

Petri Hakaneva

Pientalon energiankulutus ja energiatehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

31.10.2012

Tekijä Otsikko	Petri Hakaneva Pientalon energiankulutus ja energiatehokkuuden parantaminen
Sivumäärä Aika	38 sivua + 3 liitettä 31.10.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Tämä insinöörityö on tehty osana isompaa hanketta, jossa tarkoituksena oli etsiä lämmityskulujen alentamiskeinoja omakotiasujille. Hankkeeseen valittiin neljä pientaloa, joiden lämmitysjärjestelmänä oli ainakin osittain suora sähkölämmitys. Pää tavoite oli puolittaa rakennusten lämmityskustannukset. Hankkeeseen haettiin palveluntarjoajia, jotka toteuttaisivat koko remontin annetulla aikataululla. Raati arvosteli tarjoukset ja valitsi niistä mielestään parhaat toteutettaviksi.</p> <p>Työ perustuu yhden hankkeessa mukana olleen talon energiankulutuksen laskentaan ja mittauksiin. Tavoitteena oli tutkia talon energiankulutusta ja sen jakaamaa. Myös sisäilman laatu oli tarkoitus selvittää.</p> <p>Aluksi kohteessa tehtiin tarvittavat mittaukset energialaskentaa varten ennen remontin aloittamista. Mittaustuloksien ja kulutustietojen avulla laskettiin rakennuksen energiankulutus ja sen jakauma. Laskettu energiankulutus oli hieman suurempi kuin ennen laskentaa taulukkoarvojen perusteella arvioitu kulutus. Lopuksi arvioitiin tulevan lämmitysjärjestelmän energiansäästö nykyiseen verrattuna.</p> <p>Tuloksista ilmeni että parhaat keinot energian säästämiseen kohteessa ovat maalämpö tai toisen ilmalämpöpumpun asennus. Rakenteiden tiivistäminen tai lisäeristys eivät olisi yhtä energiataloudellisia ratkaisuja.</p>	
Avainsanat	energiankulutus, lämmitysenergia, maalämpö

Author Title Number of Pages Date	Petri Hakaneva A detached house: energy consumption and improvement of energy efficiency 38 pages + 3 appendices 31 Oct 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>This bachelor's thesis is a part of a larger project with a purpose to establish how to improve the energy efficiency in detached houses. The four single family houses chosen for the project had at least partial direct electric heating. The main purpose of the project was to halve the heating costs of the houses. The project was carried out by service providers whose offers for the entire renovation in time were deemed as the best ones.</p> <p>My thesis is based on one of the project houses. The main target was to observe the energy consumption and distribution. Also quality of interior air was analysed.</p> <p>First, all the measurements for energy calculation were taken of the houses before the renovation began. The energy consumption and distribution were calculated on basis of the measurement results and the consumption data. The calculated energy consumption was higher than estimated. Finally, the new heating system was compared to old one to establish the energy savings.</p> <p>The results showed that the optimum ways to decrease the energy consumption would be installing geothermal heating or another air heating pump unit. Additional structural sealing or extra insulation would be less economical ways to save energy.</p>	
Keywords	energy consumption, heating energy, geothermal/ground-source heating

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kohteen kuvaus	3
2.1	Rakennus	3
2.2	LVIS-järjestelmä	5
3	Mittaukset	7
3.1	Kertamittaukset	7
3.1.1	Mittauksissa käytetyt laitteet ja mittaussuomenetelmät	7
3.1.2	Tulokset	7
3.2	Seurantamittaukset	11
3.2.1	Mittauksissa käytetyt laitteet ja mittaussuomenetelmät	11
3.2.2	Tulokset	11
4	Laskelmat	13
4.1	Energiankulutus	13
4.1.1	Rakenteiden lämpöhäviöenergiat	13
4.1.2	Käyttöveden lämmitys	17
4.1.3	Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöt	17
4.1.4	Laitesähkökulutus	19
4.1.5	Rakennuksen lämpökuormat	19
4.1.6	Lämmitysenergia	23
4.1.7	Rakennuksen energiankulutus	25
4.2	Energiankulutus lähtötietojen mukaan	25
4.3	Energiankulutus tarkennetuilla arvoilla	26
4.4	Vertailut ja johtopäätökset	27
5	Muutosehdotukset	28
5.1	Valittujen palveluntarjoajien muutosehdotukset	28
5.2	Valittu järjestelmä	30
6	Vaikutukset ja kannattavuus	33
7	Kehittämiskohteet	35
8	Yhteenveto	36

Liitteet

Liite 1. Pohjapiirrokset

Liite 2. Tiiviysmittausraportti

Liite 3. Laskenta ja taulukot

1 Johdanto

Rakennusten energiankulutus on n. 45 % Suomen loppuenergiankulutuksesta. Asuintalojen lämmityksen osuus koko energian loppukäytöstä on lähes 20 %. Koko asumiseen kulutetusta energiamäärästä noin puolet menee lämmitykseen ja ilmanvaihtoon ja toinen puoli taloussähköön sekä käyttöveden lämmitykseen. Koska rakennusten energiankulutus aiheuttaa yli 30 % kasvihuonepäästöistä, ympäristövaikutukset ovat merkittävät. [1]

Koska asumiskustannukset ovat nousseet energian hinnan kallistuessa, on tullut tarvetta parantaa energiatehokkuutta kaikissa kiinteistöissä. Erityisen tarpeellista tämä on kiinteistöissä, joissa on suorasähkö- tai öljylämmitys. Haasteena energiatehokkuuden parantamisessa on esimerkiksi remontin kokonaiskustannukset verrattuna saataviin säästöihin sekä asumismukavuuteen liittyvät seikat mm. sisäilman laatu. [1]

Eemontti-hanke käynnistyi syksyllä 2011, ja mukana organisaatiossa ovat hankkeen koordinaattori Green Net Finland ry, Metropolia Ammattikorkeakoulu (talotekniikka ja mediatekniikka), Coco Viestintä Oy, Raksystems Anticimex ja Realia Group.

Hankkeen tavoitteena oli tutkia mahdollisuutta energiatehokkuuden parantamiseen ja sitä kautta energiakulujen puolittamiseen pientaloissa. Kohteiksi valittiin neljä eri-ikäistä ja -tyyppistä pientaloa, joiden lämmitys oli toteutettu muulla tavoin kuin vesikiertoisella lämmityksellä. Kohteissa tehtiin kuntokartoitus ja energian kulutusmittaukset ennen korjausten toteutusta. Energiaremonttien toteutukseen haettiin ehdotuksia alan yrityksiltä, ja asiantuntijaraati valitsi niistä parhaat toteutettaviksi.

Tämä opinnäytetyö perustuu niihin tuloksiin, joita osallistumiseni hankkeeseen tuotti. Tavoitteena työsuudessa oli mittauksin ja laskelmin selvittää esimerkkikohteen, 1950-luvulla rakennetun omakotitalon energiankulutus ja sen jakauma. Lisäksi tavoitteena oli laskelmin arvioida ehdotetun lämpöpumppuratkaisun vaikutukset energiankulutukseen ja sen jakaumaan.

Työ toteutettiin vaiheittain niin, että ensin arvioitiin lämmitysenergian tarve laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Seuraavaksi kerättiin mm. veden- ja sähkönkulutustiedot sekä suoritettiin kohteessa energiankulutukseen ja sisäilmaan liittyvät kerta- ja seurantamittaukset. Kiinteistön omistajaa haastatteleamalla selvitettiin energiankulutustottumuksia. Lopuksi verrattiin laskettua kulutusta aikaisemmin arvioituun.

Alun perin tavoitteena oli seurata myös uuden lämmitysjärjestelmän toteutusta ja sen vaikutusta energiankulutukseen. Koska remontin aikataulu viivästyi, järjestelmän toteutus oli tehtävä laskennallisesti arvioiden. Työssä ei myöskään tutkittu muita energiavaihtoehtoja, esim. aurinkoenergian hyödyntämistä tai pellettilämmitystä.

2 Kohteen kuvaus

2.1 Rakennus

Kohderakennus on kuvan 1 mukainen vuonna 1959 valmistunut omakotitalo Helsingissä. Rakennus on puolitoistakerroksinen ja pääosin siporex-rakenteinen. Perustus on maanvaraisen kantavan betonilaatan varassa, ja yläpohja on puurakenteinen.

Rakennukseen on tehty paljon korjauksia viime vuosina, mm. eteinen on lämpöeristetty, ilmalämpöpumppu on lisätty, katto on uusittu ja samalla asennettu kattoikkunat sekä muitakin ovia ja ikkunoita on uusittu. Hankkeen aikana yläkertaan oli rakenteilla pesuhuone.



Kuva 1. Kohderakennus

Rakennuksen pinta-ala on 327 m². Pohjakerroksessa on sauna, pesuhuone, wc, takkahuone ja autotalli sekä varastotilaa. Ensimmäisessä kerroksessa on keittiö, olohuone, wc ja kaksi huonetta. Yläkerrassa on kolme makuuhuonetta ja pesuhuone. Pohjapiirrokset ovat liitteessä 1.

Taulukko 1. Rakenteiden pinta-alat ja U-arvot

		Pinta-ala, m ² , (A)	U-arvo, W/(m ² K), (U)
Lämpimät tilat			
	ulkoseinä	138,1	0,37
	yläpohja	80,5	0,25
	alapohja	23,6	1,00
	muut maanvast. osat	14,1	0,54
	ikkunat	14,45	1,80
	ulko-ovet	6,1	1,40
	kattoikkunat	4,2	1,50
Puolilämpimät tilat			
	ulkoseinä	14,7	0,37
	alapohja	41,6	1,00
	muut maanvast. osat	27,5	2,60
	ikkunat	1,99	1,80
	ulko-ovet	5,6	1,80

Ulkoseinän pinta-alan laskennassa seinän korkeus on etäisyys alapohjan yläpinnasta yläpohjan alapintaan ja leveys puolestaan etäisyys seinän sisäpinnan nurkasta seuraavan ulkoseinän sisäpinnan nurkkaan. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat on laskettu kehän ulkomittojen mukaan ja vähennetty ulkoseinän kokonaisalasta.

Yläpohjan pinta-ala on laskettu samalla periaatteella sisämittojen mukaan kuin edellä selostettu ulkoseinän pinta-ala vähennettynä kattoikkunoiden pinta-alalla. Yläpohjan pinta-alasta ei ole vähennetty hormeja tai läpivientejä. Alapohjan pinta-alan laskenta on tehty myös sisämittojen mukaan vähentämättä väliseinien liitoskohtia tai läpivientejä.

Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimeksi eli U-arvoksi on valittu tyypillinen aikakauden siporex-harkon U-arvo. Yläpohjassa on 140 mm:n vahvuinen Finnfoam-eristys ja sen mukainen U-arvo. Alapohjan osalta U-arvo on arvioitu vastaavan 200 mm:n betonilaatan mukaan. Kellarin maanvastaiset seinät ovat lämpimissä tiloissa puurakenteiset ja eristetyt. Puolilämpimien tilojen seinät puolestaan ovat kuorimuuratut. Tämä näkyy taulukossa 1 erilaisina U-arvoina näiden tilojen osalta (muut maanvastaiset osat). Ikkunoiden ja ovien U-arvot on arvioitu niiden iän ja rakenteen perusteella. (Taulukko 1.)

2.2 LVIS-järjestelmä

Ensisijaisena lämmöntuottolähteenä rakennuksessa on suora sähkölämmitys. Lämmönjako on pääosin toteutettu sähköpattereilla, keittiössä ja wc:ssä on lattialämmitys. Lisäksi rakennuksessa on yksi ilmalämpöpumppu ja kolme takkaa. Lämmityslaitteet 1. kerroksessa on esitetty kuvassa 3. Takat 1. ja 2. kerroksessa eivät olleet käytössä. Sen sijaan kuvan 2 kellarin takalla oli ollut satunnaista, vähäistä käyttöä. Saunan puulämmitteinen kiuas on käytössä viikottain.

