

Tomi Tupala

LEIPOMON LVI-LAITTEIDEN PARANTAMINEN

Energiatekniikan koulutusohjelma

2009



TIIVISTELMÄ

LEIPOMON LVI-LAITTEIDEN PARANTAMINEN

Tupala, Tomi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Työn teettäjä: Markku Tiainen
Toukokuu 2009
Työn ohjaaja: Lehtori, Jarkko Heinonen
UDK: 620.9, 697.1
Sivumäärä: 24

Asiasanat: lämmitysenergian kulutus, energiatehokkuus, ilmanvaihtolaitteisto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Uudessakaupungissa sijaitsevien leipomo- ja asuinkiinteistöjen lämmitysenergian kulutuksen tutkiminen. Samalla tavoitteena oli kartoittaa millä keinoin lämmitysenergian kulutusta olisi mahdollista pienentää ja kannattaisiko kiinteistöjen lämmitysmuoto vaihtaa öljylämmityksestä kaukolämpöön.

Työssä lähdettiin liikkeelle lämmitysenergian kulutuksen ja sen jakautumisen tutkimisesta. Tutkiminen suoritettiin kahdella eri tavalla. Ensin määritettiin vuotuinen öljynkulutus kolmen kuukauden öljynkulutustietojen mukaan. Toinen tapa oli tutkia kulutusta suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Tässä tavassa keskeisessä asemassa oli seinien, ikkunoiden ja ovien pinta-alan sekä niiden u-arvojen määrittäminen. Tämän lisäksi päätettiin tutkia leipomon ilmanvaihtolaitteen toimintaa ja energiankulutusta. Näin pystyttiin tarkastelemaan laskelmien avulla saataisiinko ilmanvaihtolaitteiston energiatehokkuutta parannettua.

Heti työn alussa selveni, että suurin energiankuluttaja kiinteistöissä oli leipomon ilmanvaihtolaitteisto, jonka automaatio oli säädetty virheellisesti. Ongelmana oli tuulilman lämpötilan ohjaus sekä koneen käyntiajat. Koneen käyntiaikoja ei oltu asetettu ollenkaan vaan kone kävi ympäri vuorokauden täydellä teholla, jolloin energiaa meni hukkaan. Laitteistossa ei ollut myöskään lämmöntalteenottoa, joten tutkittiin ja laskettiin myös kannattaisiko laitteistoon asentaa lämmöntalteenotto.

Laskelmien mukaan kiinteistöjen öljynkulutus oli alkutilanteessa 12 390 litraa vuodessa. Leipomon ilmanvaihtolaitteiston automaation tehdyillä parannuksilla säästöä saadaan vuodessa arviolta 6040 litraa, jolloin vuotuiseksi öljynkulutukseksi jää 6350 litraa. Kyseistä öljymäärää vastaavalla energiamäärällä tutkittiin myös kannattaisiko öljylämmitys vaihtaa kaukolämpöön ja laskelmissa päädyttiin tulokseen, ettei se kannata, koska kaukolämpö tulisi vuodessa hieman kalliimmaksi kuin öljylämmitys.

ABSTRACT

IMPROVING OF BAKERY'S HVAC-DEVICES

Tupala, Tomi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in energy teknik

Commissioned by: Markku Tiainen

May 2009

Supervisor: Lecturer, Jarkko Heinonen

UDC: 620.9, 697.1

Number of pages: 24

Key words: heating energy consumption, energy efficiency, ventilation plant

The purpose of this thesis was to study heating energy consumption in two real estates bakery and residential building, which both are located in uusikaupunki. The other purpose was to study if it's possible to reduce heating energy consumption and is it worthwhile to change current oil heating to district heating.

The task was started by investigating heating energy consumption and it's segmentation. Investigation was performed in two different ways. At first yearly oil consumption was defined by oil consumption measurement. The other way was to investigate it according to Finnish building regulations and its part D5. Investigating energy consumption with it the main point was to define areas of walls, windows and doors. It was also necessary to define u-value to each of those structures. Added to this it was decided to investigate function and energy consumption of bakery's ventilation plant. With this information it was possible to study if it's possible to improve energy efficiency of this ventilation plant.

It was very early in the process when was discovered that the biggest energy consumer in the real estates was the bakery's ventilation plant because its automation was prescribed wrongly. The main problems were the temperature of supply air and plant's daily operation time. The operation times weren't installed but instead the plant operated 24 hours in the day at full power. This caused some energy loss. Also there wasn't heat recovery unit in the plant so it was studied and calculated if it's worthwhile to invest in such unit.

According to calculations the energy consumption of real estates were 12 390 liters per year. Improvement's made to bakery's ventilation plant would save approximately 6040 liters of oil per year. This means that the new yearly oil consumption would be 6350liters per year. With this amount of energy consumption in year it was also investigated if it's worthwhile to change current oil heating to district heating. But the calculations proved that district heating would be more expensive than oil heating.

SYMBOLILUETTELO:

ϕ	= Teho, kW
ρ	= Tiheys, kg/m ³
q	= Virtaus, m ³ /s
h	= Lämpöarvo, Kj/Kg
t	= Lämpötila, K
α	= Lämmönsiirtymiskerroin, W/m ² K
A	= Pinta-ala, m ²
η	= Hyötysuhde
d	= Paksuus, m
λ	= Lämmönjohtavuus, W/m°C
R	= Lämmönvastus, m ² °C/W
Q	= Energia, Kwh
C_p	= Ominaislämpökapasiteetti, Kj/Kg°C
V	= Tilavuus, m ³
ΔT	= Lämpötilaero, K
H	= Ominaislämpöhäviö, W/K

ALAINDEKSIT:

PO	= Polttoaine
SK	= Savukaasu
PI	= Palamisilma
LH	= Lämpöhäviö
U	= Pinta
TOD	= Todellinen
SIS	= Sisä
UMIT	= Mitoitus ulkolämpötila
VI	= Vuotoilma
i	= Ilma
IV	= Ilmanvaihto

