



Alexandre Smirnov

LÄMMÖNTALTEENOTTOSAVUPIIPUSTA SAATAVA HYÖTY

**LÄMMÖNTALTEENOTTOSAVUPIIPUSTA
SAATAVA HYÖTY**

Alexandre Smirnov
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikka, LVI-suunnittelu

Tekijä: Alexandre Smirnov

Opinnäytetyön nimi: Lämmöntalteenottosavupiipusta saatava hyöty

Työn ohjaaja: Martti Rautiainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 23 + 3 liitettä

Savumax Oy valmistaa savukaasuista hukkalämpöä talteenottavaa piippuratkaisua. Piipussa hormin ympärillä on vesivaippa, jonka vesi lämpenee kuumien savukaasujen vaikutuksesta. Lämmennyt vesi johdetaan lämminvesivaraajaan. Valmistaja ilmoittaa, että tällä ratkaisulla voisi saada talteen jopa 70 % savukaasujen hukkalämmöstä.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon pienen takan yhteyteen asennettu lämmöntalteenotto piippu saa energiaa talteen lämmitysprosessin aikana. Lämmöntalteenotto piippu asennettiin Oulussa sijaitsevan omakotitaloon. Palamisprosessin aikana mitattiin savukaasujen lämpötilaa piipun ylä- ja alaosasta, piippuun tulevan ja lähtevän veden lämpötilaa sekä vesivirtaa. Poltettavan polttoaineen määrä punnittiin ja selvitettiin painokosteusprosentti. Savukaasuanalyysin avulla selvitettiin palotapahtuman hyötysuhde.

Kun piipun kautta veteen siirretyn energian määrää verrattiin poltetun puun kokonaisenergiaan, saatiin piipun kokonaishyötysuhteeksi 13,1 %. Suurin osa poltetun puun lämpöenergiasta varastoituu takkaan. Piippu ottaa talteen savukaasuista vain vapaita häviöitä. Kohteessa olevan takan vapaat savukaasuhäviöt polttoprosessin aikana olivat 25,5 % ja sidotut häviöt 2,6 %. Näistä molemmista savukaasuhäviöistä piippu otti talteen 46,9 % ja vapaista häviöistä saatiin talteen 51,9 %.

Piipun hyötysuhteeseen vaikuttaa oleellisesti tulisijan hyötysuhde. Mitä kuumemmat savukaasut ovat, sitä enemmän vesivaippaan saadaan siirrettyä energiaa talteen, mutta silloin tulisijan hyötysuhde on huonompi. Tulisijan pitää kuitenkin olla oikein rakennettu, jotta polttoaine palaa kunnolla. Polttotapahtuman ollessa epätäydellinen savukaasut sisältävät paljon sidottuja häviöitä, joita lämmöntalteenotto piippu ei saa talteen.

Asiasanat: savupiippu, savukaasut, palaminen, lämmöntalteenotto

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 SAVUMAX OY	6
2.1 Lämmöntalteenottosavupiippu	6
2.2 Kohde	9
3 MITTAUSSUUNNITELMA	10
4 MITTAUKSET	12
4.1 Mittaus 1	12
4.1.1 Valmistelut	12
4.1.2 Ongelmat	12
4.1.3 Mittauksen suoritus	13
4.1.4 Mittaustulokset	13
4.2 Mittaus 2	16
4.2.1 Valmistelut	16
4.2.2 Ongelmat	16
4.2.3 Mittauksen suoritus	17
4.2.4 Mittaustulokset	17
5 YHTEENVETO	21
LÄHTEET	23
LIITTEET	
Liite 1 Savukaasujen K1-kerroin	
Liite 2 Savukaasujen K2-kerroin	
Liite 3 Veden ominaisuuksia eri lämpötiloissa	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutustutaan Savumax Oy:n valmistaman (LTO-) lämmöntalteenottosavupiippuun ja selvitetään mittauksin lämmöntalteenottosavupiipusta saatava hyöty. Savupiippu asennettiin omakotitalon pienen takan yhteyteen. Lämmöntalteenottoapiipun tehtävä on kerätä talteen hormin ympärillä olevaan vesivaippaan savukaasuista lämpöenergiaa, jota takka ei ole ehtinyt varastoi-
maan itseensä. Tämä talteen saatu lämpöenergia voidaan käyttää rakennuksen lämmittämiseen tai lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

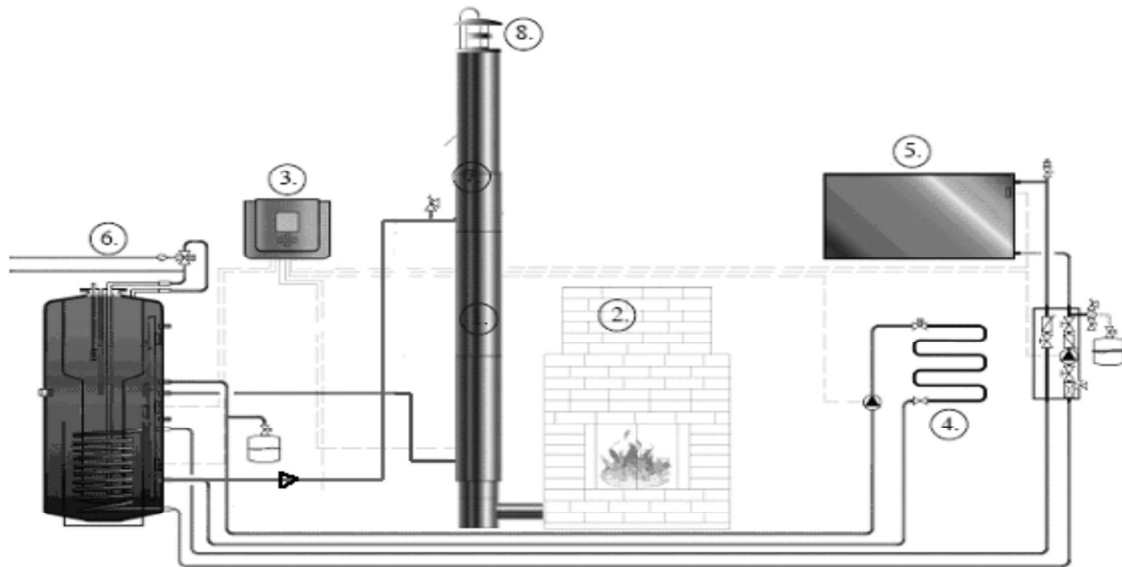
Savupiipun mittaus suoritetaan siten, että takassa poltettava polttoaine punnitaan ja selvitetään sen teoreettinen energiasisältö. Puun polton aikana mitataan, millaisella hyötysuhteella takassa puut palavat ja kuinka paljon energiaa saadaan varastoitua lämmöntalteenottosavupiipun kautta lämminvesivaraajaan. Talteen saatua energiamäärää verrataan teoreettiseen puun sisältämään kokonaisenergiaan, joka poltettiin takkapesässä. Lisäksi verrataan, kuinka monta prosenttia saadaan talteen savukaasujen sisältämästä energiasta, joka ei ole ehtinyt varastoitumaan takkaan.