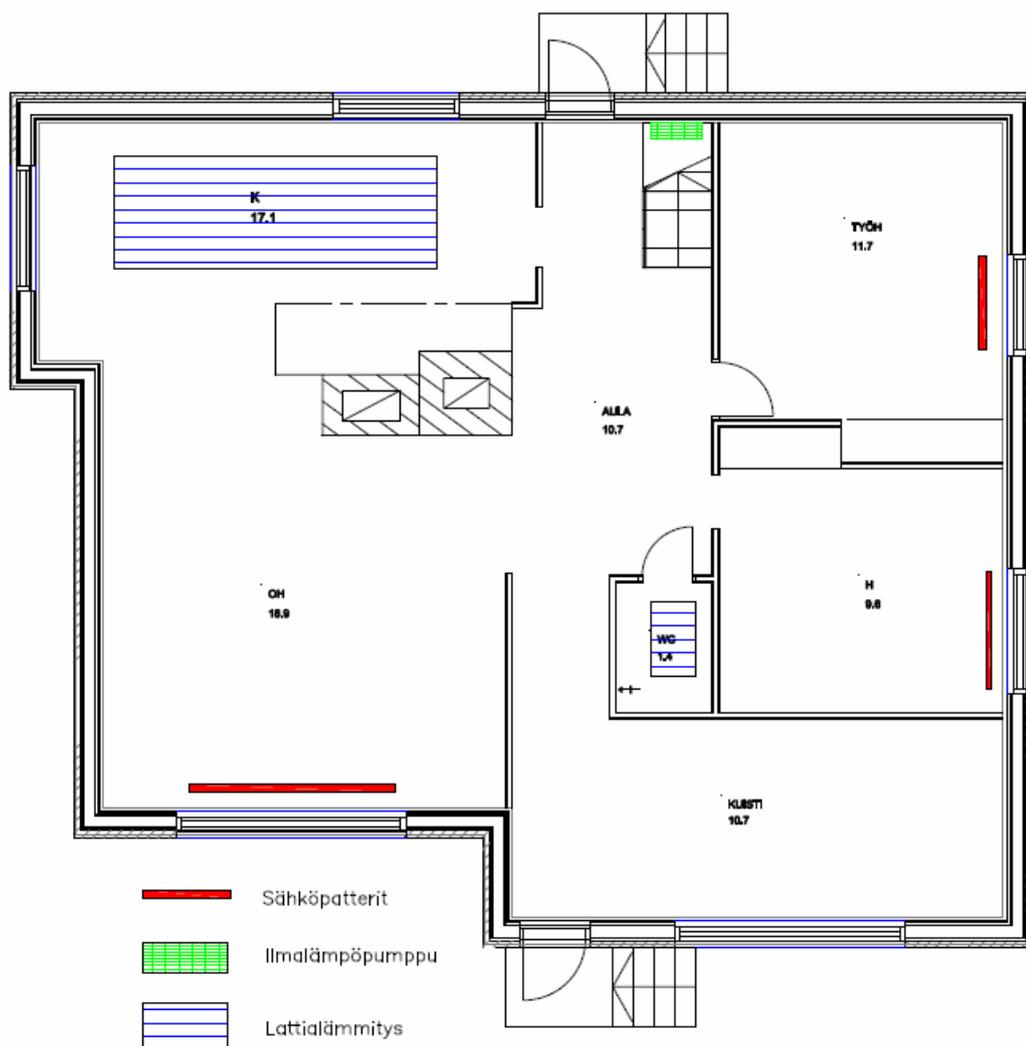


Kuva 2. Kellarin takka/leivinuuni

Rakennuksessa on kaupungin käyttövesi- ja viemäriliittymä. Käyttövesi lämmitetään varaajalla, joka on kellarin takkahuoneessa. Varaajan sähkövastuksen tehosta ei ole

tietoa varaajassa, eikä tehoa ole mitattu. Vesijohtdot ovat kupariset. Rakennuksessa ei ole LV-kiertojohtoa. Omistajalta saadun tiedon mukaan vedenkulutus on ollut kahtena edellisenä vuonna 115 m³/vuosi. Vedenvirtaamat olivat kuntokartoituksessa ohjearvojen mukaiset. Sekä vesi- että viemäriputket ovat alkuperäiset. Sadevesikaivot sijaitsevat rakennuksen nurkilla, ja salaojitus on omistajan kertoman mukaan vain takapihan puolella.

Ilmanvaihto on pääosin painovoimainen ja poistokanava sijaitsee savupiipussa. Ikkunoissa ei ole korvausilmaventtiileitä, mutta kellarikerroksen pesuhuoneessa on yksi tuloilmaventtiili ulkoseinässä. Ainoa poistopuhallin on wc:ssä, ja sen käynti on yhdistetty valokatkaisijaan. Yläkerran makuuhuoneessa on poistoventtiili hormissa.



Kuva 3. Lämmityslaitteiden sijainti 1. kerroksessa

3 Mittaukset

3.1 Kertamittaukset

3.1.1 Mittauksissa käytetyt laitteet ja mittausmenetelmät

Koska rakennuksesta ei ollut pohjapiirustuksia tarkoilla mitoilla muun kuin yläkerran osalta, mittasimme huonetilat pinta-alojen ja tilavuuksien laskentaa varten.

Lisäksi teimme seuraavat mittaukset: lattioiden ja ulkoseinien pistelämpötilat, ilman liikenopeuden mittaus, lämpötilat sekä tulo- ja poistoilmavirrat. Rakennukseen tehtiin myös erillinen tiiviysmittaus.

Sisätilojen mittauksessa käytimme laseretäisyysmittaria, jonka avulla saimme pituus- ja leveysmitat sekä huonekorkeuden. Ikkunoiden ja ovien mittaamiseen käytimme rullamittaa. Seinien ja lattioiden pistelämpötilat mitattiin infrapuna-pintalämpömittarilla. Ilman liikenopeuden ja lämpötilan mittaamiseen käytimme TSI VelociCalc -mittalaitetta ja teimme mittaukset joka huonetilassa kahdelta korkeudelta. Tulo- ja poistoilmavirtoja mittasimme kuumalanka-anemometritorvella raitisilma- ja poistoilmaventtiileistä. Liesituulettimen ilmavirrat mitattiin kaikilla tehoilla ja mittausvälineenä käytettiin ilman virtausnopeuden mittaria TSI VelociCalc 9535A.

3.1.2 Tulokset

Ilman liikenopeus oli, kuten oletettua painovoimaisessa ilmanvaihdossa, enimmäkseen hyvin vähäistä. Ilmalämpöpumppu aiheutti jonkin verran liikenopeutta oleskelutiloihin. Lämpötilojen mittaustulosten perusteella lämpötilaerot ovat vähäisiä lämpimissä tiloissa. Liikenopeus ja lämpötila mitattiin n. 0,1 m:n ja 1,5 m:n korkeudelta sekä vaaka että pystysuunnassa. Arvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ilman liikenopeus ja lämpötila olohuoneessa.

huone	liikenopeus			lämpötila		
Olohuone	niska	vaaka	0	niska	vaaka	22,5
		pysty	0,01		pysty	22,5
	nilkka	vaaka	0	nilkka	vaaka	22,6
		pysty	0,01		pysty	22,6

Kuvassa 4 on esitetty pistelämpötilojen mittaus niin että lattiasta on mittaustulos yhdeksästä eri kohdasta ja seinästä kahdeksasta kohdasta. Ikkunan lämpötilat on mitattu nurkista ja keskeltä (oikean taulukon keskiosa). Näistä on laskettu keskiarvot ja niiden perusteella kunkin rakenneosan lämpötilaindeksi seuraavasti [2, s. 11]:

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 (\%)$$

TI on lämpötilaindeksi

T_{sp} on sisäpinnan lämpötila, °C

T_i on sisäilman lämpötila, °C

T_o on ulkoilman lämpötila, °C

Pistelämpötilat			
Ulkolämpötila	5,6 °C		
Sisälämpötila	19,5 °C		
lattia		ikkunaseinä	
16,1	16,5	17,1	17,1
16,5	17	17,5	17,1
16,1	16,5	17,1	17
lämpötila, ka 16,51111 °C		lämpötila, ka 17,08462 °C	
Lämpötilaindeksi	78,4972	Lämpötilaindeksi	82,62313

Kuva 4. Kellarista mitattuja pistelämpötiloja ja niiden perusteella lasketut lämpötilaindeksit lattialle ja seinälle.

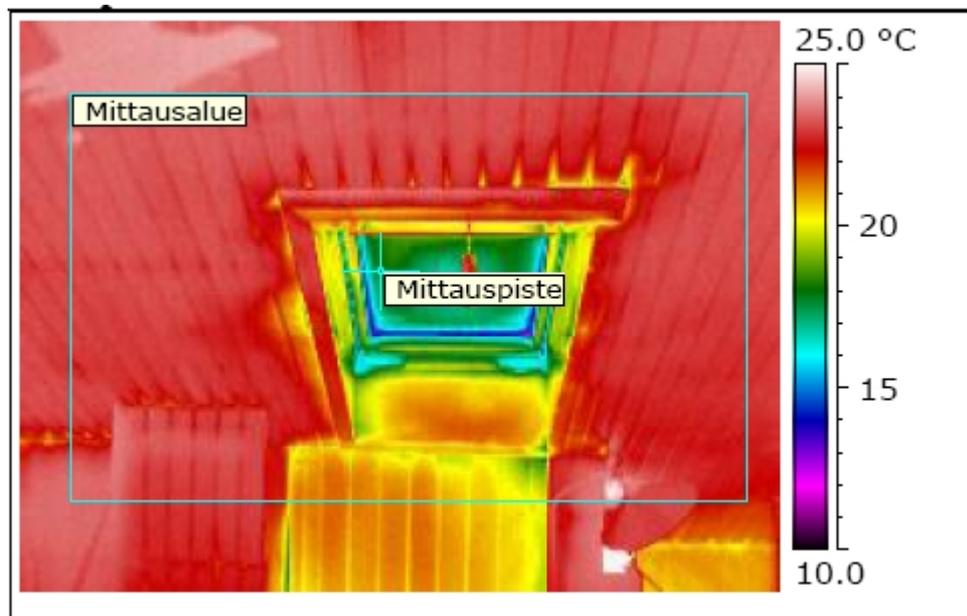
Lämpötilaindeksi on rakennuksen vaipan lämmönpitävyyden arvo. Matala arvo tarkoittaa, että rakenteessa on esim. eristevirhe tai ilmavuoto. Seinässä välttävän tason lämpötilaindeksi on 81 % tai suurempi, ja hyvän tason lämpötilaindeksi alkaa 87 %:sta. Lattiasa välttävä taso on 87 % tai suurempi, ja hyvä taso alkaa 97 %:sta.

Taulukko 3. Rakennuksen ulkoseinien keskiarvoiset lämpötilat ja lasketut lämpötilaindeksit

		lämpötila- indeksi seinä 1	seinän 1 lämpötila °C (ka)	lämpötila- indeksi seinä 2	seinän 2 lämpötila °C (ka)	sisä- lämpötila °C
1. krs						
keittiö		90,9	21,05	91,22	21,11	22,6
olohuone		92,6	21,25	89,26	20,68	22,5
työhuone		85,12	19,9	91,21	20,92	22,4
huone		82,8	19,26			22,1
kuisti		85,52	19,37			21,7
kellari						
takkah.		93,4	21,38			22,5
pesuh.		88,71	20,77	91,52	21,25	22,7
varastoh.		82,62	17,08	80,58	16,8	19,5
autotalli		71,74	15,5	82,61	17	19,4
saunan et.		92,6	21,25			22,5
2. krs						
mh 1		93,47	21,12	95,95	21,53	22,2
mh 2		89,24	20,68	91,65	21,09	22,5
mh 3		90	21,17	89,71	21,12	22,9
kph		92,06	21,25	89	20,73	22,6
aula		94,29	21,72	99,42	22,6	22,7

Taulukon 3 arvot on laskettu käyttäen ulkolämpötilaa 5,6 °C. Kellarin lattiapintojen arvot esitetään liitteessä 3.

Tiiviysmittauksessa selvitettiin rakennuksen vaipan tiiviyttä. Ennen mittausta tukittiin ilmakeinavat, ja mittauksen aikana ovet ja ikkunat olivat suljettuina. Oviaukkoon sijoitetulla puhaltimella tehtiin rakennukseen vuorotellen sekä yli- että alipaine viidellä eri paine-erolla. Ilmavuotokohdat paikannettiin lämpökameralla ja virtausmittarilla alipaineessa -50 Pa :n paine-erolla. Samalla paine-erolla määriteltiin vuotoilmamäärä ja siitä muodostettiin rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} , joka on $5,8 \text{ l/h}$. Mittaustulosten perusteella on päätelty, että saatu tulos on samankaltainen muiden saman ikäluokan rakennusten kanssa. Ilmavuotokohdiksi todettiin yläpohjan ja seinärakenteen liitoskohdat, ikkunoiden ja ovien liittymiskohdat seinään sekä yläpohjan läpiviennit (kuva 5). Tiiviysmittauksen tuloksia on liitteessä 2.