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT	7
2.1	Asuintalo	8
2.2	Leipomorakennus	8
3	MITTAUKSET	9
3.1	IV-mittaukset	9
3.1.1	Tuloilmamittaukset	10
3.1.2	Poistoilmamittaukset	10
3.1.3	Tulosten tarkastelu	11
3.2	Kattilalaitoksen mittaukset	11
3.2.1	Kattilalaitoksen hyötysuhteen laskeminen	13
3.2.2	Tulosten tarkastelu	14
4	ILMASTOINNIN AUTOMAATION TUTKIMINEN	14
4.1	Ilmastoinnin automaation tutkiminen	14
4.2	Ilmastoinnin automaatio	14
4.3	Lämpötilat automaation muutosten jälkeen	16
5	RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS NYKYTILANTEESSA	17
5.1	Asuintalon rakenteiden U-arvot	17
5.2	Leipomon rakenteiden U-arvot	18
5.3	Rakennusten energiankulutus	19
6	SUUNNITELMAT ENERGIANKULUTUKSEN PIENENTÄMISEKSI	20
6.1	Automaation parantaminen	20
6.2	Lämmöntalteenoton kannattavuuden tutkiminen	21
7	KAUKOLÄMMÖN KANNATTAVUUS	22
7.1	Energiakustannus öljylämmityksellä	22
7.2	Energiakustannus kaukolämmöllä	23
7.3	Päätelmät	23
8	YHTEENVETO	24
	LÄHTEET	25
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Projektin lähtökohtana oli kaksi kiinteistöä Uudessakaupungissa. Toinen on asuin-kiinteistö ja toisessa toimii leipomo sekä kahvila. Kiinteistöjen omistaja otti kouluumme yhteyttä, koska hänen mielestään kiinteistöissä kului energiaa aivan liian paljon ja hän halusi tietää mihin energiaa kuluu ja onko kulutusta mahdollista pienentää. Tämän lisäksi oli tarkoitus tutkia, kannattaisiko nykyinen öljylämmitys vaihtaa kaukolämpöön. Tätä tutkittiin kaukolämmön pienemmän energiahinnan, pienempien huoltokustannusten ja paremman käyttövarmuuden vuoksi.

Työn aihe on erittäin ajankohtainen, koska koko ajan julkisuudessa puhutaan energiankulutuksen pienentämisen tarpeesta. Koska ongelma on maailmanlaajuinen, on erittäin tärkeää, että suuriin energiankulutuksiin kiinnitetään huomiota ja tutkitaan mistä ne johtuvat sekä mahdollisuuksien rajoissa korjataan tilanne niin, että kulutuksia saadaan pienennettyä.

Asuinkiinteistössä on kaksi erillistä huoneistoa, joissa kummassakin asutaan. Leipomorakennuksessa toimii leipomon lisäksi kahvila. Leipomossa ilmanvaihdolla on erittäin tärkeä merkitys, koska leipomon töistä ja laitteista vapautuu paljon epäpuhtauksia ja ylimääräistä lämpökuormaa, jotka pitää saada poistettua ilmanvaihdon avulla. Tämän vuoksi leipomon ilmanvaihto vaatii usein erikoislaitteita ja suuria ilmavirtoja. Ilmavirtojen ollessa suuria on erittäin tärkeää, että ilmastoinnin automaatio on kunnossa, koska väärällä säädöllä ilmanvaihdon kuluttama lämmitysenergia nousee helposti erittäin suureksi.

Ilmavirtojen ollessa suuria myös lämmöntalteenotolla saadaan pienennettyä lämmitysenergian kulutusta. Leipomossa kuitenkin lämmöntalteenoton investointikustannus nousee usein suureksi johtuen leipomon olosuhteista. Lähinnä rasva ja muut epäpuhtaudet aiheuttavat lämmöntalteenottopatterille omia vaatimuksiaan. Poistoilman kanavassa oleva patteri pitää olla väljempi kuin normaalissa tilanteessa ettei se tukkeudu niin helposti. Lisäksi se pitää asentaa niin, että se pystytään huuhtelemaan vedellä määrääjain, jotta ilma pääsee virtaamaan siitä läpi.

2 KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT

Kiinteistöt on rakennettu 50-luvulla ja niiden lämmitysmuotona on kevytöljylämmitys. Lämmitysjärjestelmänä on Lakan 2KL50 80 kilowatin kattila ja Oilon KP-6L öljypoltin. Kattila ja poltin on uusittu vuonna 1992. Öljyn kulutus on todettu öljymäärämittarilla, joka on ollut asennettuna polttimeen 7.12.2007 lähtien. Kuvassa 2.1 kiinteistöt näkyvät ulkoa kuvattuna.



Kuva 2.1 Edustalla leipomorakennus ja taustalla asuinrakennus.

2.1 Asuintalo

Kiinteistön pohjapinta-ala on 144m^2 ja sen tilavuus on 1152m^3 . Kiinteistössä on kaksi asuinhuoneistoa. Molemmissa huoneistoissa on yksi asukas. Kiinteistössä on vesikiertoinen patterilämmitys. Kiinteistössä on tällä hetkellä painovoimainen ilmanvaihto. Kiinteistön lämmöntuotanto hoidetaan viereisessä leipomorakennuksessa. Kiinteistön vesi- ja lämpöjohtoja on saneerattu 1992, jolloin kohteeseen on myös lisätty lämpimän käyttöveden kierto.

2.2 Leipomorakennus

Kiinteistön pohjapinta-ala on 130m^2 ja sen tilavuus on 1040m^3 . Kiinteistö on leipomo ja kahvilakäytössä. Leipomossa työskentelee 5 henkilöä ja he ovat paikalla viitenä päivänä viikossa. Leipomo on käytössä noin 12 tuntia vuorokudessa. Myös leipomon lämmityksenä on vesikiertoinen patterilämmitys. Kiinteistössä on tuloilmakone, joka on asennettu kiinteistöön 1992 sen ollessa hammas- ja eläinlääkärin vastaanotto-tilana. Tuloilmakone sijaitsee leipomorakennuksen ullakolla. Lisäksi kiinteistössä on samaan aikaan asennettu huippuimuri, joka hoitaa poistoilman. Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Rakennusten kattilahuone sijaitsee leipomorakennuksen kellarissa ja samassa tilassa on kiinteistöjen vesimittari. Leipomon uunien teho on yhteensä 31 kilowattia. Tämän lisäksi leipomossa on useita kylmälaitteita, jotka aiheuttavat lämpökuormaa leipomoon ja näin ollen pienentävät kyseisen kiinteistön lämmitysenergian tarvetta. Taulukossa 2.1 on listattuna leipomon laitteet tehoineen.

Taulukko 2.1 Uunien ja kylmälaitteiden tehot

LAITE	TEHO
Pakastin	40 W
Pakastin	2772 W
Jääviileäkaappi	105 W
Jääviileäkaappi	150 W
Jäälaitteet Oy	500 W
Juoma kaappi	350 W
Kahvion viileäkaapit	1000 W
Jääkaappi	110 W
Pakastin	120 W
Jääkaappi	150 W
Pakastin	125 W
Pakastin	180 W
Kylmäkone	1000 W
Pakastin	42 W
Uuni 1	10,2 KW
Uuni 2	4 KW
Uuni 3	16,8 KW

3 MITTAUKSET

3.1 IV-mittaukset

Leipomorakennuksen ilmanvaihtoa tarkasteltiin TSI-mittarin avulla. TSI-mittarilla pystyttiin mittaamaan ilmapirran nopeus ja kun mittariin asetettiin oikea kanavan koko se näytti ilman tilavuusvirran. Leipomorakennuksesta määritettiin sekä tulo- että poistoilmavirrat ja niiden keskimääräiset lämpötilat. Mittaukset suoritettiin 3.6.2008. Mittaushetkellä ulkolämpötila oli noin +15 astetta.