2 SAVUMAX OY

Savumax Oy on yritys, joka on keskittynyt pientalon energiasäästäviin lämmitysratkaisuihin. Savumaxin päätuotteet ovat savupiippuvaraajat ja aurinkokeräinjärjestelmät. Oma tuotantolaitos sijaitsee Iittalassa, mutta lisäksi Leppävirralla, Hämeenlinnassa ja Kotkassa on sopimusvalmistajia. (1.)

2.1 Lämmöntalteenottosavupiippu

Lämmöntalteenottopiippu ottaa savukaasuista talteen lämpöä jäädyttäen samalla kuumia savukaasuja. Savukaasujen jäädytys lisää paloturvallisuutta. Savumax Oy:n lämmöntalteenottopiipussa lämpö kerätään talteen piipun ympärillä olevaan vesivaippaan ja talteen saatu lämpö varastoidaan vesivaraajaan, josta se voidaan hyödyntää talon lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Lämmöntalteenottosavupiippu voidaan asentaa lähes minkä tahansa tulisijan yhteyteen. Lämmöntalteenottosavupiippu on osana lämmitysjärjestelmää. Lämmöntalteenottosavupiipulla savukaasujen lämpöenergiasta on mahdollista ottaa talteen jopa 70 %. (2.) (Kuva 1.)



- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| 1. Talteenottopiippu LTOP-219, | 6. Käyttövesi |
| 2. Tulisija (takka, kiuas, yms.) | 7. Jatkohormi |
| 3. Järjestelmä ohjain | 8. Hattuventtiili |
| 4. Lämmityspiiri, vesikiertoinen | 9. Varaaja |
| 5. Aurinkokeräimet | |

KUVA 1. LTO-piippu on tarkoitettu osaksi lämmitysjärjestelmää (3.)

Piipun latausautomaatiikka

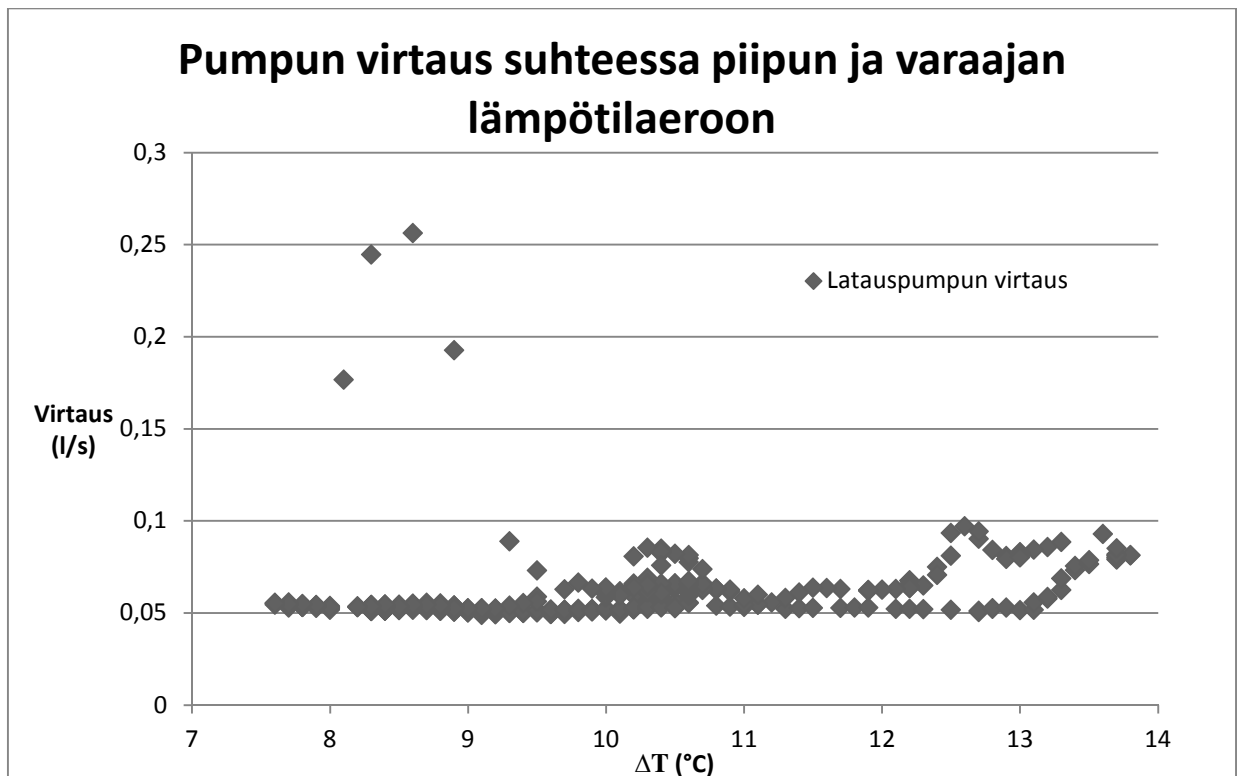
Savumax Oy:n toimittama latausautomaatiikka on Wagner & Co yrityksen valmistama Sungo Mini. Automaatiikka huolehtii LTO-piipun pumpun ohjauksesta. Tämän automaatiikan toimintaperiaate on yksinkertainen. Automaatiikka tarkkailee kahden anturin avulla LTO-piipussa olevan veden lämpötilaa ja vesivaraajan lämpötilaa ja käynnistää kiertovesipumpun, kun piipussa olevan lämpötila nousee 10 °C varaajan lämpötilaa korkeammaksi. Vastaavasti pumppu sammutaan, kun piipussa olevan veden ja varaajassa olevan veden lämpötilaero on enää 2 °C.