Kuva 5. Lämpökuva yläkerran aulan kattoikkunasta.

3.2 Seurantamittaukset

3.2.1 Mittauksissa käytetyt laitteet ja mittausmenetelmät

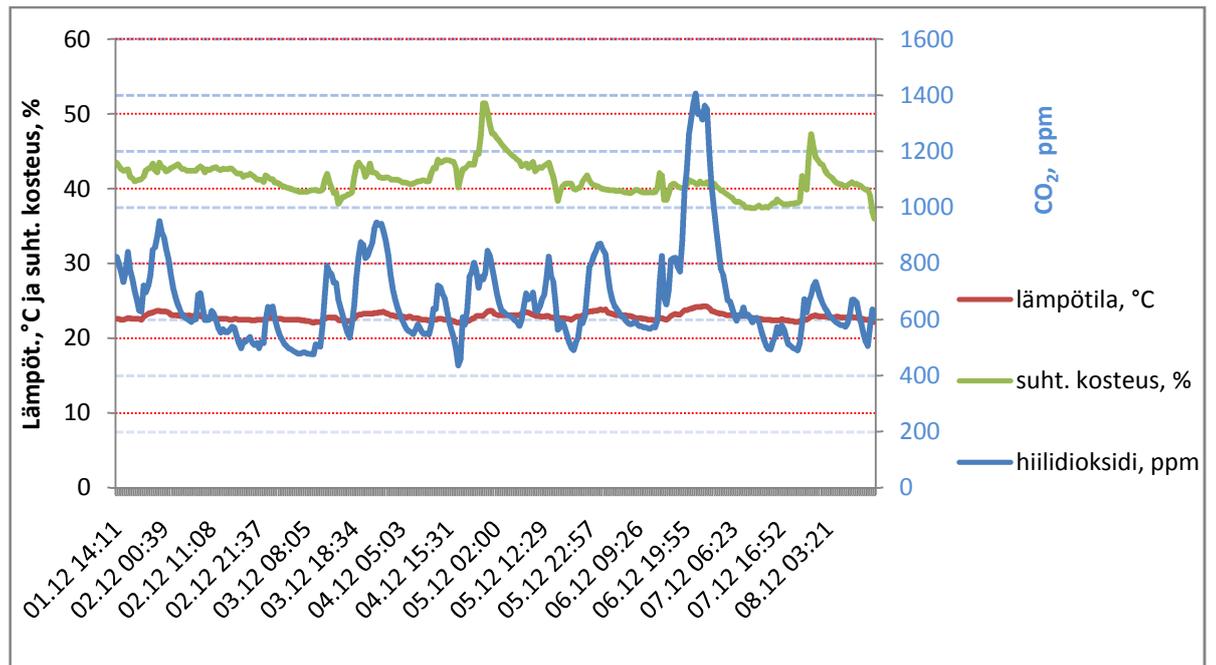
Seurantamittausjakso oli viikon pituinen. Sinä aikana rakennukseen jätettiin mittauslaitteita tallentamaan tietoa. Mitattuja suureita olivat ulkoilman lämpötila, sisäilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidipitoisuus sekä ilmalämpöpumpun ja takan lämpötilat.

Mittauksissa käytettiin ulkolämpötilan mittaamiseen logger-tyyppistä mittaria, sisäilman arvot mitattiin TSI IAQ-Calc 7525 -mallisella mittarilla ja ilmalämpöpumpun sekä takan mittausarvot saatiin Squirrel Datalogger -termoelementillä.

Koska sisäilman kuormitus vaihtelee eniten olohuoneessa, tämä valittiin sisäilmamittarin sijoituspaikaksi. Laite ohjelmoitiin ottamaan lukemat puolen tunnin välein. Ulkolämpötilan mittalaite sijoitettiin rakennuksen pohjoispuolelle noin 1,5 m:n korkeudelle ja mittausjaksona oli 1 h. Ilmalämpöpumppuun ja takkaan liitettiin dataloggerin anturit, joilla saatiin lämpötilat useammasta kohdasta.

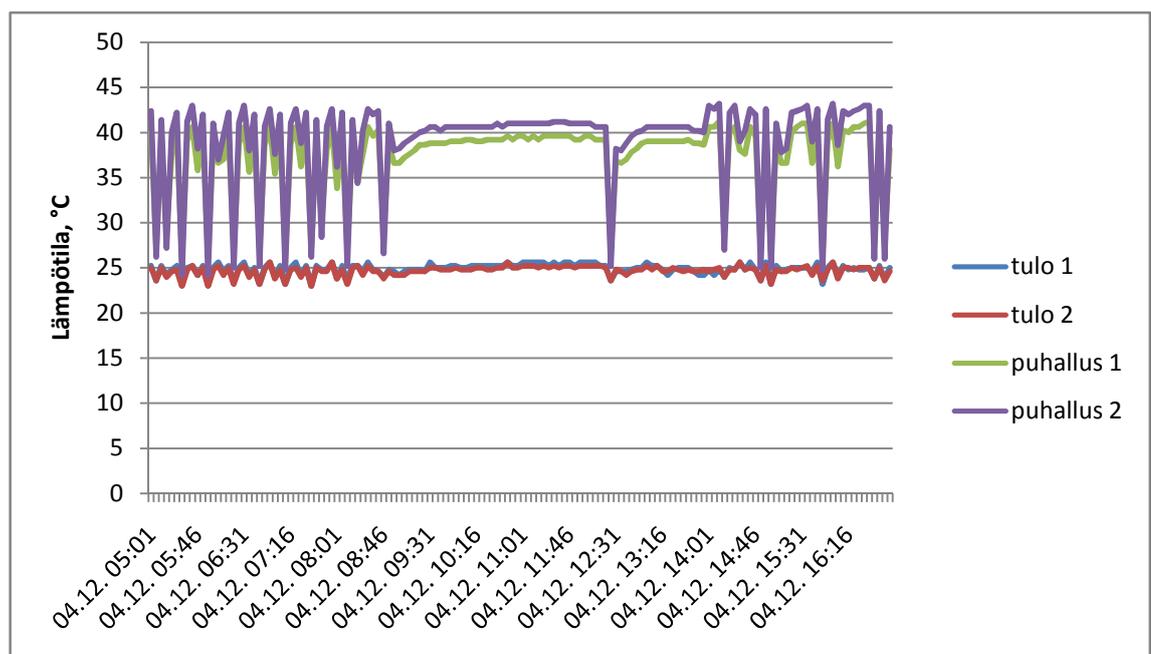
3.2.2 Tulokset

Kuvassa 6 on esitetty mitatut arvot aikajanalla. Sisäilman arvoista havaitaan, että CO₂-pitoisuus pysyy enimmäkseen välillä 500–1 000 ppm. Pitoisuus on matalimmillaan öisin ja aamupäivisin. Lämpötilakäyrä seuraa hiilidioksidin määrää, vaihteluväli on n. 2 °C. Sisäilman kosteus pysyttelee 40–50 %:n välillä.



Kuva 6. Sisäilman mittaustulokset

Kuvasta 7 nähdään, että ilmalämpöpumppu on toiminut jaksottaisesti, ja termostaatti on ohjannut toimintaa sisäilman lämpötilan mukaan. Sisäntulevan ilman lämpötila, jota kuvaavat alemmat käyrät, on pysynyt tasaisena.



Kuva 7. Ilmalämpöpumpun lämpötilat tulo- ja puhalluspuolelta

4 Laskelmat

Laskennassa on käytetty excel-muotoista energiaselvityslaskuria, joka perustuu RakMk:n osissa D3 ja D5 esitettyihin laskentamenetelmiin. Taulukkoon annettujen alkuarvojen perusteella on saatu tulokset.

4.1 Energiankulutus

Ensin laskettiin rakennuksen pinta-alat aiemmin mitatuista arvoista ja selvitettiin muut alkuarvot. Tämän jälkeen voitiin laskea rakennuksen energiankulutus. Taulukon arvot muodostuvat seuraavalla tavalla RakMk:n osan D5 2007 mukaisesti:

4.1.1 Rakenteiden lämpöhäviöenergiat

U-arvoja eli rakennusosien lämmönläpäisykertoimia varten selvitettiin tarvittaessa rakennusosien lämmönvastukset (R) kaavalla (1) [3, s. 5].

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

d on ainekerroksen paksuus, m
 on lämmönjohtavuus, W/(Km)

Lämmönläpäisykertoimet laskettiin lämmönvastuksista (2) [3, s 5].

$$U = \frac{1}{\Sigma R} \quad (2)$$

R on rakennusosan kokonaislämmönvastus, (m²K)/W

Ominaislämpöhäviö (H_{joht}), (ulkoseinät, ikkunat, ovet ja yläpohja) on laskettu seuraavasti (3) [4, s. 18].

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{ikkuna}A_{ikkuna}) + \Sigma(U_{ovi}A_{ovi}) \quad (3)$$

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$

A on rakennusosan pinta-ala, m^2

Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia on laskettu kaavalla (4) [4, s. 18].

$$Q_{joht} = \Sigma H_{joht}(T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

H_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

T_s on sisäilman lämpötila, $^{\circ}C$

T_u on ulkoilman lämpötila, $^{\circ}C$

t on ajanjakson pituus, h

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Koska rakennuksessa on kellari, myös maanvastaisten seinien kautta johtuva energia on laskettu kaavan (4) mukaan ja otettu huomioon maan lämmönvastus.

Alapohjan läpi johtuva lämpöenergia on laskettu kaavalla (5)

$$Q_{joht,maa} = (U_{alapohja}A_{alapohja})(T_s - T_{maa,kuukausi}) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

Tässä yhtälössä on käytetty ohjeen mukaan ulkolämpötilan sijasta alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa (6). [4, s. 19]

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad (6)$$

$T_{maa, vuosi}$ on alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, $^{\circ}C$

$T_{u, vuosi}$ on ulkoilman vuotuinen keskilämpötila [4, liite 1], $^{\circ}C$

$T_{maa, vuosi}$ on alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero [3, s. 19/taulukko 4.1], $^{\circ}C$

Tulokset esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Johtumislämpöenergian laskennan lämpötilatiedot

Lämpötilatiedot	
T_s	22 °C
T_u	*
$T_{u,vuosi}$	5 °C
$T_{maa,vuosi}$	10 °C
$\Delta T_{maa,vuosi}$	5,0 °C

*Vaihtelee kk:n mukaan

Rakennuksen vaipan epätiiviyksien kautta virtaavan ilman lämmitykseen käytetyn energian laskenta on seuraavanlainen:

Ensin lasketaan vuotoilman ominaislämpöhäviö (7) [4, s. 20].

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (7)$$

$H_{vuotoilma}$ on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_{v, vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, m³/s

Tämän jälkeen on laskettu vuotoilmavirta (8) [4, s.20].

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} V / 3600 \quad (8)$$

$q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta, m³/s

$n_{vuotoilma}$ on rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h

V on rakennuksen ilmatilavuus, m³

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m³/h > m³/s.

Suoritettussa tiiviysmittauksessa rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvuksi saatiin $n_{50} = 5,8$ 1/h.

Vuotoilmakerroin on laskettu ilmanvuotoluvun mukaan kaavalla (9) [4, s. 21].

$$n_{vuotoilma} = \frac{n_{50}}{25} \quad (9)$$

Vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia on laskettu kaavalla (10) [4, s. 20].

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (10)$$

$Q_{vuotoilma}$ on vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{vuotoilma}$ on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö on saatu kaavasta (11) [4, s. 22].

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) \quad (11)$$

ρ_i on ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta, m³/s

t_d on ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

r on muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan

η_a on ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on laskettu kaavalla (12) [4, s. 22].

$$Q_{iv} = \Sigma(H_{iv}(T_s - T_u)\Delta t)/1000 \quad (12)$$

T_s on sisäilman lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

t on ajanjakson pituus, h
1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

4.1.2 Käyttöveden lämmitys

Lämpimän käyttöveden kulutus määritettiin RakMk:n osan D5 ohjeen mukaan niin, että veden kokonaiskulutuksesta 40 % on lämpimän käyttöveden ominaiskulutusta. Se sijoitettiin seuraavaan kaavaan (13) [4, s. 26].