3.1.1 Tuloilmamittaukset

Tuloilman kokonaismäärä ja sen lämpötila, määritettiin koneen jälkeen lähtevistä neljästä runkohaarasta mittaamalla ilmavirrat kolmeen kertaan. Tämän jälkeen laskettiin kaikille haaroille keskiarvo ja sen jälkeen nämä arvot yhteen, jolloin saatiin tuloilmavirraksi 506 l/s. Taulukossa 3.1 on esitetty mitatut tuloilmavirrat ja niistä lasketut keskiarvot sekä eri kanavien tuloilman lämpötilat. Mittaustuloksien heitto aiheutuu siitä, että ilmavirran nopeus vaihtelee eri kohdissa kanavaa. Suurin ilmavirta on keskellä putkea. Näin ollen anturin paikka on aiheuttanut heittoa tuloksiin. Samalla mitattiin kaikista kanavista tuloilman lämpötila ja saatiin niiden keskiarvoksi 19,5 °C.

Taulukko 3.1 Tuloilmavirrat ja niiden lämpötilat

kanava	mittaus1 (l/s)	mittaus 2(l/s)	mittaus 3(l/s)	ka (l/s)	lämpötila (°C)
1	180	195	195	190	19,2
2	30	81	50	54	19,5
3	42	13	40	32	20,3
4	250	190	250	230	19,1
			yht.	506	19,5

3.1.2 Poistoilmamittaukset

Poistoilman kokonaismäärä ja sen lämpötila määritettiin poistokanaviston neljästä päähaarasta mittaamalla ilmavirrat kolmeen kertaan. Tämän jälkeen laskettiin kaikille haaroille keskiarvo ja sen jälkeen nämä arvot yhteen, jolloin kokonaisilmavirraksi saatiin 550 l/s ja keskimääräiseksi lämpötilaksi 26,4 °C. Taulukossa 3.2 on esitetty mitatut poistoilmavirrat ja niistä lasketut keskiarvot sekä eri kanavien poistoilman lämpötilat.

Taulukko 3.2 Poistoilmavirrat ja niiden lämpötilat

kanava	mittaus 1(l/s)	mittaus2 (l/s)	mittaus3 (l/s)	ka (l/s)	lämpötila (°C)
1	40	40	38	39,3	26,6
2	137	137	132	135,3	25,6
3	180	205	185	190	27,2
4	170	180	175	175	26,3
			yht.	550	26,4

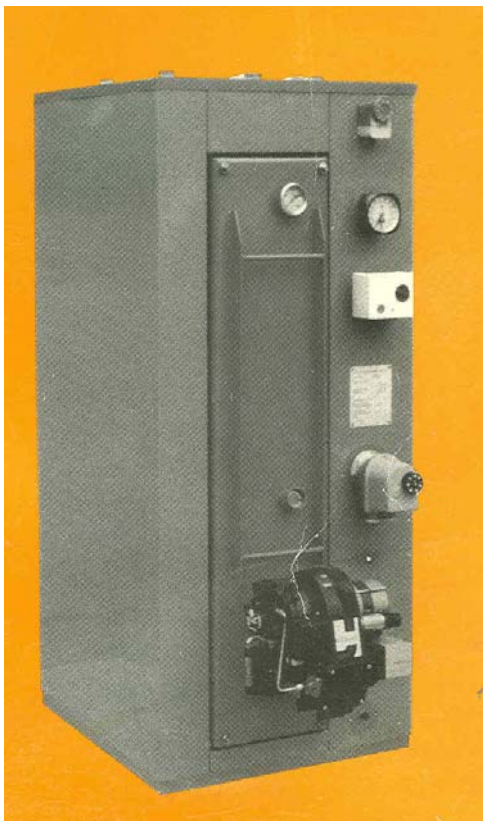
3.1.3 Tulosten tarkastelu

Ilmavirrat saatiin määritettyä hyvin huolimatta siitä, että mittauksissa on esiintynyt pientä heittoa eri mittausten välillä. Heitto johtui siitä, että ilmavirta on eri suuruinen eri kohdassa kanavaa. Näin ollen anturin paikan liikkuminen on vaikuttanut saatuihin mittaustuloksiin.

Tuloksista voidaan päätellä, että ilmastoinnin automaatiota ei oltu säädetty oikein. Tuloilma lämmitettiin aina 20 asteeseen riippumatta leipomon sisälämpötilasta. Tällöin tuloilmaa lämmitettiin turhaan niin korkealle ja energiaa meni hukkaan. Lisäksi leipomoa viilennettiin ilmalämpöpumpuilla, joka aiheutti sen, että tilaa viilennettiin sähköllä ja lämmitettiin öljyllä. Eli ilmastoinnin tuomaan ylimääräiseen lämpökuormaan jouduttiin käyttämään ilmalämpöpumppuja, jotta leipomossa olisi inhimilliset työskentelyolosuhteet.

3.2 Kattilalaitoksen mittaukset

Mittausten avulla määriteltiin myös kattilalaitoksen hyötysuhde. Mittauksessa käytettiin teston savukaasuanalysaattoria 330-2L. Öljyn virtaama katsottiin polttimen kylkeen asennetusta öljymäärämittarista. Kattilan lämpöhäviötä ympäristöön tarkasteltiin infrapunalämpömittarilla, jolla määriteltiin eri pintojen keskimääräiset lämpötilat, sekä mittaamalla ja laskemalla pintojen pinta-alat. Mittaukset suoritettiin 3.6.2008. Mittausten jälkeen määriteltiin laskemalla tarvittavat arvot, jotta saatiin kattilalaitoksen hyötysuhde määriteltä. Kuvassa 3.1 on kiinteistöjen kattila.



Kuva 3.1 Kiinteistön kattila

Ensimmäisenä mitattiin kattilan mitat. Kattilan mitat ovat 620mm*660mm*1470mm. Ja näistä saatiin laskettua kattilan pinta-alaksi 4,6m². Taulukossa 3.3 on esitettynä kattilalaitoksen mittausten mittauspöytäkirja, jonka pohjalta laskenta tehtiin. Mittausten pohjana käytettiin koulussa tehtyä laboratoriotyötä, jossa määriteltiin samankaltaisen kattilalaitoksen hyötysuhde samoilla mittareilla ja laskelmilla.