Latausautomaatiikka ohjaa Savumax Oy:n toimittamaa latausryhmää, joka sisältää Wilo RS25/6-3P -kiertovesipumpun, sulkuventtiilit ja lämpömittaurin. Latauspumpusta mitattiin vakiovesivirrat eri pumpun nopeuksilla VTT:n lainaamalla ultraäänivirtausmittarilla. Mitatut vesivirrat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Mitattu latauspumpun virtaus eri nopeuksilla

PUMPUN VAKIOVIRTAUKSET	
valittu nopeus	virtaus
nopeus 1	0,265 l/s
nopeus 2	0,394 l/s
nopeus 3	0,496 l/s

Mittausten aikana selvisi, että automatiikka rajoittaa pumpun pumppaustehoa. Kun $\Delta T < 10$ °C, pumpun virtaus pysyttelee 0,05 - 0,06 l/s rajoissa. Tämä automatiikan ominaisuus tuotti vaikeuksia ensimmäisessä mittauksessa. Kuvaan 2 on kerätty latauspumpun virtaukset suhteessa varaajan ja piipun vesivaipan lämpötilaeroon. Siitä nähdään, että käytännössä heti käynnistyksen jälkeen latauspumpun teho laskee minimiin. Kuvassa korkealla olevat pisteet ovat latauspumpun käynnistyshetkellä olevia vakiovirtoja pumpun nopeudella 1. Tämä suuri hetkellinen virtaus vastaa taulukossa 1 olevaa arvoa pumpun nopeudella 1.



KUVA 2. Latauspumpun vesivirta eri lämpötilaeroilla

Kuvasta 2 nähdään, että latauspumpun virtaus pysyttelee lähes poikkeuksetta 0,05 - 0,06 l/s. Korkealla olevat pisteet ovat hetkellisiä virtauksia pumpun käynnistyessä.

2.2 Kohde

Kohteena on Oulussa sijaitseva puolitoistakerroksinen omakotitalo. Talon pinta-ala on 86 m² ja talon rakentaminen on aloitettu vuonna 2006. Omakotitalo on asuttavassa kunnossa, mutta talolle ei ole tehty lopputarkastusta. Talon lämmitykseen käytetään Uponorin vesikiertoista lattialämmitystä. Lämmitystä ohjaa Ouman EH-800 -automaatiikka. Varaajana toimii Akvatermin Akva Solar 750 litrainen massavaraaja. Varaaja lämpenee ensisijaisesti sähkövastuksilla. Lisäksi varaajaan on kytketty talon katolla sijaitsevat aurinkopaneelit, jotka ovat talon omistajan valmistamia. Taloon on lisäksi asennettu ilmalämpöpumppu. Talon ilmanvaihdosta huolehtii Enerventin LTR-3 ilmanvaihtokone. Talvipäiviä varten taloon on hankittu pieni Fluegon puutakka. Takan yhteyteen asennettiin Savumax Oy:n LTO-savupiippu tavallisen valmiskiipun tilalle.

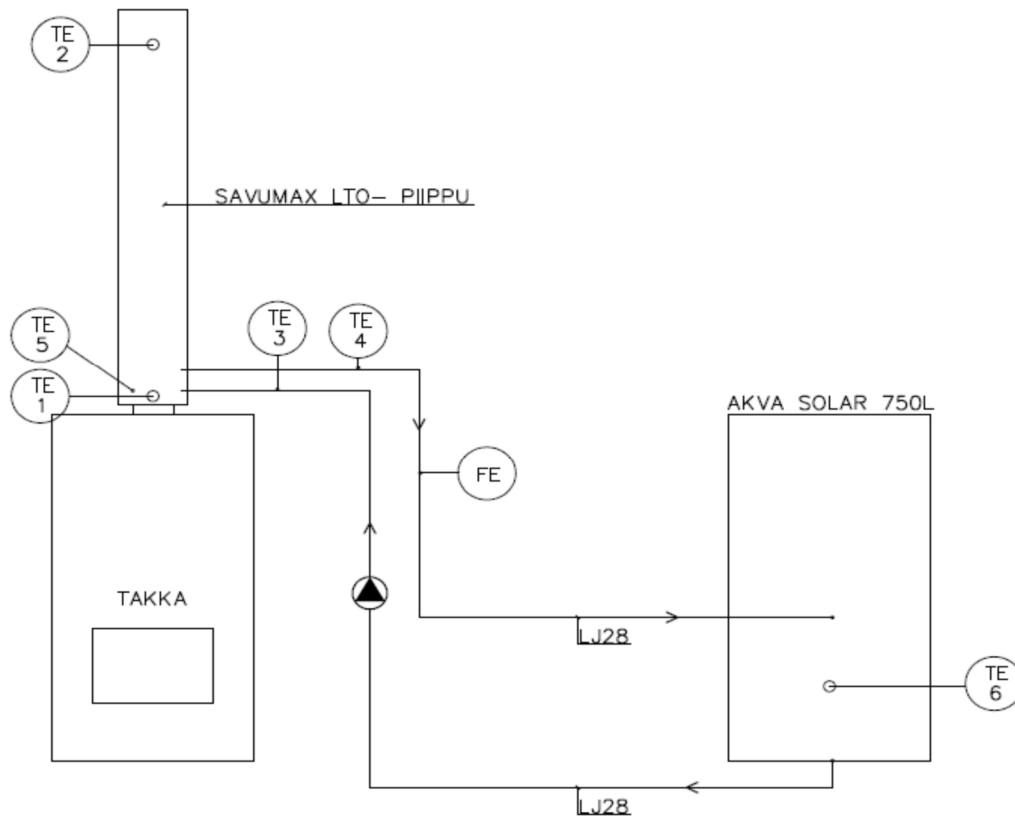
Piipun tilaus kohteeseen

Savumax-LTO-piippu koostuu kahdesta osasta: LTO-osasta ja eristetystä jatkohormista. LTO-osan pituus voi olla 1 000 – 4 000 mm, mikä riippuu asennustilan korkeudesta. Vesivaipallisen osan täytyy olla lämpimässä tilassa, jotta välttyttäisiin pakkaskaudella mahdollisilta jäätymisiltä. LTO-osan jatkoksi tulee eristetty hormiosa, joka jatkuu aina talon vesikatolle saakka. Vesikatolla piipun päässä on hattuventtiili, jolla hormi suljetaan. Piipun savuhormiliitäntä voi olla sivulta tai suoraan alta. Vesiliitännät voivat olla vesivaipan ylä- tai alapäässä. Mittauksia varten piipun vaipallisen osan ylä- ja alapäähän asennettiin tehtaalla puolen tuuman yhteet, jotta mittauksessa käytettävät anturit saadaan työnnettyä savuhormin sisälle.