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin,henk} n \Delta t / 1000 \quad (13)$$

V_{lkv} on lämpimän käyttövedenkulutus, m³

$V_{lkv,omin, henk}$ on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm³ henkilöä kohti vuorokaudessa

n on henkilöiden lukumäärä

Käyttöveden lämmitykseen käytetty lämpöenergia laskettiin kaavalla (14) [4, s. 26].

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (14)$$

$Q_{lkv, netto}$ on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh

ρ_v on veden tiheys, 1000 kg/m³

c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

V_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus, m³

T_{lkv} on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{kv} on kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

4.1.3 Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöt

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöissä on otettu huomioon myös käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia. Kaava, jonka avulla laskenta (15) on tehty on seuraava [4, s. 28]:

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} = Q_{\text{lämmitys,tilat,kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,jakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,säätöhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,varaajahäviöt}} \quad (15)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys,tilat,luovutushäviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien (radiaattori, lattialämmitys) lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia, kWh

Edellä mainitut lämpöhäviöt on määritetty D5:n taulukon 6.1. mukaisesti [4, s. 30]. Tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Lämmitysjärjestelmän ominaislämpöhäviöt

$Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}}$	0 kWh/brm ² /vuosi
$Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$	0 kWh/brm ² /vuosi
$Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}}$	7,3 kWh/brm ² /vuosi
$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$	1,4 kWh/brm ² /vuosi
$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}}$	0 kWh/brm ² /vuosi

Koska kohteen pääasiallinen lämmitysmuoto on sähkölämmitys, on kehitys- ja jakeluhäviöiksi ohjeen mukaan saatu 0 kWh/brm²/vuosi. Luovutus- ja säätöhäviöiden laskemisessa on otettu keskiarvo kuukausikohtaisista arvoista ja jätetty pois kesäelokuun arvot, koska kesällä ei tällaisia häviöitä synny.

Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat ($Q_{\text{lkv,häviöt}}$) laskettiin tässä tapauksessa erikseen, koska varaaja on tarkoitettu vain käyttöveden lämmitykseen.

Lämminvesivaraajan iästä johtuen sille ei löytynyt tarkkoja lämpöhäviötehon arvoja. Tästä johtuen laskennassa on käytetty ohjearvoa 1 000 kWh.

4.1.4 Laitesähkönkulutus

Rakennuksen sähkölaitteiden kuten valaistuksen ja koneiden kuluttama sähkö on laskettu tässä vaiheessa. Mukaan ei ole laskettu lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettyä sähköä. Koska jokaisen laitteen tarkkaa kulutusta ei tiedetä, on arvoina käytetty RakMk osan D5, taulukon 7.1. mukaisia arvoja [4, s. 33].

4.1.5 Rakennuksen lämpökuormat

Laskettavana on rakennukseen tulevat oheislämpökuormat, jotka voidaan hyödyntää lämmityksessä.

Henkilöiden luovuttama lämpöenergia (Q_{henk}) on taulukon 6 mukainen.

Taulukko 6. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia [4, s. 39]

Rakennustyyppi	$Q_{\text{henk, omia}}$ kWh/brm ² vuodessa
Asuinkerrostalo	17
Rivitalo	11
Pientalo	8
Toimistorakennus	10
Opetusrakennus	58
Liikerakennus	13
Hotelli	18
Ravintola	38
Liikuntarakennus	16
Sairaala	70
Muut rakennukset	13

Lämmityslaitteiden lämpöhäviöenergia on laskettu aiemmin kaavalla (15). Osa tästä lämmöstä siirtyy rakennuksesta ulos, joten lämpökuormaksi rakennukseen on arvioitu jäävän 70 % lämpöhäviöenergiasta (16) [4, s. 41].

$$Q_{\text{lämmitys,kuorma}} = 0,7 * Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} \quad (16)$$

$Q_{\text{lämmitys,kuorma}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmästä eli tässä tapauksessa lämminvesivaraajan lämpöhäviöenergiasta tuleva kuorma on laskettu seuraavasti (17) [4, s. 41].

$$Q_{\text{lkv,kuorma}} = 0,3 Q_{\text{lkv,netto}} + 0,5 Q_{\text{lkv,häviöt}} \quad (17)$$

$Q_{\text{lkv,kuorma}}$ on käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh

$Q_{\text{lkv, häviöt}}$ on käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Sähköenergiasta tuleva lämpökuorma ($Q_{\text{säh}}$) on määritetty taulukon 7 mukaan

Taulukko 7. Valaistuksesta, ilmanvaihtopuhaltimista ja muista laitteista tuleva vuotuinen lämpökuormaenergia rakennustyypeittäin [4, s. 42].

Rakennustyyppi	$Q_{\text{säh, omin}}$ kWh/brm ² vuodessa
Asuinkerrostalo	32
Rivitalo	32
Pientalo	32
Toimistorakennus	53
Opetusrakennus	44
Liikerakennus	66
Hotelli	88
Ravintola	79
Liikuntarakennus	128
Sairaala	81
Muut rakennukset	71

Ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia on selvitetty seuraavalla kaavalla (18) [4, s. 43].

$$Q_{aur} = \Sigma G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \Sigma G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (18)$$

Q_{aur} on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk

$G_{säteily, vaakapinta}$ on vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pintaalan yksikköä kohti, kWh/(m²kk)

$G_{säteily, pystypinta}$ on pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pintaalan yksikköä kohti, kWh/(m²kk)

F_{suunta} on muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi,

$F_{läpäisy}$ on säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

A_{ikk} on ikkuna-aukon pinta-ala (kehys ja karmirakenteineen), m²

g on valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin.

Laskenta on suoritettu taulukon 8 mukaisilla arvoilla.

Taulukko 8. Auringon säteilyenergian laskennassa käytettyjä arvoja

Lämpimät tilat:		Puolilämpimät tilat:			
$A_{ikk,koillinen}$	2,7 m ²	$A_{ikk,koillinen}$	0,3 m ²		
$A_{ikk,kaakko}$	3,2 m ²	$A_{ikk,kaakko}$	0,3 m ²		
$A_{ikk,lounas}$	6,4 m ²	$A_{ikk,lounas}$	1,0 m ²	$F_{kehä}$	0,75
$A_{ikk,luode}$	2,2 m ²	$A_{ikk,luode}$	0,3 m ²	g	0,585

Lämpökuormista lämmityksessä hyödynnettävä energia lasketaan kaavalla (19) [4, s. 47].

$$Q_{sis.lämpö} = \eta_{lämpö} Q_{lämpökuorma} \quad (19)$$

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ on rakennuksen lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$ on lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste,-

Rakennuksen lämpökuormaenergia on laskettu kaavalla (20) [4, s. 47]

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys,kuorma}} + Q_{\text{lkv,kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (20)$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Q_{henk} on henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys,kuorma}}$ on tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lkv, kuorma}}$ on käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{säh}}$ on valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

Q_{aur} on ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh

Lämpökuormien energian hyödyntämisastetta varten on ensin laskettu lämpökuormaenergian ja lämpöhäviöenergian suhdeluku (γ) (21).

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{lämpöhäviö}}} \quad (21)$$

γ on lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan,

$Q_{\text{lämpökuorma}}$ on lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatulla lämmityksellä rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$ on rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

Rakennuksen ominaislämpöhäviön laskenta (22) [4, s. 49].

$$H = \frac{Q_{\text{lämpöhäviö}}}{(T_s - T_u)\Delta t} 1000 \quad (22)$$

Seuraavaksi on selvitetty rakennuksen aikavakio yhtälöstä (23) [4, s. 48].

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H} \quad (23)$$

C_{rak} on rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti ja laskennassa arvona on käytetty taulukossa näkyvää keskiraskas II -arvoa kerrottuna pinta-alalla.

Taulukko 9. Tehollisen lämpökapasiteetin arvoja [4, s. 49].

Rakennetyyppi	Esimerkkirakenteita (US on ulkoseinä, VS väliseinä, VP välipohja, YP yläpohja ja AP on alapohja)	$C_{rak\ oim}$ Wh/(bm ² K)
Pientalot		
Kevytrakenteinen	US, VS, YP, AP kevyitä rankarakenteita	40
Keskiraskas I	US, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	70
Keskiraskas II	US harkko tai massiivihirsi, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	110
Raskasrakenteinen	US betoni tai tiili, VS harkko tai tiili, YP, AP betoni	200

Lämpökuormien hyödyntämisaste on laskettu perustapauksen mukaan [3, s. 48] kaavalla (24).

$$\eta_{lämpö} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad (24)$$

Aikavakiosta riippuva parametri a lasketaan kaavasta (25) [3, s. 48].

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (25)$$

4.1.6 Lämmitysenergia

Rakennuksen lämmitysenergiankulutusta varten on ensin laskettu tilojen lämmityksen nettoenergiantarve (26) [3, s. 16].

$$Q_{lämmitys,tilat,netto} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv} - Q_{sis.lämpö} \quad (26)$$

$Q_{lämmitys, tilat, netto}$ on rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve, kWh

Q_{joht} on rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$Q_{\text{sis.lämpö}}$ on lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh

Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus (27) [4, s. 16] on saatu laskemalla yhteen lämmityksen nettoenergiantarve (26) ja lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia (15).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} + Q_{\text{lämmitys,tilat,häviöt}} \quad (27)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ on rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ on rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus on laskettu kaavalla (28) [4, s. 17], jossa on mukana lämmityksen tarvitsema lämpöenergia (14) ja lämpöhäviöenergia, jonka arvona käytettiin 1000 kWh:a RakMk D5:n ohjeen mukaisesti.

$$Q_{\text{lkv}} = Q_{\text{lkv,netto}} + Q_{\text{lkv,häviöt}} \quad (28)$$

Q_{lkv} on käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh

$Q_{\text{lkv, häviöt}}$ on käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Tilojen lämmitysenergian (27) ja lämpimän käyttöveden kulutus (28) muodostaa rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen, ja se on laskettu kaavalla (29) [4, s. 16].

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lkv}} + Q_{\text{LP}}/\varepsilon_{\text{LP}} \quad (29)$$

$Q_{\text{lämmitys}}$ on rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh

Q_{lkv} on käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh

Liitteessä 3 on kuukausittain lasketut lämmitysenergiankulutukset.

4.1.7 Rakennuksen energiankulutus

Lämmitys-, laitesähkö ja jäähdytysenergian summana saadaan rakennuksen energiankulutus (30) [4, s. 16]. Tässä tapauksessa laskenta suoritettiin kahden ensimmäisen osalta.

$$E_{rakennus} = Q_{lämmitys} + W_{laitesähkö} (+Q_{jäähdytys,tilat}) \quad (30)$$

$E_{rakennus}$ on rakennuksen energiankulutus, kWh

$Q_{lämmitys}$ on rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh

$W_{laitesähkö}$ on rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, kWh

$Q_{jäähdytys, tilat}$ on rakennuksen tilojen jäähdytysenergiankulutus, kWh (kylmäenergia)

4.2 Energiankulutus lähtötietojen mukaan

Aluksi kohteesta saatujen tietojen mukaan ja arvioiden perusteella excel-laskurilla tehdyt laskelmat antoivat energiankulutukselle taulukon 10 mukaiset arvot. Pinta-alan mittaukset on tehty ennen laskentaa.

Taulukko 10. Energiankulutuskerrat alussa

Kuukausi	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus, $Q_{\text{lämmitys}}$	Laitteiden sähköenergian kulutus, $W_{\text{laitesähkö}}$	Tilojen jäähdytysenergian kulutus, $Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$	Rakennuksen energiankulutus, E_{rakennus}
	kWh	kWh	kWh	kWh
tammikuu	4753	752	0	5505
helmikuu	4482	680	0	5162
maaliskuu	3554	752	0	4306
huhtikuu	2870	728	0	3598
toukokuu	1489	752	0	2241
kesäkuu	748	728	0	1476
heinäkuu	794	752	0	1547
elokuu	693	752	0	1445
syyskuu	1408	728	0	2136
lokakuu	2377	752	0	3129
marraskuu	2784	728	0	3512
joulukuu	3840	752	0	4592
Koko vuosi	29792	8858	0	38650

4.3 Energiankulutus tarkennetuilla arvoilla

Tarkemmin tiedoin ja laskuin energiankulutus muuttui taulukon 11 mukaisesti. Muuttuneita tekijöitä oli mm. vedenkulutus ja ilmanvaihto. Vedenkulutuslukema oli taulukonmukaista arvoa pienempi, kun taas poistoilmahuuhtaimen lämpöhäviö lisäsi energiankulutusta.