Taulukko 3.3 Mittauspöytäkirja

Savukaasu t (°C)	215		pintalämpötila 1 (°C)	29,5
CO2 pitoisuus (%)	9,24		pintalämpötila 2 (°C)	27,4
savukaasu λ	1,67		pintalämpötila 3 (°C)	29,3
O2 pitoisuus (%)	8,4		pintalämpötila 4 (°C)	37,1
palamisilman t (°C)	23		ka (°C)	30,8
Mittarilukema 1(l)	7768,0675	Öljyvirtaus	7768,8927-7768,0675	0,852 l
Mittarilukema 2 (l)	7768,8927	Mittausaika	657s	
Mittausaika (sek)	657	Öljyvirtaus	1,256*10 ⁻⁶ m ³ /s	

3.2.1 Kattilalaitoksen hyötysuhteen laskeminen

Aluksi määritettiin polttoaineteho mitatun öljyvirtauksen ja öljyn ominaislämpökapasiteetin avulla.

$$\phi_{po} = \rho_{po} * q_{po} * h_i = 845 \text{ Kg} / \text{m}^3 * 1,256 * 10^{-6} * 42600 \text{ KJ} / \text{Kg} \approx 45 \text{ KW}$$

Seuraavaksi määritettiin savukaasuhäviö Siegertin kaavalla. Siegertin kaavalla voidaan laskea kattilalaitoksen savukaasuhäviön likiarvo, jota voidaan käyttää kattilalaitoksen hyötysuhteen määrittämisessä.

$$\phi_{SK} = \frac{0,57 * (t_{SK} - t_{pi})}{CO_2 \% } * \frac{1}{100} * \phi_{PO} = \frac{0,57 * (215 - 23)^\circ C}{9,24\% } * \frac{1}{100} * 45,2 \text{ KW} = 5,4 \text{ KW}$$

Seuraavaksi tutkittiin kattilan lämpöhäviötä ympäristöön. Lämpöhäviön määrittämisessä apuna käytettiin kattilan pintojen lämmönsiirtymiskerrointa ja niiden pinta-aloja.

$$\phi_{LH} = \alpha_U * (t_{pinta} - t_{ilma}) * A = 15 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K} * (30,825 - 23)^\circ C * 4,5816 \text{ m}^2 \approx 0,5 \text{ KW}$$

Tämän jälkeen voitiin määrittää kattilalaitoksen todellinen teho.

$$45 \text{ KW} - 5,4 \text{ KW} - 0,5 \text{ KW} = 39,1 \text{ KW}$$

Edellisten laskelmien tulosten avulla pystyttiin määrittämään kattilalaitoksen hyötysuhde.

$$\eta = \frac{\phi_{TOD}}{\phi_{PO}} = \frac{39,1 \text{ KW}}{45,2 \text{ KW}} \approx 0,87 \Rightarrow 87\%$$

/1/

3.2.2 Tulosten tarkastelu

Laskelmien avulla polttoainetehoksi saatiin 45 KW. Savukaasuhäviöksi saatiin Siegertin kaavalla 5,4 KW. Kattilan lämpöhäviöksi ympäristöön saatiin noin 500 W. Näin ollen laskelmien mukaan tehoksi jäi noin 39,1 KW ja hyötysuhteeksi saatiin 87 %. Kattilan hyötysuhde on melko hyvä ja aika yleinen vanhalle öljylämmitykselle. Tästä voidaan päätellä, että poltin on säädetty melko hyvin. Savukaasun ilmamäärä ja lämpötila on kuitenkin melko korkea. Ilmamäärää ei kuitenkaan voitu säätää pienemmäksi, koska pienempi ilmamäärä ei olisi riittänyt polttimelle. Tämä oli pääteltävissä polttimen käyntiäänestä. Tästä voidaan päätellä, että polttimeen on asennettu liian suuri suutin. Saatujen lopputulosten perusteella voidaan päätellä mittausten olleen onnistuneita, koska tehot ja hyötysuhde ovat oikealla tasolla.

4 ILMASTOINNIN AUTOMAATION TUTKIMINEN

4.1 Ilmastoinnin automaation tutkiminen

Ilmastoinnin mittauksia suoritettaessa huomattiin, että ilmastoinnin automaatio vaatii tutkimista. Huomiota herätti varsinkin tuloilman lämpötila. Tutkittiin ilmanvaihdon lämpötiloja loggerin avulla. Automaatiota oli ehditty säätää ennen kyseisiä mittauksia, joten mittaus näyttää lämpötilojen tilanteen parannusten jälkeen. Lisäksi epäilystä herätti kaksi ilmalämpöpumppua, jotka kävivät todella paljon leipomon tiloissa. Myös leipomon ilmanvaihtokoneen käyntiaikoja päätettiin tutkia.

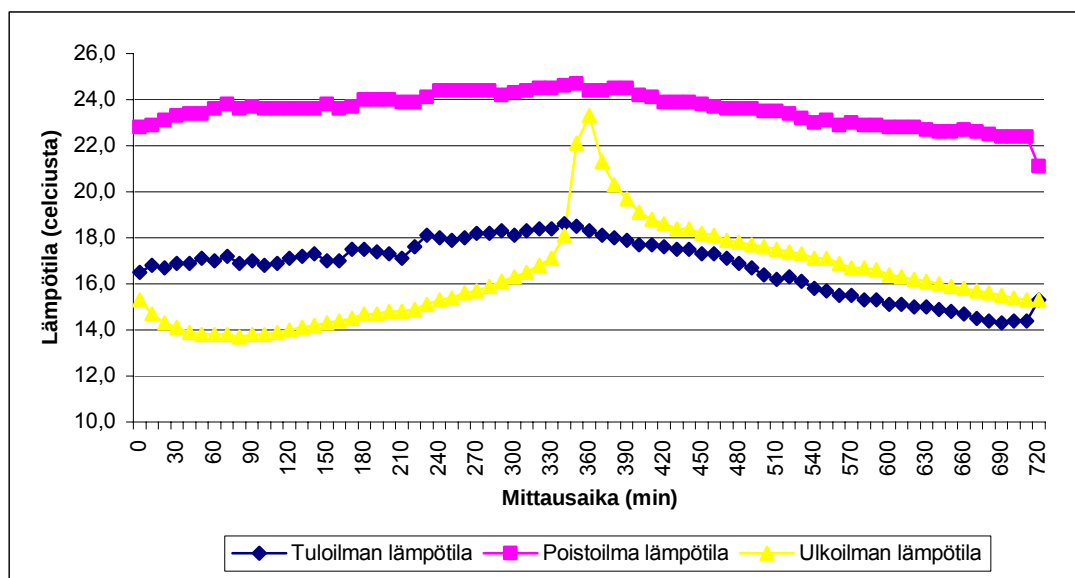
4.2 Ilmastoinnin automaatio

Ilmastoinnin automaatiikassa olevaa kellokytkintä ei käytetty mitenkään hyödyksi vaan ilmastointilaite kävi jatkuvasti täydellä teholla. Näin ollen kone kävi useita tunteja vuorokaudessa aivan turhaan, koska leipomossa ei ole toimintaa kuin noin 12 tuntia vuorokaudessa. /2, 3 s.39/

4.3 Lämpötilat automaation muutosten jälkeen

Mittaukset suoritettiin 22.9.2008. Loggerilla suoritetusta mittauksesta voidaan päätellä, että ilmastoinnin automaatiolle oli tehty muutoksia mittausajankohtaan mennessä. Kuvassa 4.2 on kuvattu lämpötilojen käyttäytyminen automaation parannusten jälkeen. Lämpötiloja mitattiin loggerin ja kanaviin asennettujen termoparien avulla. Poistoilman lämpötilaa mitattiin poistoilmakanaviston pääkanavasta. Samoin tuloilman lämpötilaa mitattiin tuloilmakanaviston pääkanavasta. Ulkoilman lämpötilaa mitattiin raitisilmakanavasta läheltä ulkosäleikköä. Ulkoilma-anturi kuitenkin oli niin lähellä ulkosäleikköä, että siihen on päässyt paistamaan aurinko ja näin ollen se on vääristänyt mittauksista niin, että ulkoilman lämpötila-anturi on näyttänyt suurempaa lämpötilaa kuin tuloilman lämpötila-anturi.