3 MITTAUSSUUNNITELMA

LTO-savupiipusta mitattiin, kuinka paljon se parantaa polttopuusta saatavan energian määrää. Savupiippu ottaa savukaasuista talteen pelkästään lämpöä eli vapaata häviötä, eli piippu ei toimi katalysaattorina eikä näin ollen paranna itse polttoprosessia millään tavalla.

Mittausten aikana mitattaisiin savukaasujen lämpötilaa ennen ja jälkeen LTO-osan sekä varaajalta tulevan ja palavan veden lämpötilaa. Lisäksi savukaasuanalyysaattorilla mitattiin, kuinka tehokkaasti puut paloivat takassa. Mittauksissa käytettävät pisteet on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Mittauksessa käytetyt mittauspisteet

Ennen mittauksia vesivaraajan ja Savumax-piipun lämpötila tasattiin. Tämä suoritettiin pakkokäynnistämällä latauspumppu. Pumppua käytettiin niin kauan, että piippuun menevän ja piipusta palavan veden lämpötila oli sama. Mittauksen aikana talon lattialämmityksen kierto pysäytettiin mahdollisten ongelmien välttämiseksi.

Mittauslaitteisto

Mittauslaitteistona käytettiin

- tekniikan yksikön Grant Squirrel 1250- ja 1255-loggereita lämpötilojen sekä pumpun tilatiedon loggaamiseen
- savukaasuanalysaattoria Dräger Compact polttoprosessin loggaamiseen
- tekniikan yksikön ultraäänivirtausmittaria Portaflow 300 virtauksen mittaamiseen
- VTT:n ultraäänivirtausmittaria Controlotron Model WDP1 ja B3 1010 -antureita virtauksen loggaamiseen
- puun suhteellinen kosteuden mittaukseen Hydrometer RTU 600:a.

Mittauksessa olisi kannattanut käyttää pitotputkea savukaasujen virtauksen mittaamiseen. Näin olisi saanut laskettua suoraan piipun kautta hukkaan menevän vapaan häviön energiamäärä savukaasuista. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska piippuun hitsatuista yhteistä ei sellaista saa työnnettyä sisälle.

4 MITTAUKSET

Savumax Oy:n lämmöntalteenottopiippu asennettiin kesällä 2011. Mittaukset suoritettiin kevään 2012 aikana.

4.1 Mittaus 1

Ensimmäinen mittaus suoritettiin 22.3.2012. Mittauksen suorittamiseen meni aikaa kolme tuntia.

4.1.1 Valmistelut

Savupiippuun asennettiin kuumuutta kestävä K-tyyppin lasikuitutermparianturit ennen ja jälkeen vesivaipan. Piippuun tulevan ja lähtevän vesiputken kylkeen asennettiin myös K-tyyppin termoparianturit teippaamalla ja eristämällä Armaflex-solukumieristeellä. Kiertovesipumpun virtaamat määritettiin koulun ultraäänimittarin avulla kaikilla kolmella pumpun tehoasunnoilla. Pumpun käyntiä oli tarkoitus seurata asentamalla pumpun rinnalle ylimääräinen rele, josta apukärkien kautta saataisiin tieto loggerille pumpun käyntijaksoista.

Savukaasujen mittausta varten savupiipun alaosaan asennettiin savukaasuanalysaattori mittaamaan polttotapahtuman tehokkuutta.

Polttoa varten varattiin n. 10 kg koivupuuta, joka punnittiin vaa'alla. Puukalikoista mitattiin suhteellinen kosteus Hydrometer RTU 600 -mittarilla.

4.1.2 Ongelmat

Ensimmäinen ongelma syntyi, kun huomattiin, että LTO-piipun automatiikka katkoo kiertovesipumpun virtaa, kun varaajan ja LTO-piipun lämpötila lähestyvät toisiaan. Tämä aiheutti releen nopeaa katkomista. Aluksi oletettiin, että ylimääräinen rele pumpun rinnalla aiheuttaa liikaa kuormaa ja häiriötä automatiikalle. Tilalle yritettiin asentaa pieni muuntaja, jolla saataisiin pumpun tilatieto taltioitua. Samaa katkomista esiintyi siitä huolimatta. Soitto Savumaxin edustajalle vahvisti, että automatiikan kuuluukin katkoa virtaa. Näin automatiikka pyrkii pitämään kierron päällä mahdollisimman yhtäjaksoisesti.

Tämä sekoitti ensimmäisen mittausyrityksen, koska ensisijainen oletus oli, että piipussa veden kierto pysyisi vakiona valitulla pumpun tehoasennolla.

Koska kaikki oli valmiina, päätettiin mittaus suorittaa virheellisestä virtaustiedosta huolimatta. Näin saataisiin käsitys LTO-piipun toiminnasta.

4.1.3 Mittauksen suoritus

Ennen mittauksen aloittamista latauspumpulla sekoitettiin varaajan sekä LTO-piipun vesi saman lämpöiseksi. Takan pesässä sytytettiin tulet pienillä puutukilla ja pesään ladottiin mittausta varten varattua punnittua ja mitattua koivupuuta. Puuta poltettiin yhteensä 9,84 kg. Puun suhteellinen kosteus oli 14,34 %.

4.1.4 Mittaustulokset

Koska latauspumpun todellista virtausta ei pystytty ensimmäisessä mittauksessa todentamaan, arvioitiin siirretty energiamäärä varaajan alku ja loppulämpötiloja vertailemalla. Varaajan koko on 750 litraa ja latauspiirin tuloputki on kytketty varaajan keskiosaan ja paluuputki on kytketty varaajan pohjaan. Varaajan sisällä on LTO-piipusta palaavan yhteen yläpuolella lähes umpinainen välilevy, joka estää varaajassa olevan veden kerrostumista tasaisesti. Varaajan alkulämpötila oli 28,6 °C. Lämmityksen jälkeen varaajan keskilämpötila lämpötila oli 37,6 °C. Tästä voidaan arvioida, että varaajaan siirtyi lämpöenergiaa 3,91 kWh. Poltetun puun teoreettisesta energiasisällöstä LTO-piippu sai talteen 3,91 kWh / 44,1 kWh * 100 % = 9,57 %

Puulle laskettiin alempi lämpöarvo kaavalla 1 (4, s. 22).

$$H_a = \left(19,20 - \frac{k}{100} * 21,71 \right) MJ/kg \quad \text{KAAVA 1}$$

H_a = puun alempi lämpöarvo (MJ/kg)

k = puun painokosteusprosentti (%)