Taulukko 11. Energiankulutuslukemat tarkennetuilla tiedoilla

Kuukausi	Rakennuksen lämmitysenergian kulutus, $Q_{\text{lämmitys}}$	Laitteiden sähköenergian kulutus, $W_{\text{laitesähkö}}$	Tilojen jäähdytysenergian kulutus, $Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$	Rakennuksen energiankulutus, E_{rakennus}
	kWh	kWh	kWh	kWh
tammikuu	5183,7	752	0	5936
helmikuu	4790	679	0	5469
maaliskuu	3730,1	752	0	4482
huhtikuu	2955,3	728	0	3683
toukokuu	1569,4	752	0	2321
kesäkuu	705,5	728	0	1434
heinäkuu	785,3	752	0	1537
elokuu	662,3	752	0	1414
syyskuu	1541,1	728	0	2269
lokakuu	2575,6	752	0	3328
marraskuu	3100,9	728	0	3829
joulukuu	4221,8	753	0	4975
Koko vuosi	31826	8856	0	40682

4.4 Vertailut ja johtopäätökset

Ensimmäisen laskelman avulla saatu energiankulutus oli pienempi kuin tarkennetuin arvoin laskettu kulutus. Tämä johtuu siitä, että aluksi energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä on arvioitu pelkästään D5:n taulukoiden avulla. Kun kohteesta oli mittaustuloksia ja omistajalta saatuja kulutustietoja, energiankulutuslukema tarkentui.

Laskelmin saatu tarkempi kulutus ja toteutunut energiankulutus ovat hyvin lähellä toisiaan. Rakennuksen sähköenergian kokonaiskulutus on noin 32 000 kWh/vuosi ja lisäksi ilmalämpöpumpun osuudeksi on laskettu n. 4 000 kWh/vuosi. Laitteiden kuluttama sähköenergia ei perustu mittauksiin, joten sen osuus kulutuksesta ei ole tarkka. Tulisijojen käyttö, lähinnä saunan lämmitys, kattaa osan lämmitysenergian kulutuksesta.

5 Muutosehdotukset

Palveluntarjoajilta tuli jonkin verran tarjouksia kohteisiin. Osa tarjouksista jouduttiin hylkäämään, koska ne eivät täyttäneet tavoitteita tai eivät olleet ohjelman mukaisia. Tähän kohteeseen hyväksyttiin kaksi tarjousta.

5.1 Valittujen palveluntarjoajien muutosehdotukset

VIHREX-konsortio tarjosi kohteeseen lämmityslähteeksi maalämpöä ja lämmönjakojärjestelmää vesikiertoisena, jolloin siinä olisi myös viilennysominaisuus. Puhallinkonvektoreiden sijoitus olisi huonekohtainen, ja toiseen kerrokseen järjestelmään olisi liitetty vesikiertoiset kattopaneelit. Yläkerran pesuhuoneen lattialämmitys niin ikään liitettäisiin järjestelmään. Lisäksi tarjouksessa oli esitetty koneellista ilmanvaihtojärjestelmää niin haluttaessa. Sitä ei kuitenkaan huomioitu hankkeen laskelmissa. Kellarin sähköinen lattialämmitys olisi jätetty ennalleen.

Tarjottu laitteisto:

- Lämpökaivo 320 m
- Maalämpöpumppu Lämpöässä T15-201GT
- Varaaja Lämpöässä TV500 + vastus 12 kW
- Puhallinkonvektoripatterit Zehnder Nova NEO
- Lämmitys/jäähdytyspaneelit Zehnder Carboline
- Unipipe, putkistot ja termostaatit
- LVIS-tarvikkeet.

Raati totesi, että sijoitetun pääoman tuotoksi saataisiin 7,21 %, joka on vähän yli 50 % määritellystä tavoitteesta (taulukko 12). Takaisinmaksuaika sijoituksella olisi noin 15 vuotta. Ratkaisun teknistä laatua kiitettiin ja todettiin sen olevan helposti monistettavissa muihinkin vastaaviin kiinteistöihin. Tosin ilmanvaihdon uusiminen oli raadin mielestä ongelma, koska se nosti kustannuksia entisestään ja pienensi tuottoa.

[5]

Taulukko 12. Ehdotetun laitteiston pisteytys

Raadin pisteytys

ARVIOINTIKRITEERI	PISTEYTYS
Taloudellisuus (50 %)	3
Tekninen laatu (25 %)	3
Ratkaisun innovatiivisuus (5 %)	3
Monistettavuus (5 %)	5
Helppokäyttöisyys (5 %)	3
Ratkaisun takuuehdot (5 %)	2
Referenssit (5 %)	5
YHTEENSÄ (100 %)	3,15

Seneran tarjous oli peruseriaatteiltaan hyvin samankaltainen VIHREX-konsortion tarjouksen kanssa. Maalämpö puhallinkonvektoreineen korvasi sähköpatterit. Yksityiskohdissa erona on se, että puhallinkonvektoreita on 3 kpl ja lämmönjako olisi siis kerroskohtainen. Tässäkin tarjouksessa yläkerran pesuhuoneen liittäminen järjestelmään onnistuisi.

Tarjottu laitteisto:

- IVT Premiumline EQ C11 maalämpöpumppu
- Lämpökaivot, syvyydet 2 x 125 m
- Lämmönkeruuputkisto yht. 500 m
- Sähköpattereiden korvaaminen vesikiertoisilla puhallinkonvektoreilla:
- SABIANA Carisma CRC14 MO-MVB (1 kpl)
- SABIANA Carisma CRC64 MO-MVB (2 kpl)
- Vesikiertoinen lattialämmitys.

Raadin mielestä tässä ratkaisussa sijoitetun pääoman tuotto on erittäin hyvä. Tekninen laatu oli kuitenkin riittämätön johtuen vain kolmesta puhallinkonvektorista (taulukko 13). Lisälämmitystä todennäköisesti tarvittaisiin. Tämäkin ratkaisu on monistettavissa.
[5]

Taulukko 13. Laitteiston pisteytys

ARVIOINTIKRITEERI	PISTEYTYYS
Taloudellisuus (50 %)	4
Tekninen laatu (25 %)	0
Ratkaisun innovatiivisuus (5 %)	0
Monistettavuus (5 %)	5
Helppokäyttöisyys (5 %)	3
Ratkaisun takuuehdot (5 %)	4
Referenssit (5 %)	5
YHTEENSÄ (100 %)	2,85

5.2 Valittu järjestelmä

Lämmitysjärjestelmäksi valittiin jälkimmäinen, Seneran tarjoama laitteisto. Laitteistoon kuuluvat seuraavat osat:

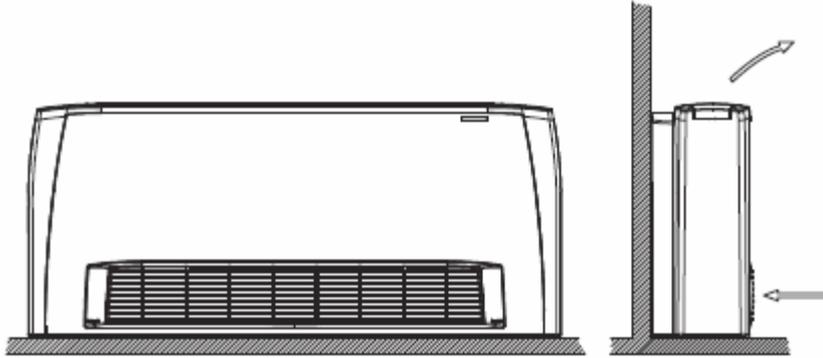
Maalämpöpumppu IVT Premiumline EQ, joka sisältää sisäisen lämminvesivaraajan. Laitteen tekniset tiedot esitetään taulukossa 14.

Taulukko 14. Valitun maalämpöpumpun teknisiä tietoja [6].

Antoteho (0/35 °C)	10,4 kW
COP (0/35 °C) *	4,7
Kerupiirin nimellisvirtaus	0,64 l/s
Lämminvesivaraajan tilavuus	185 l
Lämpöjohdon nimellisvirtaus	0,36 l/s
Äänitaso	47 dB
Mitat (leveys/syvyys/korkeus)	600/645/1800 mm

*saadun lämpötehon suhde syötettyyn sähkötehoon

Laitteistossa on kolme kuvan 8 mukaista puhallinkonvektoria, jotka toimivat lämmönluovuttimina huonetiloissa. Niiden tekniset tiedot ovat taulukossa 15.



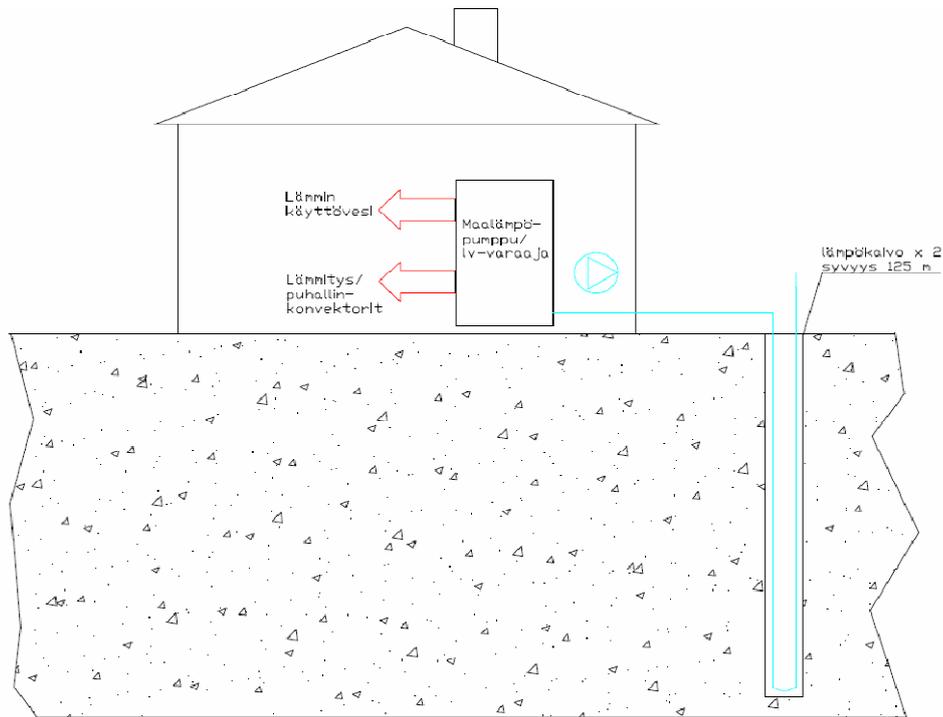
Kuva 8. Puhallinkonvektori lattia-asennuksena [7]

Mahdollisimman tasaista lämmönjakoa tavoiteltaessa konvektorit asennetaan lattiatasoon.

