat suuresti kiukaan kivimassasta riippuvat kiukaan lämpiämisaika ja kyky höyrystää vettä. Kiukaan kivimassan kasvattaminen voi yhtäjaksoisen käytön pituudesta riippuen joko kasvattaa tai pienentää energiankulutusta. Suurentunut energiankulutus lämmityksen aikana merkitsee sitä enemmän mitä vähemmän aikaa sauna on käytössä. Suurissa kylpylöissä kiukaat voivat olla päällä kymmeniä tunteja yhtäjaksoisesti. Näissä lämmityksen energiankulutus jää häviävän pieneksi osaksi kokonaisenergiankulutusta. Vastaavasti kotitalouksien saunoja käytetään useimmiten vain lyhyen aikaa kerrallaan, joten niissä lämmityksellä on vastaavasti erittäin suuri merkitys. Voidaankin siis sanoa että kiukaan optimaalinen kivimassa on sitä suurempi, mitä pienempi merkitys lämmityksellä on kokonaisenergiankulutuksen kannalta, eli mitä pitempään kiuas on yhtäjaksoisesti käytössä.

Suurten kiukaiden energiankulutusta lämmityksen aikana voitaisiin pienentää kasvattamalla kiukaiden tehoa niin, että saunan lämmitysaika pysyisi samana kuin pienemmillä kiukailla. Käytönaikainen tehon tarve ei kasva kiukaan tehoa kasvattamalla, koska suuremmat vastukset ovat vähemmän aikaa päällä kuin pienet vastukset. Käytännössä kiukaat mitoitetaan kuitenkin saunan lattiapinta-alan mukaan, eikä kivimassaa oteta huomioon. (Energiateollisuus Ry 2009)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskennan ja mittausten perusteella voidaan vahvistaa IKI-Kiuas Oy:n arvio, jonka mukaan suurella kiukaalla voidaan säästää energiaa pienemmän saunomislämpötilan ansiosta. Säästöä voidaan kuitenkin saada lähinnä taloyhtiöissä, kylpylöissä ja muissa saunoissa, joissa lämmityksen jälkeen saunotaan useita tunteja. Vähän käytetyissä saunoissa suuri kivimassa taas lisää energiankulutusta, koska lämmityksen aikainen

energiankulutus kasvaa. Kivimassa tulisikin optimoida saunan käyttötarkoituksen mukaan ja kivimassan kasvaessa tehon tulisi myös kasvaa, jotta saunan lämmittämis aika ei kasva liian suureksi.

Saunan energiankulutusta voitaisiin monessa kohteessa vähentää kiuasta vaihtamalla. Helpoimpia tapoja ovat lämpötilan alentaminen ja ilmanvaihdon sulkeminen lämmityksen ajaksi. Uutta saunaa rakentaessa tulisi kiinnittää huomiota rakenteiden eristävyys.

LÄHTEET

Energiateollisuus Ry. 2007. Sähkökiukaalla sauna lämpimäksi [www-dokumentti].
[Viitattu 24.11.2009]. Saatavissa:

<http://www.energia.fi/fi/sahko/kotijasahko/kodinsahkolaitteidenkaytto/sahkokiukaat>

IKI-Kiuas Oy. 2009. Tutkimus IKI-Kiukaan Energiakulutuksesta [www-dokumentti].
[Viitattu 24.11.2009]. Saatavissa: <http://www.ikikiuas.fi/ajankohtaista.htm>

Incopera et al. 2006. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. United States of
America. John Wiley & Sons. 997s. ISBN-13: *978-0-471-45728-2.

Korhonen et al. 2002. Kotitalouksien ja toimistotilojen laitesähkön käytön tehostaminen
[pdf-dokumentti]. [Viitattu: 21.1.2010]. Saatavissa:

http://www.tts.fi/images/stories/tts_julkaisut/tj384.pdf

Rinne. 2002. Puupolttoaineiden kuivausmenetelmien kartoitus [pdf-dokumentti].
[Viitattu 21.1.2010]. Saatavissa:

http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Julkaisut/PROJEKTIT/Rinne_Sami_Puupolttoaineiden_kuivausmenetelmien_kartoitus.pdf

Työtehoseura. 2010. Sauna [www-dokumentti]. [Viitattu 21.1.2010]. Saatavissa:

<http://www.tts.fi/kodinenergiaopas/lammitys/sauna.htm>