Takassa poltettiin 9,94 kg koivuklapeja, joiden keskimääräinen painokosteusprosentti 16,7 %. Puulle laskettiin alempi lämpöarvo H_a kaavalla 1, josta saatiin tulokseksi 15,57 MJ/kg eli 4,33 kWh/kg.

$$H_a = \left(19,20 - \frac{14,14}{100} * 21,71 \right) MJ/kg = 16,13 \frac{MJ}{kg}$$

1 joule [J] = 1 wattisekunti [Ws]

$$16,13 \frac{MWS}{kg} * 1000 \frac{kWS}{MWS} / 3600 \frac{s}{h} = 4,48 kWh/kg$$

TAULUKKO 3. Koivupuun sisältämä energia

MITTAUS 1	
Poltetun puun massa	9,84 kg
Koivun energiasisältö	4,48 kWh/kg
Puusta saatava teoreettinen maksimi	44,1 kWh

Savukaasujen häviöt

Savukaasuanalyysistä laskettiin savukaasujen vapaat ja sidotut häviöt. Häviöt laskettiin koko polttoprosessin ajalta keskimääräisistä arvoista.

Vapaan lämmön muodossa tapahtuvat savukaasuhäviöt lasketaan kaavalla 2 (5, s. 66).

$$q_n = K_1 \frac{t_s - t_i}{H_a(CO_2 + CO + CH_4)} \% \quad \text{KAAVA 2}$$

K_1 = kerroin, joka saadaan liitteenä 1 olevasta diagrammista

t_s = savukaasujen lämpötila (°C)

H_a = polttoaineen alempi lämpöarvo (MJ/kg)

CO_2 = savukaasujen hiilidioksidipitoisuus (%)

CO = savukaasujen hiilimonoksidipitoisuus (%)

CH_4 = savukaasujen metaanipitoisuus (%)

Savukaasuanalyysistä laskettiin savukaasujen vapaat ja sidotut häviöt. Häviöt laskettiin koko polttoprosessin ajalta keskimääräisistä arvoista.

Vapaan lämmön muodossa tapahtuvat savukaasuhäviöt lasketaan kaavalla 2.

$$q_n = 11,7 \frac{MJ}{kg^{\circ}C} * \frac{274,8^{\circ}C - 23,2^{\circ}C}{16,13 \frac{MJ}{kg} (5,9 + 0,1732 + 0)} \% = 30,13 \%$$

Palamattomien kaasujen muodossa tapahtuvat häviöt lasketaan kaavalla 3 (6, s. 69).

$$q_p = K_2 \frac{30,2*CO+85,5*CH_4+25,7*H_2}{CO_2+0,994*CO+0,995*CH_4} \% \quad \text{KAAVA 3}$$

K2 = kerroin, joka saadaan liitteenä 2 olevasta diagrammista

CO2 = savukaasujen hiilidioksidipitoisuus (%)

CO = savukaasujen hiilimonoksidipitoisuus (%)

CH4 = savukaasujen metaanipitoisuus (%)

H2 = savukaasujen vedyn osuus (%)

Vedyn, hiilimonoksidin ja metaanin määrää savukaasuissa ei mitattu, joten niitä ei oteta laskelmissa huomioon.

Palamattomien kaasujen muodossa tapahtuvat häviöt lasketaan kaavalla 3.

$$q_p = 2,12 \frac{30,2 * 0,1732 + 85,5 * 0 + 25,7 * 0}{5,9 + 0,994 * 0,1732 + 0,995 * 0} \% = 1,8 \%$$

Vedyn ja hiilimonoksidin määrää savukaasuissa ei mitattu, joten niitä ei huomioida. Vedyn ja hiilimonoksidin määrä on merkitty laskelmissa nollassi.

4.2 Mittaus 2

Koska ensimmäisistä mittauksista ei saatu riittävästi tuloksia hyötysuhteen laskemiseksi, suoritettiin toiset mittaukset 5.4.2012. Mittauksen suorittamiseen kuului aikaa saman verran, kuin ensimmäisessä mittauksessa.

4.2.1 Valmistelut

Savupiippuun asennettiin kuumuutta kestävä K-tyyppin lasikuitutermoparianturit ennen ja jälkeen vesivaipan. Piippuun tulevaan ja lähtevän vesiputken pintaan asennettiin myös K-tyyppin lankapari anturit teippaamalla ja eristettiin Armaflex-solukumieristeellä. Lisäksi lämmöntalteenottopiipun anturitaskuun ja massavaaraajaan anturitaskuun asennettiin termoparianturit. Kiertovesipumpun virtaama mitattiin lämpöjohtoon asennetulla ultraäänimittarilla. Latauspumpun käyntitilan tarkkailua varten latauspumpun rinnalle kytkettiin pieni muuntaja, josta saatiin jänniteviesti loggerille pumpun tilasta.

Savukaasujen mittausta varten savupiipun alaosaan asennettiin savukaasuanalysaattori mittaamaan palotapahtuman tehokkuutta.

Polttoa varten varattiin n. 10 kg koivupuuta, joka punnittiin vaa'alla. Puiden suhteellinen mitattiin kosteus Hydrometer RTU 600 -mittarilla.

4.2.2 Ongelmat

Ongelmat alkoivat valmistelun aikana, kuin koulun ultraäänimittari osoittautui vialliseksi. Useista mittarin nollausyrityksistä huolimatta mittari näytti sekavia lukemia. Ongelmaksi paljastui rikkinäinen ultraäänianturi. Anturin putkea vasten puristamiseen tarkoitettu kierretanko oli irronnut anturin kannesta ja kierretankon pää oli painanut anturin sisällä olevasta piirilevystä pintaliitoskomponentteja rikki.

Rikkinäisen ultraäänimittarin tilalle saatiin VTT:ltä lainaksi toinen ultraäänimittari. Ultraäänimittarilla mitattiin uudestaan pumpun vakiovesivirrat sekä suoritettiin tiedonkeruumittaus.

4.2.3 Mittauksen suoritus

Polttoprosessia varten varattiin sopiva määrä koivuklapiä. Takkaan sytytettiin tuli puutikkuja käyttäen ja lisättiin polttoa varten tarkoitetut puut. Samalla käynnistettiin mittausten tiedonkeruu. Koko polttotapahtuma tallennettiin dataloggereihin myöhempää laskentaa varten.