Taulukko 15. Puhallinkonvektorien teknisiä tietoja [7]

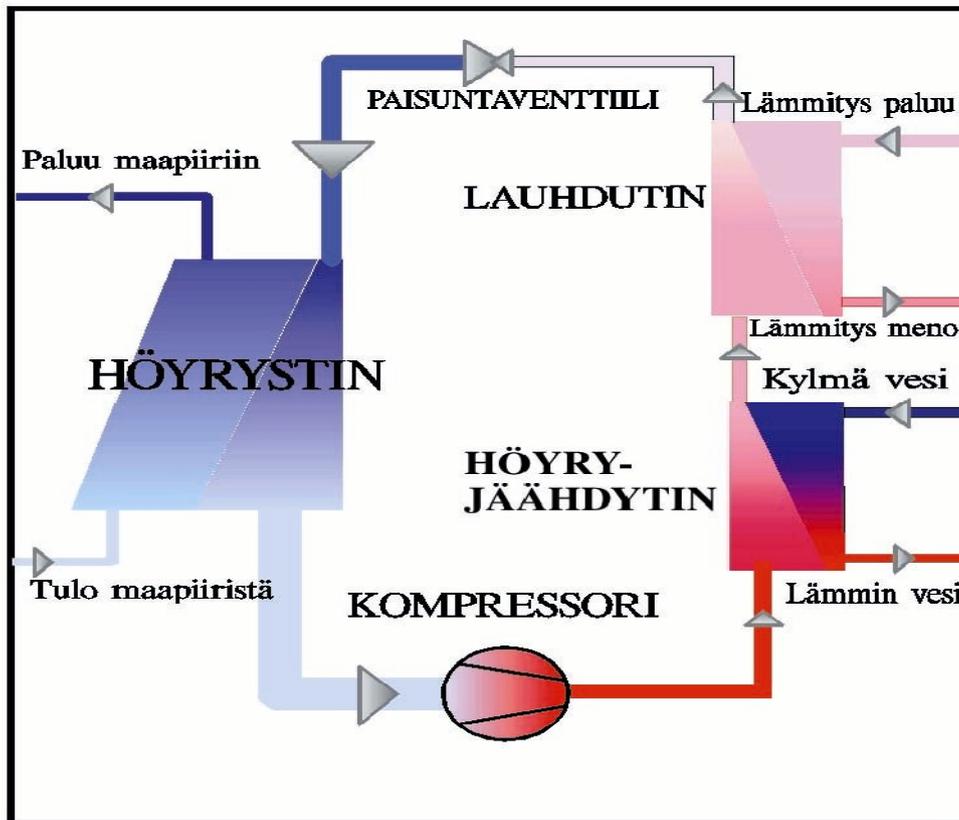
Malli	CRC 14 MO-MVB	CRC 64 MO-MVB
Lämmitysteho	0,76–1,39 kW	3,07–5,45 kW
Sähkönkulutus	16–33 W	37–88 W
Äänitaso	23–36 db(A)	28–45 dB(A)

Laitteistoon kuuluu lisäksi lämmönkeruuputkisto, jonka kokonaispituus on 500 m. Muovista valmistettu putkisto asennetaan maahan porattaviin kahteen 125 m:n syvyiseen kaivoon ja johdetaan sieltä rakennuksen sisään asennettavaan maalämpöpumppuun. Maalämpöpumpulta tulevat lämpöjohdot yhdistetään puhallinkonvektoreihin ja lattialämmityselementteihin. (Kuva 9.)



Kuva 9. Maalämpöpumppujärjestelmä

Maalämpöpumpun toimintaperiaate näkyy kuvassa 10. Maaputkistossa oleva alkoholi-vesiseos lämpenee maaputkistossa kiertäessään 2–3 asteella. Tällä lämpötilan nostolla saadaan lämpöpumpun kylmäaine höyrystettyä ja aine kulkee höyrystimeltä kompressorille. Kompressorilla puristaa höyrystetyn kylmäaineen ja korottaa sen painetta. Höyry lämpenee lisää. Korkeapaineinen höyry muuttuu taas nestemäiseen muotoon lauhduttimessa ja lämmittää lauhduttimessa virtaavan veden tai ilman palaten kiertopiirissä takaisin höyrystimeen. Maaputkistoon palaava neste on 2–3 astetta viileämpää kuin tullessaan lämpöpumpulle.



Kuva 10. Maalämpöpumpun toimintakaavio [8]

6 Vaikutukset ja kannattavuus

Oletetaan, että lämmitysjärjestelmään jätetään nykyinen ilmalämpöpumppu ja puulämmitys uuden järjestelmän rinnalle. Laskemalla saatu rakennuksen lämmitysenergiankulutus on 31 826 kWh/a, josta vähennetään sekä ilmalämpöpumpun että puulämmityksen osuus. Ilmalämpöpumpun lämmitysenergia on laskettu (liite 2) ja tulokseksi on saatu 3 240,6 kWh, mutta puulämmityksen osuus perustuu arvioon 4 050 kWh/a. Tarvittava lämpöenergia, joka korvaa suoran sähkölämmityksen on siis $31\,826 \text{ kWh/a} - 4\,050 \text{ kWh/a} - 3\,240,6 \text{ kWh/a} = 24\,535,4 \text{ kWh/a}$. Muutetaan saatu lämmitysenergia tarvittavaksi sähköenergiaksi laitteen COP-luvun eli lämpökertoimen avulla. Taulukon 14 COP-lukemaa ei kuitenkaan suoraan voida käyttää laskennassa, sillä se ilmaisee toiminnan vain ilmoitetulla lämpötilatasolla ($T_H = 0 \text{ °C} / T_L = 35 \text{ °C}$). Tämä ei vastaa todellista käyttötilannetta.

Teoreettinen lämpökerroin lasketaan Carnot-lämpökertoimen avulla seuraavasti:

$$COP_c = \frac{T_L}{T_L - T_H} = \frac{273,15 + 35}{(273,15 + 35) - 273,15} = 8,8$$

T_L on lämpöpumpun lauhtumislämpötila, K

T_H on lämpöpumpun höyrystymislämpötila, K

Kun taulukon 13 COP arvo jaetaan COP_c -arvolla, saadaan todellisen ja teoreettisen lämpökertoimen suhde.

$$\frac{COP}{COP_c} = \frac{4,7}{8,8} = 0,534$$

Asennettavassa maalämpölaitteistossa on lämpimän käyttöveden varaaja, ja sen vuoksi lauhtumis- ja höyrystymislämpötiloina käytetään korjattuja lämpötiloja ($T_L = 63 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_H = -3 \text{ }^\circ\text{C}$). Nyt teoreettinen lämpökerroin on

$$COP_c = \frac{T_L}{T_L - T_H} = \frac{273,15 + 63}{63 - (-3)} = 5,09$$

Olettaen, että todellisen ja teoreettisen lämpökertoimen suhde pysyy vakiona.

Laskennallisesti todelliseksi lämpökertoimeksi saadaan $COP = 0,534 * COP_c = 0,534 * 5,09 = 2,72$. Seuraavan kaavan mukaisesti lasketaan laitteiston käyttämä sähköenergia.

$$COP = \frac{\text{Saatu lämpöteho/-energia}}{\text{Syötetty sähköteho/-energia}}$$

$$\text{Yhtälöstä saadaan sähköenergiaksi } Q_s = \frac{24535,4 \text{ kWh/a}}{2,72} = 9020,4 \text{ kWh/a}$$

Vuotuinen ostoenergian säästö saadaan, kun vähennetään sähkölämmityksen tarvitsemasta energiasta maalämpöpumpun käyttämä energia. Säästöä tulee vuosittain: $24\,535,4 \text{ kWh} - 9\,020,4 \text{ kWh} = 15\,515 \text{ kWh}$

Sähkön hintana laskuissa on käytetty 0,125 €/kWh. Maalämpöjärjestelmän hinta asennuksineen on 24 516 € [5] ja vuotuiset käyttökustannukset 1 138,65 €. Suoralla sähkölämmityksellä vuotuiset käyttökustannukset ovat 3 067 €. Takaisinmaksuajaksi saadaan

$$\begin{aligned} \textit{Takaisinmaksuaika} &= \frac{\textit{Hankintahintojen erotus}}{\textit{Vuosikustannusten erotus (vuotuinen säästö)}} \\ &= \frac{24516\text{€}}{3067\text{€/a} - 1138,65\text{€/a}} \approx 13 \textit{ a} \end{aligned}$$

Koska laitteiston käyttöikä on vähintään 20 vuotta ja takaisinmaksuaika 13 vuotta, on valinta kannattavaa.

7 Kehittämiskohteet

Jos ajatellaan yleisesti pientalojen lämmitysjärjestelmien korvaamista joko kokonaan tai osittain, tällä hetkellä ilmalämpöpumput ja maalämpö ovat hyviä vaihtoehtoja. Näin on erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, joissa lämmitysenergian tarve on suurempi, hyötyä tulee enemmän. Vanhoissa rakennuksissa on kuitenkin monesti tarpeen parantaa myös ilmanvaihtoa, joka voi olla painovoimainen tai ehkä poistopuhaltimella varustettu. Näissä tapauksissa energiansäästö hupenee osin ilmanvaihtolaitteiston hankinta- ja käyttökustannuksiin.

Tulisikin miettiä aina kohteen mukaan, mikä on paras vaihtoehto lämmityksen ja ilmanvaihdon yhdistelmäksi. Uudemmissa rakennuksissa rakenteiden tiiviys vaatii koneellisen ilmanvaihdon miltei poikkeuksetta, kun taas vanhemmissa rakenteissa (hirsi, harkko) voidaan selvittää pienemmällä satsauksella.

Maalämpöjärjestelmään yhdistettävien aurinkokeräimien hyöty ja lämmityskattiloiden muutos eri polttoaineelle voisivat olla selvityksen kohteina.

8 Yhteenveto

Pientalojen lämmityskustannusten vähentäminen sähkölämmitteisissä taloissa oli lähtökohtana Eemontti-hankkeelle. Hankkeeseen valittiin neljä pientaloa, joiden lämmitysjärjestelmä oli tarkoitus muuttaa suorasähkölämmityksestä taloudellisempaan vaihtoehtoon. Tekemäni opinnäytetyö perustuu yhden Eemontti-hankkeessa mukana olleen talon energialaskentaan ja mittauksiin ennen remontin toteutusta.

Tavoitteena työssä oli selvittää rakennuksen energiankulutus ja sen jakauma lämmityksen ja mm. laitesähkön (taulukot 10 ja 11) välillä. Sisäilmaolot olivat myös tutkimuskohteena. Lisäksi tarkoitus oli laskelmin tutkia ostoenergian osuuden vähentämistä lämmitysjärjestelmän vaihdolla.

Aluksi arvioitiin lämmitysenergian tarve laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Sen jälkeen kerättiin sähkön ja veden kulutustiedot. Mittauksin selvitettiin energialaskentaan tarvittavia arvoja. Kertamittauksena tehtiin mm. pintalämpötilamittaus, ilmanvaihdon mittaus ja tiiviysmittaus. Mittauksiin kuuluivat myös sisäilman laadun mittaukset. Rakennukseen jätettiin viikoksi mittauslaitteet tallentamaan tietoja sisäilmasta.

Työssä ei arvioitu muiden energiamuotojen, kuten pellettilämmityksen tai aurinkoenergian käyttöä sähkölämmityksen korvaajana.