Kuvasta 4.2 voidaan huomata miten tuloilman lämpötila pysyy koko ajan melko pienenä, kun leipomon poistoilman lämpötila ylittää 20 astetta. Näin ollaan saavutettu tilanne, jossa tuloilmaa ei tarvitse lämmitellä juuri ollenkaan ja tuloilma jäähdyttää leipomon sisäilmaa, jolloin ilmalämpöpumppujen käyttöä voidaan vähentää huomattavasti.



Kuva 4.2 Mittaustulokset

5 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS NYKYTILANTEESSA

Rakennusten nykyistä energiankulutusta tarkasteltiin D5 rakennusmääräyskokoelman mukaan. Käytössä oli kyseisen määräyskokoelman tietojen mukaan tehty excel pohja, jonka avulla pystyy määrittämään energiankulutuksia eri tilanteissa. Ensin määritettiin rakenteiden U-arvot. Tämän jälkeen mitattiin rakennuksista seinien ikkunoiden ja ovien pinta-alat, jotta pystyttiin käyttämään D5 laskentapohjaa energiankulutuksen määrittämiseen. Kiinteistöjen mitoittava sisälämpötila on $+21^{\circ}\text{C}$ ja mitoittava ulkolämpötila -26°C .

5.1 Asuintalon rakenteiden U-arvot

Kiinteistössä on maavarainen alapohja. Ulkoseinät on vuorattu 12mm laudalla molemminpuolin ja välissä on 10cm kutteria, tämän lisäksi ulkopuolella on ulko- vuorauslauta ja sen alla on 5mm ilmarako. Kiinteistön ikkunat ovat kaksinkertaisia. Yläpohjassa on myös kaksi lautakerrosta ja niiden välissä on 30cm kutteria. Ovien U-arvona käytettiin arvoa $2,0\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ja ikkunoiden U-arvona käytettiin arvoa $2,6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ /3 s.37/. Tämän jälkeen laskettiin seinien U-arvo. ΣR koostuu eri pintojen ja ilmaraon lämmönvastuksista. /3 s.38/

$$\text{U-arvo: } \frac{1}{\Sigma \frac{d}{\lambda} + \Sigma R}$$

$$\text{U-arvo: } \frac{1}{\left(\frac{0,012\text{m}}{0,12\text{W}/\text{mK}} * 3\right) + \left(\frac{0,1\text{m}}{0,08\text{W}/\text{mK}}\right) + 0,11 + 0,04 + 0,13} = 0,55\text{W}/\text{m}^2\text{K}$$

Seuraavaksi määritettiin yläpohjan U-arvo samaa kaavaa hyväksi käyttäen ja tulokseksi saatiin $0,24\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Seuraavaksi määritettiin alapohjan U-arvo ja siihen saatiin taulukosta tieto, että rakennuksen sisälämpötilan ylittäessä 17 astetta lämpöä johdetaan $5\text{W}/\text{m}^2$. U-arvoksi muutettuna tämä tarkoittaa arvoa $0,22\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Taulukossa 5.1 on esitetty asuintalon rakenteiden u-arvot sekä seinien, ikkunoiden ja ovien pinta-alat eriteltyinä eri ilmansuuntiin. /3 s.38, 3 s.26/

Taulukko 5.1 Asuintalon lämmönläpäisykertoimet ja pinta-alat

	U (W/m ² K)	Pohjoinen (m ²)	Itä (m ²)	Etelä (m ²)	Länsi (m ²)	yhteensä (m ²)
Alapohja	0,22					144
Yläpohja	0,24					144
Ikkunat	2,6	11,5	0	9	0	20,5
Ovet	2	2,05	2,05	0	2,05	6,15
Ulkoseinät	0,55	114,45	69,95	119	69,95	373,35

5.2 Leipomon rakenteiden U-arvot

Kiinteistössä on maavarainen alapohja. Ulkoseinät ovat betonia ja koostuvat kahdesta 10cm betonilaatasta ja välissä on 10cm kutteria. Ikkunat ovat kaksinkertaisia ja yläpohjan rakenteena on kaksi lautakerrosta joiden välissä on 30cm kutteria. Ovien ja ikkunoiden U-arvoina käytettiin samoja arvoja kuin asuinrakennuksessa, koska ovet ja ikkunat olivat saman tyyppisiä kuin asuintalossa. Tämän jälkeen laskettiin samaa kaavaa käyttäen U-arvot leipomon seinille yläpohjalle ja alapohjalle. Taulukossa 5.2 on esitetty leipomorakennuksen rakenteiden U-arvot sekä seinien, ikkunoiden ja ovien pinta-alat eriteltyinä eri ilmansuuntiin.

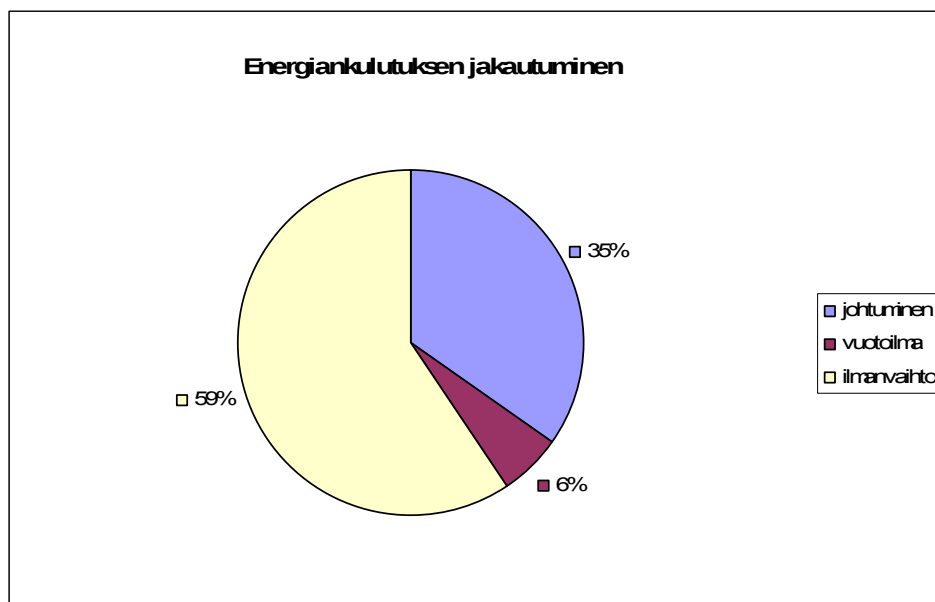
Taulukko 5.2 Leipomorakennuksen lämmönläpäisykertoimet ja pinta-alat