4.2.4 Mittaustulokset

Takassa poltettiin 9,94 kg koivuklapeja, joiden keskimääräinen painokosteusprosentti 16,7 %. Puulle laskettiin alempi lämpöarvo H_a kaavalla 1 josta saatiin tulokseksi 15,57 MJ/kg eli 4,33 kWh/kg.

$$H_a = \left(19,20 - \frac{16,7}{100} * 21,71 \right) MJ/kg = 15,57 \frac{MJ}{kg}$$

1 joule [J] = 1 wattisekunti [Ws]

$$15,57 \frac{MWs}{kg} * 1000 \frac{kWs}{MWs} / 3600 \frac{s}{h} = 4,33 kWh/kg$$

TAULUKKO 4. Koivupuun sisältämä energia

Poltetun puun sisältämä energia.

Poltetun puun massa.	9,94 kg
Koivun energiasisältö / kg	4,33 kWh/kg
Puusta saatava teoreettinen energian määrä	43 kWh

Savukaasujen häviöt

Savukaasuanalyysistä laskettiin savukaasujen vapaat ja sidotut häviöt. Häviöt laskettiin koko polttoprosessin ajalta keskimääräisistä arvoista.

Vapaan lämmön muodossa tapahtuvat savukaasuhäviöt lasketaan kaavalla 2.

$$q_n = 11,4 \frac{MJ}{kg^{\circ}C} * \frac{218^{\circ}C - 23,8^{\circ}C}{15,57 \frac{MJ}{kg} (5,4 + 0,226 + 0)} \% = 25,32\%$$

Palamattomien kaasujen muodossa tapahtuvat häviöt lasketaan kaavalla 3.

$$q_p = 2,15 \frac{30,2 * 0,226 + 85,5 * 0 + 25,7 * 0}{5,4 + 0,994 * 0,226 + 0,995 * 0} \% = 2,6\%$$

Vedyn ja hiilimonoksidin määrää savukaasuissa ei mitattu, joten niitä ei huomioida. Vedyn ja hiilimonoksidin määrä on merkitty laskelmissa nollassi.

Varaajaan siirrettävä hetkellinen teho laskettiin kaavalla 4 (5. s. 60).

$$\varphi = q_v * c_{pv} * \rho_v + (T_m - T_p) \quad \text{KAAVA 4}$$

φ = teho (kW)

q_v = vesivirta (m³/s)

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg °C)

ρ_v = veden ominaispaino (kg/m³)

T_m = menoveden lämpötila (°C)

T_p = paluueden lämpötila (°C)

Hetkellinen latausteho laskettiin kaavalla 4 viiden sekunnin välein koko mittausajalta tiedonkeruun tallentamien tietojen perusteella. Hetkelliset tehot summattiin yhteen ja kerrottiin ajalla, jolloin saatiin laskettua vesivaraajaan saadun energian määrä. Latauksen aikana veden keskimääräinen lämpötila oli 33 °C. Veden ominaislämpökapasiteetti ja ominaispaino katsottiin liitteen 3 taulukosta 30 °C:n kohdalta.

Laskelmien mukaan varaajaan saatiin siirrettyä energiaa 5,63 kWh. Kuvasta 3 nähdään, kuinka latausteho on jakautunut koko lämmitysajalle.



KUVA 3. Varaajan latausteho polttoprosessin aikana

Kuvaajan lopussa esiintyvä lyhyt erillinen latausjakso syntyi, kun varsinainen polttoprosessi oli päättynyt, mutta arinoiden päällä oli jäljellä vähän punahehkuisia kyteviä hiiliä, joiden takia savupeltiä ei voinut vielä sulkea. Vähäiset kuumat kaasut lämmittivät piipun vesivaippaa ja saivat latausautomaatiikan käynnistämään latauspumpun. Myös tämä lyhyt latausjakso on laskettu mukaan varaajaan talteen saaduksi tehoksi.

Piipusta saatu hyöty

Poltetun puun teoreettisesta energiasisällöstä LTO-piippu sai talteen 5,63 kWh.

Näin ollen hyötysuhde syötetystä kokonaisenergiasta oli

$$5,63 \text{ kWh} / 43 \text{ kWh} * 100 \% = 13,1 \%$$

Vapaat savukaasuhäviöt olivat 25,32 % ja sidotut häviöt olivat 2,6 %.

Takasta savupiippuun meni $43 \text{ kWh} * (25,32 \% + 2,6 \%) / 100 \% = 12 \text{ kWh}$.

Vapaita savukaasuhäviöitä oli $43 \text{ kWh} * 25,32 \% / 100 \% = 10,9 \text{ kWh}$.

Kaikista savukaasujen häviöistä lämmöntalteenotto piippu otti talteen

$5,63 \text{ kWh} / 12 \text{ kWh} * 100 \% = 46,9 \%$.

Vapaista savukaasuhäviöistä saatiin talteen

$5,63 \text{ kWh} / 10,9 \text{ kWh} * 100 \% = 51,7 \%$.

5 YHTEENVETO

Savumax Oy valmistaa savukaasuista hukkalämpöä talteenottavaa piippuratkaisua. Piipussa hormin ympärillä on vesivaippa, jonka vesi lämpenee kuumien savukaasujen vaikutuksesta. Lämmennyt vesi johdetaan lämminvesivaraajaan. Valmistaja ilmoittaa, että tällä ratkaisulla voisi saada talteen jopa 70 % savukaasujen hukkalämmöstä.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon pienen takan yhteyteen asennettu lämmöntalteenotto piippu saa energiaa talteen lämmitysprosessin aikana. Lämmöntalteenotto piippu asennettiin Oulussa sijaitsevan omakotitaloon. Palamisprosessin aikana mitattiin savukaasujen lämpötilaa piipun ylä- ja alaosasta piippuun tulevan ja lähtevän veden lämpötilaa sekä vesivirtaa. Poltettavan polttoaineen määrä punnittiin ja selvitettiin painokosteusprosentti. Savukaasuanalyysin avulla selvitettiin palotapahtuman hyötysuhde.

Kun tarkastellaan piipun kautta veteen siirretyn energian määrää poltetun puun kokonaisenergiaan, saatiin piipun kokonaishyötysuhteeksi 13,1 %. Tämä ei kuitenkaan kerro koko totuutta, koska syötetystä kokonaisenergiasta tulisija varastoii suurimman osan itseensä, kuten tulisijan kuuluukin tehdä. Jos palotapahtuma on täydellinen, eivät savukaasut sisällä sidottuja häviöitä ollenkaan. Kohteessa olevan takan vapaat savukaasuhäviöt polttoprosessin aikana olivat 25,5 % ja sidotut häviöt 2,6 %. Näistä molemmista savukaasuhäviöistä piippu otti talteen 46,9 % ja vapaista häviöistä saatiin talteen 51,9 %.