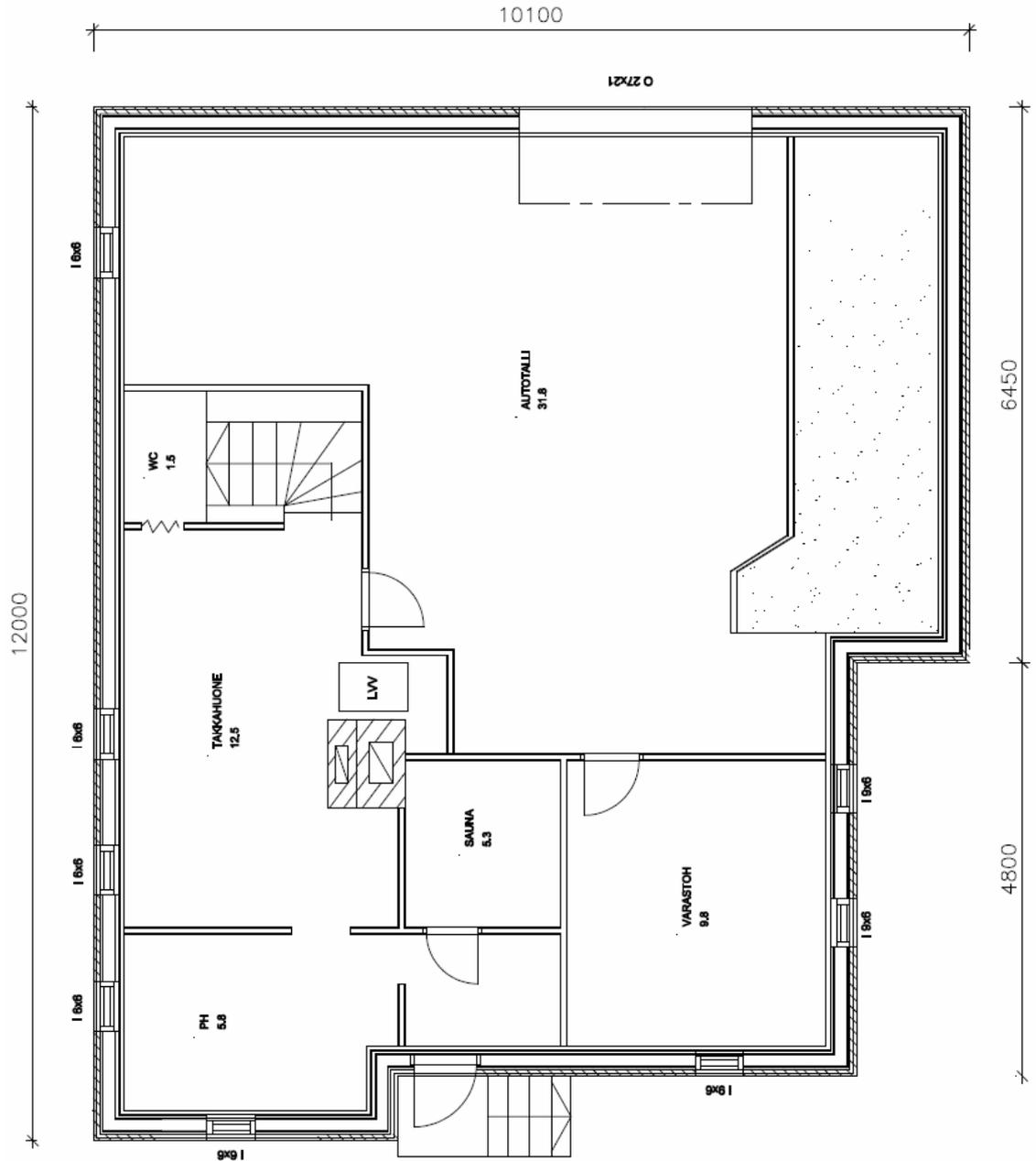
Tarkemmilla arvoilla laskettuna rakennuksen lämmitysenergian kulutukseksi saatiin vuositasolla n. 32 000 kWh. Pelkillä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukkoarvoilla laskettuna kulutus oli hieman alle 30 000 kWh. Tähän vaikuttivat esim. ilmanvaihdon tarkempi laskeminen ja saadut kulutustiedot. Laitesähkönkulutuksen suhteellinen osuus pieneni tarkennetuilla arvoilla laskettaessa. Mitatuilla arvoilla laskettu ja toteutunut kulutus ovat hyvin lähellä toisiaan. Jos huomioidaan ilmalämpöpumpun vaikutus vähentämässä ostoenergiaa, jää eroa n. 3 000 kWh toteutuneeseen kulutukseen. Saunan ja takan vaikutus vähentää vielä ostoenergiaa jonkin verran.

Tutkimuksen kohteena olleen rakennuksen ostoenergian tarvetta oli jo aiemmin vähennetty ilmalämpöpumpun asennuksella. Maalämpöjärjestelmällä päästäisiin vielä suurempiin ostoenergian säästöihin taloissa, joiden lämmitys on pelkkien sähköpatterien varassa. Koska energiaremonttia ei ehditty vielä tämän työn tekemisen aikana aloittaa, tutkimusta on mahdollista jatkaa. Tutkittavina kohteina voisivat olla sisäilman laatu, ilmanvaihdon parantaminen ja energiankulutuksen muutos.

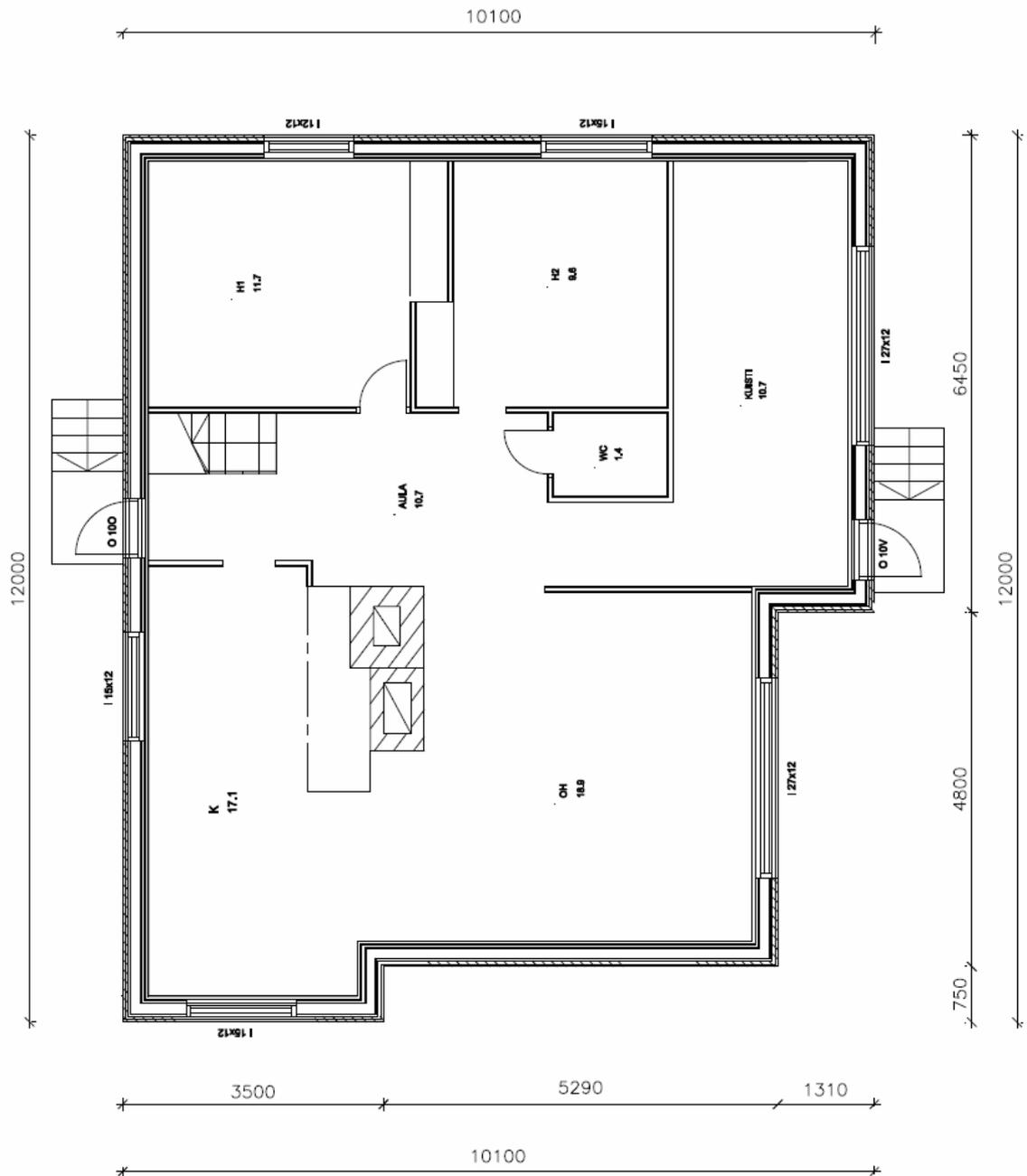
Lähteet

- 1 Projektisuunnitelma. 2011. Verkkodokumentti. Eemontti.
<http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/11/EEMontti_Tarjoukset_raadin_lausunnot_final.pdf>. Luettu 2.5.2011.
- 2 Asumisterveysohje. 2003. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 3 C4. 2003. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 4 D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- 5 Tarjousten arviointi. 2011. Verkkodokumentti. Eemontti. <http://www.eemontti.fi/wp-content/uploads/2011/11/EEMontti_Tarjoukset_raadin_lausunnot_final.pdf>. Luettu 2.5.2011.
- 6 IVT-maalämpöpumput. Esite. 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.ivt.fi/images/images_fi/pdf/MAALAMPO_small1.pdf>. Luettu 9.5.2012.
- 7 Sabiana Carisma, puhallinkonvektori. Esite. 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.vento-k.com/downloads/downloads_upload/pdf/crc.pdf>. Luettu 9.5.2012.
- 8 Kuva maalämmön toiminnasta. 2012. Verkkodokumentti. Suomela.
<<http://www.Suomela.fi>>. Luettu 16.5.2012.

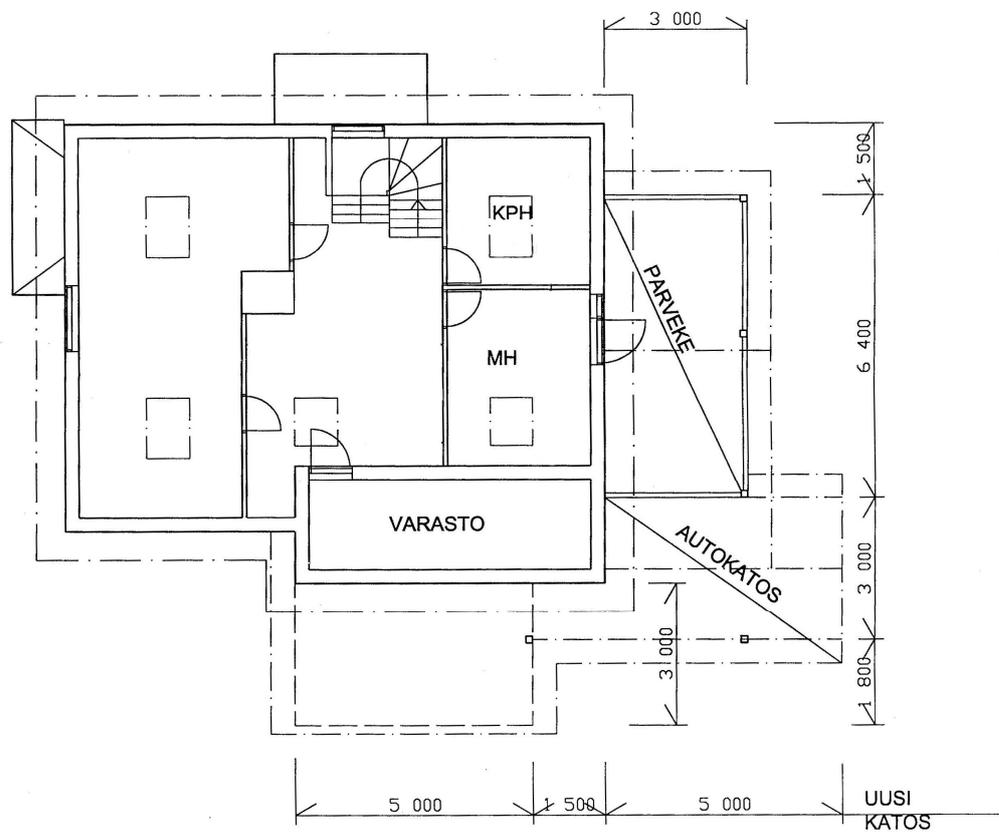
Pohjapiirroksat
pohjakerros



1. kerros



2. kerros



Tiivysmittausraportti

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h) 2699 (+/- 0.4 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 5.83
w50: m³/(h*m² Floor Area) 13.43
q50: m³/(h*m² Surface Area) 8.18

Leakage Areas:

963.2 cm² (+/- 3.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 2.92 cm²/m² Surface Area
485.5 cm² (+/- 5.6 %) LBL ELA @ 4 Pa or 1.47 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (Cenv) = 165.8 (+/- 8.8 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 168.9 (+/- 8.8 %)
Exponent (n) = 0.708 (+/- 0.023)
Correlation Coefficient = 0.99841

Test Standard:

EN 13829 Test Mode:

Depressurization

Type of Test Method:

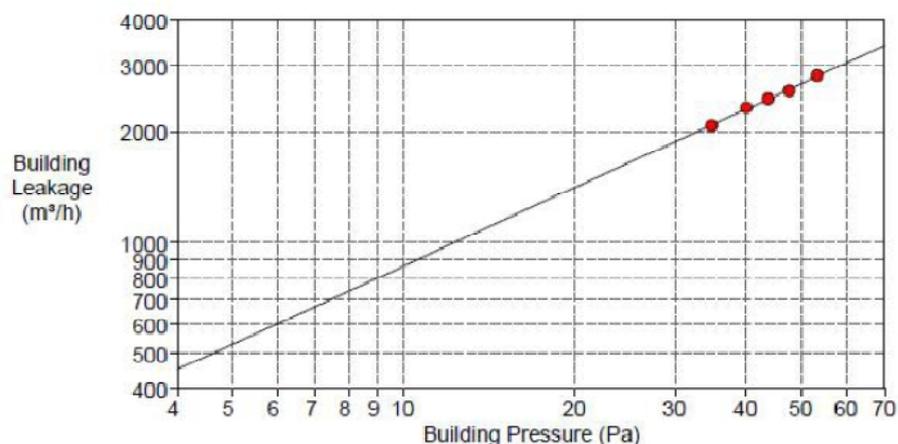
B

Regulation complied with:

Equipment:

Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	20 °C	Volume:	463 m ³
Outside Temperature:	2 °C	Surface Area:	330 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	201 m ²
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	15 %
Type of Heating:		Year of Construction:	1958
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Laskenta ja taulukot

Ilmälämpöpumpun lämmitysenergia

Ilmälämpöpumpun keskimääräinen lämmitysteho:

Mitatut puhallusnopeudet: 2,1 m/s + 2,6 m/s + 3,1 m/s + 1,8 m/s + 0,7 m/s =
10,3 m/s

Keskimääräinen ilman nopeus: $V = \frac{10,3 \text{ m/s}}{5} = 2,06 \text{ m/s}$

Tilavuusvirta: $q_v = v \cdot A = 2,06 \text{ m/s} \cdot (0,05 \cdot 0,63) \text{ m}^2 = 0,065 \text{ m}^3/\text{s}$

Massavirta tehon laskentaa varten: $q_m = \rho \cdot q_v = 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,065 \text{ m}^3/\text{s} = 0,078 \text{ kg/s}$

Antoteho: $\phi = q_m c_p \Delta t = 0,078 \text{ kg/s} \cdot 1,0 \text{ kJ/kgK} \cdot (36,98 - 25,05) \text{ K} = 0,93 \text{ kW}$

Tehon laskennassa on käytetty lämpöpumpulta mitattujen lämpötilojen keskiarvoja.

Oletetaan lämpöpumpun lämmityskaudeksi 8 kk:n jakso syyskuusta huhtikuuhun.

Lämmitysenergia: $Q = \phi \cdot t = 0,93 \text{ kW} \cdot 5808 \text{ h} = 5401 \text{ kWh}$

Hyötysuhteella $\text{COP} = 2,5$ saadaan sähkönkulutukseksi $5401 \text{ kWh} / 2,5 = 2160,4 \text{ kWh}$ ja lämmitysenergian tuotoksi $5401 \text{ kWh} - 2160,4 \text{ kWh} = 3240,6 \text{ kWh}$

Laskujen tulokset tarkennettuun arvoon

Kuukausi	Rakenteiden läpi johtuva energia yhteensä Q_{joht}	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv}	Rakennuksen lämpöhäviö-energia yhteensä $Q_{\text{lämpöhäviö}}$
	kWh	kWh	kWh	kWh
tammikuu	4665	781,9	76,8	5523,7
helmikuu	4429,5	735,7	72,2	5237,4
maaliskuu	3691,8	598,7	58,7	4349,2
huhtikuu	3093,5	489,3	48,5	3631,3
toukokuu	1790,5	264,9	28,4	2083,8
kesäkuu	964,6	126,5	15,5	1106,6
heinäkuu	1035,6	160,6	19,2	1215,4
elokuu	851,2	130,7	16,8	998,7
syyskuu	1665,8	285,1	30,8	1981,7
lokakuu	2569,6	448,1	45,9	3063,6
marraskuu	2869,3	499,1	50,6	3419
joulukuu	3836,8	656,7	67,2	4560,7
koko vuosi	31463	5177	531	37171

$$Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} = Q_{\text{lämpöhäviö}}$$

Kuukausi	Rakennuksen tilojen lämmityksen netto-energiantarve $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$	Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia $Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$	Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$
	kWh	kWh	kWh
tammikuu	4245,8	549,9	4795,7
helmikuu	3906,1	533,5	4439,6
maaliskuu	2918,9	423,2	3342,1
huhtikuu	2162	417,8	2579,8
toukokuu	884,8	296,6	1181,4
kesäkuu	165,6	164,4	330
heinäkuu	227,4	169,9	397,3
elokuu	104,4	169,9	274,3
syyskuu	874,5	291,1	1165,6
lokakuu	1764,4	423,2	2187,6
marraskuu	2180,9	544,5	2725,4
joulukuu	3283,9	549,9	3833,8
Koko vuosi	22719	4539	27258

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}}$$

Kuukausi	Rakennuksen tilojen lämmitysenergian- kulutus $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus Q_{Ikv}	Rakennuksen lämmitysenergian- kulutus yhteensä $Q_{\text{lämmitys}}$
	kWh	kWh	kWh
tammikuu	4795,7	388	5183,7
helmikuu	4439,6	350,4	4790
maaliskuu	3342,1	388	3730,1
huhtikuu	2579,8	375,5	2955,3
toukokuu	1181,4	388	1569,4
kesäkuu	330	375,5	705,5
heinäkuu	397,3	388	785,3
elokuu	274,3	388	662,3
syyskuu	1165,6	375,5	1541,1
lokakuu	2187,6	388	2575,6
marraskuu	2725,4	375,5	3100,9
joulukuu	3833,8	388	4221,8
Koko vuosi	27258	4568	31826

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{Ikv}} = Q_{\text{lämmitys}}$$

Lähtöarvot Excel-laskurissa

ver. 16.11.2009 / TMA

Energiaselvitys / Lämpöhäviöiden taseaselkelma

Heisingin kaupunki / Rakennusvalvontavirasto

Kohde: 2007 vertailuarvot_YM:n.pientalo
 Ratu: Määräystenmukaisuuden osoittaminen: **2007**
 Rakennustyyppi: Erilliset.pientalot
 Lupatunnus: 99-9999-09-A
 k.osa/korttelitontti: 99/999/999
 Pääsuunnittelija: pekka pääsuunn.
 Taseaselkelman tekijä: pekka pääsuunn.

Rakennusluvuksen laajuuksiedot	Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	327 krs-taso-m ²	Huonekorkeus	2,2 m	Ilmatilav., V. lämpimät tilat	376,8 m ³
			Kerroskorkeus	2,4 m	Ilmatilav., V. puoliämpimät tilat	86,1 m ³

Perustiedot		Pinta-ala, m ² , (A)		U-arvot, W/(m ² K), (U)		Ominaislämpöhäviö, W/K	
RAKENNUSOSAT		Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailuarvo	Erinimäisiä	Vertailuarvat	Suunn.rat.
Lämpimät tilat		[H _{laid} = A x U]					
Ulkoseinä	118,18	138,10	0,24	0,60	0,37	28,4	51,1
Yläpohja	74,71	80,50	0,15	0,60	0,25	11,2	20,1
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)			0,15	0,60			
Alapohja (ryömintätilään rajoittuva) 1)			0,19	0,60			
Alapohja (maanvastainen)	23,60		0,24	0,60	1,00	5,7	23,6
Muu maanvastainen rakennusosa	14,10		0,24	0,60	0,54	3,4	7,6
Ikkunat	34,37	14,45	1,40	1,80	1,80	48,1	26,0
Ulkiovet	6,10		1,40	-	8,5	8,5	8,5
Kattoikkunat	9,99	4,20	1,50	1,80	1,50	15,0	6,3
Lämpimät tilat yhteensä	281,1	281,1				120,3	143,3
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä	11,96	14,70	0,38	0,60	0,35	4,5	5,1
Yläpohja			0,28	0,60			
Alapohja			0,28	0,60			
Alapohja (maanvastainen)	41,60		0,34	0,60	1,00	14,1	41,6
Muu maanvastainen rakennusosa	27,50		0,34	0,60	2,50	9,4	71,5
Ikkunat	4,73	1,99	1,80	2,80	1,80	8,5	3,6
Ulkiovet	5,60		1,80	-	1,80	10,1	10,1
Kattoikkunat			1,80	2,80			
Puoliämpimät tilat yhteensä	91,4	91,4				46,6	131,9

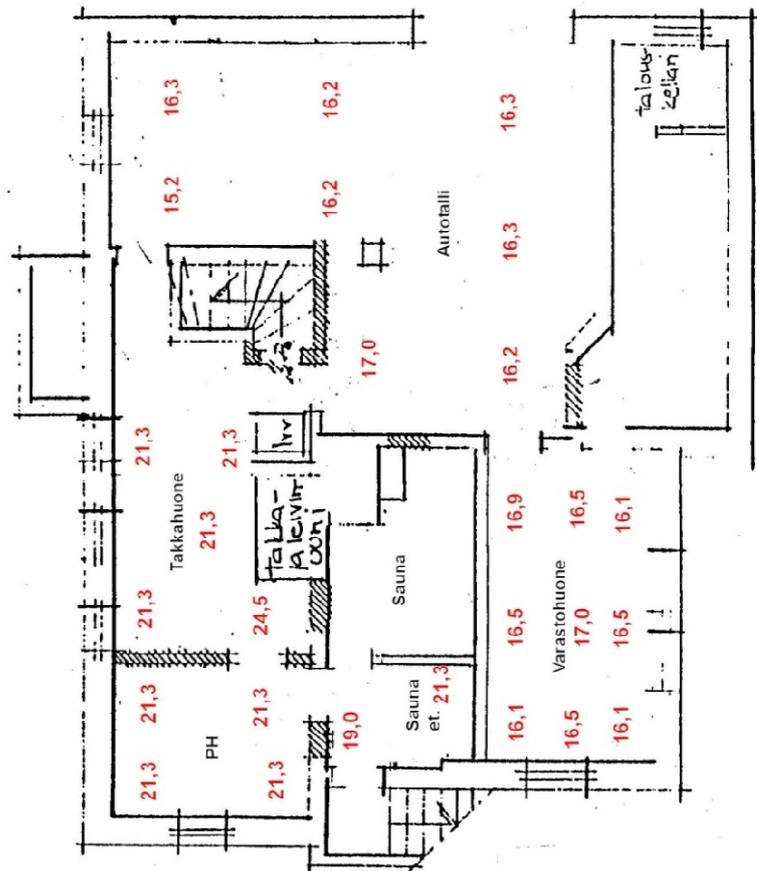
VAIPAN ILMAVUODOT		Ilmanvuotoluku, 1/h, [n ₅₀]		Vuotolv., m ³ /s, [q _{v,50} =n ₅₀ x V/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v,50}]	
Lämpimät tilat		Vertailuarvo	Suunn.arvo	Vertailuarvo	Suunniteluarvo	Vertailuarvat	Suunn.rat.
		4,0	5,8	0,0167	0,0243	20,1	29,1
Puoliämpimät tilat		4,0	5,8	0,0038	0,0055	4,6	6,7
ILMANVAIHTO							
Poistolimavirta, m ³ /s, [q _{v,p}]				LTO:n vuosihyötysuhde, %, η _s			
Hallittu ilmanvaihto				Vertailuarvo	Suunniteluarvo		
Lämpimät tilat				30			
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0			
Puoliämpimät tilat				30			
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0			
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						140,4	172,4
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä						51,2	138,6

Lisäselvitykset		Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään		Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
-suunniteluarvo on	1,19	-suunniteluarvo on	1,19
-puoliämpimissä tiloissa	2,83	-puoliämpimissä tiloissa	2,83
Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään		Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
vertailuarvo on	122,8	% lämpimissä tiloissa	
Lämpöhäviö on	270,5	% puoliämpimissä tiloissa	
Suunniteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset			

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso		Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään		Suunniteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään	
vertailuarvo, W/K	84,2	vertailuarvo, W/K	84,2
vertailuarvo, W/K	30,7	vertailuarvo, W/K	30,7
vertailuarvo, W/K		vertailuarvo, W/K	
vertailuarvo, W/K		vertailuarvo, W/K	

1) Lämpimissä tiloissa ryömintätilään rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,9 RakM:n osan D3 mukaisesti. Tällä tavalla oletetaan huomioitava ryömintätilan korkeampi vuotunen keskilämpötila. Ryömintätilan tuuletusaukojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Kellarin lattian mitatut pintalämpötilat ja lämpötilaindeksit



alue	lämpötilaindeksi
takkahuone	97,71
pesuhuone	95,59
varastohuone	78,5
autotalli	76,89
wc	93,73
saunan et.	91,12