	U (W/m ² K)	Pohjoinen (m ²)	Itä (m ²)	Etelä (m ²)	Länsi (m ²)	yhteensä (m ²)
Alapohja	0,24					130
Yläpohja	0,24					130
Ikkunat	2,6	12,72	1,49	14,43	1,13	29,77
Ovet	2	3,8	0	2,11	0	5,91
Ulkoseinät	0,65	87,49	78,52	87,46	78,88	332,35

5.3 Rakennusten energiankulutus

Kiinteistöjen energian kulutusta tutkittiin kahdella eri tavalla D5 laskentapohjan avulla sekä mitatuilla öljynkulutuksilla laskettuna. Perusteena molemmissa tavoissa oli, että kulutukset normitetaan Turkuun, joka on Uudenkaupungin vertailupaikkakunta. Käyttöveden kulutus saatiin suoraan kirjatuista vesimittarin lukemista. Vuotuinen veden kulutus oli noin 132m^3 . Tästä määrästä noin 40 % on lämmintä käyttövettä, jolloin lämpimän käyttöveden kulutukseksi saadaan $52,8\text{m}^3$. Näin ollen käyttövesi vaatii vuodessa noin 3080 kWh, joka vastaa 353 litraa öljyä kattilalaitoksen hyötysuhteen ollessa 87 %. Näin ollen voidaan todeta, että käyttöveden vaatima energiamäärä on hyvin pieni.

D5 laskentapohjalla asuintalon lämmitysenergian kulutukseksi saatiin noin 48 500 kWh. Leipomon energiankulutuksen tutkiminen tarkkaan D5 laskentapohjalla oli niin hankalaa, että siitä päätettiin tutkia vain energiankulutuksen prosentuaalinen jakauma, joka on esitetty kuvassa 5.1. Energiankulutuksen jakautumista tutkittaessa koneen käyntiaikana on käytetty 24 tuntia vuorokaudessa, tuloilman lämpötilana arvoa +20 astetta ja sisälämpötilana arvoa +21 astetta. Tutkinnassa ei ole huomioitu leipomon laitteista vapautuvaa lämpökuormaa.



Kuva 5.1 Leipomon lämmitysenergian jakautuminen

Kuvasta 5.1 huomataan, että leipomossa suurin osa lämmitysenergiasta kuluu ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen. Todellisuudessa ilmanvaihdon kuluttama prosentuaalinen osuus on vieläkin suurempi, koska leipomon sisäinen lämpökuorma pienentää johtumisen ja vuotoilman vaatimaa lämmitysenergiaa, mutta ei vaikuta ilmanvaihtoon.

Mitatuilla öljynkulutuksilla tarkasteltaessa kiinteistöjen yhteiseksi öljynkulutukseksi saatiin noin 12 390 litraa. Laskelmat on esitetty liitteessä 1.

6 SUUNNITELMAT ENERGIANKULUTUKSEN PIENENTÄMISEKSI

6.1 Automaation parantaminen

Automaation parantamisesta saatavia säästöjä tutkittiin D5 laskentapohjan avulla. Kyseisellä pohjalla määriteltiin, paljonko parantaminen säästäisi energiaa, ja näin ollen öljyä vuodessa. Ilmastointikoneen käydessä koko ajan se kuluttaisi vuodessa 89 712 KWh, kun se säädetään käymään 12 tuntia vuorokaudessa se kuluttaisi vuodessa 44 856 KWh näin ollen säästetään energiaa 44 856 KWh. Tämän lisäksi tutkittiin automaation säädöllä saatavaa säästöä D5 laskentapohjalla. Lähtökohtana käytettiin tilannetta, jossa koneen käyntiajat on asetettu viisaiksi. Näin ollen muutettiin ainoastaan tuloilman lämpötila +20 asteesta +17 asteeseen. Tällä muutoksella ilmastoinnin kuluttama energia putoaisi 37 051KWh:iin. Siitä saatava säästö olisi 7 805 kWh. Säästöä saataisiin yhteensä 52 661 KWh vuodessa. Kun huomioon otetaan kattilalaitoksen hyötysuhde, joka on 87 % saadaan vuotuiseksi öljyn säästökksi 6040 litraa.

6.2 Lämmöntalteenoton kannattavuuden tutkiminen

Koska leipomon ilmanvaihtolaitteistossa ei ollut lämmöntalteenottoa, päätettiin tutkia laskemalla olisiko järjestelmään kannattavaa asentaa lämmöntalteenotto. Leipomon poistoilman lämpötila oli suhteellisen korkea lähtötilanteessa, joten vaikutti järkevältä ainakin tutkia asiaa.

Lämmöntalteenoton investointikustannus nousisi suureksi, koska kyseessä on leipomo. Tästä johtuen tarkoitukseen parhaiten sopiva patteri olisi neulaputkipatteri, jonka hinta on suuri. Investointikustannus nousisi tästä syystä 15 000€-20 000€. Tämän lisäksi hyötysuhteeksi saataisiin korkeintaan 50 %. Lämmöntalteenotto lisäisi myös huoltokustannuksia, koska neulaputkipatteri pitää pestä säännöllisin väliajoin, ettei sinne kerry liikaa rasvaa ja muuta likaa. /4/

Ilmanvaihdon vuotuinen energiankulutus ilman lämmöntalteenottoa on 37 051 KWh ja lämmöntalteenoton kanssa 26 465 KWh(D5 laskentapohjalla). Vuodessa energiaa säästyisi 10 586 KWh. Öljynä määrä on 1056 litraa. Kun huomioon otetaan kattilalaitoksen hyötysuhde öljyä säästyisi 1257 litraa vuodessa. Nykyisellä öljyn hinnalla 57,4c/l säästöä saataisiin 721,5 euroa vuodessa. Mutta kun otetaan huomioon nousevat huoltokustannukset säästöä saataisiin noin 500€ vuodessa ja tämä tarkoittaisi 30-40 vuoden takaisinmaksuaikaa.

Kun vielä otetaan huomioon, että järjestelmä vaatii todennäköisesti uusimista tai ainakin huoltoa seuraavan neljänkymmenen vuoden aikana voidaan todeta, että lämmöntalteenottoon ei kannata kyseisessä kiinteistössä investoida. Toki, kun kiinteistön ilmanvaihtokoneisto pitää joskus uusia, kannattaa tällöin tarkastella saataisiinko lämmöntalteenotto mukaan kohtuullisella hinnalla.