Piipun hyötysuhteeseen vaikuttaa oleellisesti tulisijan hyötysuhde. Mitä kuumemmat savukaasut ovat, sitä enemmän vesivaippaan saadaan siirrettyä energiaa talteen, mutta silloin tulisijan hyötysuhde on huonompi. Tulisijan pitää kuitenkin olla oikein rakennettu, jotta polttoaine palaa kunnolla. Polttotapahtuman ollessa epätäydellinen savukaasut sisältävät paljon sidottuja häviöitä, joita lämmöntalteenotto piippu ei saa talteen.

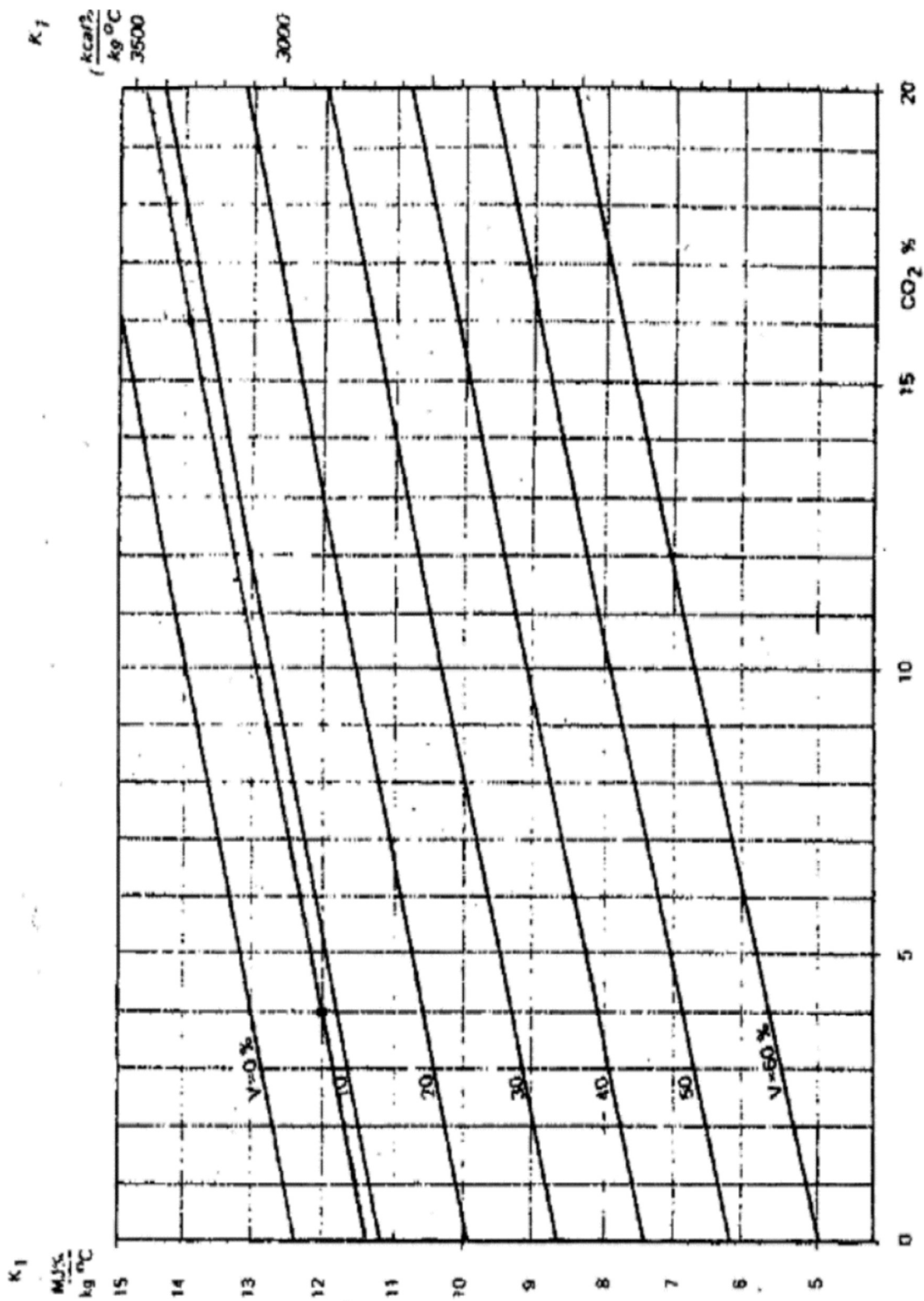
Jos oletetaan sähkön ja sähkön siirron maksavan noin 12 senttiä/kWh, saadaan piipulle laskettua säästö, joka on 0,68 € jokaista lämmityskertaa kohden. Jos

piippu asennettaisiin toisentyypin isomman lämmitysjärjestelmän yhteyteen, esimerkiksi hakelaitoksen, voisi säästö olla merkittävämpi.