7 KAUKOLÄMMÖN KANNATTAVUUS

Ensimmäinen asia mitä pitää tutkia kun alkaa suunnittelemaan lämmitysmuodon muutosta on tietysti vuotuiset energiakustannukset, jos energiakustannus ei tuntuvasti pienene on todennäköisesti turhaa sijoittaa rahaa uuteen lämmitysjärjestelmään. Lähtökohtana on yksinkertaisesti kiinteistön kuluttama energia ja sen tuottamisesta syntyvä kustannus. Kyseisessä kiinteistössä tämä tarkoittaa vertailua öljylämmityksen ja kaukolämmön välillä. Tutkinnassa pyrittiin tarkastelemaan tilannetta parannusten jälkeen, jolloin energiankulutus on lähtötilannetta huomattavasti pienempi. Tarkastelussa lähdettiin liikkeelle siitä, että vähennettiin normittamalla saadusta öljynkulutuksesta parannusten aiheuttamat energiansäästöt. Alkuperäinen öljynkulutus oli 12 389,5l ja ilmanvaihdon automaation parantamisesta saatu hyöty oli 6040 litraa. Näin päästiin tulokseen, että vuodessa kiinteistöissä öljyä kuluu noin 6349,5l litraa.

7.1 Energiakustannus öljylämmityksellä

Öljylämmityksen vuotuista kustannusta tarkasteltaessa huomioon tarvitsee ottaa itse öljynkulutus ja öljyn hinta, sekä vuotuinen huoltokustannus, joka on noin 150 euroa /5/. Öljyn kulutus parannusten jälkeen voitiin laskea vähentämällä normittamalla lasketusta öljynkulutuksesta ilmastoinnin automaation aiheuttamat säästöt. Näin saatiin öljynkulutukseksi $12390\text{l}-6040\text{l}=6350\text{l}$. Kevyen polttoöljyn hinta on tällä hetkellä 57,4 c/l, jolloin kulutuksen ollessa 6350 litraa vuotuiseksi hinnaksi saatiin 3644,6 €/vuosi eli huoltokustannusten kanssa 3794,6 €/vuosi./6/

7.2 Energiakustannus kaukolämmöllä

Kaukolämmön vuotuista kustannusta tarkasteltaessa on otettava huomioon itse energian hinnan lisäksi vuotuinen perusmaksu, joka perustuu kiinteistön tilaustehoon. Lisäksi kaukolämpöön siirryttäessä pitää ottaa huomioon liittymismaksu, joka niin ikään perustuu kiinteistön tilaustehoon. Tässä tapauksessa kiinteistön tilaustehoon huomioitiin lämmityksen vaatima teho kokonaan ja tämän lisäksi 35 % käyttöveden lämmitystehosta, koska lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on alle 0,5 l/s. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 2. Näin ollen tilaustehoksi saatiin 103KW. Näillä tiedoilla liittymismaksu on noin 10 000€. Tämä olisi tarkka arvo, jos kyseessä olisi uudisrakennus, mutta energiayhtiö käsittelee vanhojen rakennusten liittymismaksut erikseen. Vuotuiseksi perusmaksuksi saatiin 1850€/a. Kaukolämmön tämän hetkinen hinta on 48,5€/MWh /10/, jolloin energiakustannukseksi saatiin noin 3086€. Eli normaalina vuonna kaukolämmöllä lämmittäminen maksaisi 4936€.

7.3 Päätelmät

Laskennan perusteella voidaan päätellä, ettei nykyistä öljylämmitystä kannata vaihtaa kaukolämpöön. Tämä johtuu siitä, että kaukolämmän perusmaksun vuoksi vuotinen lämmityskustannus tulee suuremmaksi kaukolämmöllä kuin öljylämmityksellä. Suuri perusmaksu johtuu kiinteistöjen vaatimasta suuresta lämmitystehosta, joka aiheuttaa suuren tilaustehon ja näin ollen suuren perusmaksun.

8 YHTEENVETO

Tarkastelujen perusteella voidaan tehdä päätelmiä siitä, mitä parannuksia kohteessa kannattaa tehdä ja mitä taas ei sekä mitä muutoksia on jo tehty. Selkeästi voidaan huomata, että ilmastoinnin automaatio sekä käyntiajat kannatti ehdottomasti säätää oikeiksi, koska näin saadaan säästettyä tuntuvasti energiaa pienellä kustannuksella.

Kattilalaitoksen hyötysuhde oli suhteellisen hyvä, mutta sitä saataisiin vielä hieman paremmaksi vaihtamalla polttimeen pienempi suutin. Näin saataisiin savukaasun lämpötilaa ja ilmamäärää pienennettyä. Nämä asiat taas vaikuttavat suoraan parantavasti kattilalaitoksen hyötysuhteeseen.

Lämmöntalteenottoon ei kannata investoida ainakaan vielä, koska investointikustannus on suuri ja saatava hyöty siihen nähden varsin pieni. Myös takaisinmaksu aika venyy niin pitkäksi, että sinä aikana pitää todennäköisesti uusia jo koko ilmastointikone. Kun koneen uusiminen on ajankohtaista kannattaa tutkia olisiko silloin järkevää hankkia kohteeseen kone, jossa on lämmöntalteenotto.

Kaukolämpöön siirtyminen ei kannata tehtyjen laskelmien perusteella. Laskemien mukaan kaukolämmön käyttäminen tulisi itse asiassa öljylämmitystä kalliimmaksi johtuen kaukolämmön perusmaksusta. Itse energia olisi hieman halvempaa kaukolämmöllä, mutta energiantarpeen pienennettyä kaukolämmön perusmaksu aiheuttaa sen, että vuotuinen energiakustannus kasvaisi.

LÄHTEET

- /1/ Satakunnan ammattikorkeakoulun lämpökeskukset opintojakson kevytöljykattila laboratoriotyöohje
- /2/ J.Sjöberg-T.Tupala keskustelu 8.5.2008
- /3/ Insinööritoimisto Sarkki. LVI kalenteri 2009. Nummela. Suomen kalenterit Oy
- /4/ H.Rintamaa-T.Tupala keskustelu 8.9.2008
- /5/ Lvi-Rintamaa Oy keskustelu 12.32009
- /6/ Öljy- ja kaasualan keskusliiton verkkosivut [Viitattu 16.2.2009] Saatavissa:
http://www.oil-gas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf
- /7/ Motiva Oy:n Verkkosivut [Viitattu 17.2.2009] Saatavissa:
<http://www.motiva.fi/fi/yjay/asuinkiinteistoala/kulutuksennormitus/lammitystarveluvut.html>
- /8/ Motiva Oy:n Verkkosivut [Viitattu 17.2.2009] Saatavissa:
<http://www.motiva.fi/fi/lammityskorjaus/>
- /9/ Planora Oy:n verkkosivut [Viitattu 17.2.2009] Saatavissa:
<http://www.planora.fi/tiedostot/til%20teho.pdf>
- /10/ Vakka-Suomen lämpö Oy:n verkkosivut [viitattu 16.2.2009] Saatavissa:
<http://www.vslampo.fi/hinnasto.htm>

KIINTEISTÖJEN YHTEINEN ENERGIAN KULUTUS

Taulukko 1. Lämmitystarveluvut Turussa

	Tammi	Helmi	Maalis
2008	533	483	543
normaalivuosi	667	629	582

Normaalivuoden kokonaislämmitystarveluku Turussa: 4115

/7/

K1: 1,01(Uki-Turku)/K2:1,20(Turku-Jyväskylä)

/8/

K1 arvot ovat arvoja joiden avulla voidaan normittaa jonkin paikkakunnan lämmitysenergiat vastaamaan toisen paikkakunnan lämmitysenergioita.

Käyttövesi: $132\text{m}^3/\text{a} \Rightarrow 11\text{ m}^3/\text{kk}$

Noin 40% on lämmintä $\Rightarrow 0,4 \cdot 11\text{m}^3 = 4,4\text{m}^3/\text{kk}$

Öljyä kuluu kuukaudessa lämpimään käyttöveteen:

$$Q = \frac{g \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta T}{3600} = \frac{1000\text{Kg} / \text{m}^3 \cdot 4,2\text{Kj} / \text{KG}^\circ\text{C} \cdot 4,4\text{m}^3 \cdot 50^\circ\text{C}}{3600} = 257\text{KWh}$$

$257\text{KWh} / 11,86\text{KWh/Kg} / 845\text{Kg/m}^3 = 25,7\text{ litraa}$

Vuodessa öljyä kuluu lämpimään käyttöveteen $25,7\text{l} \cdot 12 = 308,4\text{l}$

$\Rightarrow$ Kattilalaitoksen hyötysuhde mukaan $308,4\text{l} / 0,87 = 354,5\text{l}$

Öljynkulutus vuodessa öljymääristä normitettuna:

Tammikuu: $2902\text{l} - 1301\text{l} = 1601\text{l} \Rightarrow$ käyttövesi pois $1601\text{l} - 25,7\text{l} = 1575,3\text{l}$

Normitetaan Turkuun ja normivuoteen:

$1575,3\text{l} \cdot 1,01 \cdot (667/533) = 1988\text{l}$

Helmikuu: $4328\text{l} - 2902\text{l} = 1426\text{l} \Rightarrow$ käyttövesi pois $1426\text{l} - 25,7\text{l} = 1400,3\text{l}$

Normitetaan Turkuun ja normivuoteen:

$1400,3\text{l} \cdot 1,01 \cdot (629/483) = 1842\text{l}$

Maaliskuu: $5930l - 4328l = 1602l \Rightarrow$ käyttövesi pois $1602l - 25,7l = 1576,3l$

Normitetaan Turkuun ja normivuoteen:

$$1576,3l * 1,01 * (582/543) = 1706l$$

Tammi- Helmi- Maaliskuun osuus normivuoden lämmitystarpeesta:

$$\frac{667 + 629 + 582}{4115} = 0,46 = 46\%$$

Koko vuoden lämmitysöljyt:

$$(1988l + 1842l + 1706l) * \left(\frac{100}{46} \right) = 12035l$$

$$\text{Koko vuoden öljyt: } 12035l + 354,5l = 12389,5l$$

ENERGIAKUSTANNUKSET KAUKOLÄMMÖLLÄ

Lämmin käyttövesi:

Normivirtaamat: 5xwc hana, 3x suihkusekoittaja, 4x keittiöhana =>
 $(5 \cdot 0,11/s) + (7 \cdot 0,21/s) = 1,91/s$

⇒ mitoitusvirtaama $0,451/S / 3, s.20/$

⇒ teho = $0,451/S \cdot 4,2Kj/KgK \cdot 50K = 94,5KW$

Leipomon lämmitysteho laskelmat:

$$\phi_{joht} = \sum H \cdot (t_{sisä} - t_{umit}) + Alapohja$$

$$= (11,814 + 77,34636 + 242,611412 + 34,7) \cdot (21 - (-26)) + 650W = 17,9KW$$

$$H_{VI} = \rho_i \cdot C_{pi} \cdot q_{vi} = 1,2KG / m^3 \cdot 1000Ws / KGK \cdot 0,046222...m^3 / s = 55,4666...W / K$$

$$\phi_{vuotoilma} = H_{vi} \cdot (t_{sis} - t_{umit}) = 55,4666...W / K \cdot (21 - (-26))K = 2,6KW$$

$$q_{vi} = \frac{0,16 \cdot 1040m^3}{3600} = 0,046222m^3 / s$$

$$H_{iv} = 1,2kg / m^3 \cdot 1000 \cdot 0,55m^3 / s = 660W / K \text{ (poistoilmavirtaus mitattu)}$$

$$\phi_{ilmanvaihto} = 660W / K \cdot 47K = 31,02KW$$

Tuloilmapatterin teho:

$$\phi = 1,2KG / m^3 \cdot 1000Ws / KGK \cdot 0,506m^3 / s \cdot 47K = 28,54KW$$

Leipomon Lämmitysteho:

$$\phi_{lämmitys} = \phi_{joht} + \phi_{VI} + \phi_{IV} = 17,9KW + 2,6KW + 31,02KW = 51,52KW$$

Asuinrakennuksen lämmitysteholaskelmat:

$$\begin{aligned}\phi_{joht} &= \sum H * (t_{sisä} - t_{umit}) + Alapohja \\ &= (12,3 + 53,3 + 38,88 + 205,3425) * (21 - (-26)) + 720W = 15,3KW\end{aligned}$$

$$H_{VI} = \rho_i * C_{pi} * q_{vi} = 1,2KG / m^3 * 1000Ws / KGK * 0,0512m^3 / s = 61,44W / K$$

$$\phi_{vuotoilma} = H_{vi} * (t_{sis} - (t_{umit})) = 61,44W / K * (21 - (-26))K = 2,9KW$$

$$q_{vi} = \frac{0,16 * (144m^2 * 8m)m^3}{3600} = 0,0512m^3 / s$$

Asuinrakennuksen Lämmitysteho:

$$\phi_{lämmitys} = \phi_{joht} + \phi_{VI} = 15,3KW + 2,9KW = 18,2KW$$

Kokonaislämmitysteho:

$$17,9KW + 2,6KW + 31,02KW + 15,3KW + 2,9KW = 69,72KW$$

Tilausteho:

$$69,72KW + (0,35 * 94,5KW) = 103KW \text{ /9/}$$

Liittymismaksu:

$$\begin{aligned}&k_1(4000 + 40 * \Phi_{til}) / 10/ \\ &1,25 * (4000 + (40 * 100)) = 10000€\end{aligned}$$

Perusmaksu:

$$k_2 * (350 + 15 * \Phi_{til}) / 10 / 1 * (350 + (15 * 100)) = 1850 \text{€}$$

Energian hinta:

$$\frac{63633}{1000} \text{ MWh} * 48,5 \text{€} / \text{MWh} = 3086 \text{€} / 10 /$$

Koko vuoden kustannus (perusmaksu mukaan):

$$3086 \text{€} + 1850 \text{€} = 4936 \text{€}$$