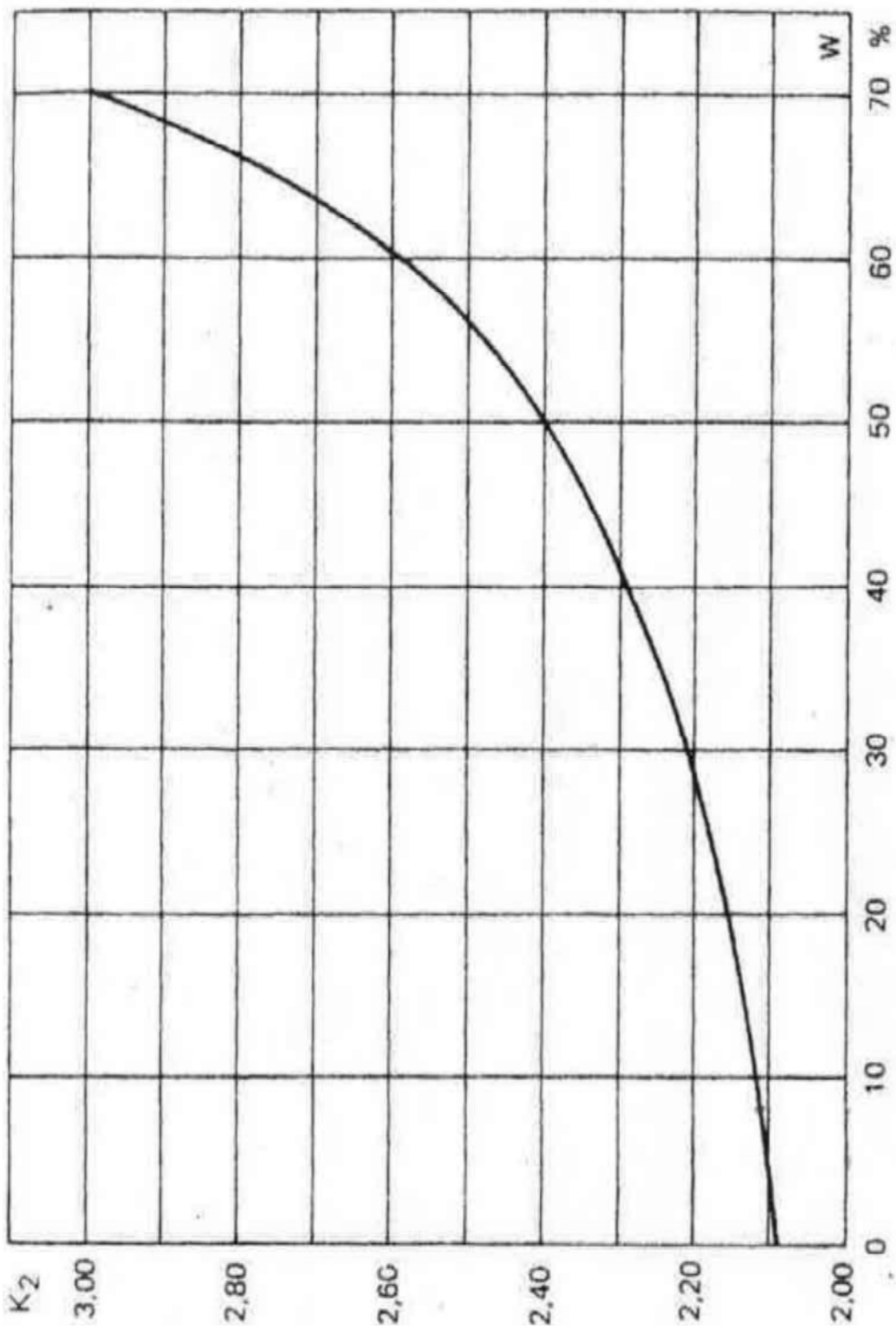
LÄHTEET

1. Savumax Oy. 2009. Saatavissa: <http://www.savumax.fi/yritys.php>. Hakupäivä 31.5.2012.
2. Savumax. Slimline-lämmitysjärjestelmät. Esite. Savumax Oy. Hämeenlinna:Savumax Oy. Saatavissa: http://www.savumax.fi/savumax_slimline_fi_web.pdf Hakupäivä 31.5.2012.
3. Talteenotopiipun toimintaperiaate. Esite. Savumax Oy. Hämeenlinna:Savumax Oy. Saatavissa: <http://www.savumax.fi/LTOP-toimintaperiaate.pdf> Hakupäivä 31.5.2012.
4. Lampinen, Kalevi 1986. Laka-vuosikirja 1987. Laatukattila Oy. Tampere: Litopaino. ISBN 951-99420-1-7.
5. Vuorelainen, Olavi 1978. LVI-tekniikka, polttoaineet ja palaminen. Toinen painos. Espoo: Otakustantamo. ISBN 951-671-223-1.
6. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Toinen painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. ISBN 951-98811-0-7.

K₁ kerroin saadaan kuvasta, kun tiedetään polttoaineen kosteusprosentti V ja savukaasujen hiilidioksidipitoisuus.



Kerroin saadaan kuvasta, kun tiedetään polttoaineen kosteusprosentti W.



T	p'	ρ'	i	c_p'	ν'	Pr'
°C	kN/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kgK	10 ⁶ m ² /s	
0	0,611	999,8	2501,6	4,217	1,75	13,0
10	1,227	999,7	2477,9	4,193	1,30	9,29
20	2,337	998,3	2454,3	4,182	1,00	6,94
30	4,241	995,7	2430,7	4,179	0,800	5,39
40	7,375	992,3	2406,9	4,179	0,656	4,30
50	12,34	988,0	2382,9	4,181	0,551	3,54
60	19,92	983,2	2358,6	4,185	0,471	2,96
70	31,16	977,7	2334,0	4,190	0,409	2,53
80	47,36	971,6	2308,8	4,197	0,361	2,20
90	70,11	965,2	2283,2	4,205	0,322	1,94
100	101,33	958,1	2256,9	4,216	0,291	1,73
110	143,27	950,7	2230,0	4,229	0,265	1,56
120	198,54	942,9	2202,2	4,245	0,244	1,42
130	270,13	934,6	2173,6	4,263	0,226	1,31
140	361,4	925,8	2144,0	4,285	0,211	1,21
150	476,0	916,8	2113,2	4,310	0,197	1,14
160	618,1	907,3	2081,3	4,339	0,186	1,07
170	792,0	897,3	2047,9	4,371	0,177	1,02
180	1002,7	886,9	2013,1	4,408	0,168	0,970
190	1255,1	876,0	1976,7	4,449	0,161	0,935
200	1554,9	864,7	1938,6	4,497	0,155	0,904
210	1907,7	852,8	1898,5	4,551	0,149	0,881
220	2319,8	840,3	1856,2	4,613	0,145	0,864
230	2797,6	827,3	1811,7	4,685	0,140	0,853
240	3347,8	813,6	1764,6	4,769	0,136	0,846
250	3977,6	799,2	1714,6	4,867	0,134	0,842
260	4694,3	783,9	1661,5	4,983	0,131	0,848
270	5505,8	767,8	1604,6	5,122	0,1295	0,860
280	6420,2	750,5	1543,6	5,290	0,1280	0,883
290	7446,1	732,1	1477,6	5,499	0,1270	0,916
300	8592,7	712,2	1406,0	5,762	0,1264	0,958
310	9870,0	690,6	1327,6	6,104	0,1253	1,00
320	11289	666,9	1241,1	6,565	0,1245	1,07
330	12863	640,4	1143,6	7,219	0,1240	1,19
340	14605	610,2	1030,7	8,233	0,1236	1,35
350	16535	574,3	895,7	10,11	0,1235	1,64
360	18675	527,5	721,3	14,58	0,1238	2,38
370	21054	451,8	452,6	43,17	0,1239	6,95
374,2	22120	315	0	∞	0,143	∞

T on veden lämpötilä, p' on kylläisen vesihöyryn osapaine, ρ' on veden tiheys, i on veden höyrystymislämpö, c_p' on veden ominaislämpökapasiteetti, ν' on veden kinemaattinen viskositeetti ja Pr' on Prandtin luku